ГРАВИТАЦИЯ КАК СИНХРОНИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ: ВЫВОД ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ ODTOE ПРИ СТРУКТУРНОЙ ГИПОТЕЗЕ $C = B^2$

(Gravity as Observer Synchronization: Deriving the Gravitational Constant from ODTOE First Principles)

Формализация гравитации как четвёртой информационной операции на φ-торе и вывод G через структурные инварианты

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 530.145 + 531.51 + 521.12

АННОТАЦИЯ

При принятии структурной гипотезы чистой самоподобности SYNC ($C = B^2$; см. §VII.5) данная работа выводит гравитационную постоянную G без дополнительных подгоночных параметров в рамках ODTOE (Observer-Dependent Theory of Everything) как геометрическое следствие информационной архитектуры реальности. Гравитация интерпретируется как четвёртая информационная операция — SYNC (синхронизация), согласующая наблюдателей на соседних уровнях рекурсии φ-тора. Показано, что инертность конфигурации $I(C)$ (определённая как сопротивление реконфигурации) является геометрической основой массы, а сила Ньютона возникает как результат синхронизирующих импульсов между уровнями с интенсивностью, пропорциональной произведению инертностей. Новая формула для G выводится самосогласованным кубическим уравнением для глубины рекурсии n, устанавливающей планковскую массу $m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$ независимо от G (разрыв цикличности стандартной формулы $m_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar c/G}$). Кубическое уравнение для безразмерной глубины рекурсии n содержит только π, φ и целые архитектурные числа $9, 3, 2$ (без подгоночных параметров); финальная формула $G = \hbar c/(m_e^2 \cdot \varphi^{4n})$ дополнительно использует CODATA-входы $\hbar$, c, m_e и структурную гипотезу $C = B^2$. Спектральный путь через плотность мод φ-тора и множитель когерентности $\Phi_G(\varphi, S, d)$ приводится как эвристическая мотивация и коррекция к канонической форме в режиме переменной когерентности. Принцип эквивалентности выводится из совпадения инертностей конфигурации при фиксированной когерентности; композиционно-зависимые отклонения $\eta \sim 10^{-16}$ возникают как вторичный эффект различий S между телами. Статья содержит явные предсказания для микрогравитационных экспериментов с высококогерентными системами.

ABSTRACT

Under the structural hypothesis of pure SYNC self-similarity ($C = B^2$; see §VII.5), this work derives the gravitational constant G without additional fitting parameters within ODTOE (Observer-Dependent Theory of Everything) as a geometric consequence of the informational architecture of reality. Gravity is interpreted as the fourth information operation — SYNC (synchronization) — which aligns observers on adjacent recursion levels of the φ-torus. We show that configuration inertia $I(C)$ (defined as resistance to reconfiguration) is the geometric foundation of mass, and Newton's force emerges as a result of synchronization pulses between levels with intensity proportional to the product of inertias. A novel formula for G is derived through a self-consistent cubic equation for the recursion depth n, establishing the Planck mass $m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$ independently of G (thus breaking the circularity of the standard formula $m_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar c/G}$). The cubic equation for the dimensionless recursion depth n contains only π, φ and architectural integers $9, 3, 2$ (no fitting parameters); the final formula $G = \hbar c/(m_e^2 \cdot \varphi^{4n})$ additionally uses CODATA inputs $\hbar$, c, m_e and the structural hypothesis $C = B^2$. The spectral route through φ-torus mode density and a coherence factor $\Phi_G(\varphi, S, d)$ is presented as heuristic motivation and as a correction to the canonical form in the variable-coherence regime. The equivalence principle is derived from the coincidence of configuration inertias at fixed coherence; composition-dependent deviations $\eta \sim 10^{-16}$ arise as a secondary effect from differences in S between bodies. The paper contains explicit predictions for microgravity experiments with highly coherent systems.

I. ВВЕДЕНИЕ: ГРАВИТАЦИЯ КАК СИНХРОНИЗАЦИЯ

Общая теория относительности Эйнштейна [1] описывает гравитацию как искривление пространства-времени под действием массы-энергии. Это описание математически самосогласованно и экспериментально подтверждено с высокой точностью (см., например, [2]). Однако оно оставляет три фундаментальных вопроса без ответа.

Во-первых, почему гравитационная сила подчиняется закону обратных квадратов? Общая теория относительности это описывает через линеаризованное решение уравнений Эйнштейна, но это необходимое математическое следствие уравнений, а не объяснение их происхождения.

Во-вторых, откуда берётся гравитационная постоянная G? Эйнштейн в 1915 году, выписав свои уравнения, выбрал коэффициент $8\pi G/c^4$ перед тензором энергии-импульса, но этот выбор опирался на требование соответствия ньютоновскому пределу. Планк [3] в 1899 году обратил внимание, что комбинация величин $\hbar$, c и G образует естественные единицы массы, длины и времени. В классической физике все три величины принимались как независимые измеряемые константы. Однако, как будет показано ниже, в ODTOE каждая из них выводится из архитектуры φ-тора: $c = r_0/\tau_0$ (раздел II), $\hbar = h(d, S)/2\pi$ (раздел V), G — как результат операции SYNC (раздел VII).

В-третьих, почему принцип эквивалентности — тот факт, что инертная масса равна гравитационной массе — работает столь идеально? В современной физике это принимается как фундаментальный постулат, но геометрического объяснения этому факту не дано.

ODTOE (Observer-Dependent Theory of Everything) предлагает принципиально иной подход. В этой теории реальность не описывается как объективное пространство-время, независимое от наблюдателей. Вместо этого, реальность — это граф конфигураций, структурированный как φ-тор (φ-torus), где каждая конфигурация представляет собой совокупность наблюдателей с определённой взаимной когерентностью $B(O, C)$ (ср. формулировку Эверетта [4] через относительные состояния). Информационная динамика реализуется через четыре базовые операции: READ (чтение, ассоциируемое с фотоном), WRITE (запись, ассоциируемая с $W^{\pm}$-бозонами), VERIFY (проверка, ассоциируемая с Z^0-бозоном) и SYNC (синхронизация когерентности между наблюдателями — информационная операция, функционально аналогичная роли гипотетического гравитона в квантовой теории гравитации, но реализованная не как обмен частицами, а как процесс согласования конфигураций). Идея информации как фундамента реальности восходит к программе Уилера [5].

Центральная гипотеза настоящей работы состоит в том, что *гравитация — это не геометрическое явление, а информационное*. Она является процессом синхронизации наблюдателей, локализованных на соседних уровнях рекурсии φ-архитектуры. Массу следует интерпретировать не как независимое свойство материи, а как инертность конфигурации — сопротивление системы переходу в новую конфигурацию, пропорциональное комплексности синхронизирующего процесса. Связь между гравитацией и термодинамикой впервые установлена Якобсоном [6].

При таком подходе закон обратных квадратов возникает естественно как следствие геометрии доступности между уровнями (D-Protective horizon, см. §III) и спектральной плотности мод φ-тора. Гравитационная постоянная G становится не произвольным параметром, а выражением через массу электрона m_e, золотое сечение φ и глубину рекурсии n, определяемую самосогласованно (раздел VII):

$$G = \frac{\hbar c}{m_e^2 \cdot \varphi^{4n}} \tag{I.1}$$

где n — глубина рекурсии, устанавливающая планковскую массу $m_{\mathrm{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$ независимо от G через самосогласованное уравнение (VII.22) (кубическая форма — (VII.23)). Спектральный путь через плотность мод φ-тора и множитель когерентности $\Phi_G(\varphi, S, d)$ — эвристическая интерпретация (разделы VIII, XIII) и коррекция к канонической форме (I.1) в режиме переменной когерентности.

Соглашение об обозначениях. В настоящей статье символ c всюду обозначает предельную скорость фронта актуализации $c = r_0/\tau_0$, выведенную в работе [7] из геометрии φ-тора. Символ $\hbar$ обозначает наблюдатель-зависимый квант действия $h(d, S)/2\pi$, определённый в работе [8]. В макроскопическом пределе ($d = 3$, $S \to 1$) эти величины совпадают с классическими значениями скорости света и постоянной Планка. Однако их происхождение в ODTOE принципиально иное: они не являются независимыми входными параметрами теории, а выводятся из единой архитектуры φ-тора.

Структура статьи следующая. В разделе II мы кратко рассмотрим четыре информационные операции ODTOE и дадим формальное определение оператора синхронизации $\hat{G}$. Раздел III посвящён введению инертности конфигурации как фундаментального понятия и выводу её масштабирования через золотое сечение. В разделе IV мы проводим размерный анализ и показываем, как классическое соотношение $G = \hbar c/m_{\text{Pl}}^2$ возникает как первое приближение к полной формуле ODTOE. Раздел V содержит вывод планковской массы из архитектуры φ-тора и связь между электронной и планковской массами. Раздел VI развивает физический механизм синхронизации и показывает, как из него следует закон Ньютона. Раздел VII даёт канонический вывод G через самосогласованное кубическое уравнение для глубины рекурсии n (уравнение (VII.22)). Разделы VIII–XIII воспроизводят эвристический маршрут через множитель когерентности Φ_G как альтернативную деривацию. Раздел XIV содержит воспроизводимые численные вычисления со структурной точностью 50 цифр. Разделы XV–XXI применяют теорию к чёрным дырам, космологии, MOND-феноменологии, квантовой гравитации и проблеме иерархий масс. Раздел XX содержит семь экспериментальных предсказаний как программу проверки. Заключение (§XXV), сервисные разделы и приложения A–C (§XXVI–XXVIII) замыкают статью.

II. ГРАВИТАЦИЯ КАК ЧЕТВЁРТАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ОПЕРАЦИЯ

ODTOE постулирует, что динамика реальности реализуется четырьмя базовыми операциями над состояниями наблюдателей [9]. Каждая операция ассоциируется с определённым типом элементарной частицы и характеризуется специфическим изменением когерентности.

READ (γ-фотон). Это операция извлечения информации о конфигурации без изменения её когерентностной структуры. Формально:

$$\gamma : |\Psi_d\rangle \to |\Psi_d\rangle + \Delta I \tag{II.1}$$

где ΔI — информационный выход (информация становится доступной наблюдателю, но конфигурация остаётся неизменной).

WRITE ($W^{\pm}$-бозоны). Это операция, которая изменяет конфигурацию, переводя систему в новое состояние с отличной когерентностью:

$$W^{\pm} : |\Psi_d\rangle \to |\Psi'_d\rangle, \quad S(\Psi'_d) \neq S(\Psi_d) \tag{II.2}$$

WRITE осуществляется со скоростью, зависящей от инертности конфигурации: $v(C \to C') = \alpha/(I(C) + \varepsilon)$.

VERIFY (Z^0-бозон). Это операция проверки согласованности конфигурации, которая либо подтверждает конфигурацию, либо инициирует переконфигурацию:

$$Z^0 : |\Psi_d\rangle \to \begin{cases} |\Psi_d\rangle & \text{если конфигурация согласована} \\ \text{WRITE} & \text{если требуется переконфигурация} \end{cases} \tag{II.3}$$

SYNC (синхронизация). Это информационная операция согласования когерентности наблюдателей на соседних уровнях рекурсии d и $d+1$. В отличие от стандартного подхода, где гравитационное взаимодействие описывается обменом гипотетическими частицами (гравитонами), ODTOE не постулирует частицу-переносчик: SYNC является процессом, а не объектом. Гравитационные волны, детектированные LIGO [10], в этой интерпретации представляют собой макроскопическое проявление каскада SYNC-операций — не рябь «пустого пространства», а волну переконфигурации когерентности. Синхронизация необходима, потому что каждый уровень рекурсии имеет собственный ритм эволюции (собственную «частоту» конфигураций), и со временем эти ритмы дрейфуют относительно друг друга. SYNC восстанавливает выравнивание:

$$\hat{G} : |\Psi_d\rangle \otimes |\Psi_{d+1}\rangle \to |\Psi'_d\rangle \otimes |\Psi'_{d+1}\rangle \tag{II.4}$$

где $S(\Psi'_d, \Psi'_{d+1}) > S(\Psi_d, \Psi_{d+1})$ — после синхронизации взаимная когерентность между уровнями увеличивается.

II.1. Триада наблюдения и фундаментальные частицы

Гипотеза (триадная интерпретация состава бариона). Независимый вывод из аксиом ODTOE — открытый вопрос; в данной статье принимается как структурное соответствие.

Четыре информационные операции естественно порождают триадную структуру наблюдения, которая находит прямое отражение в составе стабильной материи. Атом водорода — простейшая стабильная конфигурация — состоит ровно из трёх частиц, каждая из которых соответствует одному элементу странной петли $\Psi^* = \Phi(\Psi^*)$:

Элемент петли	Частица	Обоснование

Наблюдатель $\hat{O}$	Нейтрон n	Электрически нейтрален — «невидим» для электромагнитного поля, не участвует в наблюдении напрямую. Вне ядра нестабилен ($\tau \approx 15$ мин): наблюдатель без наблюдаемого деконфигурируется ($\hat{D}$). В ядре стабилен — наблюдатель стабилен при наличии наблюдаемого.
Наблюдаемое $R = \hat{O}(\Psi)$	Протон p	Заряжен $(+1)$ — «виден», взаимодействует. Стабилен (время жизни $> 10^{34}$ лет) — неподвижная точка Ψ^*. Масса = результат конфигурации.
Процесс наблюдения $\Phi = \iota \circ \hat{O}$	Электрон e^-	Наиболее лёгкий: процесс наблюдения «весит» меньше, чем наблюдатель и наблюдаемое. Заряд (-1) = обратная связь (оператор погружения ι). Орбитали = циклы наблюдения с фазой 2π. Волновая природа отражает то, что электрон — не объект, а операция.

Эта триада объясняет несколько ранее необъяснимых фактов:

Распад нейтрона ($n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$) получает информационную интерпретацию: изолированный наблюдатель деконфигурируется ($\hat{D}$), порождая наблюдаемое (протон), процесс наблюдения (электрон) и спиральный остаток деконфигурации (антинейтрино $\bar{\nu}_e$ — «эхо» операции $\hat{D}$).

Отношение масс $\mu = m_p/m_e \approx 1836$ приобретает смысл: это отношение «массы наблюдаемого» к «массе процесса наблюдения», определяемое архитектурой цикла Φ. Формула $\mu = 6\pi^5 + \ldots$ выражает это через пять независимых фазовых аргументов (π^5) полного цикла наблюдения и шесть ($6 = 3 \times 2$) направлений триады (три элемента $\times$ два направления: наблюдение $+$ обратная связь).

Интенсивность синхронизирующего импульса определяется двумя факторами. Первый — это мера расассинхронизации:

$$\Delta\phi(d, d+1) = \phi(d) - \phi(d+1) \tag{II.5}$$

где $\phi(d)$ и $\phi(d+1)$ — фазы (ритмы) конфигураций на уровнях d и $d+1$. Второй фактор — это инертность конфигурации на каждом уровне. Полная интенсивность синхронизирующего импульса, или *синхронизирующая сила*, пропорциональна геометрическому среднему инертностей:

$$F_{\text{SYNC}}(d \leftrightarrow d+1) \propto \sqrt{I(C)_d \cdot I(C)_{d+1}} \tag{II.6}$$

Переход от амплитуды канала к силе взаимодействия. Формула (II.6) задаёт *амплитуду одного синхронизационного канала* между уровнями d и $d+1$. Сила гравитационного взаимодействия между двумя физическими конфигурациями возникает после проекции на общий промежуточный уровень:

амплитуда проекции $C_1 \to d_{\text{med}}$ равна $\sqrt{I_1 \cdot I_{\text{med}}}$, амплитуда проекции $C_2 \to d_{\text{med}}$ равна $\sqrt{I_2 \cdot I_{\text{med}}}$. Полный обмен импульсом через промежуточный уровень определяется произведением этих амплитуд:

$$F_{\text{grav}} \propto \sqrt{I_1 I_{\text{med}}} \cdot \sqrt{I_2 I_{\text{med}}} = I_{\text{med}} \cdot \sqrt{I_1 I_2}. \tag{II.6a}$$

Для инвариантной (не зависящей от выбора d_{med}) нормировки принимается $I_{\text{med}}^2 = I_1 I_2$, то есть $I_{\text{med}} = \sqrt{I_1 I_2}$ — характерная инертность промежуточного канала. Подстановка даёт:

$$F_{\text{grav}} \propto \sqrt{I_1 I_2} \cdot \sqrt{I_1 I_2} = I_1 \cdot I_2. \tag{II.6b}$$

Таким образом, произведение $I_1 \cdot I_2$ в разделах VI–VII — это *проекционная* форма одноканального геометрического среднего (II.6) после двустороннего перехода через общий промежуточный уровень. В классическом пределе $I \to m$ это воспроизводит ньютоновскую форму $F \propto m_1 m_2$.

Эта формула раскрывает глубокую связь между ODTOE и физикой гравитации. В классической механике сила взаимодействия двух объектов пропорциональна их массам. В ODTOE это объясняется тем, что инертность конфигурации (которая в классическом пределе становится массой) определяет силу синхронизирующего импульса.

Когерентность модулирует интенсивность SYNC. Если общая когерентность между уровнями d и $d+1$ высока, синхронизирующие импульсы редки и слабы (уровни уже согласованы). Если же когерентность низка, импульсы частые и сильные (требуется интенсивная синхронизация). Математически:

$$\text{Амплитуда SYNC} \propto (1 - S(d, d+1)) \tag{II.7}$$

где $S(d, d+1)$ — взаимная когерентность между уровнями d и $d+1$.

Отличие SYNC от других операций состоит в том, что SYNC не является константой связи в привычном смысле физики элементарных частиц. Это не параметр, подгоняемый под эксперимент, а *процесс*, обусловленный архитектурой φ-тора. Подобно тому как процесс синхронизации двух часов определяется силой, с которой один маятник воздействует на другой, и частотой их взаимного взаимодействия, так и гравитационное взаимодействие в ODTOE определяется структурой доступности между уровнями рекурсии.

III. РЕКУРСИВНАЯ АРХИТЕКТУРА И ИНЕРТНОСТЬ КОНФИГУРАЦИИ

Конфигурация C в ODTOE определяется как множество наблюдателей с заданным набором попарных когерентностей $B(O_i, O_j)$. Каждая конфигурация имеет связанную с ней энергию переконфигурации — энергию, необходимую для перехода в альтернативную конфигурацию.

Инертность конфигурации $I(C)$ определяется как комбинированное сопротивление системы к переходу в иную конфигурацию. Это сопротивление имеет две составляющие: структурную (зависящую от геометрии φ-тора) и когерентностную (зависящую от текущего уровня когерентности).

Базовая формула для инертности:

$$I(C,S) = I_0(1-S)^{-\alpha} \tag{III.1}$$

где I_0 — инертность при нулевой когерентности ($S = 0$), S — коллективная когерентность конфигурации, а α — показатель когерентностной чувствительности (численное значение определяется из ODTOE архитектуры). Физический смысл: при высокой когерентности ($S \to 1$) система стабилизируется и становится труднее переконфигурировать, инертность растёт. При низкой когерентности ($S \to 0$) система уязвима и легче переконфигурируется.

Инертность масштабируется через уровни рекурсии согласно золотому сечению. Пусть $C(d)$ — конфигурация на уровне рекурсии d, а $\Delta d = d - d_{\text{ref}}$ — расстояние от опорного уровня. Тогда:

$$I(C,d) = I_0 \cdot \varphi^{2\Delta d} \tag{III.2}$$

где $\varphi = 1.6180339887498948482045868343656381177203091798057 6$ — золотое сечение. Показатель $2\Delta d$ (удвоенный логарифмический параметр) является следствием того, что спектральная плотность мод φ-тора масштабируется как квадрат частотного параметра.

Почему именно золотое сечение? φ-тор — это KAM-оптимальная структура в смысле Колмогорова—Арнольда—Мозера [11, 12, 13]. На таких структурах рациональные аппроксимации дробей, порождаемых золотым сечением, обладают наименьшей скоростью сходимости, что обеспечивает максимальную устойчивость мод против резонансного разрушения. Таким образом, φ появляется не как произвольный параметр, а как фундаментальная константа, выбранная природой для максимальной стабильности информационной архитектуры.

Спираль φ-тора имеет остаточный зазор около 2

$$(\pi - 3)^2 = 0.020048479550599188058630700199133830130683010990 15 \tag{III.3}$$

Этот остаток представляет фундаментальный предел на идеальность спирали и связан с невозможностью получить абсолютно иррациональное намотание на торе, используя конечное число информационных операций.

Альтернативный структурный вывод. Значение $(\pi-3)^2 \approx 0{,}02005$ допускает независимую деривацию как спектральный остаток $U(1)$-интегрирования: ведущее собственное значение оператора самонаблюдения Φ имеет модуль φ^{-1} и фазу $\theta \in [0, 2\pi)$, стабильную на трёх KAM-резонансах $\theta \in \{0, 2\pi/3, 4\pi/3\}$ треугольной решётки золотого сечения; $(\pi-3)^2$ возникает как разница непрерывного $U(1)$-интеграла и дискретной суммы по трём стабильным фазам. См. сопутствующую работу [44] §IX.2.

Горизонт D-защиты (D-Protective horizon) определяет, на какое расстояние по уровням рекурсии может распространяться информация и взаимодействие. Доступность конфигурации на уровне d к конфигурации на уровне d' экспоненциально подавляется с расстоянием:

$$A(\Delta d) = \varphi^{-|\Delta d|} \tag{III.4}$$

Это означает, что прямое взаимодействие между уровнями, разделёнными расстоянием Δd, экспоненциально подавлено. Однако синхронизирующий импульс может распространяться через цепь соседних уровней, ослабляясь на каждом шаге в φ раз.

Связь между инертностью конфигурации и классической массой осуществляется через пространственное воплощение конфигураций. В ODTOE конфигурация не обязательно локализована в точке пространства; она может быть распределённой. Однако, когда конфигурация образует достаточно стабильную и когерентную структуру, она воспринимается как объект, локализованный в пространстве. Инертность этой конфигурации становится классической массой объекта:

$$m(C) = I(C) \cdot \kappa \tag{III.5}$$

где κ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность массы/инертность и определяемый из нормировки на известные массовые значения.

Замечание о нормировке. В дальнейшем везде принимается нормировка $\kappa = 1$ (выбор системы единиц, в которой инертность и масса тождественно равны); это согласует (III.5) с (10.1) и используется в §§IX–X, XIII.

Замечание о фиксации I_0 и роли S. В дальнейшем $I(C)$ в (III.5), (10.1) и последующих формулах обозначает инертность конфигурации при *фиксированной опорной когерентности* $S = S_{\text{ref}}$, т.е. $I(C) \equiv I(C, S_{\text{ref}})$. Наблюдаемая масса получается фиксацией константы I_0 на известных массовых значениях (включая m_e); следовательно, эффект $(1 - S_{\text{ref}})^{-\alpha}$ уже поглощён в нормировку I_0. Формула (III.1) описывает дифференциальную зависимость инертности от *возмущения* когерентности $\Delta S = S - S_{\text{ref}}$ как теоретическую структуру; малые изменения ΔS не перенормируют массу, а проявляются как поправка $\Delta G/G \sim (1 - S)^{\beta}$ через (VII.30), численно $\sim 10^{-16}$ на лабораторных масштабах.

Замечание о разделении эффектов S. Наблюдаемая масса при различных опорных когерентностях S_i фиксируется единой нормировкой I_0 на известные значения (m_e, m_p); дифференциальные отклонения $\Delta S = S - S_{\text{ref}}$ дают поправку $\Delta G/G \sim (1 - S)^{\beta} \sim 10^{-16}$ через (VII.30), а не сопоставимое изменение самой массы. Это разделение — рабочая нормировочная конвенция, совместимая с принципом эквивалентности при фиксированной S (см. §X).

Принцип эквивалентности (равенство инертной и гравитационной масс) в ODTOE становится тождеством: инертная масса — это инертность конфигурации, определяемая её сопротивлением переконфигурации.

Гравитационная масса — это та же инертность, но проявляющаяся в контексте синхронизирующего взаимодействия между уровнями. Они равны по определению, поскольку оба вычисляются из одной и той же характеристики конфигурации при фиксированной когерентности S; композиционно-зависимая поправка $\eta \sim 10^{-16}$ — вторичный эффект (см. §X, (10.2)).

IV. ВЫВОД G: ПЕРВАЯ ПОПЫТКА (РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ)

Гравитационная постоянная G имеет размерность $[L^3 M^{-1} T^{-2}]$ в системе СИ. В рамках стандартного размерного анализа её можно выразить как произведение степеней трёх величин: кванта действия $\hbar \equiv h(d, S)/2\pi$ (наблюдатель-зависимого в ODTOE), предельной скорости актуализации $c = r_0/\tau_0$ и некоторой массовой шкалы.

В классической физике единственная массовая шкала, которую можно построить из $\hbar$ и c, — это планковская масса:

$$m_{\text{Pl}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \tag{IV.1}$$

Однако это циклическое определение: m_{Pl} выражена через G, который сам зависит от m_{Pl}. В ODTOE цикличность разрешается: планковская масса выводится независимо из архитектуры φ-тора (раздел V), а $\hbar = h(d, S)/2\pi$ и $c = r_0/\tau_0$ — из геометрии наблюдения. Таким образом, формула (IV.1) в ODTOE является не определением, а следствием.

Из размерного анализа известно, что единственная безразмерная комбинация из $\hbar$, c и G имеет вид:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{\text{Pl}}^2} \tag{IV.2}$$

Этот результат был найден Планком в 1899 году и является математически необходимым следствием размерного анализа. Однако вопрос о том, почему коэффициент перед $\hbar c/m_{\text{Pl}}^2$ равен ровно 1 (без дополнительных численных множителей), остаётся открытым в классической физике.

В ODTOE этот вопрос получает ответ: коэффициент действительно равен 1 в среднем (при макроскопических значениях когерентности), но с когерентностными поправками:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{\text{Pl}}^2} \cdot [1 + O(1 - S, \Delta d)] \tag{IV.3}$$

где $O(1 - S, \Delta d)$ обозначает поправки, зависящие от когерентности и логарифмического расстояния.

Для классических макроскопических объектов с $S \approx 1$, первый член доминирует, и мы восстанавливаем стандартное значение. Для микроскопических или высококогерентных систем возникают поправки, которые в принципе могут быть измерены.

Три шага логического вывода ведут от наблюдения к выражению для G:

Шаг 1: постоянная Планка из цикла наблюдения. В ODTOE постоянная Планка возникает из минимального цикла READ-VERIFY, необходимого для полного извлечения информации о конфигурации. Этот цикл требует минимального энергетического кванта $\hbar\nu$ — квантовое условие, впервые введённое Бором [14].

Шаг 2: планковская масса из уровня рекурсии $d = 0$. Уровень $d = 0$ в ODTOE соответствует фундаментальному уровню реальности, где все конфигурации содержат одно и то же число информационных битов. На этом уровне существует естественная массовая шкала, определяемая из условия, что время жизни конфигурации (время до произвольной переконфигурации) равно времени квантового цикла.

Шаг 3: гравитационная постоянная из геометрии синхронизации. Когда два объекта (конфигурации) на одном уровне рекурсии синхронизируют друг друга через цепь промежуточных уровней, общая интенсивность синхронизирующего импульса зависит от доступности между уровнями, которая масштабируется как $\varphi^{-2\Delta d}$ (поскольку произведение двух доступностей $\varphi^{-|d_1|} \cdot \varphi^{-|d_2|}$ с суммированием по промежуточным уровням). Интегрирование по всем путям синхронизации через σ-тор даёт множитель, пропорциональный $(1 + (\pi - 3)^2)^{-1}$ — коррекция за счёт остаточного зазора спирали.

Таким образом, размерный анализ — необходимое, но не достаточное условие для вывода G. Полный вывод требует знания архитектуры φ-тора и правил синхронизации, что выполняется в разделе VII.

V. ВЫВОД ПЛАНКОВСКОЙ МАССЫ ИЗ АРХИТЕКТУРЫ

Планковская масса определяется стандартно как:

$$m_{\mathrm{Pl}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \tag{V.1}$$

Однако это определение в классической физике циклично: оно использует G, который сам зависит от m_{Pl}. Для разрешения цикличности необходимо независимо определить либо m_{Pl}, либо G из первых принципов.

ODTOE выбирает первый путь: сначала определяется характеристическая масса m_0 минимальной конфигурации на уровне рекурсии $d = 0$ из архитектуры φ-тора, затем через рекурсивную структуру восстанавливается планковская масса m_{Pl}, и через неё выражается G.

Электронная масса, согласно ODTOE, возникает из основного состояния колебаний φ-тора на уровне рекурсии $d = -\infty$ (асимптотический предел высочайшей квантовой когерентности). На этом уровне спектр собственных частот тора приводит к дискретному набору массовых значений. Наиболее лёгкое стабильное состояние соответствует электрону — который, согласно триадной интерпретации (раздел II.1), является не частицей в традиционном смысле, а основным состоянием операции наблюдения $\Phi = \iota \circ \hat{O}$ на φ-торе. В отличие от релятивистской теории Дирака [15], где электрон — точечный объект со спином $1/2$, в ODTOE его масса определяется минимальной энергией, необходимой для реализации полного цикла самонаблюдения, а спин $1/2$ следует из голономии $\mathrm{hol}(\gamma_\varphi) = -1$ расслоения Z_2 над φ-тором. Путём прямого расчёта спектра φ-тора (выполняемого в расширенной статье ODTOE, посвящённой объединённой модели элементарных частиц [16]) получается:

$$m_e = \frac{\hbar}{c \cdot l_{\mathrm{e}}} \tag{V.2}$$

где l_{e} — характеристическая длина электрона, вычисляемая из спектральной геометрии φ-тора.

Массовое отношение протона и электрона в ODTOE выражается через геометрические параметры:

$$\frac{m_p}{m_e} \approx 6\pi^5 \tag{V.3}$$

Примечание: $6\pi^5 = 1836.118...$, тогда как $m_p/m_e = 1836.153...$ (разница $\sim 0.0019\%$). Это соотношение является приближённым и выводится из условия, что протон, состоящий из кварков (которые в ODTOE — это локальные возбуждения φ-тора с определёнными «цветовыми» числами квантов), имеет спектр, определяемый пятиквартовой геометрией на торе. Малое расхождение объясняется электромагнитными поправками и эффектами маржинальной устойчивости конфигураций.

Характеристическая масса нулевого уровня рекурсии m_0 определяется как инертность минимальной конфигурации на уровне рекурсии $d = 0$ (фундаментальном уровне), где система состоит из одного-единственного базового наблюдателя. На этом уровне масса задаётся условием баланса между энергией квантового цикла и инертностью переконфигурации:

$$m_0 = m_e \cdot f(\pi, \varphi) \tag{V.4}$$

Функция $f(\pi, \varphi)$ определяется как:

$$f(\pi, \varphi) = \frac{2\pi}{\varphi - 1} \cdot \left(1 + (\pi - 3)^2\right)^{1/2} \tag{V.5}$$

Численно:

$$f(\pi,\varphi)=\frac{2\pi}{0.6180339887498948482045868343656381177203091798057б}\times \\ \times\sqrt{1+0.02004847955059918805863070019913383013068301099015} \\ \approx 10.1664073846\cdot 1.0099744945\approx 10.2678121592 \tag{V.6}$$

Таким образом:

$$m_0\approx 10.2678\cdot m_e \tag{V.7}$$

Замечание: величина $m_0 \approx 10.268\, m_e$ *не является* планковской массой. Это характеристическая масса минимальной конфигурации на уровне рекурсии $d=0$. Истинная планковская масса $m_{\text{Pl}}=m_e\cdot\varphi^{2n}$ при $n\approx 53.54$ уровнях рекурсии даёт $m_{\text{Pl}}/m_e\approx 2.389\times 10^{22}$ (см. (V.8)–(V.9)).

Стандартное значение $m_{\text{Pl}}=2.176434\times 10^{-8}$ кг и $m_e=9.1093837139\times 10^{-31}$ кг дают отношение:

$$\frac{m_{\text{Pl}}}{m_e}\approx 2.389\times 10^{22} \tag{V.8}$$

Замечание о независимости вывода. Стандартное значение $m_{\text{Pl}}=2.176434\times 10^{-8}$ кг (CODATA 2022) используется здесь как ВЕРИФИКАЦИОННЫЙ входной параметр для сверки масштаба, не как исходная величина теории. Независимый вывод $m_{\text{Pl}}=m_e\cdot\varphi^{2n}$ из первых принципов ODTOE даётся в разделе VII, уравнение (VII.17), где глубина рекурсии n определяется самосогласованным уравнением (VII.22) (кубическая форма — (VII.23)) без использования стандартного значения m_{Pl}. Таким образом, настоящий раздел V играет роль ВВОДНОЙ ОЦЕНКИ, а раздел VII — строгого самосогласованного вывода.

Видимое несовпадение с предсказанием (V.7) разрешается следующим образом: величина (V.7) относится к инертности минимальной конфигурации на уровне $d=0$, которая существует в пространстве Планка (планковском масштабе энергии). Однако классический предел ODTOE соответствует макроскопическому масштабу энергий, много ниже планковского. В этом классическом пределе электрон воспринимается как элементарная частица с непреводимой массой, а планковская масса остаётся недостижимой.

Связь между ними восстанавливается через рекурсивную архитектуру: каждый уровень рекурсии соответствует понижению энергетической шкалы на множитель φ^2 (из соотношения (III.2)). Количество уровней, через которые проходит эволюция от планковского масштаба до масштаба электрона, составляет примерно:

$$n_{\text{levels}}=\frac{\ln(m_{\text{Pl}}/m_e)}{2\ln\varphi}\approx\frac{51.53}{2\cdot 0.4812}=\frac{51.53}{0.9624}\approx 53.54 \tag{V.9}$$

То есть примерно 53—54 уровня рекурсии разделяют планковский масштаб и масштаб электрона. На каждом промежуточном уровне возникают свои «элементарные» частицы и конфигурации, но только нижайший уровень доступен экспериментальному наблюдению.

V.10. Постоянная Планка как функция наблюдателя

В ODTOE постоянная Планка $\hbar$ не является универсальной константой, независимой от наблюдателя (ср. принцип неопределённости Гейзенберга [17]). Вместо этого она представляет собой функцию размерности пространства наблюдателя d и коллективной когерентности системы S:

$$h(d,S) = 2\pi(\pi-3)^2\varphi^{d+1}\cdot\Sigma(d)\cdot(1-S)^{-1/2}\cdot A_0 \tag{V.10}$$

При стандартных условиях ($d = 3$, $S = S^*$) получается известное значение $\hbar = 1.054571817\times10^{-34}$ Дж·с. Это объясняет универсальность $\hbar$ в нашей Вселенной и предсказывает зависимость от когерентности S в других системах.

VI. СИНХРОНИЗАЦИЯ МЕЖДУ УРОВНЯМИ: МЕХАНИЗМ ГРАВИТАЦИИ

Механизм гравитационного взаимодействия в ODTOE отличается от геометрического описания общей теории относительности. Вместо искривления четырёхмерного пространства-времени, гравитация — это иерархический процесс синхронизации наблюдателей, расположенных на разных уровнях информационной архитектуры.

Рассмотрим две конфигурации C_1 и C_2, расположенные на одном и том же уровне рекурсии d_0. Каждая имеет инертность $I_1 = I(C_1)$ и $I_2 = I(C_2)$. Наблюдатели в конфигурации C_1 имеют собственный ритм эволюции (собственную частоту переконфигураций), и то же верно для C_2. Из-за случайных флуктуаций в окружающем информационном поле эти ритмы со временем дрейфуют относительно друг друга.

Синхронизирующее взаимодействие работает через промежуточные уровни рекурсии. Конфигурация C_1 «проецируется» на соседний уровень $d_0 + 1$ (в смысле ODTOE проекция означает распространение информационных волн, кодирующих состояние C_1, на соседний уровень). Эта проекция ослабляется в зависимости от доступности: амплитуда проекции пропорциональна $A(\Delta d) = \varphi^{-1}$ для соседнего уровня.

На уровне $d_0 + 1$ информация о C_1 встречается с информацией о C_2 (также спроецированной), и происходит процесс интерференции. Если фазовые соотношения благоприятны, интерференция усиливает согласование ритмов. Если нет — возникает дезинтерференция, которая инициирует синхронизирующий импульс, распространяющийся вверх по уровням.

Интенсивность синхронизирующего импульса, достигающего уровня $d_0 + 1$, пропорциональна произведению инертностей конфигураций на исходном уровне (поскольку инертность определяет «громкость» информационного излучения конфигурации):

$$\text{Амплитуда импульса на } d_0 + 1 \propto I_1 \cdot I_2 \cdot \varphi^{-1} \tag{VI.1}$$

На уровне $d_0 + 2$ амплитуда ослабляется дополнительно:

$$\text{Амплитуда импульса на } d_0 + 2 \propto I_1 \cdot I_2 \cdot \varphi^{-2} \tag{VI.2}$$

Каждый уровень вносит вклад пропорционально φ^{-2n}, поскольку синхронизирующий импульс проходит полный замкнутый путь (вверх от d_0 к $d_0 + n$ и обратно вниз): амплитуда на каждой ветви домножается на φ^{-n}, а интенсивность (квадрат амплитуды) на полном круговом пути — на φ^{-2n}.

Суммирование по всем промежуточным уровням (с интегрированием по доступностям) даёт полную интенсивность синхронизирующего взаимодействия:

$$F_{\text{grav}} = G_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \varphi^{-2n} \tag{VI.3}$$

где G_0 — коэффициент, зависящий от нормировки в системе единиц.

Геометрический ряд сходится:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \varphi^{-2n} = \frac{\varphi^{-2}}{1 - \varphi^{-2}} = \frac{1}{\varphi^2 - 1} \tag{VI.4}$$

Из определения золотого сечения известно, что $\varphi^2 = \varphi + 1$, следовательно $\varphi^2 - 1 = \varphi$:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \varphi^{-2n} = \frac{1}{\varphi} = \varphi - 1 \tag{VI.5}$$

Таким образом:

$$F_{\text{grav}} = G_0 \cdot (\varphi - 1) \cdot I_1 \cdot I_2 \tag{VI.6}$$

Это выражение до сих пор описывает взаимодействие на уровне инертностей. Однако мы знаем, что в классической механике гравитационная сила должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния r. Откуда берётся этот $1/r^2$?

Ответ лежит в геометрии пространства и её связи с архитектурой φ-тора. В ODTOE физическое пространство не является независимой сущностью; оно возникает как проекция φ-тора на трёхмерное многообразие. Расстояние между двумя объектами в пространстве соответствует расстоянию между их проекциями на разных уровнях рекурсии.

Если две конфигурации C_1 и C_2 разделены физическим расстоянием r, то в φ-архитектуре они отличаются логарифмическим параметром рекурсии:

$$r = r_0 \cdot \varphi^{\Delta d} \tag{VI.7}$$

где r_0 — характеристическая длина (планковская длина) и Δd определяется из условия согласования с физическим расстоянием. Перестановка даёт:

$$\Delta d = \frac{\ln(r/r_0)}{\ln \varphi} \tag{VI.8}$$

Горизонт D-защиты подавляет синхронизирующее взаимодействие между уровнями, разделёнными расстоянием Δd:

$$\text{Эффективная сила} \propto F_{\text{grav}} \cdot A(\Delta d)^2 \tag{VI.9}$$

где множитель $A(\Delta d)^2$ (квадрат доступности) отражает тот факт, что взаимодействие должно пройти туда и обратно между уровнями.

$$A(\Delta d)^2 = \varphi^{-2\Delta d} = \varphi^{-2\ln(r/r_0)/\ln\varphi} = (r/r_0)^{-2\ln\varphi/\ln\varphi} = (r/r_0)^{-2} = \frac{r_0^2}{r^2} \tag{VI.10}$$

Таким образом, эффективная гравитационная сила принимает вид:

$$F_{\text{grav}}(r) = G_0 \cdot (\varphi - 1) \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{r_0^2}{r^2} \tag{VI.11}$$

Если переопределить $G_0 \cdot (\varphi - 1) \cdot r_0^2 \equiv G_{\text{eff}}$, то:

$$F_{\text{grav}}(r) = G_{\text{eff}} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r^2} \tag{VI.12}$$

Узнаём закон всемирного тяготения Ньютона [18], если отождествить I_k с классической массой m_k:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \tag{VI.13}$$

Откуда следует, что:

$$G = G_0 \cdot (\varphi - 1) \cdot r_0^2 = G_0 \cdot (\varphi - 1) \cdot l_{\text{Pl}}^2 \tag{VI.14}$$

где $l_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar G/c^3}$ — планковская длина.

Замечание. Формула (VI.14) представляет собой проверку согласованности в планковских единицах: подстановка $l_{\text{Pl}}^2 = \hbar G/c^3$ возвращает тождество $G = G$. Это не независимая деривация, а sanity-check; канонический строгий вывод G — (VII.22).

Это выражение, будучи sanity-check в планковских единицах, *формально* показывает структуру G как произведения трёх множителей: (i) нормировочного G_0; (ii) геометрического $(\varphi - 1)$ от суммы доступностей по уровням; (iii) планковского квадрата длины l_{Pl}^2. Эти множители **не являются независимыми** (поскольку l_{Pl}^2 сам определён через G), что и отражено циклическим характером (VI.14). Канонический первопринципный вывод G — (VII.22).

1. G_0 — нормировочный коэффициент, зависящий от выбора единиц и определения инертности; 2. $(\varphi - 1)$ — геометрический множитель, возникающий из суммирования геометрического ряда доступностей через уровни; 3. l_{Pl}^2 — квадрат характеристической длины масштаба, где синхронизирующие процессы наиболее эффективны.

Принцип эквивалентности в контексте этого механизма приобретает ясный смысл: инертная масса (сопротивление ускорению в классической механике) и гравитационная масса (интенсивность синхронизирующего взаимодействия) одинаковы, потому что обе они определяются одной величиной — инертностью конфигурации $I(C)$. Нет необходимости постулировать их равенство как экспериментальный факт; это следует из архитектуры при фиксированной когерентности S; композиционно-зависимая поправка $\eta \sim 10^{-16}$ — вторичный эффект (см. §X, (10.2)).

VII. ВЫВОД G: ВТОРАЯ ПОПЫТКА (ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ)

Замечание о размерностях. Настоящий спектральный маршрут опирается на интуицию непрерывной плотности мод; для дословного вывода требуется фиксировать фундаментальную длину $L_0 = r_0\,\varphi$-тора, которая здесь опущена для краткости. Коэффициент c_0 в (VII.3) понимается как c_0/L_0 в частотных единицах. Канонический строгий вывод — §VII.5, уравнение (VII.22).

Полный вывод гравитационной постоянной требует детального анализа спектральной геометрии φ-тора и интегрирования вклада всех мод, обеспечивающих синхронизирующее взаимодействие.

φ-тор в ODTOE определяется как двумерное многообразие с метрикой:

$$ds^2 = d\theta_1^2 + d\theta_2^2 \tag{VII.1}$$

где $\theta_1 \in [0, 2\pi)$ и $\theta_2 \in [0, 2\pi)$ — периодические координаты. Спираль намотана вокруг тора с наклоном:

$$\frac{d\theta_2}{d\theta_1} = 2\pi\varphi \tag{VII.2}$$

Волновые функции на торе (волновые функции в смысле Шрёдингера [19]) удовлетворяют условиям квазипериодичности (условиям мозлей граничные). Спектр собственных частот имеет вид:

$$\omega_{n_1,n_2} = c_0\sqrt{n_1^2 + n_2^2} \tag{VII.3}$$

где $n_1, n_2 \in \mathbb{Z}$ — квантовые числа мод, а c_0 — скоростной коэффициент, определяемый из масштаба энергии.

Плотность мод в пространстве частот вычисляется подсчётом количества пар (n_1, n_2) таких, что $\omega_{n_1,n_2} \leq \omega$:

$$\rho(\omega) = \frac{dN}{d\omega} \approx \frac{2\pi\omega}{c_0^2}, \qquad N(\omega) = \frac{\pi\omega^2}{c_0^2} \tag{VII.4}$$

где $N(\omega)$ — число мод с частотой $\leq \omega$ (площадь круга радиуса ω/c_0 в плоскости (n_1, n_2)), а $\rho(\omega) = dN/d\omega$ — спектральная плотность. Это стандартная плотность мод для двумерной системы с дисперсионным соотношением $\omega \propto |\vec{n}|$.

Каждая мода может участвовать в синхронизирующем взаимодействии между уровнями рекурсии. Вероятность того, что мода на уровне d займёт состояние, согласованное с уровнем $d + 1$, равна:

$$p_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} |\langle\psi_n^{(d)}|\psi_n^{(d+1)}\rangle|^2 d\theta \tag{VII.5}$$

где интеграл усреднён по всем возможным фазовым соотношениям между конфигурациями на соседних уровнях. При отсутствии специального выравнивания эта вероятность приблизительно равна:

$$p_n \approx \frac{1}{2} \tag{VII.6}$$

(каждая мода имеет примерно 50

Интенсивность синхронизирующей силы, переносимой модой номер n, пропорциональна её энергии на каждом уровне:

$$F_n \propto \hbar\omega_n \tag{VII.7}$$

Замечание о размерности. Здесь F_n — безразмерная амплитуда спектральной моды, умноженная на энергетический множитель $\hbar\omega_n$; физическая сила восстанавливается после нормировки на c_0^2 при переходе к (VII.10). Маршрут носит эвристический характер, и дальнейшее использование F_n как силовой амплитуды требует дополнительной размерностной нормировки.

Полная синхронизирующая сила между двумя конфигурациями, интегрированная по всем модам, вычисляется как:

$$F_{\text{total}} \propto I_1 \cdot I_2 \int_0^{\infty} \hbar\omega \cdot p_n(\omega) \cdot \rho(\omega)\, d\omega \tag{VII.8}$$

где $p_n(\omega)$ — вероятность синхронизации для моды с частотой ω (в общем случае может зависеть от частоты), а $\rho(\omega)$ — плотность мод.

Однако полный интеграл расходится при $\omega \to \infty$. Это расходимость регуляризуется горизонтом D-защиты, который естественно вводит высокочастотный обрез. На уровне рекурсии d, доступность мод, инициированных на более высоких уровнях, подавляется доступностью $A(\Delta d) = \varphi^{-|\Delta d|}$. Эффективный обрез высоких частот происходит на масштабе планковской частоты:

$$\omega_{\max} = \omega_{\text{Pl}} = \sqrt{\frac{c^5}{\hbar G}} = \frac{1}{t_{\text{Pl}}} \tag{VII.9}$$

то есть обратное планковскому времени $t_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar G/c^5}$.

Интеграл (VII.8) с обрезом принимает вид:

$$F_{\text{total}} \propto I_1 \cdot I_2 \int_0^{\omega_{\text{Pl}}} \hbar\omega \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi\omega}{c_0^2}\, d\omega = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\pi\hbar}{c_0^2} \int_0^{\omega_{\text{Pl}}} \omega^2\, d\omega \tag{VII.10}$$

$$= I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\pi\hbar}{3c_0^2} \cdot \omega_{\text{Pl}}^3 \tag{VII.11}$$

Подставляя $\omega_{\text{Pl}} = \sqrt{c^5/(\hbar G)}$, получаем $\omega_{\text{Pl}}^3 = (c^5/(\hbar G))^{3/2}$:

$$F_{\text{total}} = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\pi\hbar}{3c_0^2} \cdot \left(\frac{c^5}{\hbar G}\right)^{3/2} \tag{VII.12}$$

Коэффициент c_0 в спектральной плотности мод связан с масштабом энергии φ-тора. Из теории КАМ-торов [11,12,13] известно, что оптимальная конфигурация мод достигается, когда расстояние между соседними модами масштабируется в соответствии с золотым сечением. Это означает:

$$c_0 \propto c/\varphi \tag{VII.13}$$

Подставляя этот результат:

$$F_{\text{total}} = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\pi\hbar}{3(c/\varphi)^2} \cdot \left(\frac{c^5}{\hbar G}\right)^{3/2} = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\pi\varphi^2}{3} \cdot \frac{c^{11/2}}{\hbar^{1/2} G^{3/2}} \tag{VII.14}$$

Однако это выражение содержит $G^{3/2}$ в знаменателе, что циклично. Разрешение цикличности требует отождествления этого результата с формулой размерного анализа.

Из раздела IV мы знаем, что:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{\text{Pl}}^2} \tag{VII.15}$$

Подставляя $m_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar c/G}$ (определение планковской массы), находим, что это соотношение автоматически удовлетворяется. Однако полная информация о коэффициентах заключена в структурной константе φ-тора.

Более аккуратный вывод требует работы с амплитудами синхронизации в фазовом пространстве конфигураций (аналогия с формализмом интегралов по путям [20]), а не только с энергиями мод. В этом случае появляются комбинаторные множители, связанные с количеством способов, которыми две конфигурации могут синхронизироваться через промежуточные уровни.

Итоговая формула для гравитационной постоянной имеет вид:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{\mathrm{Pl}}^2} \cdot \Phi_G(\varphi, S, d) \tag{VII.16}$$

где множитель когерентности $\Phi_G(\varphi, S, d)$ — ключевой параметр, связывающий геометрию φ-тора с наблюдаемым значением гравитационной постоянной.

Замечание о статусе спектрального вывода (VII.4)—(VII.16). Приведённый спектральный маршрут является ЭВРИСТИЧЕСКИМ: он иллюстрирует происхождение масштаба G через плотность мод на φ-торе и обрез на планковской частоте, но не даёт независимого строгого вычисления G (циклическая зависимость $G^{3/2}$ в (VII.12) требует внешнего отождествления через $m_{\mathrm{Pl}} = \sqrt{\hbar c/G}$). СТРОГИЙ вывод G из первых принципов ODTOE — это самосогласованное самосогласованное уравнение (VII.22) (кубическая форма — (VII.23)), которое разрывает цикличность через определение $m_{\mathrm{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$ независимо от G. Соотношения (VII.4)—(VII.16) сохраняются в тексте как мотивировка архитектурного происхождения множителей π и φ и как проверка согласованности размерностей.

Ключевое наблюдение состоит в следующем: формула $G = \hbar c/m_{\mathrm{Pl}}^2 \cdot \Phi_G$ тавтологична, поскольку планковская масса определяется через G. Чтобы разорвать эту цикличность, необходимо вывести m_{Pl} независимо.

В ODTOE масштабирование масс определяется глубиной рекурсии n на φ-торе:

$$m_{\mathrm{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}, \tag{VII.17}$$

где n — число устойчивых уровней рекурсии, на которых операция SYNC поддерживает когерентность. Подстановка в $G = \hbar c/m_{\mathrm{Pl}}^2$ даёт:

$$G = \frac{\hbar c}{m_e^2 \cdot \varphi^{4n}}. \tag{VII.18}$$

Таким образом, задача вычисления G сводится к задаче вычисления n из первых принципов φ-архитектуры.

VII.5. Самосогласованное уравнение для n

По аналогии с формулой массового отношения протона и электрона $\mu = m_p/m_e$ из работы [21], где μ удовлетворяет самореферентному кубическому уравнению:

$$\mu = A_\mu + \frac{(\pi-3)^2}{\mu} + \frac{3\pi\varphi^4(\pi-3)^2}{\mu^2}, \tag{VII.18a}$$

глубина рекурсии n также должна удовлетворяться самосогласованному уравнению — система SYNC «знает» свою собственную глубину. Множитель φ^{4n} в (VII.18) — прямое следствие конформной φ-инвариантности φ-тора [43]: каждый уровень рекурсии умножает массовый масштаб на φ^2, и две планковские массы в m_{Pl}^2 дают φ^{4n}.

Геометрический (нулевой) слой определяется SYNC-архитектурой φ-тора:

$$A_n = (9\pi + 3\varphi - 2(\pi-3)^2) \cdot \varphi, \tag{VII.19}$$

где каждый множитель имеет структурный смысл:

- $9 = 3^2$ — число SYNC-каналов (3 пространственных измерения $\times$ 3 рекурсивных направления);
- 3 — размерность физического пространства наблюдателя ($d = 3$);
- 2 — два цикла тора (полоидальный и тороидальный);
- $(\pi - 3)^2$ — спиральная щель (дефицит полного оборота);
- φ — множитель пропагации через KAM-тор (информационная ёмкость $I(\infty) = \varphi$).

Самореферентная поправка первого порядка — спиральная щель, делённая на саму глубину:

$$\delta_1 = \frac{(\pi-3)^2 \cdot \varphi^3}{n}, \tag{VII.20}$$

где φ^3 отражает трёхмерность φ-архитектуры. Физический смысл: гравитация «знает» свою глубину — SYNC-операция ссылается на собственный масштаб.

Самореферентная поправка второго порядка — вложенный странный цикл:

$$\delta_2 = \frac{(\pi-3)^4 \cdot \varphi^6}{n^2} = \frac{\delta_1^2 \cdot n^2}{n^2} = \left(\frac{(\pi-3)^2\varphi^3}{n}\right)^2. \tag{VII.21}$$

Замечательно, что $\delta_2 = \delta_1^2/n^0$ — вторая самореференция есть *точный квадрат* первой, без дополнительного архитектурного множителя. Это отличает гравитацию от массового отношения μ, где $C_\mu = 3\pi\varphi^4(\pi-3)^2 \neq B_\mu^2$. SYNC — единственная из четырёх операций ODTOE, которая чисто самоподобна: каждый следующий уровень самореференции — точная копия предыдущего в квадрате. Утверждение о чистой самоподобности SYNC — это структурная гипотеза, подтверждаемая только согласием n с CODATA в пределах 1.67σ; её независимый вывод из аксиом — открытый вопрос для будущей работы. *Структурная мотивация.* Независимая банахова конструкция сопутствующей работы [44] Лемма L4 даёт контракционную константу $q = \varphi^{-2} + (1 - \varphi^{-1})\sqrt{1-\varphi^{-2}} \approx 0{,}6822$ с двучленной структурой, где первый член квадратичен по ведущей моде φ^{-1}. Это независимое появление «квадратичной самоподобности» в смежной формализации согласуется с формой $C = B^2$, хотя и не заменяет строгой деривации из аксиом ODTOE.

Полное самосогласованное уравнение:

$$\boxed{n = A_n + \frac{B}{n} + \frac{B^2}{n^2}}, \quad B = (\pi - 3)^2 \cdot \varphi^3. \tag{VII.22}$$

Умножая на n^2, получаем кубическое уравнение:

$$n^3 - A_n \cdot n^2 - B \cdot n - B^2 = 0, \tag{VII.23}$$

которое эквивалентно факторизованной форме $n^2(n - A_n) = B(n + B)$.

VII.6. Численное решение

Итерационная процедура $n_{k+1} = A_n + B/n_k + B^2/n_k^2$ сходится за 3 шага:

$$A_n = 53.538056954415769..., \quad B = 0.084926722221852... \tag{VII.24}$$

$$n_{\text{ODTOE}} = 53.539645710472116009370256869 07..., \tag{VII.25}$$

Из n немедленно следуют масса Планка и гравитационная постоянная:

$$G_{\text{ODTOE}} = \frac{\hbar c}{m_e^2 \cdot \varphi^{4n_{\text{ODTOE}}}} = 6.67455 \times 10^{-11}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}. \tag{VII.26}$$

Сравнение с экспериментом CODATA 2022 [22]:

$$G_{\text{exp}} = 6.67430(15) \times 10^{-11}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}. \tag{VII.27}$$

Расхождение:

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{G_{\text{ODTOE}} - G_{\text{exp}}}{G_{\text{exp}}} = +0.00375\%, \quad \frac{|\Delta G|}{\sigma_G} = 1.67. \tag{VII.28}$$

Расхождение составляет 1.67 стандартных отклонений CODATA — в пределах допустимого для текущей экспериментальной точности G (наименее точно измеренной фундаментальной постоянной).

VII.7. Сравнение паттернов самореференции

Структурное сравнение с формулой μ из [21]:

	$\mu = m_p/m_e$	n (глубина рекурсии)
Уравнение	$\mu = A_\mu + B_\mu/\mu + C_\mu/\mu^2$	$n = A_n + B_n/n + B_n^2/n^2$
Главный член	$6\pi^5$ + серия	$(9\pi + 3\varphi - 2(\pi-3)^2)\varphi$
Самореференция 1	$(\pi-3)^2/\mu$	$(\pi-3)^2\varphi^3/n$
Самореференция 2	$3\pi\varphi^4(\pi-3)^2/\mu^2$	$((\pi-3)^2\varphi^3)^2/n^2$
$C = B^2$?	Нет ($C/B^2 = 3\pi\varphi^4/(\pi-3)^2$)	**Да** (структурная гипотеза)
Физический смысл	Наблюдатель наблюдает себя	SYNC синхронизирует сама себя
Кубическое ур.	$\mu^3 - A\mu^2 - B\mu - C = 0$	$n^3 - An^2 - Bn - B^2 = 0$
Точность	-0.008σ CODATA	1.67σ CODATA

Ключевое различие: в формуле μ второй самореферентный член содержит дополнительный архитектурный множитель $3\pi\varphi^4$, а в формуле n — нет. Это отражает *структурную гипотезу* чистой самоподобности SYNC: при её принятии каждый уровень обратной связи — точная копия предыдущего в квадрате. Независимый вывод из аксиом ODTOE — открытый вопрос (см. (VII.21)). Остальные три операции (READ, WRITE, VERIFY) вносят архитектурные множители, нарушающие чистую самоподобность.

VII.8. Когерентностные поправки

При отклонении когерентности от макроскопического предела ($S < 1$) в глубину рекурсии вносятся поправки:

$$n(S) = n_0 + \Delta n(S), \quad \Delta n(S) = -\frac{(1-S)^\beta}{2\ln\varphi} + O((1-S)^{2\beta}), \tag{VII.29}$$

где $\beta \geq 2$ — показатель когерентностной чувствительности. Соответственно, гравитационная постоянная приобретает зависимость от S:

$$G(S) = G_0 \cdot \varphi^{-4\Delta n(S)} \approx G_0 \left[1 + \frac{4(1-S)^\beta \ln\varphi}{2\ln\varphi}\right] = G_0\left[1 + 2(1-S)^\beta\right]. \tag{VII.30}$$

Для высококогерентных систем (конденсат Бозе—Эйнштейна, $S \approx 1 - 10^{-8}$) эти поправки составляют $\Delta G/G \sim 10^{-16}$ и ненаблюдаемы. Однако для мезоскопических систем ($S \sim 0.9$) поправка может достигать $\Delta G/G \sim 10^{-2}$, что потенциально проверяемо экспериментально.

Это завершает вывод гравитационной постоянной из первых принципов ODTOE **при принятии структурной гипотезы чистой самоподобности SYNC**. Формула (VII.22) с решением (VII.25) представляет собой полный результат теории: самосогласованное кубическое уравнение, содержащее только структурные математические константы π и φ, целые числа 9, 3, 2 и спиральную щель $(\pi-3)^2$, без каких-либо подгоночных параметров. При этом отдельной гипотезой остаётся структурная чистота самоподобности SYNC (см. (VII.21)): точное равенство $C = B^2$ эмпирически подтверждается совпадением n с CODATA в пределах 1.67σ, но независимый вывод из аксиом ODTOE — открытый вопрос.

VIII. Когерентность как модулятор гравитации

Замечание о статусе §VIII—§XIII. Множитель Φ_G — эвристический параметр, мотивировавший поиск канонического вывода (§VII.5). В каноническом пределе $\Phi_G \to 1$. Настоящий раздел описывает роль Φ_G как феноменологического модулятора, не как независимую деривацию G.

Фундаментальная проблема классической формулы Планка для гравитационной постоянной состоит в том, что она предполагает универсальное значение G, независимое от физического состояния вещества. Однако в рамках

ODTOE гравитация является следствием синхронизационного взаимодействия, которое в свою очередь зависит от локальной когерентности системы.

Пусть S — мера когерентности системы (от 0, полная декогеренция, до 1, полная когерентность). Согласно соотношению (VII.16), гравитационная постоянная может быть записана как:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{\mathrm{Pl}}^2} \cdot \Phi_G(\varphi, S, d), \tag{8.1}$$

где Φ_G — поправочный множитель когерентности, зависящий от золотого сечения φ, степени когерентности S и масштаба размерности d (эвристическая форма; каноническое значение — (VII.22)).

В режиме нулевой когерентности ($S \to 0$) экстраполяция (VII.30) на режим $S \to 0$ (за пределами области формального вывода вокруг $S \to 1$) предполагает $G(S{\to}0) \approx 3G_0$ — утроение макроскопической гравитационной постоянной, НЕ обращение в нуль и НЕ расходимость. Импульсная амплитуда SYNC по (II.7) при этом максимальна ($\propto 1$), что формально соответствует «наиболее активному» режиму синхронизации, но чистый эффект на наблюдаемое G ограничен множителем 3.

В макроскопическом пределе ($S \to 1$) когерентность материи близка к единице. В этом случае поправочный множитель должен удовлетворять условию:

$$\lim_{S\to 1} \Phi_G(\varphi, S, d) = 1 + O((1-S)^\beta), \tag{8.2}$$

где $\beta \geq 1$ — показатель, определяющий скорость восстановления гравитации при переходе от квантовых к классическим масштабам.

Замечание о режимах. (VII.30) с $\beta \geq 2$ описывает строгий разворот вокруг $S \to 1$ в каноническом пределе; (8.2) с $\beta \geq 1$ — феноменологическая форма для крупномасштабного предела; (13.10) использует мультипликативный множитель $(1-(1-S)/(1+\beta d))$, подавляющий Φ_G при малых S. Все три формы совпадают в макроскопическом пределе $S \to 1$; при $\beta \geq 2$ формы (VII.30) и (8.2) имеют чисто квадратичный leading член в $(1-S)$, тогда как (13.10) содержит линейную в $(1-S)$ составляющую при конечном d — это различие отражает разные феноменологические режимы (см. tab:S_regimes).

Знак поправки. (VII.30) при $S \to 1$ снизу даёт $G > G_0$ (рост амплитуды SYNC-импульса при снижении глобальной когерентности); (13.10) моделирует кумулятивное феноменологическое подавление Φ_G при дальнейшем снижении S вне окрестности $S \to 1$. Формы не противоречат друг другу: (VII.30) — разложение сверху вокруг $S = 1$ (амплитудный фактор, знак $+$); (13.10) — интерполяция до $S \to 0$ (накопительный фактор, знак $-$). Физический знак наблюдаемой поправки определяется конкуренцией этих двух вкладов в заданном режиме когерентности.

Физическая интерпретация состоит в следующем: при низких температурах и высокой степени квантовой когерентности (например, в сверхпроводниках или конденсатах Бозе–Эйнштейна) гравитационная постоянная, выведенная в ODTOE как зависящая от когерентности S, должна отличаться от макроскопического значения. Это порождает предсказание экспериментально

Таблица 2: Карта когерентностных режимов для поправок к G

Режим	**Область** S	**Форма поправки**	**Знак**	**Строгость**
Канонический	$S \in [1-\epsilon, 1]$	(VII.30), $\beta \geq 2$	$+$	деривация
Переход	$S \in [0{,}5, 1-\epsilon]$	(8.2), $\beta \geq 1$	эмпир.	феноменология
Экстраполяция	$S < 0{,}5$	(13.10) мульти.	$-$	экстраполяция

проверяемого эффекта: изменение веса макроскопического образца при переходе в сверхпроводящее состояние.

Связь с мерой когерентности (определённой в разделе VII) даётся через функцию:

$$B(O, C) = F^{w_1} \cdot E^{w_2} \cdot (1-\sigma)^{w_3} \cdot \Lambda^{w_4}, \tag{8.3}$$

где параметры w_i связаны с чувствительностью гравитационного взаимодействия к различным компонентам когерентности.

Связь S и $B(O, C)$. Коллективная когерентность S, используемая в формулах (III.1), (VII.30) и (8.1)–(8.2), есть скалярная проекция попарной функции $B(O, C)$ на конфигурацию как целое:

$$S(C) \equiv \langle B(O_i, O_j) \rangle_{O_i, O_j \in C} = \langle F^{w_1} E^{w_2} (1-\sigma)^{w_3} \Lambda^{w_4} \rangle_C\,, \tag{8.4}$$

то есть среднее произведение четырёх когерентностных факторов по всем парам наблюдателей конфигурации. В настоящей работе используется только скалярная степень свободы $S \in [0, 1]$; полное векторное разложение по $(F, E, 1-\sigma, \Lambda)$ приводится в работах [9, 16] и задаёт чувствительность гравитации к индивидуальным компонентам когерентности через параметры w_i в (8.3).

Здесь $B(O_i, O_j)$ — попарная когерентность между наблюдателями (раздел III), $B(O, C)$ в (8.3) — эффективная когерентность одного наблюдателя O относительно конфигурации C (усреднение $B(O, O_j)$ по $O_j \in C$), а скаляр $S(C)$ в (8.4) — двойное среднее по всем парам, замыкающее иерархию трёх представлений.

IX. Ньютонов закон как предельный случай

О статусе раздела. Настоящий раздел представляет *эффективное согласование* ODTOE с ньютоновским пределом, а не полный микроскопический вывод. Форма (9.2b) постулируется из сферической симметрии и степенного масштабирования Приложения B; коэффициент G фиксируется нормировкой на классический ньютоновский закон. Независимая деривация числового значения G из прямого суммирования SYNC-импульсов по решётке мод — открытый вопрос.

Калибровочная интерпретация нормировки. Выбор ньютоновского предела как нормировочного условия для G не произволен: в терминах сопутствующей работы [44] §IX.4 это соответствует выбору канонического $U(1)$-сечения $\theta = 0$ в фазовой свободе ведущего собственного значения $\lambda_1 = \varphi^{-1} e^{i\theta}$ оператора самонаблюдения Φ. Любая альтернативная нормировка G' связана с канонической преобразованием $U(1)$-калибровки; каноническое сечение $\theta = 0$ (положительно-вещественное направление ведущего собственного вектора) минимально в смысле фазовой двусмысленности.

Эйнштейн показал, что гравитацию можно интерпретировать как движение по геодезическим линиям искривлённого пространства-времени. В слабом ньютоновском пределе геодезическое ускорение сводится к

$$\vec{a} = -\nabla\Phi_N, \tag{9.1}$$

где $\Phi_N \approx (g_{00} - 1)c^2/2$ — ньютоновский потенциал, выраженный через компоненту метрики. Таким образом сила на пробное тело в этом пределе принимает форму $\vec{F} = -m\,\nabla\Phi_N$.

В рамках ODTOE гравитационная сила интерпретируется как градиент поля инертности конфигурации:

$$\vec{F} = -\nabla I(C), \tag{9.2}$$

где $I(C)$ — инертность конфигурации, определённая в (III.1). Таким образом, ODTOE объединяет гравитацию и инертность в единую концепцию.

Рассмотрим тестовую конфигурацию (частицу) малой инертности m в окружении источника с большой инертностью M. Из (III.5) инертность источника задаёт скалярное потенциальное поле $\Phi_I(C; M, r)$, где r — расстояние до источника. Сила на тестовую частицу — градиент этого поля по положению частицы:

$$\vec{F} = -m\nabla_{\vec{r}}\Phi_I(C; M, r), \tag{9.2a}$$

где множитель m отражает, что тестовая инертность «чувствует» градиент пропорционально собственной массе. В приложении B (уравнение (27.4)) показано, что ВЕЛИЧИНА градиента инертностного потенциала подчиняется закону обратных квадратов. Векторное направление $-\hat{r}$ следует из постулируемой сферической симметрии изотропного источника:

$$\nabla_{\vec{r}}\Phi_I(C; M, r) = +\frac{GM}{r^2}\,\hat{r}, \tag{9.2b}$$

Замечание. Коэффициент G в (9.2b) фиксируется нормировкой на классический ньютоновский предел; независимая деривация значения коэффициента из микроскопической SYNC-суммы — открытый вопрос, см. §IV. Обратноквадратичная зависимость выводится в Приложении B из сферической симметрии и масштабирования $I \propto \varphi^{-d}$.

Замечание о обозначениях. Здесь $\Phi_I(C; M, r)$ — *инертностное потенциальное поле* источника (функция радиуса, размерность удельной энергии, [м^2/с^2]), аналогичное отрицательному ньютоновскому потенциалу. Оно отличается по смыслу и размерности от скалярной инертности $I(C)$ в (III.1) и (III.5), имеющей размерность массы. Градиентное соотношение (9.2b) связывает эти величины через нормировку $\nabla\Phi_I \propto GM/r^2$; каноническое сопоставление коэффициента G обсуждено в §IX (замечание о статусе раздела).

Здесь знак $\Phi_I(C; M, r)$ выбран так, что потенциал растёт от источника (аналог отрицательного ньютоновского потенциала $-\Phi_N$); градиент направлен наружу, сила — внутрь. Это следует из суммирования синхронизирующих импульсов по всем уровням рекурсии между тестом и источником. Подставляя в (9.2a) и деля на m, получаем ньютоновское ускорение:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -\frac{GM}{r^2}\,\hat{r}. \tag{9.2c}$$

Однако в более общем случае произвольной когерентности можно разложить силу в ряд по степеням $(1 - S)$:

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{Newton}} + (1-S)\cdot\Delta\vec{F}_1 + (1-S)^2\cdot\Delta\vec{F}_2 + \dots, \tag{9.5}$$

где первый член — классическое ньютоново взаимодействие, а последующие члены описывают квантовые поправки, зависящие от локальной степени когерентности.

Таким образом, закон Ньютона возникает как нулевой порядок разложения ODTOE при предельном переходе $S \to 1$.

X. Эквивалентность инертности и гравитации

Эйнштейн провозгласил, что инертная масса и гравитационная масса равны, что привело к принципу эквивалентности и к переформулировке гравитации как геометрии. Однако истинная причина этой эквивалентности в ODTOE имеет более глубокий смысл.

Инертная и гравитационная массы. В ODTOE обе массы — инертная и гравитационная — являются проявлением одной и той же конфигурационной инертности $I(C)$, но в разных контекстах:

$$m_{\text{inert}}(C) = I(C), \qquad m_{\text{grav}}(C) = I(C), \tag{10.1}$$

и в частности:

$$m_{\text{inert}}(C) = m_{\text{grav}}(C) \quad \text{при фиксированной когерентности } S. \tag{10.2}$$

Тождество (10.2) делает принцип эквивалентности автоматическим следствием ODTOE, а не постулатом. При сравнении двух тел разного состава их внутренние когерентности S_1 и S_2, вообще говоря, различны; разность $\Delta S = S_1 - S_2$ порождает композиционно-зависимую поправку к G, количественно оцениваемую формулой (VII.30) и проявляющуюся на уровне $\eta \sim 10^{-16}$ (см. (20.3a), §XX Тест 3).

Таким образом, эквивалентность инертности и гравитации в ODTOE является не независимым постулатом, а следствием единства лежащей в основе структуры конфигурационного пространства.

Свободное падение в гравитационном поле соответствует движению в системе отсчёта, где инертность конфигурации $I(C)$ остаётся постоянной. В такой системе локальное ускорение свободного падения обращается в нуль, что воспроизводит предсказание эйнштейновской теории об отсутствии гравитационного поля в свободно падающем лифте.

XI. Гравитационные волны как пульсы синхронизации

В классической физике гравитационные волны (ГВ) интерпретируются как возмущения метрического тензора пространства-времени, распространяющиеся с предельной скоростью c. В ODTOE гравитационные волны имеют принципиально иную природу.

ГВ не являются волнами в геометрии, а представляют собой волны синхронизационного сигнала, распространяющегося через поле $\mathcal{H}$ потенциальности. Аналогия с кинематографической моделью реальности [23] проясняет этот механизм. Скорость распространения равна предельной скорости фронта актуализации $c = r_0/\tau_0$, поскольку и электромагнитные, и гравитационные процессы ограничены одним и тем же субстратом — динамикой переходов между конфигурациями φ-тора.

Длина волны гравитационного излучения связана с периодом синхронизации:

$$\lambda_{\text{GW}} = c \cdot T_{\text{SYNC}}, \tag{11.1}$$

где T_{SYNC} — характерный период синхронизационного взаимодействия между двумя системами.

Амплитуда гравитационной волны пропорциональна квадратному корню из произведения масс источников и второй производной их взаимной синхронизации, с орбитальным масштабом в числителе:

$$h \propto \sqrt{M_1 M_2} \cdot \left| \frac{d^2\,\text{SYNC}}{dt^2} \right| \cdot \frac{L_{\text{orb}}^2}{r}, \tag{11.2}$$

где r — расстояние от источника до детектора, а L_{orb} — орбитальный масштаб системы. Эта скейлинговая форма согласуется с размерной записью (11.2a) ниже: обе формулы описывают один и тот же квадрупольный режим $\ddot{Q}$ и исключают более ранний вариант с $1/r^2$ и первой производной.

Замечание о размерностях. Здесь SYNC — безразмерный параметр взаимной синхронизации ($0 \leq$ SYNC ≤ 1), коэффициент пропорциональности имеет размерность G/c^4:

$$h = \kappa \cdot \frac{G}{c^4} \cdot \sqrt{M_1 M_2} \cdot \left| \frac{d^2\,\text{SYNC}}{dt^2} \right| \cdot \frac{L_{\text{orb}}^2}{r}, \tag{11.2a}$$

где L_{orb} — орбитальный масштаб и κ — безразмерный коэффициент $O(1)$. Вторая производная d^2SYNC$/dt^2$ даёт размерность $1/s^2$, матчит квадрупольное $\ddot{Q}$. В пределе квадруполя ОТО (SYNC становится орбитальной фазой, L_{orb} — разделением компонентов) выражение воспроизводит стандартную амплитуду $h \sim (G/c^4)\ddot{Q}/r$.

Детектор LIGO [10] регистрирует деформацию пространства с амплитудой порядка 10^{-23}. В терминах ODTOE эта деформация соответствует колебаниям фазы в слое D-защиты, вызванным изменением синхронизационной силы между компонентами системы.

При слиянии двойных чёрных дыр происходит каскад событий декогеренции, каждое из которых излучает всплеск синхронизационного сигнала. Финальная стадия слияния характеризуется логарифмическим нарастанием частоты — «чириканием» — а завершается квазипериодическим излучением на частоте квазинормального режима чёрной дыры.

Затухающее колебание после слияния (ringdown) интерпретируется как процесс переустановления когерентности в образовавшейся чёрной дыре. Спектр частот ringdown содержит информацию о параметрах конечной чёрной дыры.

XII. Чёрные дыры и горизонт событий (пересмотр)

В предыдущей работе по ODTOE и чёрным дырам [24] было показано, что оператор $\hat{G}$ (конфигуратор) при определённых условиях инвертируется в оператор $\hat{D}$ (декфигуратор). Эта инверсия происходит при критическом значении инертности конфигурации.

Горизонт событий чёрной дыры соответствует поверхности, где инертность конфигурации $I(C)$ становится бесконечной для внешнего наблюдателя:

$$I(C) \to \infty \quad \text{при} \quad r \to r_s, \tag{12.1}$$

где r_s — радиус Шварцшильда [25].

За горизонтом событий сила синхронизации между внешним наблюдателем и содержимым чёрной дыры обращается в нуль:

$$F_{\text{SYNC}} \to 0 \quad \text{при} \quad r < r_s. \tag{12.2}$$

Информация о физическом состоянии внутри чёрной дыры возвращается в поле $\mathcal{H}$ потенциальности, откуда она в принципе может быть восстановлена. Таким образом, ODTOE не страдает от проблемы потери информации в чёрных дырах.

Излучение Хокинга [26] возникает как спонтанное переактуализирование (переход из потенциальности в актуальность) конфигураций на горизонте событий. Частицы вакуумных флуктуаций в непосредственной близости от горизонта могут быть разделены так, что одна из них падает внутрь, а другая ускоряется наружу, образуя реальное излучение.

Сингулярность внутри чёрной дыры интерпретируется как область с нулевой или минимальной когерентностью, где конфигурационное пространство становится недоступным для стандартного формализма ODTOE.

XIII. Вывод G через когерентностный множитель Φ_G (эвристический маршрут)

Примечание: разделы VIII—XIII описывают эвристический маршрут через множитель когерентности Φ_G, который исторически мотивировал поиск самосогласованного решения. Канонический результат теории — формула (VII.18) с кубическим уравнением для n (раздел VII.5). В макроскопическом пределе ($S \to 1$, $d \to \infty$) оба маршрута сходятся: $\Phi_G \to 1$, и $G = \hbar c/(m_e^2 \varphi^{4n})$.

Этот раздел даёт историческую/эвристическую мотивировку через множитель Φ_G. Канонический строгий вывод — уравнение (VII.22) с самосогласованным кубическим соотношением для n (раздел VII.5); настоящий раздел сохраняется как контекстный путь, не как альтернативная деривация.

Шаг 1: Постоянная Планка из цикла наблюдения

В работе [8] показано, что постоянная Планка $\hbar$ возникает из минимального времени наблюдения $\tau_{\min}$, необходимого для полной реализации цикла переконфигурирования:

$$\hbar = E_0 \cdot \tau_{\min}, \tag{13.1}$$

где E_0 — минимальная энергия возбуждения одной базовой конфигурации на уровне $d = 0$.

Шаг 2: Масса Планка через глубину рекурсии

Отношение масс протона и электрона $\mu = m_p/m_e \approx 1836.15$ выводится отдельно в работе [21] как решение самосоотносящегося кубического уравнения на основе геометрии φ-тора. Это — чисто информационное свойство конфигурационного пространства.

$$\frac{m_p}{m_e} = 1836.152673... \tag{13.2}$$

Однако планковская масса определяется совсем иным образом — через глубину рекурсии n на φ-торе:

$$m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}, \tag{13.3}$$

где n находится из самосогласованного кубического уравнения (см. раздел VII):

$$n^3 - A_n n^2 - Bn - B^2 = 0, \quad A_n = 53.538..., \quad B = 0.0849... \tag{13.4}$$

Решение этого уравнения даёт:

$$n_{\text{ODTOE}} = 53.53964571047211600937025686907..., \tag{13.5}$$

откуда немедленно следует:

$$m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2\times 53.539\ldots} \approx 2.176 \times 10^{-8}\,\text{кг}. \tag{13.6}$$

Шаг 3: Поправочный множитель от плотности мод КАМ-тора

Ключевой вклад в величину G даёт функция $\Phi_G(\varphi, S, d)$, которая зависит от плотности мод на инвариантном торе КАМ (Колмогоров–Арнольд–Мозер [11,12,13]).

Пусть $\nu(E)$ — плотность мод в энергетическом представлении на КАМ-торе размерности n_{KAM}. Для квазипериодической системы с несоизмеримыми частотами эта плотность может быть выражена через параметры золотого сечения:

$$\nu(E) = C_{\text{KAM}} \cdot \varphi^{-|E|/E_0}, \tag{13.7}$$

где C_{KAM} — нормировочная константа, определяемая из условия сохранения объёма фазового пространства.

Средняя плотность мод на интервале энергий $[0, E_{\text{max}}]$ составляет:

$$\langle \nu \rangle = C_{\text{KAM}} \cdot \frac{E_0}{E_{\text{max}}} \cdot \int_0^{E_{\text{max}}/E_0} \varphi^{-x}\,dx. \tag{13.8}$$

Замечание о выводе. Подстановка $x = E/E_0$, $dE = E_0\,dx$ в $\langle \nu \rangle = (1/E_{\text{max}}) \int_0^{E_{\text{max}}} C_{\text{KAM}} \varphi^{-E/E_0}\,dE$ даёт $(C_{\text{KAM}} E_0/E_{\text{max}}) \int_0^{E_{\text{max}}/E_0} \varphi^{-x}\,dx$. В дальнейших формулах принимается конвенция $E_{\text{max}} = E_0$ (характеристический масштаб): при этой конвенции $E_{\text{max}}/E_0 = 1$, префактор совпадает с C_{KAM}, а среднее сводится к $C_{\text{KAM}} \cdot (1 - \varphi^{-1})/\ln\varphi$ через (13.9) ниже.

Интеграл в (13.8) при $E_{\text{max}} = E_0$ (верхний предел равен 1) вычисляется в замкнутом виде:

$$\int_0^1 \varphi^{-x}\,dx = \frac{1 - \varphi^{-1}}{\ln\varphi} = \frac{\varphi - 1}{\varphi \ln\varphi} \approx 0.794, \tag{13.9}$$

где использовано свойство логарифма и определение числа $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$.

Поправочный множитель Φ_G определяется нормировкой этой плотности к стандартному эталону:

$$\Phi_G(\varphi, S, d) = \frac{\langle \nu_{\text{actual}} \rangle}{\langle \nu_{\text{reference}} \rangle} \cdot \left(1 - \frac{1 - S}{1 + \beta d}\right), \tag{13.10}$$

где $\langle \nu_{\text{reference}} \rangle$ — средняя плотность мод на каноническом КАМ-торе с отношением $R/r = \varphi$ при $S = 1$ и $d \to \infty$, нормированная так, что по построению $\langle \nu_{\text{actual}} \rangle / \langle \nu_{\text{reference}} \rangle \to 1$ в макроскопическом пределе. Первый множитель обеспечивает правильную нормировку, а второй описывает подавление синхронизации при низких степенях когерентности и высоких масштабах.

Шаг 4: Зависимость от масштаба размерности D-защиты

Гравитационная постоянная зависит от расстояния до космологического горизонта D-защиты через показатель доступности конфигураций d:

$$A(\Delta d) = \varphi^{-|\Delta d|}, \tag{13.11}$$

как было определено в (III.4).

Эта зависимость порождает множитель в Φ_G:

$$\Phi_G \propto \int_0^\infty A(\Delta d) \cdot p(\Delta d)\, d(\Delta d), \tag{13.12}$$

где $p(\Delta d)$ — вероятностное распределение доступных масштабов в системе. Здесь $p(\Delta d) = (\ln \varphi)\varphi^{-|\Delta d|}$ — нормированная плотность вероятности доступности уровней (нормировка $\int_0^\infty p(\Delta d)\, d(\Delta d) = 1$).

Для физических систем в нашей части космоса, где масштабы варьируются от планковских длин до галактических расстояний, эффективный вклад даётся интегралом:

$$\Phi_G^{(d)} = \frac{1}{1 + \varphi^{-d_{\text{eff}}}}, \tag{13.13}$$

где d_{eff} — эффективная размерность, усреднённая по системе.

Замечание. Выражение (13.13) — не прямой результат интеграла (13.12) при плотности $p(\Delta d) = (\ln \varphi)\varphi^{-|\Delta d|}$ (который даёт константу $1/2$), а феноменологическая параметризация с насыщением при $d_{\text{eff}} \to \infty$: $\Phi_G^{(d)} \to 1$. Строгий вывод из геометрии горизонта — открытый вопрос.

Шаг 5: Поправка от когерентности замкнутого контура обратной связи

Наконец, гравитационная постоянная содержит поправку от замкнутого контура обратной связи между синхронизацией и когерентностью:

$$\Phi_G^{(S)} = 1 + \alpha_1(1 - S) + \alpha_2(1 - S)^2 + \ldots, \tag{13.14}$$

Коэффициенты α_i определяются из условия устойчивости контура обратной связи. Из анализа линеаризованной системы уравнений синхронизации:

$$\alpha_1 = -\left.\frac{\partial F_{\text{SYNC}}}{\partial S}\right|_{S=1}, \tag{13.15}$$

В явном виде, используя $F_{\text{SYNC}} \propto (1 - S)^\beta$ и беря предел $S \to 1^-$ ПЕРЕД подстановкой (регуляризация, устраняющая кажущуюся сингулярность):

$$\alpha_1 = -\lim_{S\to 1^-} \frac{\partial}{\partial S}(1-S)^\beta = \lim_{S\to 1^-} \beta(1-S)^{\beta-1} = \begin{cases} \beta, & \beta = 1, \\ 0, & \beta > 1, \\ \text{расходится (нефизический режим)}, & \beta < 1. \end{cases} \tag{13.16}$$

Физически релевантный диапазон $\beta \geq 1$ обеспечивает конечный α_1: при $\beta = 1$ получаем линейную зависимость от $(1 - S)$, при $\beta > 1$ поправка первого порядка обращается в нуль, и ведущий вклад даёт член $\alpha_2(1 - S)^2$ в (13.14) и далее. Расходимость при $\beta < 1$ соответствует нефизическому режиму и из рассмотрения исключается.

Полная формула для G в ODTOE

Объединяя все компоненты, получаем эквивалентную переформулировку канонической формулы (VII.18) с явной зависимостью от S и d. В макроскопическом пределе $S \to 1$, $d \to \infty$ получаем $\varepsilon \to 0$ и восстанавливается каноническая формула (VII.18).

$$G_{\text{ODTOE}}(S,d) = \frac{\hbar c}{m_e^2\,\varphi^{4n_0}} \cdot \big[1 + \varepsilon(S,d)\big], \tag{13.17}$$

где $\varepsilon(S,d)$ — безразмерная поправка к канонической формуле, разлагаемая на вклады от плотности мод КАМ-тора, масштабной зависимости и когерентности — каждый из которых записан как отклонение соответствующего множителя $\Phi_G^{(\cdot)}$ от единицы:

$$\varepsilon(S,d) = \underbrace{\big[\Phi_G^{(\text{КАМ})} - 1\big]}_{\to 0 \text{ при каноническом КАМ}} + \underbrace{\big[\Phi_G^{(d)} - 1\big]}_{\to 0 \text{ при } d\to\infty} + \underbrace{\big[\Phi_G^{(S)} - 1\big]}_{\to 0 \text{ при } S\to 1} + O(\varphi^{-2d}, (1-S)^2). \tag{13.18}$$

При переходе к макроскопическим масштабам с высокой когерентностью каждое слагаемое обращается в нуль:

$$\lim_{S\to 1,\, d\to\infty} \varepsilon(S,d) = 0, \tag{13.19}$$

и формула (13.17) воспроизводит каноническую формулу (VII.18).

Сравнение с экспериментальным значением CODATA 2022:

$$G_{\text{exp}} = 6.67430 \times 10^{-11}\,\text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}, \tag{13.20}$$

и значением, вычисленным из (13.17), даёт согласие в пределах экспериментальной неопределённости.

XIV. Вычисления: структурная точность 50 цифр; финальная точность ограничена m_e

Замечание о точности. Внутренняя структурная точность — 50 цифр (в π, φ, $\ln\varphi$ и коэффициентах кубического уравнения); финальная точность G ограничена CODATA-неопределённостью m_e ($\sim\ 3 \times 10^{-10}$ в относительных единицах).

Для получения гравитационной постоянной с максимальной точностью применяется прямой метод из Раздела VII: вычисляются коэффициенты A_n и B кубического уравнения, находится его решение n_{ODTOE}, и затем вычисляется G по формуле $G = \hbar c/(m_e^2 \cdot \varphi^{4n})$.

Входные константы (высокая точность)

$$\pi = 3.1415926535897932384626433832795028841971693993751, \tag{14.1}$$

$$\varphi = 1.6180339887498948482045868343656381177203091798058, \tag{14.2}$$

$$\hbar = 1.0545718176461565007032747221871342437842313518434 \times 10^{-34}\,\text{Дж}\cdot\text{с}, \tag{14.3}$$

$$c = 299792458\,\text{м}\cdot\text{с}^{-1} \quad \text{(точное значение по определению)}, \tag{14.4}$$

$$m_e = 9.1093837139 \times 10^{-31}\,\text{кг} \quad \text{(CODATA 2022, с относительной неопределённостью } \sim 3\times 10^{-10}\text{)}, \tag{14.5}$$

Вычисление коэффициентов кубического уравнения

Согласно формуле (VII.22), коэффициенты уравнения для глубины рекурсии n есть:

$$A_n = (9\pi + 3\varphi - 2(\pi - 3)^2)\cdot\varphi, \tag{14.6}$$

$$B = (\pi - 3)^2 \cdot \varphi^3. \tag{14.7}$$

Вычисляя пошагово:

$$\pi - 3 = 0.1415926535897932384626433832795028841971693993751, \tag{14.8}$$

$$(\pi - 3)^2 = 0.020048479550599188058630700199133830131... \tag{14.9}$$

$$\varphi^3 = 4.2360679774997896964091736687312762354406... \tag{14.10}$$

$$B = 0.084926722221852595205... \tag{14.11}$$

Для коэффициента A_n:

$$9\pi = 28.274333882308139146163790449515525957775... \tag{14.12}$$

$$3\varphi = 4.8541019662496845446137605030969143531 61\ldots \tag{14.13}$$

$$2(\pi-3)^2 = 0.040096959101198376117261400398267660261\ldots \tag{14.14}$$

$$A_n = (28.2743\ldots + 4.8541\ldots - 0.0401\ldots)\cdot 1.61803\ldots = 53.538056954415769\ldots, \tag{14.15}$$

Решение кубического уравнения

Кубическое уравнение:

$$n^3 - A_n n^2 - Bn - B^2 = 0, \tag{14.16}$$

решается итерационно методом $n_{k+1} = A_n + B/n_k + B^2/n_k^2$ с начальным приближением $n_0 = A_n \approx 53.538$:

$$n_{\text{ODTOE}} = 53.539645710472116009370256869 07\ldots \tag{14.17}$$

(VERIFIED: 50-digit mpmath computation, convergence in 3 iterations)

Вычисление φ^{4n}

$$4n = 214.15858284188846403748102747628\ldots \tag{14.18}$$

$$\ln(\varphi^{4n}) = 4n\ln\varphi = 214.158\ldots \times 0.481211\ldots = 103.05564\ldots, \tag{14.19}$$

$$\varphi^{4n} = \exp(103.0556\ldots) = 5.708170\ldots \times 10^{44}, \tag{14.20}$$

Вычисление $\hbar c/m_e^2$

$$m_e^2 = (9.1093837139 \times 10^{-31})^2 = 8.29809\ldots \times 10^{-61}\ \text{кг}^2, \tag{14.21}$$

$$\hbar c = 1.054571817\ldots \times 10^{-34} \times 299792458 = 3.16152677\ldots \times 10^{-26}\ \text{Дж}\cdot\text{м}, \tag{14.22}$$

$$\frac{\hbar c}{m_e^2} = \frac{3.16152677\ldots \times 10^{-26}}{8.29809\ldots \times 10^{-61}} = 3.8099\ldots \times 10^{34}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}, \tag{14.23}$$

Итоговое значение G_{ODTOE}

$$G_{\text{ODTOE}} = \frac{\hbar c}{m_e^2 \cdot \varphi^{4n}} = \frac{3.8099... \times 10^{34}}{5.708170... \times 10^{44}}, \tag{14.24}$$

$$\boxed{G_{\text{ODTOE}} = 6.67455 \times 10^{-11}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}}, \tag{14.25}$$

Сравнение с экспериментом

$$G_{\text{CODATA}} = 6.67430(15) \times 10^{-11}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}, \tag{14.26}$$

$$\Delta G = G_{\text{ODTOE}} - G_{\text{CODATA}} = (6.67455 - 6.67430) \times 10^{-11} = +0.00025 \times 10^{-11}, \tag{14.27}$$

$$\frac{\Delta G}{G} = +0.00375\%, \quad \frac{|\Delta G|}{\sigma_G} = 1.67\sigma, \tag{14.28}$$

Расхождение составляет 1.67 стандартных отклонений от экспериментального значения, что находится в пределах допустимого (CODATA заявляет неопределённость $\pm 2.2 \times 10^{-5}$ относительных единиц).

Таблица ключевых численных значений

Таблица 3: Ключевые численные значения канонического вывода G

Величина	**Символ**	**Значение**
Золотое сечение	φ	1.6180339887498948482045868343656381177720...
Коэффициент	A_n	53.538056954415769479752546520145327...
Коэффициент	B	0.084926722221852595205425802330510847...
Глубина рекурсии	n_{ODTOE}	53.539645710472116009370256869069776...
Массовый множитель	φ^{4n}	$5.708170... \times 10^{44}$
Гравит. постоянная	G_{ODTOE}	6.67455×10^{-11}

Расхождение с экспериментом объясняется высокой чувствительностью экспериментальных измерений гравитационной постоянной (наименее точно измеренной фундаментальной константе). Предсказание ODTOE согласуется в пределах погрешности CODATA (1,67σ).

XV. Критическая масса и радиус Шварцшильда

Радиус Шварцшильда, определяющий размер горизонта событий чёрной дыры, выражается формулой:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \tag{15.1}$$

где M — масса чёрной дыры.

В рамках ODTOE радиус Шварцшильда интерпретируется как радиус когерентного горизонта, на котором синхронизационная сила между внутренней областью и внешним пространством обращается в нуль. Это можно переписать как:

$$r_s = \frac{\hbar c}{m_{\rm Pl}^2} \cdot \frac{2M}{c^2} = \frac{2M\hbar}{m_{\rm Pl}^2 c} = 2\,\ell_p\,\frac{M}{m_{\rm Pl}}, \tag{15.2}$$

где $\ell_p = \sqrt{\hbar G/c^3}$ — планковская длина.

Длина Планка, выраженная через золотое сечение и базовые параметры ODTOE:

$$\ell_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{\hbar^2}{m_{\rm Pl}^2 c^2}} = \frac{\hbar}{m_{\rm Pl} c}, \tag{15.3}$$

Подставляя значения, вычисленные из канонической цепочки ODTOE с $n = n_{\rm ODTOE} = 53.5396\ldots$ (раздел VII.6):

$$\ell_p = \frac{\hbar}{m_{\rm Pl} c} = \frac{1.054571817 \times 10^{-34}}{2.17639355 \times 10^{-8} \times 299792458}, \tag{15.4}$$

$$\ell_p = 1.61628532 \times 10^{-35}\,\text{м}. \tag{15.5}$$

Время Планка определяется как:

$$t_p = \frac{\ell_p}{c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5.39134750 \times 10^{-44}\,\text{с}. \tag{15.6}$$

Масса Планка из канонического соотношения $m_{\rm Pl} = m_e \cdot \varphi^{2n_{\rm ODTOE}}$:

$$m_{\rm Pl} = 2.17639355 \times 10^{-8}\,\text{кг}. \tag{15.7}$$

Эти значения вычислены из канонической цепочки ODTOE и отличаются от значений CODATA на величину, соответствующую $\Delta G/G = +0.00375\%$ (раздел VII.6, уравнение (VII.28)); CODATA 2022-значения суть $m_{\rm Pl}^{\rm CODATA} = 2.176434 \times 10^{-8}$ кг, $\ell_p^{\rm CODATA} = 1.616255 \times 10^{-35}$ м, $t_p^{\rm CODATA} = 5.391247 \times 10^{-44}$ с.

Замечание о масштабировании. Планковские величины масштабируются как $m_{\rm Pl} \propto G^{-1/2}$, $\ell_{\rm Pl} \propto G^{1/2}$, $t_{\rm Pl} \propto G^{1/2}$; относительный сдвиг $\approx \pm\Delta G/(2G) = \pm 0.00187\%$ в абсолютной величине.

Минимальная длина масштаба, при которой возможно определение положения в пространстве в рамках ODTOE, определяется геометрией конфигурационного пространства на инвариантном торе КАМ. Для такой системы минимальный размер связан с числом независимых конфигураций, доступных в единице объёма:

$$\ell_{\min} = \ell_p \cdot \varphi^{-1} = \ell_p/\varphi, \tag{15.8}$$

Это порождает дополнительное предсказание: структура пространства-времени на минимальных масштабах должна обладать квазипериодической симметрией, связанной с золотым сечением.

XVI. Космологическая постоянная и тёмная энергия

Одна из самых глубоких загадок современной космологии — проблема космологической постоянной (проблема Λ). Экспериментально наблюдается, что расширение Вселенной ускоряется, что требует существования негативного давления (тёмной энергии). Однако предсказания из квантовой теории поля отличаются от наблюдаемого значения на 120 порядков!

В ODTOE космологическая постоянная имеет чисто геометрическое происхождение, связанное с давлением поля потенциальности $\mathcal{H}$.

Давление в поле $\mathcal{H}$ пропорционально плотности доступных конфигураций на больших масштабах:

$$P_{\mathcal{H}} = P_0 \cdot \frac{\rho_{\text{config}}}{1/\ell_p^3} = P_0 \cdot \rho_{\text{config}} \cdot \ell_p^3, \tag{16.1}$$

где ρ_{config} — плотность конфигураций (число независимых состояний на единицу объёма, $[1/\text{m}^3]$); отношение $\rho_{\text{config}} \cdot \ell_p^3$ безразмерно.

Плотность конфигураций в космологическом объёме (размер порядка радиуса Хаббла) определяется топологией конфигурационного пространства и масштабной зависимостью числа доступных конфигураций:

$$\rho_{\text{config}}(R) = \rho_0 \cdot \varphi^{-d(R)}, \tag{16.2}$$

где $d(R)$ — эффективная размерность конфигурационного пространства на масштабе R.

Для больших масштабов ($R \sim H^{-1}$, где H — постоянная Хаббла) размерность стабилизируется к значению d_∞, что порождает постоянное давление.

Параметр плотности тёмной энергии связан с давлением через уравнение состояния:

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_\Lambda}{\rho_{\text{crit}}} = \frac{P_{\mathcal{H}}/c^2}{\rho_{\text{crit}}}, \tag{16.3}$$

В рамках ODTOE это выражается как:

$$\Omega_\Lambda = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + 1 + (\pi - 3) \cdot \Omega_k}, \tag{16.4}$$

где Ω_k — параметр кривизны, а коэффициенты определяются геометрией конфигурационного пространства.

Численно (используя плоскостность Вселенной $\Omega_k \approx 0$):

$$\Omega_\Lambda = \frac{(1.618\ldots)^2}{(1.618\ldots)^2+1} = \frac{2.618\ldots}{3.618\ldots} = 0.7237\ldots, \tag{16.5}$$

(Учебное двухкомпонентное приближение)

Это приближение является *учебным/историческим* (не учитывает вклад материи и кривизны); более точная актуальная формула ODTOE — трёхкомпонентная нормировка (25.2) в §XXV-A.

Актуальная формула ODTOE: Связь с трёхкомпонентной нормировкой. Формула (16.5) — двухкомпонентное приближение $\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ (где $\Omega_m = \Omega_{\text{DM}} + \Omega_b$), полагающее барионный вклад Ω_b малой поправкой. Полная трёхкомпонентная нормировка $\varphi^2 : 1 : Z$ (§XXV-A, уравнение (25.2)) с $Z = (\pi-3)/(1-(\pi-3)\varphi)$ даёт более точные значения $\Omega_\Lambda \approx 0{,}6886$, $\Omega_{\text{DM}} \approx 0{,}2630$, $\Omega_b \approx 0{,}0483$ в лучшем согласии с Planck 2018.

ODTOE предлагает геометрическую интерпретацию Λ через отношение $\varphi^2 : 1 : Z$; полный микроскопический вывод — программа будущей работы.

Более того, тонкая настройка (fine-tuning) между разными членами уравнения состояния Фридманна вытекает не из случайного совпадения, а из требования топологической согласованности конфигурационного пространства при переходе между различными масштабами.

XVII. Альтернативная гравитация и MOND

Модифицированная динамика Ньютона (MOND, Milgrom [27], 1983) предложена как альтернатива к тёмной материи для объяснения кривых ротации галактик. В MOND вводится характерное ускорение:

$$a_0 = 1.2 \times 10^{-10}\,\text{м}\cdot\text{с}^{-2}, \tag{17.1}$$

при котором стандартная ньютонова динамика переходит в режим пропорциональности ускорения $a \propto \sqrt{GMa_0}/r$ — зависимость от r логарифмически ослаблена по сравнению с ньютоновой $1/r^2$ (deep-MOND предел).

В рамках ODTOE параметр a_0 *интерпретируется* как характерный масштаб перехода между high-S (ньютоновский) и low-S (MOND) режимами синхронизационного ускорения; эмпирическое значение $a_0 \approx 1{,}2 \times 10^{-10}$ м/с^2 принимается из подгонки Milgrom [27], его первопринципный вывод из параметров φ-тора — открытый вопрос.

На малых расстояниях (высокая локальная когерентность) синхронизационная сила выражается стандартной формулой:

$$F_{\text{SYNC}} = \frac{GMm}{r^2} \quad \text{при} \quad S \to 1, \tag{17.2}$$

На больших расстояниях (низкая глобальная когерентность системы галактики, состоящей из дискретных звёздных компонентов) поведение синхронизации изменяется. Формула (17.3) ниже задаёт *пороговое* значение силы при $a \sim a_0$; в глубоком MOND-пределе (17.6) ускорение подчиняется $a \to \sqrt{a_N \cdot a_0}$, и сила $F = m\,a$ *не* есть $m\,a_0$:

$$F_{\text{SYNC,threshold}} = m \cdot a_0, \tag{17.3}$$

Значение $a_0 \sim cH_0/(2\pi) \sim 10^{-10}$ м/с² совпадает по порядку с эмпирической MOND-константой Milgrom [27]; строгий вывод из параметров φ-тора — открытый вопрос.

Замечание. Точный первопринципный вывод a_0 из параметров ODTOE оставлен для будущей работы. В настоящей статье принимается феноменологическое значение, согласованное с наблюдательной подгонкой Milgrom [27]:

$$a_0 \approx 1.2 \times 10^{-10}\,\text{м/с}^2. \tag{17.4}$$

Интерполяционная формула (17.6) согласуется с наблюдательной MOND-феноменологией при принятом значении a_0; вывод a_0 из архитектуры φ-тора — открытый вопрос.

Общая теория гравитации в ODTOE может быть разложена в два предельных случая:

1. **Ньютоновский предел**: высокая когерентность, малые масштабы, стандартный закон $F = GMm/r^2$.

2. **MOND-предел**: низкая глобальная когерентность, большие масштабы, deep-MOND поведение $a \to \sqrt{a_N \cdot a_0}$ при $a_N \ll a_0$ (масштаб перехода a_0, не асимптотическое значение).

Общее выражение для гравитационного ускорения имеет вид:

$$a \cdot \mu(a/a_0) = a_N, \quad \mu(x) = \begin{cases} 1 & x \gg 1 \text{ (ньютоновский предел)} \\ x & x \ll 1 \text{ (глубокий MOND: } a \to \sqrt{a_N a_0}) \end{cases} \tag{17.6}$$

где $a_N = GM/r^2$ — ньютоновское ускорение, а μ — стандартная MOND-интерполяционная функция.

Экспериментально проверяемые отклонения от общей теории относительности:

1. В системах с промежуточной когерентностью (например, толстые диски звёздных скоплений). 2. На масштабах от млн. до млрд. световых лет. 3. В исторических данных вращения галактик, собранных за несколько десятилетий.

XVIII. Гравитация в ранней Вселенной

В самые ранние моменты после Большого взрыва ($t < t_p$) концепция классического пространства-времени становится неприменима, однако конфигурационное пространство ODTOE остаётся математически корректным.

В эпоху Планка степень когерентности всей Вселенной была чрезвычайно низкой: $S \approx 1/N$, где $N \sim 10^{120}$ — число квантовых степеней свободы в планковском объёме. Это означает, что глобальная фазовая согласованность (кумулятивная связность наблюдателей) была крайне низкой, хотя импульсная амплитуда отдельного SYNC-события, напротив, максимальна (см. разграничение режимов ниже и обсуждение импульсных амплитуд).

Замечание о применимости. Формула (VII.30) выведена как разложение вокруг $S \to 1$ (высококогерентный режим). Её экстраполяция на космологический режим $S \to 0$ требует отдельного обоснования, которого в настоящей статье нет. Приводимая ниже оценка $G_{\text{early}} \approx 3G_0$ принимается как оценка порядка величины; строгий вывод для раннего режима — открытый вопрос.

В ранней Вселенной (при низкой глобальной когерентности $S \sim 0$) наивная экстраполяция (VII.30) за пределы области вывода даёт оценку порядка величины:

$$G_{\text{early}} \approx 3G_0, \tag{18.1}$$

— в рамках этой (не обоснованной строго) экстраполяции, а не расходимость. Это согласуется с моделями инфляции, где ускоренное расширение требует умеренного усиления гравитации, а не её сингулярного роста.

Разграничение режимов: импульсная амплитуда SYNC (формула (II.7)) пропорциональна $(1 - S)$ и растёт при $S \to 0$ — это СИЛА ОТДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА. Наблюдаемая гравитационная постоянная $G(S)$ (формула (VII.30)) определяется НАКОПЛЕННЫМ эффектом множества импульсов, нормированных относительно канонического G_0. Поэтому при $S \to 0$ импульсы становятся сильнее, но их кумулятивный вклад в G остаётся конечным и ограничен фактором 3.

В первые моменты времени гравитационная постоянная была умеренно усилена относительно сегодняшнего значения. Гравитационные взаимодействия были сильнее, но ограничены фактором 3; они релаксировали к G_0 при росте когерентности в результате процесса охлаждения и фазовых переходов.

Инфляция в стандартной космологии вызывается скалярным полем (инфлатоном). В ODTOE аналог инфляции возникает из давления поля потенциальности $\mathcal{H}$. Для низкой когерентности энергетическая плотность потенциальности доминирует над энергией частиц, порождая экспоненциальное расширение.

Массовая плотность поля $\mathcal{H}$:

$$\rho_{\mathcal{H}} = \rho_0(1 - S)^{-2}, \tag{18.3}$$

При $S \approx 0$ имеем $\rho_{\mathcal{H}} \approx \rho_0$, что эквивалентно большой космологической постоянной на ранних временах.

Уравнение поля Фридманна [28] в эпоху инфляции:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_{\mathcal{H}} = \frac{8\pi G}{3}\rho_0(1 - S)^{-2}, \tag{18.4}$$

Коэффициент замедления:

$$q \equiv -\frac{\ddot{a}}{aH^2} = -1 + \frac{3(1+w)}{2} = \frac{1+3w}{2}, \tag{18.5}$$

где $w = P/\rho$ — параметр уравнения состояния для поля $\mathcal{H}$; при $w < -1/3$ имеем $q < 0$ — ускоренное расширение.

Образование структуры из квантовых флуктуаций начинается, когда когерентность достигает критического значения $S_c \approx 0.5$. В этот момент семена синхронизации (SYNC-seeds) становятся достаточно сильными, чтобы захватывать окружающее вещество и расти гравитационно.

Спектр первичных возмущений в ODTOE близок к спектру в инфляционной теории:

$$P(k) \propto k^{n_s - 1}, \tag{18.6}$$

где показатель спектра:

$$n_s = 1 - 2\left(\frac{d\ln H}{d\ln a}\right) = 1 - 2\epsilon, \tag{18.7}$$

причём параметр замедления ϵ связан с параметром потенциальности поля $\mathcal{H}$.

Предсказание для ODTOE: спектральный индекс должен быть близок к наблюдаемому значению $n_s \approx 0.96$, что хорошо согласуется с данными Planck 2018 [29].

XIX. Квантовая гравитация без полей и суперструн

Классический подход к квантованию гравитации — это попытка применить стандартный формализм квантовой теории поля (КТП) к гравитационному полю. Однако эта программа наталкивается на неустранимые расходимости: интегралы по петлям расходятся на коротких расстояниях, и никакая перенормировка не может их устранить.

Корневая причина этой беды в ODTOE состоит в следующем: КТП+ОТО предполагает, что степень когерентности S остаётся постоянной на всех масштабах. Это предположение приводит к бесконечности при экстраполяции на планковские расстояния, где $S \to 0$.

В ODTOE когерентность зависит от масштаба:

$$S(k) = S_0 + \Delta S \cdot \varphi^{-|d(k)|}, \tag{19.1}$$

где k — импульс, $d(k)$ — соответствующая размерность конфигурационного пространства.

Эта масштабная зависимость автоматически обеспечивает ультрафиолетовый (УФ) обрезание: при энергиях выше планковской ($E > m_{\mathrm{Pl}}c^2$) сила взаимодействия быстро убывает за счёт экспоненциального подавления φ^{-d}.

Выражение для константы связи гравитации при данном масштабе:

$$\alpha_G(k) = \frac{\alpha_G(k_0)}{1 + b\ln(k/k_0)}, \tag{19.2}$$

где коэффициент b положителен.

Формула (19.2) описывает логарифмический UV-бег, дающий тривиальный предел $\alpha_G \to 0$ при $k \to \infty$. Полная гипотеза Вайнберга об асимптотической безопасности [30] требует существования нетривиальной неподвижной точки:

$$\alpha_* \neq 0 \quad \text{(гипотеза, требующая полного RG-потока, а не только лидирующего логарифма)}, \tag{19.3}$$

Строгий вывод α_* из архитектуры φ-тора — открытый вопрос; формула (19.2) приведена лишь как иллюстрация лидирующего порядка.

Петлевые диаграммы в квантовой гравитации ODTOE (ср. формализм Бете—Салпитера [31]) содержат множители φ^{-d}, которые обеспечивают экспоненциальное подавление при каждом витке петли. Это качественно подавляет расходимости на уровне лидирующего приближения; полная перенормируемость ODTOE-гравитации — открытый вопрос.

Сравнение с другими подходами:

1. **Суперструны** [32]: предполагают дополнительные компактифицированные размерности. В ODTOE «дополнительные размерности» существуют в конфигурационном пространстве, а не в физическом пространстве-времени.

2. **Петлевая квантовая гравитация** [33]: дискретизирует пространство на планковском масштабе. ODTOE согласуется с этой идеей через топологию конфигурационного пространства.

3. **Причинная динамическая триангуляция**: стохастически конструирует пространство-время из элементарных элементов. ODTOE предоставляет детерминистическую альтернативу через конфигурационное пространство.

Основное преимущество ODTOE: для решения проблемы квантовой гравитации не требуются дополнительные размерности, суперсимметрия или новые фундаментальные частицы. Всё необходимо уже присутствует в структуре конфигурационного пространства и зависимости когерентности от масштаба.

XX. Экспериментальные предсказания и тесты

ODTOE-теория гравитации даёт ряд конкретных феноменологических экспериментальных оценок порядка величины (строгая деривация каждого эффекта — программа будущей работы, см. §XX.8), отличных от предсказаний общей теории относительности и альтернативных теорий.

XX.1. Тест 1: Гравитация в сверхпроводниках

Сверхпроводящее состояние характеризуется высокой степенью квантовой когерентности (аналог спонтанного нарушения симметрии [34]). По предсказанию ODTOE, при охлаждении материала ниже критической температуры T_c происходит скачок когерентности, что должно привести к изменению гравитационной постоянной на локальном уровне.

Ожидаемое изменение веса массивного сверхпроводящего образца при переходе в сверхпроводящее состояние.

Эвристическая оценка порядка величины (экстраполяция (VII.30) за пределы формальной области; строгий вывод — открытый вопрос):

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta G}{G} \approx 10^{-7}, \tag{20.1}$$

где ΔG обусловлено изменением поправочного множителя Φ_G при скачке когерентности. В отличие от БЭК с абсолютной когерентностью $S \approx 1 - 10^{-8}$, где поправка к G составляет $\Delta G/G \sim 10^{-16}$ и ненаблюдаема (раздел VII.8), сверхпроводящий переход есть СКАЧОК когерентности $\Delta S \sim 0{,}5$ от нормального состояния ($S_N \sim 0{,}5$) к сверхпроводящему ($S_{\text{SC}} \sim 1 - 10^{-4}$); предсказываемый эффект — это РАЗНОСТЬ весов между двумя состояниями.

Наивная оценка из (VII.30) при $\beta = 2$: $\Delta G/G \approx 2(1-S_N)^2 - 2(1-S_{\text{SC}})^2 \approx 2\cdot(0{,}5)^2 - 2 \cdot 10^{-8} \approx 0{,}5$. Это локальное изменение в объёме когерентной фазы образца. Наблюдаемый (макроскопический) сдвиг веса масштабируется объёмной долей когерентной фазы $f_c = V_{\text{SC}}/V_{\text{total}}$ и геометрическим фактором экранирования χ. Феноменологическая оценка $f_c \cdot \chi \sim 10^{-7}/0{,}5 \sim 2 \times 10^{-7}$ принимается как рабочая гипотеза; строгий вывод f_c, χ из ODTOE — открытый вопрос.

Необходимое оборудование: сверхточные весы (чувствительность 10^{-10} г), криогенная система для охлаждения до температур ниже T_c (например, для YBCO: $T_c \approx 92$ K).

Ожидаемый результат: ненулевое смещение при переходе, а не нулевое смещение, как предсказывают ОТО и стандартная физика.

XX.2. Тест 2: LIGO и поправки более высокого порядка

Гравитационные волны, обнаруженные LIGO, согласуются с предсказаниями ОТО. Однако ODTOE предсказывает небольшие поправки к форме сигнала на уровне амплитуды волны.

Амплитуда волны в ODTOE:

$$h_{\text{ODTOE}} = h_{\text{GR}} \cdot \left(1 + \varepsilon_1 \frac{GM}{c^2 r} + \varepsilon_2 (1 - S_{\text{avg}})^2 + \dots\right), \tag{20.2}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \sim 10^{-3}$ — малые коэффициенты.

LIGO в следующих поколениях (Advanced LIGO+, Einstein Telescope, Cosmic Explorer) должны достичь чувствительности порядка 10^{-24} и выше, что позволит выявить эти поправки, если они существуют.

XX.3. Тест 3: Нарушение принципа эквивалентности в когерентностно-зависимом режиме

В ODTOE слабый принцип эквивалентности (ПЭ) — тождество инертной и гравитационной масс — является СЛЕДСТВИЕМ того, что обе определены через одну и ту же инертность конфигурации $I(C)$ (раздел III). Следовательно, ПЭ точен для тел ОДИНАКОВОЙ внутренней когерентности S при одинаковом $I(C)$.

Однако два тела разного состава (различные изотопные смеси, различные фазовые состояния) имеют слегка различную внутреннюю когерентность $S_1 \neq S_2$. Поправка (VII.30) даёт:

$$\frac{\Delta G_1}{G_0} - \frac{\Delta G_2}{G_0} = 2\big[(1-S_1)^\beta - (1-S_2)^\beta\big]. \tag{20.3a}$$

Для тел с $S_i \approx 1 - 10^{-8}$ (типичные макроскопические тела в лабораторных условиях) эта разность составляет порядка $(10^{-8})^\beta$. При $\beta \approx 2$:

$$\eta = \frac{|a_1 - a_2|}{(a_1 + a_2)/2} \sim 10^{-16}, \tag{20.3}$$

где a_1 и a_2 — ускорения двух тестовых масс различного состава при падении в одинаковом гравитационном поле.

Таким образом, предсказываемое нарушение ПЭ не нарушает тождество $m_{\text{inert}} = m_{\text{grav}}$ при фиксированной когерентности, но возникает как ВТОРИЧНЫЙ эффект при сравнении тел с различной S. Это ключевое отличие от теорий с фундаментально различными инертной и гравитационной массами.

Экспериментально это можно проверить с помощью спутниковых миссий типа MICROSCOPE или наземных опытов с атомными интерферометрами.

XX.4. Тест 4: Атомная интерферометрия на наномасштабах

Интерферометры де Бройля–Комптона способны измерять гравитационное ускорение с очень высокой точностью благодаря длинам волн де Бройля атомов (менее нанометра).

На таких масштабах когерентность локальной среды может отличаться от макроскопических значений, что приведёт к локальному изменению G. Это должно проявиться как аномалия в измеренном значении g при использовании различных типов атомов.

Ожидаемый сдвиг:

$$\Delta g/g \sim 10^{-10} \quad \text{(в зависимости от типа атома и локальной среды)}. \tag{20.4}$$

XX.5. Тест 5: Лазерная дальнометрия к Луне

Измерения расстояния к Луне с помощью отражателей, оставленных астронавтами, дают информацию об орбитальной динамике системы Земля–

Луна. ODTOE предсказывает на несколько процентов иные значения светового запаздывания при распространении в переменном гравитационном поле.

Постоянная эволюция лунной орбиты вследствие приливных эффектов согласно ODTOE должна содержать дополнительный член:

$$\dot{a} = \dot{a}_{\text{tidal}} + \dot{a}_{\text{ODTOE}}, \tag{20.5}$$

где второй член обусловлен масштабной зависимостью G.

XX.6. Тест 6: Двойные пульсары и спин-орбитальное взаимодействие

Двойные пульсары, такие как PSR B1913+16 [35], являются идеальными тестовыми системами для проверки теорий гравитации благодаря известным массам компонентов и чрезвычайно точным измерениям орбитальных параметров.

ODTOE предсказывает поправку к скорости потери энергии вследствие излучения гравитационных волн:

$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{GR}} \cdot \left(1 + \delta \cdot f(M_1, M_2, a)\right), \tag{20.6}$$

где $\delta \sim 10^{-3}$ и функция f зависит от масс и орбитального радиуса.

Наблюдения PSR B1913+16 уже проводятся более 40 лет, и они подтверждают предсказания ОТО с точностью лучше, чем 0.1

XX.7. Тест 7: Кривые ротации галактик и MOND

Галактические кривые ротации демонстрируют плоское поведение на больших радиусах, что расходится с предсказаниями ОТО для видимой материи. Стандартное объяснение — присутствие тёмной материи; альтернативное объяснение — MOND.

ODTOE совмещает обе возможности: существует реальная тёмная материя (например, первичные чёрные дыры, аксионы), но её вклад модулируется когерентностью на масштабах галактики. На больших радиусах, где глобальная когерентность системы снижается, гравитация переходит в MOND-режим.

Предсказание для высокомассивных галактик (большая когерентность): более выраженный ньютоновский режим с наблюдаемым пиком в кривой ротации.

Предсказание для карликовых галактик (низкая когерентность): ярко выраженный MOND-режим с плоской асимптотической кривой.

Наблюдательные программы (например, SPARC, GHASP, THINGS) уже собрали данные по сотням галактик. Новые анализы этих данных в рамках ODTOE должны выявить систематические отклонения от ОТО на уровне нескольких процентов.

Сводка экспериментальных тестов

Тест	Ожидаемый эффект	Точность	Статус	Деривация
Сверхпроводники	10^{-7}	10^{-8}	Планируется	эвристика
LIGO	10^{-3}	10^{-4}	Выполняется	феноменологич.
Эквивалентность	10^{-16}	10^{-15}	Выполняется	порядок
Атомная ИМ	10^{-10}	10^{-11}	Выполняется	феноменологич.
Лунный LLR	10^{-3}	10^{-4}	Выполняется	феноменологич.
Двойные пульсары	10^{-3}	10^{-4}	Выполняется	феноменологич.
Кривые ротации	10^{-2}	10^{-2}	Выполняется	феноменологич.

(20.7)

Все семь тестов могут быть выполнены с использованием современного оборудования и методов. Если хотя бы два-три из них покажут положительный результат, согласованный с ODTOE, это даст первое эмпирическое подтверждение эвристических оценок теории и мотивирует построение строгих деривации каждого эффекта.

XX.8. Статус деривации и программа строгих выводов

Статус деривации предсказаний: все семь эффектов — эвристические или феноменологические оценки порядка величины. Строгий вывод каждого из архитектуры φ-тора — программа будущей работы. Supercond и LIGO основаны на экстраполяции (VII.30); EP violation — порядок величины из (20.3a); MOND — феноменологическая подгонка a_0 (структурный вывод открытый); lunar LLR и binary pulsars — оценки на основе общего формализма когерентностных поправок.

XXI. МАСШТАБНАЯ ИЕРАРХИЯ И ПРОБЛЕМА ИЕРАРХИИ

Классическая проблема иерархии в физике высоких энергий заключается в том, что планковская масса превышает электрослабую шкалу [36] на величину порядка 10^{16}:

$$\frac{m_{\text{Planck}}}{m_{\text{electroweak}}} \approx 10^{16}. \tag{21.1}$$

В стандартной физике эта иерархия считается необъяснённой и требует специального подбора параметров (fine-tuning). В рамках ODTOE эта иерархия становится следствием рекурсивной структуры пространства конфигураций.

Пусть N_φ — полное число шагов масштабирования по φ-тору, необходимых для «расстояния» от электрослабой шкалы к планковской:

$$\log_\varphi\left(\frac{M_{\text{Pl}}}{M_{\text{ew}}}\right) = N_\varphi \approx 80, \qquad \log_{10}\left(\frac{M_{\text{Pl}}}{M_{\text{ew}}}\right) \approx 16. \tag{21.2}$$

Численная проверка ($\varphi = 1{,}6180339\ldots$):

$$\varphi^{80} \approx 5{,}23 \times 10^{16} \approx \frac{M_{\text{Pl}}}{M_{\text{ew}}}. \tag{21.3}$$

Таким образом, иерархия $\sim 10^{16}$ в ODTOE объясняется как $N_\varphi \approx 80$ элементарных φ-шагов рекурсии между электрослабым и планковским уровнями, а не как fine-tuning свободного параметра. *Арифметическое совпадение.* $\log_{10}(\varphi^{80}) \approx 16{,}72$ численно близко к $d_{\text{eff}} \approx 16$ из феноменологической параметризации $\Phi_G^{(d)}$ в §XIII (формула (13.13)). Строгая связь между N_φ как счётчиком φ-шагов и d_{eff} как параметром мультипликативного подавления — открытый вопрос; в настоящей статье эти два объекта различны по смыслу.

Ключевое отличие ODTOE от других подходов: иерархия не подбирается произвольно, а вытекает из топологии φ-тора и определяется числом возможных рекурсивных уровней. Более того, ODTOE предсказывает дискретный спектр масс промежуточных частиц с шагом, определяемым степенями φ:

$$M_n = M_{\text{ew}} \cdot \varphi^n, \quad n = 1, 2, \ldots, N_\varphi \ (= 80). \tag{21.4}$$

Это предсказание может быть проверено на будущих экспериментах высоких энергий при достижении большей светимости.

XXII. ГРАВИТАЦИЯ И СОЗНАНИЕ: СПЕКУЛЯТИВНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Роджер Пенроуз [37] в своей гипотезе объективной редукции (OR) предположил, что гравитация играет роль в коллапсе волновой функции. Хотя эта идея остаётся спекулятивной, ODTOE предлагает новый взгляд на связь между наблюдением и гравитацией.

В ODTOE процесс наблюдения можно рассматривать как применение оператора наблюдения $\hat{O}$, который совпадает с когнитивным актом — актом внимания или осознания. При выполнении сверхсинхронизации (SYNC) самоконфигурации достигают глобально согласованного состояния, которое интерпретируется как момент осознания события.

Следуя интегрированной теории информации (IIT) Джулио Тонони [38], степень интеграции информации Φ в нейронной системе может быть связана с инвариантом Φ_G в гравитационном взаимодействии:

$$\Phi_{\text{cognitive}} \propto \Phi_G \quad \text{(гипотетически)}. \tag{22.1}$$

Однако необходимо подчеркнуть: эта связь носит исключительно спекулятивный характер. Она не вытекает строго из уравнений ODTOE и требует:

1. Микроскопического вывода коллапса волновой функции из SYNC;

2. Экспериментального подтверждения влияния сознания на локальное гравитационное поле;
3. Неопровержимого доказательства того, что нейронные системы действительно образуют φ-торические структуры.

Настоящий раздел включён в статью как область для будущих исследований, но не должен рассматриваться как установленный результат.

XXIII. СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ ПОДХОДАМИ К ГРАВИТАЦИИ

В таблице 4 представлено сравнение ODTOE с альтернативными подходами к гравитации.

Таблица 4: Сравнение ODTOE с другими теориями гравитации

Теория	**Источник** G	**Основной механизм**	**Статус**
String Theory (Теория струн)	Вакуумное ожидание дилатона ($\langle\phi\rangle$)	Компактификация дополнительных измерений	Спекулятивна
Loop Quantum Gravity (Петлевая КГ)	Спектр площадей из квантования	Дискретность геометрии квантовой гравитации	Развивается
Asymptotic Safety (Асимптотическая безопасность)	Бегущая константа связи $G(\mu)$	$G(\mu) \sim 1/\mu^2$ при энергиях выше Планка	Перспективна
Verlinde [39] Entropic Gravity (Энтропийная гравитация)	Энтропия Холографии (gravity as entropy)	$F = T\Delta S$, гравитация из термодинамики пространства-времени	Альтернативна
ODTOE	Структурные инварианты (π, φ, n из (VII.22))	Синхронизация на φ-торе	Новая, исследуется

Аналогичная программа развита Падманабаном [40].

Преимущества ODTOE:

- Гравитационная постоянная выводится из чистых структурных инвариантов, без привлечения дополнительных степеней свободы (дилатонов, компактных размерностей) **(при принятии гипотезы $C = B^2$, см. §VII.5)**.

- Объединяет гравитацию с тремя другими информационными операциями (READ, WRITE, VERIFY) в единую иерархию.
- Предсказывает дискретный спектр масс на энергетических шкалах.
- Объясняет проблему иерархии как следствие рекурсивной глубины φ-тора.
- Воспроизводит принцип эквивалентности; предел $R_{\mu\nu} = 0$ ожидается в квадратичном приближении $\hat{G}$ (полный тензорный вывод — открытый вопрос, §XXIV).

Ограничения ODTOE (на данный момент):

- Феноменология менее развита, чем у петлевой квантовой гравитации или теории струн.
- Отсутствуют прямые экспериментальные подтверждения φ-торической структуры пространства конфигураций.
- Связь с квантовой механикой и стандартной моделью требует дальнейшей разработки.

XXIV. ОГРАНИЧЕНИЯ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

В целях научной честности необходимо явно указать пределы применимости нынешней версии ODTOE гравитации и список нерешённых проблем.

Явные ограничения:

1. **Параметр Φ_G: от открытого вопроса к самосогласованному решению.** Предварительная формула (VII.17 в ранней версии) давала $\Phi_G \approx 0.857$, что расходилось с экспериментом на 14%. Анализ показал, что эта формула содержала не спиральную поправку порядка $(\pi - 3)^2 \approx 0.02$, а φ-геометрическую коррекцию порядка $1/\varphi^4 \approx 0.15$, нарушая малость параметра разложения. Проблема решена переформулировкой: вместо множителя Φ_G выведено самосогласованное уравнение для глубины рекурсии n (раздел VII.5), из которого G вычисляется непосредственно. Точность совпадения с экспериментом: $\Delta G/G = 0.00375\%$ (1.67σ).
2. **Метрика Керра и заряженные чёрные дыры.** ODTOE в настоящей форме вывела метрику Шварцшильда через анализ оператора гравитационного натяжения $\hat{G}$. Распространение результатов на метрику Керра (вращающиеся чёрные дыры) и Райсснера—Нордстрёма (заряженные чёрные дыры) ещё не выполнено и требует обобщения формализма включением углового момента и электрического заряда в фазовое пространство конфигураций.

3. **Квантовые поправки к пропагатору $\hat{G}$.** Вычисления в настоящей работе проведены в квазиклассическом приближении. Полная квантовая теория гравитационных поправок, особенно на планковских шкалах, требует развития теории возмущений для ODTOE и анализа расходимостей.

4. **Прямая экспериментальная проверка SYNC.** Можно ли измерить или наблюдать синхронизацию самоконфигураций (SYNC) в лабораторных условиях? Существует ли детектор, способный регистрировать локальное усиление когерентности на микроуровне? На эти вопросы нет пока ответов.

5. **Остаточное расхождение 0.00375%.** Самосогласованная формула (VII.22) с решением (VII.25) даёт G_{ODTOE} (VII.26), и сравнение с CODATA (VII.27) даёт $\Delta G/G = +0.00375\%$ (1.67σ CODATA, уравнение (VII.28)). Это расхождение может объясняться: (а) неполнотой когерентностных поправок (раздел VII.8); (б) высшими членами самореференции (B^3/n^3, B^4/n^4, ...); (в) неточностью экспериментального значения G (наименее точно измеренная фундаментальная постоянная).

Открытые вопросы — текущий статус:

- **Как ODTOE объединяется с квантовой механикой?** — Этот вопрос разрешён в работе [16]. Волновая функция Ψ в ODTOE интерпретируется как поле потенциальных состояний в гильбертовом пространстве $\mathcal{H}$. Наблюдение — это не коллапс, а актуализация: оператор $\hat{O}_B$ проецирует потенциал на конфигурацию. Триада наблюдатель—наблюдаемое—процесс (раздел II.1) заменяет традиционную проблему измерения.

- **Существует ли связь между топологией φ-тора и конформной инвариантностью?** — *Частично разрешён* в работе [43]. φ-тор с отношением $R/r = \varphi$ является КАМ-оптимальным. Убывание запутанности $S(\rho_d) \propto \varphi^{-|d-d_0|}$ обеспечивает масштабный инвариант. Симметрия E_8 в квантовых критических точках отображается на свойства φ-тора.

- **Может ли энтропия чёрной дыры быть выведена из SYNC?** — Этот вопрос разрешён в работе [24]. Энтропия = информация в $\mathcal{H}$ (не уничтожается). Горизонт событий = граница $I(C) \to \infty$. SYNC управляет скоростью перехода. Излучение Хокинга = спонтанная реактуализация вблизи горизонта. Голографический принцип сохраняется как приближение.

- **Какова связь между пятью поправками в формуле $B(O, C)$ и пятью типами взаимодействий?** — Этот вопрос разрешён в настоящей статье (раздел II) и в работе [9]. Четыре операции (READ = электромагнитное, WRITE = слабое, VERIFY = сильное, SYNC = гравитационное) плюс самореферентная петля обратной связи (динамика странной петли). Пять членов в формуле μ соответствуют пяти архитектурным слоям. Фактор $6 = 3_{\text{пространственных}} \times 2_{\text{информационных}}$ измерений.

- **Применимо ли ODTOE к космологии?** — Этот вопрос разрешён в работе [41]. Тёмная энергия $\Omega_\Lambda \approx 0{,}6886$, тёмная материя $\Omega_{\text{DM}} \approx 0{,}2630$, барионная $\Omega_b \approx 0{,}0483$. Совпадение с Planck 2018 в пределах 1σ—2σ. Инфляция = фазовый переход от низкого S к критическому $S_c \approx 0{,}5$. Космологическая постоянная Λ возникает как постоянный член в эффективном потенциале.

Таким образом, все пять исходных открытых вопросов получили разрешение (полное или частичное) в рамках корпуса ODTOE. Однако спиральная щель ($\sim 2\%$), присущая φ-торической архитектуре, гарантирует, что на каждом более глубоком уровне рекурсии возникают новые открытые вопросы — в полном соответствии с принципом незамкнутости самореферентных систем.

XXV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа представляет новый подход к гравитации, возникающий из фундаментальных принципов ODTOE (Observer-Dependent Theory of Everything). Подведём итоги основных результатов:

1. Гравитация как четвёртая информационная операция. ODTOE рассматривает Вселенную как иерархию самовоспроизводящихся информационных конфигураций, управляемых четырьмя фундаментальными операциями: чтением (READ), записью (WRITE), проверкой (VERIFY) и синхронизацией (SYNC). Гравитация идентифицирована с SYNC — процессом глобальной синхронизации самоконфигураций на торическом многообразии пространства конфигураций.

2. Самосогласованная формула для гравитационной постоянной. При принятии структурной гипотезы $C = B^2$ (чистая самоподобность SYNC, см. (VII.21)) формула $G = \hbar c/m_{\text{Pl}}^2$, тавтологичная в классической физике, в ODTOE получает замыкание: масса Планка $m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$ определяется глубиной рекурсии n как неподвижная точка кубического уравнения (VII.23): $n^3 - A_n n^2 - Bn - B^2 = 0$, где $A_n = (9\pi + 3\varphi - 2(\pi - 3)^2)\varphi$ и $B = (\pi - 3)^2\varphi^3$. Решение $n = 53.5396...$ даёт $G_{\text{ODTOE}} = 6.67455 \times 10^{-11}$, совпадающее с экспериментом ($G_{\text{CODATA}} = 6.67430(15) \times 10^{-11}$) в пределах 1.67σ. Кубическое уравнение для безразмерной глубины рекурсии n содержит только π, φ и целые архитектурные числа $9, 3, 2$ (без дополнительных подгоночных параметров); финальная формула $G = \hbar c/(m_e^2\varphi^{4n})$ дополнительно использует CODATA-входы $\hbar$, c, m_e и ту же структурную гипотезу.

3. Принцип эквивалентности как автоматическое следствие. Показано, что локальная неразличимость инертной и гравитационной массы вытекает из симметрии силовой функции $\vec{F} = -m\,\nabla\Phi_I(C; M, r)$ в пространстве конфигураций при фиксированной когерентности конфигурации (Φ_I — инертностное потенциальное поле, см. §IX замечание о обозначениях); композиционно-зависимая поправка $\eta \sim 10^{-16}$ (см. (20.3a)) — следствие вариации S между телами разного состава. Это объясняет, почему принцип эквивалентности Эйнштейна имеет такой универсальный характер.

4. Ньютон и Эйнштейн как предельные случаи.

- В нерелятивистском пределе ($v \ll c$, в каноническом пределе $n = n_{\text{ODTOE}}$, Φ_G

— вспомогательная переменная) ODTOE согласуется с законом всемирного тяготения Ньютона через эффективное сопоставление коэффициента G: $F = -Gm_1m_2/r^2$.

- В квадратичном приближении оператора $\hat{G}$ *ожидается* предел полевых уравнений Эйнштейна в пустоте $R_{\mu\nu} = 0$; полный вывод тензорной структуры $\hat{G} \to G_{\mu\nu}$ из ODTOE — открытый вопрос.

- Космологическая постоянная Λ естественно возникает как постоянный член в разложении эффективного потенциала.

5. Семь феноменологических экспериментальных оценок (эвристические порядки величины; строгая деривация каждого — открытый вопрос, см. §XX.8).

ODTOE даёт семь феноменологических оценок порядка величины, подробно разобранных в §XX:

1. Модуляция гравитационной постоянной при переходе в сверхпроводящее состояние, $\Delta W/W \sim 10^{-7}$ (Тест 1, §XX.1).

2. Поправки высшего порядка в форме гравитационных волн LIGO, $\varepsilon \sim 10^{-3}$ (Тест 2, §XX.2).

3. Композиционно-зависимое нарушение слабого принципа эквивалентности, $\eta \sim 10^{-16}$ (Тест 3, §XX.3).

4. Атомная интерферометрия на нано-масштабах: локальные отклонения g для разных атомов (Тест 4, §XX.4).

5. Аномалии в лунном лазерном дальномере (LLR), связанные с когерентностными эффектами (Тест 5, §XX.5).

6. Поправки к параметрам двойных пульсаров, $\delta \sim 10^{-3}$ (Тест 6, §XX.6).

7. Отклонения кривых вращения галактик с характерным ускорением a_0 (MOND-феноменология, Тест 7, §XX.7).

6. Открытые направления для будущих исследований.

- Распространение ODTOE на вращающиеся и заряженные чёрные дыры.

- Развитие полной квантовой теории гравитационных поправок.

- Экспериментальная проверка предсказаний на лабораторных установках.

- Объединение ODTOE с стандартной моделью физики элементарных частиц.

- Исследование связи между ODTOE гравитацией и сознанием (раздел XXII).

ODTOE не является окончательной теорией гравитации, но предлагает принципиально новый путь её понимания, основанный на информационной структуре реальности. Теория объединяет элегантность чистой математики (золотое сечение, топология торов) с требованиями современной физики (соответствие Ньютону и Эйнштейну, новые предсказания). Её дальнейшее развитие и экспериментальная проверка откроют новые горизонты в понимании природы гравитации и фундаментальной структуры Вселенной.

XXV-A. Когерентность Вселенной и космологические доли

Замечание о структуре. Нижеследующие подразделы (§XXV-A и §XXV-B) содержат дополнительные деривации, расширяющие открытые вопросы, упомянутые в §XXV; они размещены после заключения как замыкающие материалы и не являются частью основной логической цепочки, но закрывают вопросы, обозначенные в §XXIII и в отчёте [41].

Гравитация в ODTOE неразрывно связана с космологической структурой через параметр коллективной когерентности S. Самосогласованное значение когерентности Вселенной равно:

$$S^* = 0.16967646777119... \tag{25.0}$$

Согласно ODTOE [41], отношения между плотностями энергии связаны золотым сечением и параметром $(\pi - 3)$:

$$\Omega_\Lambda : \Omega_{\text{DM}} : \Omega_b = \varphi^2 : 1 : Z \tag{25.1}$$

где $Z = \frac{\pi-3}{1-(\pi-3)\varphi}$ — коэффициент, зависящий только от геометрических постоянных. Нормировав на единицу:

$$\Omega_\Lambda \approx 0.6886, \quad \Omega_{\text{DM}} \approx 0.2630, \quad \Omega_b \approx 0.0483 \tag{25.2}$$

Это соответствует наблюдаемым значениям (Planck 2018: $\Omega_\Lambda = 0.684$, $\Omega_{\text{DM}} = 0.260$, $\Omega_b = 0.049$) с точностью 0,7–1,4% по всем трём компонентам, с расхождением объясняемым спиральной щелью ODTOE.

XXV-B. Связь с постоянной тонкой структуры

Гравитационная постоянная G тесно связана с постоянной тонкой структуры α через масштабирование инертности конфигураций по уровням рекурсии. В ODTOE обратная постоянная тонкой структуры имеет точное выражение [42]:

$$\alpha^{-1} = \pi(4\pi^2 + \pi + 1) + \text{поправки} = 137.0359991703... \tag{25.3}$$

Связь между α и G проявляется в том, что массовое отношение протона и электрона определяется как через геометрию φ-тора ($6\pi^5$ слагаемое), так и через электромагнитные взаимодействия (слагаемые, зависящие от α). Эта дуальность означает, что гравитация и электромагнетизм — два аспекта единого информационного процесса синхронизации на разных уровнях архитектуры.

XXVI. ПРИЛОЖЕНИЕ A: СПРАВОЧНИК ФОРМУЛ

Соглашение о нумерации формул. Формулы канонического вывода (§I–§VII) обозначены римскими номерами (например, (VII.30)) — они образуют ядро теории и ссылаются друг на друга. Формулы прикладных разделов (§VIII–§XXVIII) обозначены арабскими номерами по разделу (например, (13.13), (21.2)). Эта двойная нумерация отражает различие между выводом и приложением.

В настоящем приложении собраны центральные формулы канонического вывода G (§I–§VII) и ключевые формулы прикладных разделов. Формулы космологического дополнения (25.0)–(25.3) (§XXV-A/B), численные теги Приложения C (C.1)–(C.3) и (28.1) расположены в соответствующих разделах и в registry не дублированы. В таблице 5 приведены эти центральные формулы с номерами их уравнений.

Таблица 5: Справочник формул ODTOE гравитации

Формула	**Описание**	**Тег**
$m_p/m_e = 1836.152673...$	Отношение масс протона и электрона	13.2
$I(C,S) = I_0(1-S)^{-\alpha}$	Функция информационного натяжения	III.1
$A(\Delta d) = \varphi^{-\lvert\Delta d\rvert}$	Амплитуда над расстоянием на φ-торе	III.4
$F = -\nabla I(C)$; $\vec{F} = -m\nabla\Phi_I$	Сила в пространстве конфигураций; Φ_I — потенциал (§IX)	9.2, 9.2a
$m_{\text{Pl}} = m_e \cdot \varphi^{2n}$	Планковская масса через рекурсию	VII.17
$G = \frac{\hbar c}{m_e^2 \cdot \varphi^{4n}}$	Гравитационная постоянная ODTOE	VII.18
$n^3 - A_n n^2 - Bn - B^2 = 0$	Самосогласованное уравнение для n	VII.23
$G(S) = G_0[1 + 2(1-S)^\beta]$	Когерентностная коррекция к G_0 (режим $S < 1$)	VII.30
$\vec{a} = -\frac{GM}{r^2}\hat{r}$	Классическое уравнение Ньютона (предел ODTOE)	9.2c
$R_{\mu\nu} = 0$	Ожидаемый предел ОТО (открытый вывод, §XXIV)	—
$r_s = \frac{2GM}{c^2}$	Радиус Шварцшильда	15.1
$B(O,C) = F^{w_1} \cdot E^{w_2} \cdot (1-\sigma)^{w_3} \cdot \Lambda^{w_4}$	Универсальная весовая функция	8.3
$\log_\varphi(M_{\text{Pl}}/M_{\text{ew}}) = N_\varphi \approx 80$; $\log_{10} \approx 16$	Проблема иерархии в ODTOE	21.2

XXVII. ПРИЛОЖЕНИЕ В: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

Доказательство 1: Почему $F \propto 1/r^2$ из SYNC на φ-торе

Рассмотрим самоконфигурацию на двумерном торе T^2, параметризуемом углами $(\theta, \psi) \in [0, 2\pi) \times [0, 2\pi)$. SYNC достигается, когда фаза глобально согласована: $\partial_t \theta = \partial_t \psi = \Omega$ (одна и та же угловая скорость).

Силовая функция в пространстве конфигураций есть градиент функции натяжения:

$$F(\mathbf{r}) = -\nabla I(C(\mathbf{r})), \tag{27.1}$$

где $I(C)$ измеряет среднее расстояние между точками на торе в смысле золотого сечения: $I(C) \sim I_0 \cdot d_{\text{eff}}^{-1} \propto \varphi^{-d}$ с $d \approx \log_\varphi(r/r_0)$.

Тогда:

$$F = -\frac{dI}{dd} \cdot \frac{dd}{dr} = -I_0 \cdot \frac{d\varphi^{-d}}{dd} \cdot \frac{d(\log_\varphi(r/r_0))}{dr}. \tag{27.2}$$

Производные:

$$\frac{d\varphi^{-d}}{dd} = -\varphi^{-d} \ln \varphi, \quad \frac{d(\log_\varphi r)}{dr} = \frac{1}{r \ln \varphi}. \tag{27.3}$$

Подставляя:

$$F = -I_0 \cdot (-\varphi^{-d} \ln \varphi) \cdot \frac{1}{r \ln \varphi} = \frac{I_0 \varphi^{-d}}{r} = \frac{K}{r^2}, \tag{27.4}$$

где в последнем шаге использовано, что $\varphi^{-d} \propto 1/r$ на расстояниях, где SYNC эффективна (квазилокальная геометрия).

Таким образом, *скалярная величина* $F \propto 1/r^2$ выводится из логарифмического масштабирования $I \propto \varphi^{-d}$ на φ-торе. Направление $-\hat{r}$ и численная нормировка коэффициента G фиксируются дополнительно (см. замечание ниже и §IX о эффективном согласовании).

Связь с банаховой структурой. Геометрический ряд $\sum_n \varphi^{-2n}$ (§VI, (VI.3)—(VI.5)), задающий обратноквадратичное масштабирование инертности $I(C) \propto \varphi^{-d}$, совпадает с банаховой суммой итерационного оператора самонаблюдения Φ на глубине рекурсии d: по Лемме L2 из [44] глубина итерации $\text{depth}_\Phi(\Psi(x))$ совпадает с конвеевской функцией рождения $b(x)$, а сходимость с константой сжатия $q = \varphi^{-1} < 1$ обеспечивается банаховой теоремой о неподвижной точке. Тем самым суммирование SYNC-импульсов получает формальное обоснование как банахов ряд, а не только как эвристическая геометрическая сумма.

Замечание. Настоящее приложение выводит скалярную величину $|\nabla I(C; M, r)| = GM/r^2$ (здесь $|\nabla I(C; M, r)| \equiv |\nabla \Phi_I|$, см. §IX обозначения). Полное векторное направление $-\hat{r}$ постулируется из сферической симметрии самоконфигурации источника; строгий векторный вывод из анализа потоков SYNC по направлениям — открытый вопрос.

Доказательство 2: Сходимость ряда дискретной протоколизации

Ряд, определяющий кумулятивную когерентность:

$$\mathcal{C} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_G^{(n)}}{n!} \cdot e^{-n\lambda d} \tag{27.5}$$

сходится абсолютно при всех конечных $\lambda > 0$ и $d > 0$, так как:

$$\left| \frac{\Phi_G^{(n)}}{n!} \cdot e^{-n\lambda d} \right| \leq \frac{K^n}{n!} \cdot e^{-n\lambda d} \tag{27.6}$$

для некоторой константы K, и ряд мажорируется сходящимся рядом:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{n!} e^{-n\lambda d} = \left(e^{Ke^{-\lambda d}} - 1 \right) < \infty. \tag{27.7}$$

Доказательство 3: Теорема КАМ и её применение к ODTOE

Теорема Колмогорова—Арнольда—Мозера (КАМ) [11,12,13] утверждает: для интегрируемой гамильтоновой системы с малым возмущением, достаточно иррациональные торы (инвариантные 2-торы в фазовом пространстве) остаются инвариантными при малых возмущениях.

В ODTOE фазовое пространство конфигураций содержит семейство торов, параметризуемых числом Ликротерма $\nu = \varphi^{-1}$ (золотое сечение минус 1). Благодаря иррациональности φ, эти торы устойчивы против малых возмущений, вызванных квантовыми флуктуациями или внешними полями. Это объясняет стабильность структуры ODTOE и отсутствие глобального хаоса.

XXVIII. ПРИЛОЖЕНИЕ C: ЧИСЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Все численные значения в тексте были получены с использованием высокоточной арифметики (не менее 15–50 значащих цифр в зависимости от величины). Приведём ключевые промежуточные результаты.

Примечание. Нижеследующие числовые таблицы приведены в нетегированной форме align*, так как являются справочными материалами (степени φ, массовые отношения), а не уравнениями, на которые ссылается основной текст. Нумерованные формулы Приложения — (C.1)-(C.3) ниже.

Золотое сечение и его степени:

$$\begin{aligned}
\varphi &= 1.6180339887498948482045868343656381177203091798057...\\
\varphi^2 &= 2.6180339887498948482045868343656381177203091798057...\\
\varphi^{16} &= 2206.999546896146215177927205518884822189945 16\ldots\\
\log_{10}(\varphi^{16}) &= 3.34380224399966\ldots\\
\varphi^{80} &= 5.23613963978201270\times 10^{16}\\
\log_{10}(\varphi^{80}) &= 16.71901121999830\ldots
\end{aligned}$$

Массы частиц (в планковских единицах):

$$\begin{aligned}
m_e/m_p &= 1/1836.152673...\\
m_p/m_e &= 1836.152673...\\
6\pi^5 &\approx 1836.118...
\end{aligned}$$

Гравитационная постоянная:

$$n_{\text{ODTOE}} = 53.5396457104721160093702568690 7\ldots \tag{C.1}$$

$$G_{\text{ODTOE}} = \frac{\hbar c}{m_e^2\cdot\varphi^{4n}} = 6.67455\times 10^{-11}\ \text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2} \tag{C.2}$$

$$\Delta G/G = +0.00375\% \quad (1.67\sigma) \tag{C.3}$$

Таблица сравнения:

Таблица 6: Сравнение G_{ODTOE} и G_{CODATA}

Источник	G **(м^{3}кг$^{-1}$с$^{-2}$)**	**Неопределённость / откл.**	**Год**
CODATA 2022	$6.67430(15)\times 10^{-11}$	$\pm 2.2\times 10^{-5}$	2024
ODTOE (расчёт)	6.67455×10^{-11}	$+0.00375\%$	Тек. работа
Относительное разл.	$+0.00375\%$ (1.67σ)		

Замечание. CODATA величина $\pm 2.2\times 10^{-5}$ — измерительная неопределённость; ODTOE величина $+0.00375\%$ — систематический сдвиг относительно CODATA (не расчётная неопределённость).

Погрешность при распространении ошибок:

В канонической формуле $G = \hbar c/(m_e^2\varphi^{4n})$ (VII.18) единственным нетривиальным параметром является глубина рекурсии n, определяемая из самосогласованного уравнения (VII.22) (кубическая форма — (VII.23)). После пересмотра СИ 2019 г. скорость света c и постоянная Планка h определены точно, следовательно $\hbar = h/(2\pi)$ также точна (CODATA-неопределённость отсутствует); единственным источником CODATA-неопределённости среди внешних входов остаётся m_e с относительной неопределённостью $\sim 3\times 10^{-10}$ (CODATA 2022). Поскольку $\varphi = (1+\sqrt{5})/2$ — точная математическая константа, структурная часть полной относительной ошибки определяется чувствительностью к n:

$$\frac{\delta G}{G} = -4\ln\varphi\cdot\delta n, \qquad \left|\frac{\delta G}{G}\right| \approx 1.93\,|\delta n|. \tag{28.1}$$

При $|\delta n| \sim 10^{-5}$ получаем $|\delta G/G| \approx 2 \times 10^{-5}$, что согласуется с наблюдаемым расхождением 1.67σ от значения CODATA 2022.

C.4. Воспроизводимый вычислительный рецепт (mpmath)

Следующий минимальный Python-код на mpmath воспроизводит n_{ODTOE} и G_{ODTOE} с точностью 50 цифр во внутренней арифметике:

```
from mpmath import mp, mpf, pi, sqrt, findroot, nstr
mp.dps = 50
phi = (1 + sqrt(5)) / 2
B = (pi - 3)**2 * phi**3
A_n = (9*pi + 3*phi - 2*(pi - 3)**2) * phi
n = findroot(lambda x: x**3 - A_n*x**2 - B*x - B**2, 53)

# Входы после СИ-2019:
#   h и c определены точно -> hbar = h/(2*pi) тоже точно
#   m_e - единственный CODATA-ограниченный вход (rel. unc. ~3e-10)
h    = mpf('6.62607015e-34')   # SI-2019: defined exactly
c    = mpf('2.99792458e8')     # defined exactly (pre-SI-2019)
hbar = h / (2 * pi)            # exact (no CODATA uncertainty)
m_e  = mpf('9.1093837139e-31') # CODATA 2022, rel. unc. ~3e-10

G = hbar * c / (m_e**2 * phi**(4*n))
print('n =', nstr(n, 30))
print('G =', nstr(G, 15))
```

Вывод кода согласуется с значениями (C.1) и (C.2); итоговая точность G ограничена CODATA-неопределённостью m_e ($\sim 3 \times 10^{-10}$), поскольку c, h и $\hbar = h/(2\pi)$ после СИ-2019 определены точно.

БЛАГОДАРНОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Автор выражает благодарность участникам проекта ODTOE за продуктивные дискуссии по вопросам тороидальной геометрии и информационной интерпретации гравитации.

Вычисления и верификация формул выполнены с использованием Python 3.12 (библиотеки mpmath, sympy), системы компьютерной вёрстки tectonic (XeLaTeX), а также ИИ-ассистента Claude (Anthropic) для структурирования, редактирования текста и проверки библиографической консистентности.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена без внешнего финансирования.

XXIX. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

О порядке библиографии (проектная конвенция ODTOE-корпуса, см. lessons L-35-ext). Список организован концептуально в три блока: (i) фундаментальные оригинальные источники (Einstein, Planck, Newton) и классические работы; (ii) стандартные справочные данные (CODATA) и экспериментальные reference-работы; (iii) авторские препринты ODTOE-серии. Внутри каждого блока допускается отклонение от порядка первого цитирования. Такое упорядочение является осознанным выбором данной статьи и не противоречит корпусному правилу L-35, расширенному для conceptual-order случая.

1. Einstein, A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, **49**(7), 769—822 (1916). https://doi.org/10.1002/andp.19163540702

2. Weinberg, S. Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity. John Wiley & Sons, New York (1972).

3. Planck, M. Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum. *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 440—480 (1900).

4. Everett, H. III. «Relative State» Formulation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, **29**(3), 454—462 (1957). https://doi.org/10.1103/RevModPhys.29.454

5. Wheeler, J. A. Information, Physics, Quantum. In: W.H. Zurek (ed.), Complexity, Entropy, and the Physics of Information. Addison-Wesley (1989).

6. 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

7. Панкратов, А. С. Природа света и предельность скорости: переконфигурация без перемещения в наблюдатель-зависимой теории всего. Препринт (2026). — Содержит вывод $c = r_0/\tau_0$.

8. Панкратов, А. С. Постоянная Планка из архитектуры наблюдения: вывод, формула, верификация. Препринт (2026). — Содержит полный вывод $h(d, S)$.

9. Панкратов, А. С. Информационная архитектура реальности: чтение, запись и верификация на φ-торе. Препринт (2026). — Определяет операции READ, WRITE, VERIFY, SYNC.

10. Abbott, B. P. et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, **116**(6), 061102 (2016). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102

11. Kolmogorov, A. N. On the Persistence of Conditionally Periodic Motions under Small Perturbations of the Hamiltonian. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, **98**(4), 527—530 (1954).

12. Arnol'd, V. I. Proof of a Theorem by A. N. Kolmogorov on the Invariance of Quasi-Periodic Motions under Small Perturbations. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, **18**(5), 13—40 (1963).

13. Moser, J. K. On Invariant Curves of Area-Preserving Mappings of an Annulus. *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen*, **1**, 1—20 (1962).

14. Bohr, N. The Theory of Spectra and Atomic Constitution. Cambridge University Press (1922).

15. Dirac, P. A. M. The Quantum Theory of the Electron. *Proceedings of the Royal Society A*, **117**(778), 610—624 (1928). https://doi.org/10.1098/rspa.1928.0023

16. Панкратов, А. С. Теория всего: наблюдатель-зависимая. Препринт (2026).

17. Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, **43**, 172—198 (1927). https://doi.org/10.1007/BF01397280

18. Newton, I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. Royal Society, London (1687).

19. Schrödinger, E. An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. *Physical Review*, **28**(6), 1049—1070 (1926). https://doi.org/10.1103/PhysRev.28.1049

20. Feynman, R. P. Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, **20**(2), 367—387 (1948). https://doi.org/10.1103/RevModPhys.20.367

21. Панкратов, А. С. Две фундаментальные константы из первых принципов: отношение масс протона и электрона и постоянная тонкой структуры в наблюдатель-зависимой теории всего. Препринт (2026). — Содержит точный расчёт $\mu = m_p/m_e$.

22. Tiesinga, E., Mohr, P. J., Newell, D. B. and Taylor, B. N. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2022. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, **53**(4), 043501 (2024). https://doi.org/10.1063/5.0243040

23. Панкратов, А. С. Кинематограф реальности: информация, память и воспроизведение в ODTOE. Препринт (2026).

24. Панкратов, А. С. Чёрная дыра как предельный оператор деконфигурации: поглощение звёзд, горизонт событий и информационный парадокс через призму ODTOE. Препринт (2026). — Содержит вывод оператора $\hat{D}$ и анализ горизонта событий.

25. Schwarzschild, K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 189—196 (1916).

26. Hawking, S. W. Particle Creation by Black Holes. *Communications in Mathematical Physics*, **43**(3), 199—220 (1975). https://doi.org/10.1007/BF02345020

27. Milgrom, M. A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis. *The Astrophysical Journal*, **270**, 365—370 (1983). https://doi.org/10.1086/161130

28. Friedmann, A. Über die Krümmung des Raumes. *Zeitschrift für Physik*, **10**(1), 377—386 (1922). https://doi.org/10.1007/BF01332580

29. Planck Collaboration. Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters. *Astronomy & Astrophysics*, **641**, A6 (2020). https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910

30. Weinberg, S. Ultraviolet Divergences in Quantum Theories of Gravitation. In: S. W. Hawking and W. Israel (eds.), *General Relativity: An Einstein Centenary Survey*, 790—831. Cambridge University Press (1979).

31. Wick, G. C. Properties of Bethe-Salpeter Wave Functions. *Physical Review*, **96**(4), 1124—1134 (1954). https://doi.org/10.1103/PhysRev.96.1124

32. Green, M. B., Schwarz, J. H. and Witten, E. Superstring Theory, Volumes 1 and 2. Cambridge University Press (1987).

33. Rovelli, C. Quantum Gravity. Cambridge University Press (2004).

34. Goldstone, J. Field Theories with «Superconductor» Solutions. *Il Nuovo Cimento*, **19**(1), 154—164 (1961). https://doi.org/10.1007/BF02812722

35. Hulse, R. A. and Taylor, J. H. Discovery of a Pulsar in a Binary System. *The Astrophysical Journal*, **195**, L51—L53 (1975). https://doi.org/10.1086/181708

36. Higgs, P. W. Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons. *Physical Review Letters*, **13**(16), 508—509 (1964). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.13.508

37. Penrose, R. The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe. Jonathan Cape, London (2004).

38. Tononi, G. An Information Integration Theory of Consciousness. *BMC Neuroscience*, **5**, article 42 (2004). https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42

39. Verlinde, E. On the Origin of Gravity and the Laws of Newton. *Journal of High Energy Physics*, **2011**, article 29 (2011). https://doi.org/10.1007/JHEP04(2011)029

40. Padmanabhan, T. Emergent Gravity from Spacetime Thermodynamics. *Reports on Progress in Physics*, **73**(4), 046901 (2010). https://doi.org/10.1088/0034-4885/73/4/046901

41. Панкратов, А. С. Космологические пропорции из тороидальной архитектуры: вывод содержания тёмной энергии, тёмной материи и барионной материи из π и φ. Препринт (2026). — Содержит расчёт $\Omega_\Lambda : \Omega_{\mathrm{DM}} : \Omega_b$.

42. Панкратов, А. С. Бесконечная рекурсия и постоянная тонкой структуры: вывод α^{-1} из архитектуры наблюдения. Препринт (2026).

43. Панкратов, А. С. Золотое сечение φ как инвариант фрактальности, самоподобия и рекурсии в наблюдатель-зависимой теории всего. Препринт (2026).

44. Панкратов, А. С. *ODTOE surreal-holistic: сюрреальные числа как* Φ-*фиксированные наблюдатель-параметризованные конфигурации (Теорема 1).* Препринт ODTOE-серии (2026).