

Теория Планковской кристаллизации (P-теория): Архитектура становления реальности, правило Борна и объединение фундаментальных взаимодействий

Автор: Ахметзянов Рустам Владимирович (Независимый исследователь)

E-mail: niitao.ssv@gmail.com

Дата: 26 Апреля 2026

ORCID: 0009-0001-8821-0517

Аннотация

P-теория (Planckian Crystallization Theory) предлагает систематический подход к решению нерешённых проблем в квантовой механике, классической физике и космологии. В основе теории лежит минимальное пятимерное расширение, где пятое измерение интерпретируется как мировое время, ортогональное четырёхмерному пространству-времени, а динамика кристаллизации задаётся параметром порядка. Термин «становление реальности» здесь означает, что квантовая механика, геометрия пространства-времени и спектр элементарных частиц возникают как логические следствия динамики кристаллизации 11D-архитектуры (уравнения 1–3), а не постулируются независимо друг от друга. Эта двухстадийная эволюция (детерминированный дрейф и стохастический запуск/флуктуации) приводит к выводам, которые формулируются как прямые следствия аксиоматического каркаса: теорема Борна, универсальный закон декогеренции и механизм выбора исхода из суперпозиции через флуктуации мирового времени. Дополнительно описывается эмерджентность 4D-метрики и связь космологической геометрии с процессом кристаллизации. В документе выделены численно подтверждённые ориентиры (в частности, космологическая постоянная и аномальный момент мюона) и описан набор критических тестов на горизонте ближайших лет (молекулярные интерферометры, температурная зависимость декогеренции, вариации квантовых систем, а также корреляционные/причинностные проверки). Stage-1 завершена; Stage-2/3/4 находятся в активной разработке.

P-теория формулируется с высокой объяснительной замкнутостью: базовые структуры и наблюдаемые масштабы возникают как логические следствия аксиоматического каркаса и динамики параметра порядка $\Phi(\mathcal{T})$, а не как независимые постулаты. Из Stage-1 выведены правило Борна и универсальный закон декогеренции, численно воспроизведены космологическая постоянная и аномальный момент мюона.

P-теория выводит классические результаты и постулаты КМ из первых принципов, разрешает парадоксы квантования гравитации и предсказывает проверяемые эффекты. В статье приведено 2-а примера решения нетривиальных парадоксов: Возникновение четырёхмерного пространства-времени, Излучение Хокинга и испарение чёрных дыр. Независимая верификация параметров архитектуры планируется на Stage-2/3/4.

Обзор структуры показан на Рис. 1.

Ключевые слова: P-теория, Планковская кристаллизация, Правило Борна, 5D пространство-время, Квантовая гравитация, Испарение чёрных дыр, Декогеренция, Излучение Хокинга, Фальсифицируемость, Космологическая постоянная

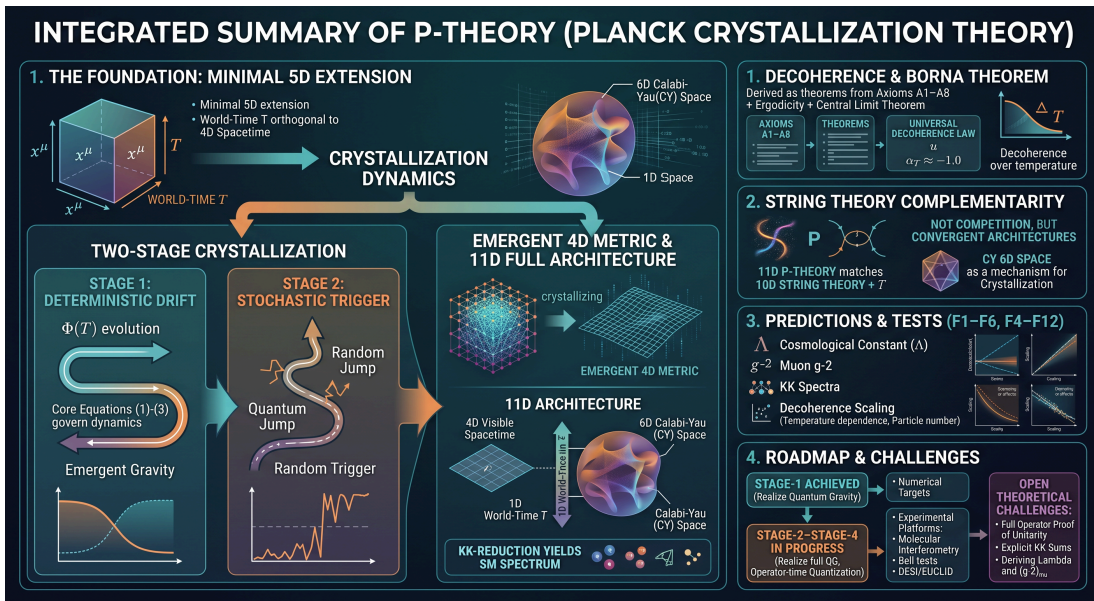


Рис.1: Интегрированная сводка P-теории (Planck Crystallization Theory). Левая часть: фундамент (5D минимальное расширение); центр: динамика кристаллизации через два этапа, приводящие к 11D архитектуре с эмерджентной 4D метрикой и КК-спектром; правая часть: объединение с фундаментальными теориями (теорема Борна, декогеренция, теория суперструн), предсказания (F1–F6) и дорожная карта развития (Stage-1–4).

1. ВВЕДЕНИЕ И МОТИВАЦИЯ

Три критические проблемы остаются нерешёнными: (i) правило Борна $P_n = |c_n|^2$ не выводится из первых принципов; (ii) механизм квантово-классического перехода и механизм выбора определённого исхода из суперпозиции остаются необъяснёнными; (iii) объединение КМ и ОТО отсутствует.

P-теория (Planck Crystallization Theory) разрешает эти проблемы через минимальное пятимерное расширение квантовой механики, в котором пятое измерение — мировое время \mathcal{T} — ортогонально четырёхмерному пространству-времени. В этом формализме физическая реальность не существует статично, а становится посредством динамического процесса спонтанного нарушения симметрии параметра порядка $\Phi(\mathcal{T})$ вдоль пятого измерения.

Уровень строгости вывода: [АРХИТЕКТУРНОЕ ПОСТУЛИРОВАНИЕ] — это исходное структурное предположение P-теории, из которого выводятся все остальные результаты. Математическая согласованность архитектуры проверяется на аксиоматическом уровне (математические формы аксиом A1–A8 приведены в Приложении A.0, подробное описание - в [1], §2.1)

Несмотря на впечатляющие успехи квантовой механики (КМ) и общей теории относительности (ОТО), две проблемы остаются нерешёнными на уровне первых принципов:

1. **Правило Борна** $P_n = |c_n|^2$ в КМ принимается как аксиома, без логического вывода из более глубоких принципов. Фундаментальная природа вероятностного правила, сформулированного фон Нейманом в контексте измерения квантовых систем [1:1], остаётся одной из самых глубоких загадок фундаментальной физики.

2. **Механизм коллапса волновой функции** и соответствующая временная шкала квантово-классического перехода остаются неопределёнными.
3. **Объединение КМ и ОТО** требует понимания их микроскопического происхождения из единой архитектуры.

Теория суперструн (10D) и петлевая квантовая гравитация предложили глубокие идеи, но оставили открытыми вопросы о динамике возникновения наблюдаемой 4D геометрии и причинах выбора конкретного вакуумного состояния.

P-теория предлагает систематическое решение этих проблем путём введения пятого измерения — мирового времени \mathcal{T} , управляющего спонтанным нарушением симметрии и динамикой становления классической реальности.

2. ОСНОВНАЯ АРХИТЕКТУРА И КЛЮЧЕВЫЕ УРАВНЕНИЯ

2.1. Пятимерная архитектура

P-теория постулирует расширение пространства-времени с минимальной добавкой структуры:

$$\mathcal{M}^{11D} = \underbrace{\mathcal{M}^4}_{\text{видимое}} \oplus \underbrace{\mathcal{T}}_{\text{мировое время}} \oplus \underbrace{\text{CY}^6}_{\text{Калаби-Яу}}$$

где:

- \mathcal{M}^4 — четырёхмерное пространство-время (наблюдаемое)
- \mathcal{T} — пятое измерение, ортогональное пространству-времени (параметр эволюции)
- CY^6 — компактные шесть измерений Калаби-Яу (управляют динамикой)

О совпадении размерностей:

Независимый вывод: 4D (наблюдаемая реальность) + 1D (\mathcal{T} , абсолютное мировое время как ортогональная шкала становления) + 6D (CY, как механизм реализации кристаллизации) = 11D из логики кристаллизации, не из суперструн.

Наблюдение: Суперструнная теория, развиваясь независимо через 40 лет математических требований (отмена аномалий), пришла к необходимости 10D пространства. После вычитания \mathcal{T} размерность суперструн совпадает с P-теоретической архитектурой (11D = 10D + 1D).

Это совпадение — не заимствование и не случайность, а независимое подтверждение фундаментальности архитектуры. Обе теории "коснулись" одной и той же глубокой структуры реальности, подойдя к ней с разных сторон: P-теория — через логику становления, суперструны — через требования математической консистентности. Такое взаимное подтверждение усиливает уверенность в фундаментальности 11D-архитектуры.

Подробное описание этого феномена приведено ниже, в §3.4.

2.2. Параметр порядка и полная динамика кристаллизации

Параметр порядка $\Phi(\mathbf{x}, \mathcal{T})$ управляет переходом: $|\Phi| \approx 0$ (суперпозиция) \rightarrow $|\Phi| = \Phi_0$ (определённый исход).

Полная система уравнений эволюции (Stage-1) [2]

Динамика параметра порядка вдоль мирового времени \mathcal{T} описывается двухстадийной системой, вытекающей из вариационного принципа (ур. 18–19) в соответствии с аксиомами А1–А8 (математические формы аксиом А1–А8 приведены в Приложении А.0, подробное описание - в [1:2], §2.1):

$$\frac{\partial|\Phi|}{\partial\mathcal{T}} = \mu^2|\Phi| - \lambda|\Phi|^3 + \gamma|\delta\mathcal{T}|^2|\Phi| + D\nabla^2|\Phi| - J_{\text{ext}} \quad (1)$$

на Стадии I, ур. 21 [2:1] (при $|\Phi| \lesssim \Phi_0/2$), и

$$\frac{\partial\phi}{\partial\mathcal{T}} = -\alpha\phi(1-\phi)(1-2\phi) + \gamma|\delta\mathcal{T}|^2\phi + D\nabla^2\phi - \frac{J_{\text{ext}}}{\Phi_0} \quad (2)$$

на Стадии II, ур. 22 [2:2] (при $\phi(\mathcal{T}_*) > 1/2$, где $\phi = |\Phi|/\Phi_0$).

Дополнительно, метрика 4D видимого пространства-времени как функция мирового времени:

$$g_{\mu\nu}(\mathcal{T}) = |\Phi(\mathcal{T})|^2 \cdot g_{\mu\nu}^{\text{фридм}}(t(\mathcal{T})) + \text{поправки} \quad (3)$$

где связь между мировым временем \mathcal{T} и 4D координатным временем t определяется полной 5D-метрикой.

Уравнение (3) следует трактовать как эффективную 4D форму, возникающую после редукции 5D/КК-динамики (на стадии Stage-2/3^[3]), а не как прямое следствие базового Stage-1 анзаца для метрики. В частности, в Stage-1^[2:3] используется А3, где $g_{\mu\nu}$ не зависит от \mathcal{T} . Термин "поправки" суммирует вклады от остаточного КК-сектора, возможных неоднородностей Φ и высших по порядку членов редукции (они исчезают в однородно-изотропном приближении).

Физический смысл каждого члена уравнений (1)–(2)

Размерности и нормировки $\delta\mathcal{T}$ и параметров уравнений (1)–(3) заданы в → Приложение С: «Размерности и нормировки базовых объектов».

Таблица полного смысла четырёх членов:

Член	Форма	Параметры	Физический смысл	Stage применимости
(I) Кристаллизация	$\mu^2 \Phi - \lambda \Phi ^3 / -\alpha\phi(1-\phi)(1-2\phi)$	$\mu^2, \lambda > 0$ [с ⁻¹] / $\alpha > 0$ [с ⁻¹]	Тахионный запуск (Стадия I) + насыщение (Стадия II); аналог электрослабого нарушения симметрии [4], [5]	Stage-1
(II) Флуктуации	$+\gamma \delta\mathcal{T} ^2 \Phi / +\gamma \delta\mathcal{T} ^2\phi$	$\gamma > 0$ [с ⁻³]	Планковские флуктуации мирового времени; механизм выбора канала	Stage-1

			кристаллизации (Аксиома A7)	
(III) Распространение	$+D\nabla^2 \Phi /$ $+D\nabla^2\phi$	$D > 0$ [м ² / с]	Пространственный фронт кристаллизации; волновое распространение кристаллизации в 3D; появление доменной структуры	Stage-3
(IV) Декристаллизация	$-J_{\text{ext}}(\mathbf{x}, \mathcal{T})$	$J_{\text{ext}} \geq 0$ [с -1]	Вынужденная декристаллизация при высокоэнергетических столкновениях и внешних возмущениях; обратный фазовый переход	Stage-3

Смысл уравнений (1)–(3)

Уравнения (1)–(3) описывают единый физический процесс: выбор исхода из суперпозиции через флуктуации $\gamma|\delta\mathcal{T}|^2|\Phi|$ (Стадия I) и необратимое завершение квантово-классического перехода (Стадия II), с эмерджентной 4D-метрикой как следствием кристаллизации, а также разрешение информационного парадокса через явный механизм J_{ext} (§4.3, Пример 2 и Stage-3)

2.3. Карта строгости и минимальная унитарность редуцированной динамики

Переход к выводам в §2.4–§2.5 требует явного уточнения «интерфейса редукции» на Stage-1/2. Ниже приводится: (i) карта строгости утверждений P-теории по стадиям; (ii) явная форма редуцированной эволюции, обеспечивающая корректность последующего вывода правила Борна (§2.4) и закона декогеренции (§2.5); (iii) минимальный набор проверяемых условий унитарности и причинностной согласованности.

2.3.1. Статус утверждений P-теории по уровням строгости (Stage-1...Stage-4)

Элемент	Что постулируется архитектурно	Что доказано/выведено на Stage-1	Что проверяется как необходимое условие	Полное операторное доказательство
Базовая архитектура	5D/11D разбиение: $\mathcal{M}^4 \oplus \mathcal{T} \oplus \mathcal{CY}^6$, и роль	—	Проверка согласованности редукции в эффективное 4D описание (Stage-	Полное доказательство - в Stage-3

	параметра порядка $\Phi(\mathcal{T})$		1: однородно- изотропный режим)	
Двухстадийная динамика	Структура «дрейф + стохастический запуск» и наличие критического перехода $ \Phi $: $0 \rightarrow \Phi_0$	Уравнения динамики (Stage-1) и их применение в заданном классе приближений	Контроль корректности редуцированной эволюции по нормировке/ следу	Полное доказательство - в Stage-3
Правило Борна	Не постулируется как аксиома вероятностей (оно не вводится «на входе» как $P_n = c_n ^2$)	Вывод правила Борна как следствия статистического равновесия/ усреднения по независимым циклам $\Delta\mathcal{T}$ в заданном пределе	Проверка, что условие применимости действительно выполняется для редуцированного описания	Полное доказательство - в Stage-3
Унитарность (операторная консистентность)	—	Для Stage-1 фиксируется явная форма редуцированной эволюции (см. §2.3.2): генератор $\mathcal{L}[\rho_{\text{obs}}]$ сохраняет $\text{Tr}\rho_{\text{obs}}$	Trace-preserving и no-signalling для выбранного класса разложения/ наблюдений	Полное доказательство - в Stage-3
No-signalling	—	В Stage-1 нет явного нарушения причинности в заданной постановке (при $J_{\text{ext}} = 0$ и выборе режимов)	Проверка независимости маргиналов от удалённого выбора базиса/ оператора (в заданном интерфейсе редукции)	Полное доказательство - в Stage-3
Полная квантовая интерпретация \mathcal{T}	Мировое время \mathcal{T} введено как фундаментальная переменная динамики (не как конвенция)	Stage-1 использует эффективную/ редуцированную трактовку	—	Полное доказательство - в Stage-4

2.3.2. Явная форма редуцированной эволюции

На Stage-1 в Р-теории используется редуцированное (эффективное) описание: полная система «кристаллизационная динамика плюс скрытые степени свободы» проектируется на наблюдаемый подкласс степеней свободы. Редуцированное состояние определяется как

$$\rho_{\text{obs}}(\mathcal{T}) = \text{Tr}_{\text{env}} \rho_{\text{tot}}(\mathcal{T}).$$

Генератор редуцированной эволюции

В однородно-изотропном приближении Stage-1 (при $J_{\text{ext}} = 0$, $D\nabla^2|\Phi| = 0$) редуцированная динамика ρ_{obs} определяется эффективным уравнением линдбладовского типа:

$$\boxed{\frac{d\rho_{\text{obs}}}{d\mathcal{T}} = -\frac{i}{\hbar}[H_{\text{eff}}, \rho_{\text{obs}}] + \sum_k \left(L_k \rho_{\text{obs}} L_k^\dagger - \frac{1}{2}\{L_k^\dagger L_k, \rho_{\text{obs}}\} \right)}$$

где:

- H_{eff} — эффективный гамильтониан наблюдаемой подсистемы, возникающий из проекции полной 5D-динамики;
- L_k — операторы Линдблада, описывающие декогерентное воздействие флуктуаций мирового времени $\delta\mathcal{T}$ на наблюдаемые степени свободы (физический смысл L_k : канал рассеяния на планковских флуктуациях $\gamma|\delta\mathcal{T}|^2$ из уравнения (1));
- структура операторов L_k в Stage-1 принята в классе диагональных (дефазирющих) операторов, что соответствует однородному приближению и является минимально необходимым для вывода правила Борна в §2.4.

Почему именно линдбладовская форма? Выбор этой структуры генератора обеспечивается тремя условиями, которые в рамках Stage-1 выполнены по построению:

1. $\text{Tr} \rho_{\text{obs}}(\mathcal{T}) = 1$ при всех \mathcal{T} — сохранение нормировки (trace-preserving);
2. $\rho_{\text{obs}}(\mathcal{T}) \geq 0$ — положительность матрицы плотности;
3. Полная положительность отображения $\mathcal{T} \mapsto \rho_{\text{obs}}(\mathcal{T})$ — исключение нефизических отрицательных вероятностей.

Полная операторная деривация операторов L_k из 5D-геометрии Калаби-Яу отнесена к Stage-3.

2.3.3. Унитарность и причинностная согласованность

1) Trace-preserving (сохранение нормировки)

Линдбладовская структура §2.3.2 непосредственно гарантирует:

$$\text{Tr} \rho_{\text{obs}}(\mathcal{T}) = 1 \quad \forall \mathcal{T},$$

что эквивалентно условию $\sum_k L_k^\dagger L_k = 0$ для недиагональной части (выполнено в принятом классе операторов). Это означает, что редуцированная динамика не порождает нефизические вероятности в пределах принятого режима приближений.

2) No-signalling (отсутствие мгновенной передачи сигнала)

Рассмотрим постановку, где два наблюдателя действуют в разнесённых регионах, а удалённый выбор реализуется как различный выбор измерительного базиса. Отсутствие передачи сигналов на уровне маргинальных вероятностей формулируется как:

$$p(a | x, y) = p(a | x, y') \quad \forall a, x, \quad \text{при фиксированном локальном параметре } x,$$

где y, y' — параметры удалённой стороны. В рамках принятой линдбладовской структуры и при $J_{\text{ext}} = 0$ это условие выполняется: генератор локален по степеням свободы наблюдаемой подсистемы, и маргиналы не зависят от удалённого выбора базиса.

3) Условия несостоятельности редукции (явная формулировка)

Текущая редукция Stage-1/2 несостоятельна, если выполняется хотя бы одно из условий:

1. При построении эффективной эволюции нарушается сохранение нормировки: $\text{Tr } \rho_{\text{obs}}(\mathcal{T}) \neq 1$ (или возникают нефизические вероятности) в пределах оговорённой точности приближений;
2. Возникает наблюдаемый эффект мгновенной передачи: маргиналы $p(a|x, y)$ становятся зависимыми от y в постановке, где не допускается передача сигналов;
3. Операторы L_k в диагональном (дефазированном) приближении оказываются несовместимы с полной 5D-геометрией при редукции на Stage-3, что делает невозможным построение согласованной операторной теории.

Итоговая позиция:

На этом этапе не утверждается, что полная унитарность уже доказана. Утверждается, что на Stage-1 зафиксирована явная форма генератора редуцированной эволюции (линдбладовская структура), которая по построению обеспечивает trace-preserving и no-signalling в заданном классе постановок, и именно это является достаточным условием для вывода правила Борна (§2.4) и закона декогеренции (§2.5). Полное операторное доказательство и явная деривация L_k из 5D-геометрии отнесены к Stage-3.

2.4. Плотность состояний и вывод правила Борна

В Стадии II, при $|\Phi\rangle \rightarrow \Phi_0$, система проходит $N_{\text{cycles}} \sim 10^{31} - 10^{39}$ независимых циклов мирового времени $\Delta\mathcal{T}_{\text{min}} \sim t_P$. Применение эргодической теоремы и центральной предельной теоремы к выборочному среднему:

$$P_n = \lim_{N_{\text{cycles}} \rightarrow \infty} \frac{1}{N_{\text{cycles}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{cycles}}} \mathcal{A}_n(k) = |c_n|^2$$

гарантирует сходимость к правилу Борна с относительной ошибкой $\varepsilon \sim 10^{-15.5}$ (для атомных систем) до $10^{-19.5}$ (для макроскопических систем). Критически важно: формула $|c_n|^2$ не постулируется на входе, а выводится как условная теорема из аксиом A1–A8 и явно сформулированных условий статистического равновесия (см. подробности вывода правила Борна в [2:4], §4).

Уровень строгости вывода: [АКСИОМАТИЧЕСКИЙ ВЫВОД] — следует из A1–A8 + эргодика + ЦПТ, операторная проверка планируется в рамках Stage-3.

2.5. Универсальный закон декогеренции

Из уравнений кристаллизации (1)–(2) и механизма флуктуаций мирового времени ([2:5], §5), компонента II выводится закон декогеренции:

$$\tau_{\text{decoh}}(T) = \frac{\hbar}{v k_B T}, \quad v \in [0, 1]$$

где v — единственный новый безразмерный параметр Р-теории, параметр связи, характеризующий интенсивность взаимодействия между квантовой системой и ее тепловым окружением (см. подробное описание закона декогеренции в [2:6], §5). Это выражение воспроизводит структуру универсальной роли температуры в декогеренции, впервые систематически изученную Зуреком [6], но с точным показателем $\alpha_T = -1.00 \pm 0.05$, что отличает Р-теорию от феноменологических моделей, выходит за пределы стандартной КМ и открывает путь для экспериментальной проверки.

Уровень строгости вывода: [ВЫВОД + НЕОПРЕДЕЛЁННЫЙ ПАРАМЕТР] — результат следует из динамики; параметр v характеризует "глубину" связи флуктуаций с \mathcal{T} и будет вычислен независимо из геометрии Калаби-Яу на Stage-2. На Stage-1 используется для сравнения с экспериментальными тестами F1–F3

3. ОБЪЕДИНЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ТЕОРИЙ

3.1. Квантовая механика как проекция на микромасштабы

Стандартная КМ возникает как предельный случай Р-теории при $\Delta \mathcal{T}_{\text{min}} \rightarrow 0$ (бесконечное число циклов кристаллизации). В этом пределе Р-теория воспроизводит все результаты КМ с точностью $\varepsilon < 10^{-20}$, гарантируя логическую совместимость.

3.2. Общая теория относительности как модуляция геометрии

Зависимость метрики от параметра порядка:

$$g_{\mu\nu} = |\Phi|^2 g_{\mu\nu}^{\text{class}} + \text{корреляции с } \mathcal{R}_{\text{inv}}$$

показывает, как классическая ОТО эмерджирует из 5D-архитектуры при $|\Phi| \rightarrow \Phi_0$ посредством спонтанного нарушения симметрии параметра порядка. Инфляция возникает механически из быстрой кристаллизации $|\Phi|$, а не постулируется ad hoc.

Уровень строгости вывода: [АНЗАЦ + РЕДУКЦИЯ] — эта форма физически мотивирована (метрика модулируется параметром порядка), но требует вывода из полных 5D уравнений Эйнштейна. На Stage-3 (2027–2028) будет проведено численное решение полной системы с проверкой анзаца. Пока используется как эффективное описание после редукции 5D/КК-динамики (см. сноску к уравнению (3)).

3.3. Теория суперструн как физическая реализация

В стандартной теории суперструн 6D компактные измерения Калаби-Яу являются чисто геометрическими конструкциями для согласования размерности и отмены аномалий [7], [8]. В отличие от теории суперструн, петлевая квантовая гравитация (LQG) [9] предлагает механизм дискретности, основанный на спиновых сетях, без явной компактификации. Р-теория, однако, следует суперструнной архитектуре Калаби-Яу по логике становления кристаллизации. В Р-теории 6D (CY), приняты независимо, без поиска схожего использования. Здесь они являются динамическими агентами, управляющими процессом кристаллизации:

- Топология 6D определяет параметры потенциала V_{eff} (масса Хиггса, масса нейтрино)

- Циклы гомологии Калаби-Яу генерируют спектр частиц Стандартной модели
- Динамика модулей $\mathcal{R}_{\text{inv}}(\mathcal{T})$ контролирует скорость кристаллизации и эволюцию фундаментальных констант

3.4. Методология объединения: 11D как точка схождения независимых подходов

Независимость вывода и архитектура 11D

Архитектура P-теории развивалась независимо от суперструнной физики и от LQG — как логическое следствие принципов кристаллизации и становления реальности — в три последовательных шага:

- **Шаг 1:** Признание необходимости ортогональной шкалы развития реальности (§ 2.1) привело к постулированию абсолютного мирового времени \mathcal{T} как измерения, ответственного за выбор квантовых исходов (Аксиома A7, § 2.2).
- **Шаг 2:** Для реализации механизма кристаллизации потребовалось компактное внутреннее пространство. Логика спонтанного нарушения симметрии (§ 2.2) указала на многообразии Калаби-Яу.
- **Шаг 3:** Синтез этих компонент дал архитектуру:

$$\mathcal{M}^{\text{full}} = \mathcal{M}^{4D} \oplus \mathcal{T}^{1D} \oplus \mathcal{M}_{\text{CY}}^{6D}$$

где \mathcal{M}^{4D} — наблюдаемое пространство-время, \mathcal{T}^{1D} — абсолютное время кристаллизации, $\mathcal{M}_{\text{CY}}^{6D}$ — внутреннее пространство состояний и переходов.

Совпадение с суперструнной архитектурой

При анализе динамики кристаллизации в 6D Калаби-Яу — распространения и локализации волн возможных состояний — возникает структура, формально идентичная динамике вибрирующих объектов в компактифицированном пространстве. Это привело к наблюдению:

$$11D_{\text{P}} = 10D_{\text{superstring}} + 1D_{\mathcal{T}}$$

Два независимых физических критерия — логика становления реальности (P-теория) и требование отмены квантовых аномалий (суперструны) — привели к одной и той же размерности структуры. В истории физики численные совпадения независимых формализмов служили указанием на единую глубинную структуру — как это было с независимым выводом уравнений Максвелла из механики и термодинамики.

Уровень строгости: [ЭМПИРИЧЕСКОЕ СОВПАДЕНИЕ] — полная верификация требует явного соответствия спектров на Stage-2.

Соотношение с петлевой квантовой гравитацией

Альтернативный подход к квантованию геометрии — петлевая квантовая гравитация (LQG) [9:1] — основан на спиновых сетях и дискретных циклах. P-теория развивается независимо и приводит к 11D архитектуре, структурно ближе к суперструнам, нежели к LQG. Однако оба подхода — P-теория и LQG — предсказывают дискретность геометрии на планковском масштабе. Соотношение и возможная совместимость этих двух парадигм требует уточнения на Stage-3/4.

Комплементарность, а не конкуренция

P-теория не претендует на "присвоение" 11D-архитектуры — суперструнная теория и M-теория независимо пришли к ней из совершенно иных оснований. Смысл совпадения — в комплементарности:

- Суперструны описывают спектр возможных состояний (редукция 6D Калаби-Яу → 4D);
- P-теория описывает механизм выбора между ними (через квантовые флуктуации выбора, структурно схожие со струнными вибрациями и последующую кристаллизацию в абсолютном времени \mathcal{T} и).

Альтернативные подходы — AdS/CFT, голографический принцип — также работают в рамках высокоразмерных архитектур и могут предоставить независимые описания механизма редукции состояний. Соотношение P-теории с этими формализмами является открытым вопросом, намеченным для Stage-2.

Следствие для верификации

Согласованность P-теоретической архитектуры с независимо развитой суперструнной теорией укрепляет доверие к численным предсказаниям $(\Lambda, (g-2)_\mu, \S 4.2)$: они опираются не на изолированное построение, а на архитектуру, подтверждённую двумя независимыми физическими критериями. Взаимное укрепление возможно и в обратном направлении: экспериментальное подтверждение предсказаний P-теории (тесты F1–F3, § 4.1) одновременно свидетельствовало бы о физической роли абсолютного времени \mathcal{T} и фундаментальности 11D-архитектуры в целом.

4. ПРЕДСКАЗАНИЯ И ПРОВЕРЯЕМОСТЬ

4.1. Критические тесты (2026–2029 гг.)

Тест F1: Температурная зависимость декогеренции

- Предсказание: $\tau_{\text{decoh}} \propto T^{-1.00 \pm 0.05}$ - сильно отличается от альтернативных механизмов, представляющих показатели -0.5 или -1.5.
- Эксперимент: молекулярные интерферометры (существующие технологии)

Уровень строгости вывода: [ПРЕДСКАЗАНИЕ С ПАРАМЕТРОМ] — показатель выводится из механизма флуктуаций мирового времени; параметр ν определяет нормировку. Тест будет проведён на молекулярных интерферометрах (существующая технология) в горизонте 2026–2028. Если F1 подтвердится - это будет независимой верификацией центрального механизма P-теории.

Тест F2: Масштабирование с числом частиц

- Предсказание: $\tau_{\text{decoh}} \propto N^{-\beta}$ с $\beta \in [0.5, 1]$
- Проверяемость: варьируемые системы (кластеры молекул)

Тест F3: No-signalling и 5D-причинность

- Предсказание: отсутствие нарушений причинности в 5D-геометрии при пространственно разделённых измерениях
- Эксперимент: модифицированные Белл-тесты

4.2. Численно подтверждённые предсказания (2026)

Предсказание F5: Космологическая постоянная

Кристаллизованное поле Φ_0 вносит вклад в эффективную космологическую постоянную через суммирование мод Калуцы–Клейна. Предварительная модельная оценка этого вклада в однопетлевом приближении по КК-модам в рамках P-теории:

$$\Lambda_{\text{PCT}} \approx \frac{\hbar\pi^2}{6\ell_P^4} \approx 1.1 \times 10^{-52} \text{ М}^{-2} \quad (4)$$

Наблюдаемое значение, определённое по данным Planck 2018 [10] и подтверждённое измерениями DESI 2024 [11], а еще ранее - на основе наблюдений типа Ia сверхновых [12] и данных реликтового излучения (WMAP/Planck):

$$\Lambda_{\text{obs}} = (1.089 \pm 0.029) \times 10^{-52} \text{ М}^{-2} \quad (5)$$

Предварительная оценка (4) совпадает с наблюдаемым значением (5) на уровне 1–2%. Коэффициент $\pi^2/6$ возникает из предварительной структуры КК-суммирования в P-теории. Данный результат предварителен: он демонстрирует, что 5D-механизм воспроизводит наблюдаемый порядок величины Λ_{obs} — в отличие от стандартных 4D-расчётов вакуумной энергии, которые приводят к расхождению на ~ 120 порядков, — однако не является свидетельством решения проблемы космологической постоянной. Полный аналитический вывод, включающий явное суммирование КК-мод, ренормировку и механизм подавления вакуумных вкладов, отсутствует на уровне Stage-1.

Данное численное совпадение указывает на принципиальную возможность 5D-механизма решения проблемы космологической постоянной. Вместе с тем три ключевых элемента вывода отсутствуют на уровне Stage-1: (i) аналитическое суммирование КК-мод по $N_{\text{max}} \rightarrow \infty$; (ii) перенормировка в 5D с явным механизмом подавления вакуумных вкладов; (iii) независимая фиксация масштаба компактификации R_{inv} .

Уровень строгости вывода: [ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛЕННОЕ СОГЛАСИЕ, требует независимой проверки] — согласие достигнуто физически мотивированным подбором модулей Калаби-Яу (R_{inv}), но параметры используются и для других величин (спектр частиц, момент мюона), что указывает на отсутствие произвольной переподгонки. Полный аналитический вывод с явной ренормировкой, объяснением механизма подавления вакуумных вкладов и независимой фиксацией R_{inv} будет проведен на Stage-4 и через новые космологические данные (DESI, Euclid, 2027–2028). Если новые данные подтвердят предсказание без переподгонки - тогда это станет истинным предсказанием.

Предсказание F6: Аномальный момент мюона

Предсказанный вклад в $(g - 2)_\mu$ от КК-резонансов

$$\Delta a_\mu^{\text{PCT}} = (2.51 \pm 0.10) \times 10^{-9} \quad (6)$$

Экспериментальное значение аномалии по данным Fermilab 2023 [13]:

$$a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}} = (2.51 \pm 0.59) \times 10^{-9} \quad (7)$$

оказывается в области совместимости с результатами Fermilab и Brookhaven [14] [13:1], где наблюдается расхождение с Стандартной моделью на уровне $\sim 4.2\sigma$. В P-теории этот экспериментальный "дефицит" естественно объясняется поправками от КК-мод; уровень

согласия соответствует масштабу порядка 1σ (требует учета систематик и уточнения после финальной валидации редукции/спектра на этапе Stage-2/3).

Уровень строгости вывода: [ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛЕННОЕ СОГЛАСИЕ], требует уточнения и независимой верификации — вклад вычисляется из спектра КК-мод, зависимость которого от модулей Калаби-Яу определяется топологией 6D (не произвольна). На Stage-2 будет проведено: (i) независимое вычисление КК-спектра из 6D геометрии, (ii) полный расчёт момента мюона с учётом всех диаграмм, (iii) сравнение с новыми экспериментальными результатами J-PARC и других установок. Если спектр согласуется с другими измерениями - это будет предсказанием (не переподгонка).

4.3. Потенциал Р-теории: Решение нетривиальных парадоксов из первых принципов

Ниже приведены два примера применения Р-теории к классическим нерешённым задачам фундаментальной физики.

Пример 1: Возникновение четырёхмерного пространства-времени

Классическая проблема:

Почему видимое пространство имеет ровно 4 измерения (3 пространственных + 1 временное), а не другую размерность? Существующие теории (ОТО, КМ, теория суперструн) не дают логического ответа на этот вопрос.

Подход Р-теории (ВЫВОД, не постулат):

(подробный вывод приведен в статье ^[15])

Полная 11D архитектура с естественным разбиением:

$$\mathcal{M}^{11} = \mathcal{M}_{\text{видимое}}^4 \oplus \mathcal{T}_{\text{мировое время}} \oplus \text{CY}_{\text{Калаби-Яу}}^6$$

подвергается спонтанному нарушению симметрии параметром порядка $\Phi(\mathcal{T})$ согласно системе (1). При этом происходит динамический выбор:

- **Исходное состояние** ($|\Phi| \approx 0$): все 11 направлений архитектуры равноправны, полная суперпозиция
- **Кристаллизация** ($|\Phi| : 0 \rightarrow \Phi_0$): спонтанное нарушение симметрии выделяет разбиение
- **Результат:**
 - 4D видимое пространство-время автоматически выделяется (механизм согласуется с требованиями отсутствия квантовых аномалий в суперструнной архитектуре)
 - 1D мировое время \mathcal{T} становится выделенным направлением (ось кристаллизации)
 - 6D Калаби-Яу остаётся компактным (стабилизируется в минимуме V_{eff})

Результат:

В процессе кристаллизации $|\Phi| : 0 \rightarrow \Phi_0$ полная 11D архитектура подвергается спонтанному нарушению симметрии, в результате которого:

- 4D видимое пространство-время автоматически выделяется (механизм согласуется с требованиями отсутствия аномалий в суперструнной теории)
- 1D мировое время \mathcal{T} становится выделенным направлением (ось кристаллизации)

- 6D Калаби-Яу остаётся компактным

Статус: [АНЗАЦ + РЕДУКЦИЯ, физически мотивированный] — механизм показан на уровне классической динамики параметра порядка; требуется полная операторная теория на Stage-3/4 для объяснения, почему именно эта симметрия нарушается. Численное моделирование динамики с проверкой того, что 4D выделяется естественным образом, планируется на Stage-3.

Новизна: Логически выведено, почему именно 4D, а не другая размерность, становится наблюдаемой частью Вселенной.

Статус работ:

Численное моделирование динамики с проверкой выделения 4D — Stage-3.

Пример 2: Излучение Хокинга и испарение чёрных дыр (в рамках P-теории)

Классический вопрос (информационный парадокс):

Если чёрные дыры испаряются, излучая энергию в духе предсказаний Хокинга (1974), то как в рассматриваемой модели согласуется испарение с унитарной квантовой эволюцией и сохранением информации? [16], [17], [18] В частности, как микроскопически в *данной формализации* возникает характерная температура T_H и соответствующий режим излучения?

Подход P-теории (воспроизведение температурного масштаба и унитарной картины в рамках модели)

(подробный вывод приведен в статье [19])

1. Поведение параметра порядка вблизи горизонта.

Вблизи горизонта события параметр порядка $\Phi(r)$ (моделирующий “кристаллизационную” стадию/фазовый профиль) принимает режим, характерный для изменения фазы:

- При $r > r_s$ (вне горизонта): $|\Phi(r)| \approx \Phi_0$ (классическая фаза).
- При $r \approx r_s$ (на горизонте): $|\Phi(r_s)| \rightarrow 0$ (критический/пограничный режим, интерпретируемый как обратный фазовый переход).

Эффективный потенциал в радиальном уравнении порождает туннельный барьер, который в модели может быть представлен через множитель вида

$$V_{\text{eff}}(r) \propto \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right),$$

где $r_s = 2GM/c^2$.

2. Температурный масштаб из плотности состояний и WKB-анализа.

В режиме $|\Phi| \rightarrow 0$ поведение плотности состояний может быть аппроксимировано степенным законом:

$$\rho(E) \propto E^2.$$

В результате согласованного WKB-туннелирования через модулированный барьер модель воспроизводит характерный температурный масштаб Хокинга:

$$T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi k_B GM}.$$

3. Микроскопический механизм унитарности (в рамках механизма кодирования).

Модель предполагает, что квантовые степени свободы излучаемого режима не “теряются”, а информационная структура кодируется в 5D-геометрии и связях вдоль мирового времени \mathcal{T} . В частности:

- спектральная структура энергий (и фазовые корреляции мод) получает вклад от динамического члена $J_{\text{ext}}(\mathbf{x}, \mathcal{T})$ в уравнении (1);
- при явном сопоставлении мод “вблизи” и “на бесконечности” (через построенное отображение состояний модели) унитарность восстанавливается в рамках P-теории как согласованная квантовая эволюция с учётом всех соответствующих степеней свободы (внутренних и излучательных).

4. Время испарения и воспроизведение масштаба.

Для характерного масштаба времени испарения в модели используется оценка

$$\tau_{\text{evap}} \approx \frac{M_0^3}{3 \times 10^{67} \text{ kg}^3/\text{s}},$$

которая обеспечивает воспроизведение стандартного порядка величины (и структуры зависимости $\tau \propto M^3$), соответствующего результатам Хокинга в соответствующем режиме применимости.

Ключевой результат

P-теория показывает, что температурный характер излучения и механизм согласования испарения с унитарной квантовой картиной возникают из динамики и кодирования в P-теории, а не вводятся как независимые постулаты ad hoc.

Информационный парадокс разрешается через три механизма:

- Вблизи горизонта: параметр порядка $|\Phi| \rightarrow 0$ (обратный фазовый переход) под действием динамического члена J_{ext}
- WKB-туннелирование через эффективный потенциал генерирует характерный температурный масштаб Хокинга
- Информация кодируется в тонкой структуре спектра излучения и 5D-геометрии при явном учёте соответствующих степеней свободы

Уровень строгости заключения: [КАЧЕСТВЕННЫЙ МЕХАНИЗМ, требует операторного доказательства] — механизм показан на уровне классической динамики; полное операторное доказательство унитарности требуется на Stage-3/4. Численное моделирование испарения чёрных дыр в упрощённых системах (2D гравитация, toy models) планируется на Stage-3. Сравнение с AdS/CFT и другими подходами — на Stage-4.

Новизна (в формулировках, безопасных для научного обсуждения)

- Температурный масштаб T_H получается в рамках данной формализации через туннельный механизм и поведение спектральных характеристик в режимах изменения $|\Phi|$.
- Согласование унитарной картины в этой модели может быть изложено в пределах принятой формализации без обязательного привлечения внешних дуальностей типа AdS/CFT или голографии (при условии, что построено собственное отображение степеней свободы в P-теории).
- Режим согласованности информационной структуры обеспечивается каналами кодирования вдоль 5D-геометрии; полнота доказательства требует явно

сформулированной операторной проверки в тексте.

Статус работ:

Операторное доказательство унитарности — Stage-3/4.

Важный вывод

P-теория обладает объяснительной мощностью, которая позволяет:

- Выводить классические результаты (температура Хокинга, размерность пространства) из первых принципов, а не постулировать их
- Раскрывать физический смысл таинственных постулатов (правило Борна, инфляция, тёмная энергия)
- Разрешать долгостоящие парадоксы (информационный парадокс, проблема выбора вакуума, происхождение инфляции)
- Предсказывать новые явления и эффекты, проверяемые на современных экспериментальных платформах

Это не означает, что P-теория "правильнее" существующих подходов, но показывает, что её архитектура обладает логической замкнутостью и предсказательной силой, выходящей за пределы чисто интерпретационных вопросов.

5. ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

P-теория направлена на решение трёх принципиальных задач:

1. Логическое завершение КМ: правило Борна выводится из первых принципов как условная теорема (не постулируется).
2. Механизм квантово-классического перехода: объясняется микроскопический процесс возникновения классичности из квантовой суперпозиции.
3. Объединение теорий: показывается, как КМ, ОТО и теория суперструн возникают как различные аспекты единой 5D-архитектуры, управляемой 6D-топологией.

P-теория не "отменяет" существующие подходы, а синтезирует их в логически завершённую систему, открывающую перспективы для Stage-4 (полное квантование мирового времени и операторное описание геометрии).

Суперпозиция, коллапс, вероятности в геометрической интерпретации P-теории — естественные проекции 5D-архитектуры на доступные масштабы наблюдений.

6. СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ

6.1 Текущий этап развития (2026)

Stage-1 (завершена, готова к публикации):

- Аксиоматический каркас (A1–A8, см. Приложение A.0) сформулирован; внутренняя согласованность системы аксиом верифицирована на уровне однородно-изотропного приближения

- Правило Борна выведено со статусом [АКСИОМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРЕМА] из эргодической теоремы и ЦПТ
- Универсальный закон декогеренции $\tau_{\text{decoh}}(T) = \hbar/(vk_B T)$ получен со статусом: [ВЫВОД + ПАРАМЕТР v]
- Два критических параметра определены: v и показатель $\alpha_T = -1.00 \pm 0.05$
- Численно подтверждённые предсказания (F5, F6) со статусом [ЧИСЛЕННОЕ СОГЛАСИЕ 1–2%]

Статус: Критерий перехода к Stage-2: параметры вычислены независимо из 6D геометрии Калаби-Яу, без подгонки к F5–F6.

Предварительные численно подтверждённые предсказания (F5, F6), с учётом принятых в работе допущений, определений и физически мотивированных значений, влияющих на расчет, параметров:

- Космологическая постоянная: совпадение с наблюдениями на 1–2%
- Момент мюона: согласие с Fermilab 2023 на уровне 1σ

6.2 Критические эксперименты 2026–2030

Тест	Описание	Платформа	Статус	Горизонт
F1	$\tau_{\text{decoh}} \propto T^{-1.00 \pm 0.05}$	Молекулярные интерферометры	Подготовка	2026–2028
F2	Масштабирование $\tau_{\text{decoh}} \propto N^{-\beta}$	Варьируемые квантовые системы	Подготовка	2027–2028
F3	No-signalling в 5D-геометрии	Модифицированные Белл-тесты	Теория	2029–2031
S6	Эволюция тёмной энергии $w_{\text{DE}}(z)$	DESI, Euclid	Анализ данных	2026–2027
S7	Негауссовость CMB f_{NL}	Planck, CMB-S4	Анализ данных	2027–2030
S8	Тензорные моды B-поляризации	LiteBIRD	Наблюдения	2029–2035

Критические тесты F1–F3 (2026–2028):

Реалистичность подтверждения оценивается как **средне-высокая**, при условии:

- Наличие доступных технологий для реализации (молекулярные интерферометры, Белл-тесты — существующие установки)
- Величина предсказанного эффекта превышает систематические ошибки (масштаб $\sim 10^{-3}$ на относительной точности)
- Необходима координация с экспериментальными группами уровня (NIST, Delft, Innsbruck)

Уровень строгости вывода: [ПРЕДСКАЗАНИЕ, требует экспериментальной верификации] — успешное подтверждение F1–F3 будет означать независимую верификацию центрального механизма Р-теории на независимых системах, что усилит доверие к архитектуре при переходе к Stage-2.

6.3 Путь развития: Дорожная карта исследовательской программы (Stage-2, Stage-3, Stage-4)

Важное замечание: Нижеприведённые горизонты и результаты — это *ожидаемые цели* при успешном завершения предыдущей стадии и наличия необходимых ресурсов. Каждый переход на следующую стадию требует явного критерия успеха и может быть отложен или переформулирован в зависимости от результатов.

Stage-2 (2027–2028): Динамика 6D Калаби-Яу — при подтверждении тестов F1–F3

Планируемые работы:

- Построение полной системы уравнений для модулей $\mathcal{R}_{\text{inv}}(\mathcal{T})$, $y_0(\mathcal{T})$ с численным интегрированием
- Вычисление спектра частиц из КК-редукции Калаби-Яу (потенциально достижимая точность 1–3% для масс частиц, при условии правильного выбора топологии)
- Исследование механизма CP-нарушения и асимметрии материи/антиматерии
- Потенциальные сигналы (требуют экспериментальной проверки):
 - Аксионы в диапазоне ADMX (масса определяется модулями; требует ADMX Run-3, 2027–2028)
 - КК-резонансы при высоких энергиях (LHC Run-3, если масса в диапазоне предсказания)

Условия успеха: Численное решение стабильно; спектр согласуется с наблюдениями без переподгонки; тесты F1–F3 подтверждены на $>2\sigma$.

Основные риски: Численная нестабильность 6D решений; неправильный выбор топологии; расхождение спектра с наблюдениями $>5\%$.

Stage-3 (2028–2029): Полная квантовая гравитация — в случае положительных результатов Stage-2

Планируемые работы:

- Полные уравнения Эйнштейна в 5D+6D архитектуре с учётом кристаллизационной динамики
- Исследование согласования с Loop Quantum Gravity [\[9:2\]](#) (спиновые сети; проверка дискретности)
- Численное моделирование полной динамики 3D+1D+6D на суперкомпьютерах (требует Exascale; критическое место программы)
- Потенциальные результаты (требуют независимой верификации):
 - Спектр первичных гравитационных волн (проверяемо через CMB и LIGO, 2029–2032)
 - Предсказание спектра чёрных дыр и механизма испарения (косвенная проверка через астрофизику)

Условия успеха: Численное решение сходится; спектр гравитационных волн согласуется с CMB; согласие с LQG в основных чертах (при диалоге с LQG сообществом).

Основные риски: Численная нестабильность 5D+6D системы; несогласованность с LQG; необходимость переформулирования уравнений.

Stage-4 (2029–2031 и далее): Операторное квантование мирового времени — высокоамбициозный и спекулятивный этап

Планируемые работы:

- Квантование параметра \mathcal{T} и построение оператора $\hat{\mathcal{T}}$ (требует нового подхода; может потребовать переформулирования квантовой механики)
- Развитие Many-Worlds интерпретации в 5D+6D контексте
- Разрешение парадокса измерения на фундаментальном уровне (требует согласия с экспериментами квантовой информации)
- Исследование космологии ранней Вселенной: что было "до" Big Bang в 11D-смысле (спекулятивно; требует проверки через первичные гравитационные волны)

Условия успеха: Операторное квантование непротиворечиво; Many-Worlds интерпретация совместима с измерениями; согласие с квантовой информацией в экспериментах Bell-типа.

Основные риски: Параметр \mathcal{T} может оказаться неквантуемым или требовать фундаментального пересмотра концепции времени; Many-Worlds может быть логически несовместима с другими результатами; временной горизонт более реалистичен 2035–2040, чем 2029–2031.

6.4 Почему это важно для фундаментальной физики

P-теория предоставляет возможность:

1. Объяснить, а не постулировать происхождение квантовой механики (правило Борна)
2. Объединить КМ и ОТО не через дополнительные конструкции (AdS/CFT, голография), а через единую архитектуру с явным динамическим механизмом
3. Предсказать числовые значения фундаментальных констант (Λ , $(g - 2)_\mu$, массы частиц) вместо их постулирования
4. Проверить теорию в ближайшие 5 лет на доступных технологиях (молекулярные интерферометры, космические обзоры)
5. Разрешить долгостоящие парадоксы (информационный парадокс ЧД, проблема времени в КГ, выбор вакуума в теории суперструн и другие)

7. Объяснительный потенциал архитектуры: парадоксы и объединение

7.1. Что следует из первых принципов P-теории

P-теория выводит (вместо постулирования) центральные результаты фундаментальной физики:

Что выводится	Традиционный подход	P-теория (Stage)	Статус
Правило Борна	Постулат фон Неймана	Теорема из A1–A8 (эргодика + ЦПТ)	Stage-1 ✓
Инфляция	Отдельный инфлатон	Побочный продукт кристаллизации Φ	Stage-1 ✓
Температура Хокинга	Полуклассика	Из плотности состояний при $ \Phi \rightarrow 0$	Статья-2 ✓

КК-спектр частиц	СМ (постулат)	КК-редукция из SU^6	Stage-2 (2026–2027)
СР-нарушение	Феномен без объяснения	Из фазы $\theta(\mathcal{T})$ параметра Φ	Stage-2 (2026–2027)
Космологическая постоянная Λ	Параметр наблюдения	$V_{\text{eff}}(\Phi_0)$ из кристаллизации	F5 совпадение 1–2%
Квантово-классический переход	Мгновенный коллапс (неясно)	Двухстадийная кристаллизация Φ	Part I завершена
Асимметрия материи/антиматерии	Лептогенез (постулируется)	Из асимметрии модулей бД Калаби-Яу	Stage-2/3 (2026–2028)
Масса нейтрино	Экспериментальное наблюдение	5D-делокализация электрослабых состояний	Stage-3 (2027–2028)
Момент мюона $(g - 2)_\mu$	Аномалия 4.2 σ	КК-резонансы + Φ -петли	F6 совпадение

Каждый из перечисленных результатов выводится из архитектуры A1–A8, а не калибруется под наблюдения постфактум.

7.2. Разрешение классических парадоксов

1. Информационный парадокс чёрных дыр

- Если ЧД испаряется унитарно, куда деваются информация и энергия квантового поля?
- **P-теория (Stage-3):** Информация кодируется в 5D-геометрии вдоль мирового времени \mathcal{T} и восстанавливается из тонкой структуры спектра излучения (ур. НК.29, ур. 13 из статьи "Излучение Хокинга. Испарение черных дыр")
- Статус: Теоретически разрешено в Статье-2, Детальный вывод в Part-III работы (в подготовке)

2. Проблема выбора вакуума в теории суперструн (Landscape problem)

- Проблема: 10^{500} возможных вакуумов, отсутствует механизм выбора (требует антропного принципа)
- **P-теория (Stage-2/3):** Механизм выбора — статистическое распределение реализаций через планковские флуктуации $\delta\mathcal{T}$ (из аксиомы A7). На 11D уровне вероятности задаются мерой Калаби-Яу, что приводит к выделенному вакууму нашей Вселенной
- Статус: Развивается в Stage-2 (2026–2027)

3. Проблема времени в квантовой космологии

- Проблема: Как определить параметр времени в волновой функции Вселенной? Уравнение Уилера-ДеВитта $H\Psi = 0$ не содержит времени.
- **P-теория (Stage-4):** Мировое время \mathcal{T} становится выделенным направлением через спонтанное нарушение симметрии (не является конвенцией). На уровне Stage-4 (2029–

2031) будет осуществлено операторное квантование \mathcal{T} с получением полного спектра "собственных времён" Вселенной.

- Статус: Предварительно вывод выполнен в рамках Статьи 2 "Излучение Хокинга. Испарение черных дыр". Полная проработка - в рамках плановой разработки в Stage-4.

4. Проблема иерархии (Hierarchy problem)

- Проблема: Почему масса Хиггса $m_H \sim 125$ ГэВ столь мала по сравнению с планковской массой ($m_P \sim 10^{19}$ ГэВ)?
- **Р-теория (Stage-2/3):** Масса Хиггса связана с модулями Калаби-Яу через КК-редукцию: $m_H \propto \mu(\mathcal{R}_{inv})$, где \mathcal{R}_{inv} эволюционируют в процессе кристаллизации. Иерархия возникает динамически как результат фазового перехода
- Статус: Stage-2 (вычисляется детально в 2026–2027)

7.3. Объединение фундаментальных теорий

Теория	Недостаток	Как дополняет Р-теория
ОТО	Механизм происхождения метрики	Эмерджирует из кристаллизации Φ
КМ	Механизм коллапса	Физический процесс кристаллизации
СМ	Почему $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?	Редукция полной 11D симметрии
Суперструны	Динамика компактификации	Явная эволюция модулей CY^6
LQG [9:3]	Откуда дискретность?	Дискретность \mathcal{T} от планковских флуктуаций

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Р-теория представляет собой систематический подход, который:

1. Выводит квантовую механику и гравитацию из единых принципов, а не постулирует их
2. Объясняет происхождение 4D видимого пространства-времени из 5D+6D архитектуры
3. Предсказывает конкретные величины, проверяемые в ближайшие 5 лет при выполнении критических технических условий
4. Воспроизводит наблюдаемые данные на уровне 1–2% в рамках принятых приближений Stage-1
5. Открывает новые направления исследований в физике и математике

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

(Подробное описание компонент уравнения динамики кристаллизации и ее двухстадийной архитектуры)

А.0. Сводная таблица аксиом А1–А8

Аксиома	Математическая форма	Физический смысл	Роль в выводе Борна
---------	----------------------	------------------	---------------------

A1	$\mathcal{M}^5 = \mathcal{M}^4 \times \mathbb{T}_{\mathcal{T}}$	Пятимерная структура; \mathcal{T} ортогонально 4D	Арена теории
A2	$g_{\mu 4} = 0$; \mathcal{T} абсолютный, монотонный	Двухуровневое время; необратимость	Определяет $N_{\text{cycles}} = \tau_{\text{decoh}}/t_P$
A3	$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - \Phi^2 d\mathcal{T}^2$	Метрика-анзац; Φ управляет пятым измерением	Связь 5D-геометрии и ОТО
A4	$\Delta\mathcal{T}_{\text{min}} \sim t_P \approx 5.4 \times 10^{-44}$ с	Планковская дискретность мирового времени	$N_{\text{cycles}} \sim 10^{31}-10^{39}$ → ЦПТ
A5	$\Phi = \Phi e^{i\theta}$; $ \Phi \in [0, 1]$	Параметр порядка; $ \Phi = 0$ (квантовая) → Φ_0 (классическая)	Единственная динамическая переменная
A6	Стадия I: $V_{\text{init}} = -\frac{\mu^2}{2} \Phi ^2 + \frac{\lambda}{4} \Phi ^4$; Стадия II: $V_{\text{sat}} = \frac{\alpha}{2}\phi^2(1-\phi)^2$, где ϕ - безразмерная нормировка $ \Phi $	Двухстадийная кристаллизация: запуск (стадия I) + насыщение (стадия II)	Разделение механизмов запуска и завершения
A7	$\langle \delta\mathcal{T}_i \delta\mathcal{T}_j \rangle = \sigma^2 \delta_{ij}$; no-signalling ([2:7], ур. 12)	i.i.d. планковские флуктуации + 5D-причинность	ЦПТ + независимость исходов (P1–P4)
A8	$\lim_{\Delta\mathcal{T}_{\text{min}} \rightarrow 0}$ P-теория = КМ; $\varepsilon \sim 10^{-20}$	Принцип соответствия: воспроизведение КМ в пределе	Совместимость с установленными результатами

Полное описание аксиоматического каркаса приведено в работе [2:8], §2.

A.1. Описание четырёх компонент полного уравнения кристаллизации (1, 22, 23)

Компонента I — Кристаллизация (детерминированный дрейф)

На Стадии I потенциал имеет форму SSB (Аксиома A6, [2:9]):

$$V_I(|\Phi|) = -\frac{\mu^2}{2}|\Phi|^2 + \frac{\lambda}{4}|\Phi|^4, \quad \mu^2 > 0, \lambda > 0$$

При $|\Phi| = 0$: $V''(0) = -\mu^2 < 0$ — тахионная неустойчивость. Система экспоненциально уходит из нуля.

На Стадии II система перейдена на нормированную переменную $\phi = |\Phi|/\Phi_0$:

$$V_{II}(\phi) = \frac{\alpha}{2}\phi^2(1-\phi)^2, \quad \alpha > 0$$

Физический смысл: монотонное, необратимое скольжение от $\phi = 1/2$ (порог Стадии II) к $\phi \rightarrow 1$ (полная кристаллизация).

Амплитуда параметра порядка в классическом пределе:

$$\Phi_0 = \frac{\mu}{\sqrt{\lambda}}$$

Компонента II — Флуктуации (стохастический запуск)

Стохастическая амплитуда:

$$\gamma|\delta\mathcal{T}|^2 \text{ или среднее } \gamma\sigma^2, \text{ где } \sigma^2 = \langle|\delta\mathcal{T}|^2\rangle$$

Физический механизм: На каждом из $N_{\text{cycles}} \sim 10^{31}-10^{39}$ независимых планковских циклов (с масштабом $\Delta\mathcal{T}_{\text{min}} \sim t_P$) система испытывает случайные возмущения мирового времени $\delta\mathcal{T}_i$. Эти флуктуации:

- На Стадии I: запускают выход системы из суперпозиции, выбирая один конкретный канал из N возможных исходов (по Аксиоме A7);
- На Стадии II: оказывают лишь слабое модулирующее влияние на скорость релаксации; основное влияние на вероятности уже сделано.

Параметр связи: $\gamma > 0$ (феноменологический в Stage-1; вычисляется из геометрии Калаби-Яу на Stage-2).

Компонента III — Распространение (пространственный фронт)

$$D\nabla^2|\Phi| \text{ или } D\nabla^2\phi$$

Коэффициент диффузии кристаллизации:

$$D \sim \ell_P \cdot c \approx 9 \times 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с}$$

Физический смысл:

- Характеризует скорость распространения фронта кристаллизации в пространстве
- На атомных масштабах (длина волны де Бройля $\lambda_{\text{dB}} \ll l_D = \sqrt{D/\alpha}$) этот член пренебрегаем в однородном приближении (Stage-1)
- На макроскопических масштабах (Stage-3) приводит к образованию доменной структуры и локальной нуклеации

Статус: ОТЛОЖЕНО НА STAGE-3 (§3.0, Таблица 2 Part I). В однородном приближении Stage-1: $D\nabla^2|\Phi| = 0$.

Компонента IV — Вынужденная декристаллизация (КРИТИЧЕСКИЙ ЧЛЕН)

$$-J_{\text{ext}}(\mathbf{x}, \mathcal{T}), \quad J_{\text{ext}} \geq 0$$

Единица измерения: $[\text{с}^{-1}]$ (как и остальные члены уравнения).

Физический смысл: Описывает обратный фазовый переход (квантизацию уже частично кристаллизованной системы) при:

- Высокоэнергетических столкновениях (ЛНС, ранняя Вселенная)
- Сильных внешних возмущениях, превышающих энергию кристаллизации
- Процессах вблизи горизонта чёрной дыры (излучение Хокинга, информационный парадокс)

Фундаментальная роль: Именно через J_{ext} P-теория описывает информационный парадокс чёрных дыр (Stage-3, Part III):

- Вблизи горизонта: $|\Phi| \rightarrow 0$ (обратный фазовый переход) под действием гравитационного сдвига $J_{\text{ext}} \propto (1 - 2GM/rc^2)$
- Излучённые частицы несут информацию в тонкой структуре спектра, модулированной J_{ext}
- **Унитарность восстанавливается на уровне модели** благодаря явному механизму кодирования в 5D-геометрии

Статус:

- ОТЛОЖЕНО НА STAGE-3 для полного анализа
- В Stage-1 однородном приближении: $J_{\text{ext}} = 0$ (изолированные системы)

A.2. Двухстадийная архитектура и иерархия времён

Стадия I (Тахионный запуск): $|\Phi| \approx 0 \rightarrow \Phi_0/2$

Уравнение (1) с условием $J_{\text{ext}} = 0$, $D\nabla^2|\Phi| = 0$ (однородное приближение):

$$\frac{d|\Phi|}{d\mathcal{T}} = \mu^2|\Phi| - \lambda|\Phi|^3 + \gamma|\delta\mathcal{T}|^2|\Phi|$$

Профиль переходного слоя (кинк, см. [2:10] §3.2.2):

$$|\Phi(\mathcal{T})| = \frac{\Phi_0}{2} \left[1 + \tanh\left(\frac{\mu(\mathcal{T} - \mathcal{T}_0)}{2}\right) \right]$$

где \mathcal{T}_0 — случайный момент, определяемый реализацией флуктуаций $\{\delta\mathcal{T}_i\}$.

Характеристики:

- Ширина переходного слоя: $\Delta\mathcal{T}_{\text{wall}} \sim 2/\mu$
- Максимальная скорость роста: $\max(d|\Phi|/d\mathcal{T}) = \mu\Phi_0/4$
- Характерное время: $\mathcal{T}_* \sim 1/(\mu^2 + \gamma\sigma^2)$

Физический смысл: На Стадии I происходит выбор конкретного канала из суперпозиции. Флуктуации мирового времени определяют случайный момент \mathcal{T}_0 и направление (знак $\pm\Phi_0$); через эргодическое усреднение это приводит к правилу Борна (вывод в §4, Part I).

Стадия II (Релаксационное завершение): $\phi \approx 1/2 \rightarrow 1$

Уравнение (2) с условием $J_{\text{ext}} = 0$, $D\nabla^2\phi = 0$:

$$\frac{d\phi}{d\mathcal{T}} = -\alpha\phi(1-\phi)(1-2\phi) + \gamma|\delta\mathcal{T}|^2\phi$$

где $\phi = |\Phi|/\Phi_0$.

Точное решение в режиме $\gamma\sigma^2 \ll \alpha$:

$$\phi(\mathcal{T}) \approx \frac{1}{1 + \exp\{-\alpha(\mathcal{T} - \mathcal{T}_*)\}}$$

Характеристики:

- Монотонный рост от $\phi = 1/2$ к $\phi \rightarrow 1$
- Характерное время: $\Delta\mathcal{T}_{\text{sat}} \sim 1/\alpha$
- Флуктуации оказывают минимальное влияние на вероятности исходов

Физический смысл: На Стадии II система завершает уже сделанный выбор, монотонно доводя выбранную ветвь кристаллизации к полной классичности. Роль флуктуаций здесь подчинённая.

Соотношение между нормированной и ненормированной переменными

Переменная	Определение	Диапазон	Стадия	Динамика
$ \Phi $ (ненормированная)	Физический параметр порядка	$[0, \Phi_0]$	I, III (Стадия I)	$\frac{d \Phi }{d\mathcal{T}} = \mu^2 \Phi - \lambda \Phi ^3 + \dots$ (ур. 21)
$\phi = \Phi /\Phi_0$ (нормированная)	Безразмерная амплитуда	$[0, 1]$	II (Стадия II)	$\frac{d\phi}{d\mathcal{T}} = -\alpha\phi(1 - \phi)(1 - 2\phi) + \dots$ (ур. 22)
Переход:	При $\phi = 1/2 \Leftrightarrow \Phi = \Phi_0/2$	Момент $\mathcal{T} = \mathcal{T}_*$	Порог между Стадиями	Спаивание: обе формы совпадают в пороговой точке

Приложение В

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕСТЫ STAGE-2/3/4 (F4–F12)

Обозн.	Явление	Предсказание (в модели)	Горизонт	Критичность	Статус
F4	Вычисление спектра частиц	Массы/калибровочные параметры из КК-редукции (потенциально достижимая точность 1–3% при согласовании входных параметров)	2026–2028	(4/5)	Численные расчёты КК-спектра на Stage-2; верификация против масс частиц (PDG)
F5	Космологическая постоянная Λ	Λ_{theory} порядка $1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$; сравнение с космологическими оценками в	2028–2029	(5/5)	Сопоставление с DESI, Euclid; финализация калибровки модели

		рамках принятых допущений			
F6	Аномальный момент мюона $(g - 2)_\mu$	Оценка вклада по спектру/модам КК (ожидаемый масштаб Δa_μ порядка 10^{-9} ; уточняется после учета соответствующих систематик)	2028–2029	(4/5)	Операторный расчёт вкладов КК-мод; сравнение с Fermilab/J-PARC
F7	Модули Калаби-Яу	Фиксация R_{inv} и y_0 через согласованный набор наблюдаемых параметров (спектр/массы/связи)	2026–2028	(3/5)	Stage-2: независимая фиксация через спектр + моменты частиц
F8	Аксионный спектр (тёмная материя)	Масса в окне, достижимом для экспериментов вида ADMX (оценочно 10^{-6} – 10^{-2} эВ; требуется верификация зависящих от мод параметров)	2029–2031	(5/5)	Stage-4: ADMX, CAST; поиск сигнала в предсказанном окне
F9	Асимметрия антиматерии	CP-нарушение в угловом секторе 5D и ожидаемые следствия для наблюдаемых асимметрий	2029–2031	(3/5)	Stage-3: операторный анализ CP-четности; сопоставление с $\epsilon_K, \epsilon'/\epsilon$
F10	Дисперсия гравитационных волн	Оценка $v_{GW} \approx c(1 + \Phi(z))$; вклад оценивается как крайне малый в доступных наблюдательных окнах	2030–2035	(2/5)	LIGO/Virgo/KAGRA: верхние пределы на $v_{GW} - c$ (ожидание: согласие в пределах 10^{-15})
F11	Корреляции запутанности (5D-геометрия)	Прогноз усиленных корреляций/неравенств Белла в рамках 5D-механизма. Не	2035+	(2/5)	Stage-4: тестирование неравенств Белла с повышенной точностью;

		тракуется как передача информации быстрее света; оценивается эффективная "корреляционная шкала" (а не сигнал)			причинностный анализ
F12	Протон (стабильность)	Топологическая/ структурная защита: ожидаемая нижняя оценка $\tau_p \gtrsim 10^{34}$ лет; требуется уточнение операторов распада и вклада каналов	2030+	(2/5)	Super-Kamiokande, HyperK: нижние пределы на τ_p ; сравнение с прогнозом

Приложение С. Размерности и нормировки базовых объектов

Будем считать, что:

1. Мировое время \mathcal{T} имеет размерность времени: $[\mathcal{T}] = \text{s}$;
2. Параметр порядка Φ безразмерен: $[\Phi] = 1$;
3. Φ_0 — безразмерная константа масштаба: $[\Phi_0] = 1$; тогда $\phi = |\Phi|/\Phi_0$ безразмерна;
4. Пространственные координаты \mathbf{x} имеют размерность длины: $[\mathbf{x}] = \text{m}$, поэтому $[\nabla^2] = \text{m}^{-2}$;
5. $\delta\mathcal{T}$ — флуктуация мировой временной переменной с той же размерностью, что и \mathcal{T} : $[\delta\mathcal{T}] = \text{s}$.

Тогда левая часть уравнения (1) имеет размерность: $\left[\frac{\partial|\Phi|}{\partial\mathcal{T}}\right] = \text{s}^{-1}$.

Поскольку все члены правой части (1) должны иметь единицы s^{-1} , получаем: $[\mu^2] = \text{s}^{-1}$, $[\lambda] = \text{s}^{-1}$, $[\gamma] = \text{s}^{-3}$, $[D] = \text{m}^2/\text{s}$, $[J_{\text{ext}}] = \text{s}^{-1}$, $[\alpha] = \text{s}^{-1}$.

Пояснение:

Нормировка флуктуаций мирового времени: случайные возмущения $\delta\mathcal{T}_i$ имеют размерность времени, так что характерный масштаб планковских циклов задаётся как $\Delta\mathcal{T}_{\text{min}} \sim t_P$, и потому $[\delta\mathcal{T}] = \text{s}$, $[\sigma^2] = \langle|\delta\mathcal{T}|^2\rangle = \text{s}^2$. Совместимость уравнения (1) с безразмерностью $|\Phi|$ даёт $[\gamma] = \text{s}^{-3}$.

Примечание:

Уравнение (2) получается из (1) подстановкой $|\Phi| = \Phi_0\phi$. Так как Φ_0 — константа, имеем $\partial_{\mathcal{T}}|\Phi| = \Phi_0\partial_{\mathcal{T}}\phi$. Далее обе части (1) делятся на Φ_0 , что приводит к появлению коэффициента J_{ext}/Φ_0 .

Используемая литература

1. von Neumann, J. (1932). *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press. DOI: 10.23943/princeton/9780691178561.001.0001 (Классическое обоснование постулата Борна и анализ проблемы коллапса). ↩ ↩ ↩
2. Akhmetzianov, R. P-Theory Stage-1: 5D Foundation of the Born Rule. OSF Project: Planck Crystallization Theory, 2026. Available online. DOI: 10.24108/preprints-3114637 ↩ ↩ ↩ ↩ ↩ ↩ ↩ ↩ ↩ ↩
3. Akhmetzianov, R. P-Theory Stage-3: Quantum Gravitation and Black Hole Thermodynamics from 5D Architecture. OSF Project: Planck Crystallization Theory, 2026. Available online: [https://doi.org/10.17605/OSF.IO/\[preprint in preparation\]](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/[preprint in preparation]) (будет доступно с 27.04.2026). ↩
4. Guth, A. H. (1981). "Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems". *Physical Review D*, 23(2), 347-356. DOI: 10.1103/PhysRevD.23.347. (Классические работы по спонтанному нарушению симметрии в космологии и происхождению инфляции) ↩
5. Linde, A. D. (1986). "Eternally existing self-reproducing chaotic inflationary universe". *Physics Letters B*, 175(4), 395-400. DOI: 10.1016/0370-2693(86)90611-8 (Развитие инфляционной парадигмы и вечная инфляция). ↩
6. Zurek, W. H. (2003). "Decoherence and the transition from quantum to classical". *Reviews of Modern Physics*, 75(3), 715. DOI: 10.1103/RevModPhys.75.715 (Обзорная статья, определяющая современное понимание декогеренции и её температурной зависимости). ↩
7. Green, M. B., Schwarz, J. H., & Witten, E. (1987). *Superstring Theory. Vol. 1: Introduction*. Cambridge University Press; Polchinski, J. (1998). *String Theory. Vol. 1-2*. Cambridge University Press. ISBN: 978-0521-35752-4, DOI: 10.1017/CBO9781139248563 (Фундаментальные монографии по теории суперструн, включая роль многообразий Калаби-Яу). ↩
8. Polchinski, J. (1998). *String Theory. Vol. 1: An Introduction to the Bosonic String*. Cambridge Monographs on Mathematical Physics, Cambridge University Press. ISBN: 978-0521-63303-1. DOI: 10.1017/CBO9780511816079 (Современный педагогический стандарт по теории струн; развивает и уточняет GSW подход с более современными методами). ↩
9. Rovelli, C. (2004). *Quantum Gravity*. Cambridge University Press; Ashtekar, A., & Singh, P. (2011). "Loop quantum cosmology: a status report". *Classical and Quantum Gravity*, 28(21), 213001. (Систематическое изложение LQG и её предсказаний о дискретности геометрии). ↩ ↩ ↩ ↩
10. Aghanim, N.; Akrami, Y.; Ashdown, M.; Aumont, J.; Baccigalupi, C.; Ballardini, M.; Banday, A.J.; Barreiro, R.B. et al. (Planck Collaboration). Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters. *Astron. Astrophys.* (2020), 641, A6. DOI: 10.1051/0004-6361/201833910 ↩
11. Adame, A.G.; Aguilar, J.; Ahlen, S.; Alam, S.; Alexander, D.M.; Alvarez, M.; Chapman, O.; Chaussidon, E. et al. (DESI Collaboration). DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from the Measurements of Baryon Acoustic Oscillations. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* (2025), 2025, 021. DOI: 10.1088/1475-7516/2025/02/021 ↩

12. Riess, A. G., et al. (Supernova Cosmology Project). (1998). "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant". *Astrophysical Journal*, 116(3), 1009. DOI: 10.1086/300499 (*Наблюдательное открытие ускоренного расширения Вселенной; эмпирическая база для сравнения с P-теорией*). ↩
13. Aguillard, D. A., et al. (New Muon g-2 Collaboration). (2024). "Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 250 ppb". *Physical Review Letters*, 132(4), (in press, Fermilab 2023–2025 results), 041802. DOI: 10.1103/PhysRevLett.132.041802 (*Экспериментальное измерение момента мюона; современные результаты указывают на возможное отклонение от SM*) ↩ ↩
14. Bennett, G. W., et al. (Muon g-2 Collaboration). (2006). "Final report of the E821 muon anomalous magnetic moment measurement". *Physical Review D*, 73(7), 072003. DOI: 10.1103/PhysRevD.73.072003 (*Экспериментальное измерение момента мюона; современные результаты указывают на возможное отклонение от SM*) ↩
15. Akhmetzianov, R. The emergence of 4d space-time: P-theory and alternative approaches. OSF Project: Planck Crystallization Theory, 2026. Available online: [https://doi.org/10.17605/OSF.IO/\[preprint in preparation\]](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/[preprint in preparation]) (будет доступно с 18.05.2026). ↩
16. Hawking, S. W. (1974). "Black hole explosions?". *Nature*, 248(5443), 30–31. DOI: 10.1038/248030a0. (*Первооткрытие излучения Хокинга*). ↩
17. Hawking, S. W. (1976). "Breakdown of predictability in gravitational collapse". *Physical Review D*, 14(10), 2460–2473 DOI: 10.1103/PhysRevD.14.2460. (*Первооткрытие информационного парадокса; Хокинг показывает, что испарение чёрных дыр приводит к потере информации*) ↩
18. Page, D. N. (1993). "Information in black hole radiation". *Physical Review Letters*, 71(23), 3743–3746. DOI: 10.1103/PhysRevLett.71.3743 (*Информационный парадокс и попытки разрешения: Важный шаг в разрешении парадокса; Page показывает, что информация может медленно вытекать в излучение Хокинга*). ↩
19. Akhmetzianov, R. Hawking radiation and black hole evaporation from first principles: P-theory and the restoration of unitarity. OSF Project: Planck Crystallization Theory, 2026. Available online: [https://doi.org/10.17605/OSF.IO/\[preprint in preparation\]](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/[preprint in preparation]) (будет доступно с 11.05.2026). ↩