

Предел упругости вакуума: от лабораторного эксперимента к природе сознания

Автор: M.NITSBERG

Независимый исследователь.

mn32@mail.ru

Аннотация

Предложена пороговая модель объективного коллапса волновой функции, основанная на существовании универсального предела упругой энергии вакуумной среды $E_{\text{max}} \approx 2,05 \times 10^{-32}$ Дж. Модель объединяет четыре теоретических результата: индуцированную гравитацию А. Д. Сахарова [1], теорему Марголуса–Левитина [4], принцип Ландауэра [7] и субстанциональную модель времени А. П. Левича [5], а также теорию причинных множеств Р. Д. Соркина [24] и формализм макроскопической нелокальности диссипативных процессов С. М. Коротаева [25, 26].

Ключевое утверждение: E_{max} — первичная измеряемая величина, определяемая экспериментально как критический диаметр монодисперсной сферы, при котором происходит излом в зависимости скорости декогеренции от массы. Все остальные фундаментальные постоянные выводятся: G — через индуцированную гравитацию Сахарова (зависит от числа полей Стандартной модели $N \approx 76$); Λ — через теорию причинных множеств Соркина (зависит от числа причинных элементов $N_{\text{causal}} \sim 10^{240}$); $\hbar$ — из измеренного E_{max} при известных G , c , Λ . Скорость света c рассматривается как эмерджентная величина — скорость упругих волн в вакуумной среде с жёсткостью $K_{\text{vac}} = c^4/(16\pi G) \approx 2,41 \times 10^{42}$ Н.

Неравенства Белла нарушаются ниже порога (чистая квантовая механика) и выполняются выше (классический режим); пороговый переход нелокален, поскольку определяется свойством вакуумной среды, а не локальным скрытым параметром частицы. Феноменологическое мастер-уравнение с одним параметром $\tau_{\text{vac}} = \hbar/E_{\text{max}} \approx 5,15$ мс предсказывает скачкообразный излом в зависимости скорости декогеренции от массы — сигнатуру, отсутствующую в модели Диоши–Пенроуза [17, 18]. Показано, что срыв когерентности имеет характер фазового перехода — дискретизации вакуума: континуум мод распадается на дискретные некогерентные домены. Дискретизация устраняет сингулярность в чёрных дырах — вместо точечного коллапса образуется ядро из дискретного вакуума с универсальной плотностью $\rho_{\text{max}} \approx 5,4 \times 10^{55}$ кг·м⁻³. Информационная ёмкость критической области на пороге составляет менее одного бита — суббитовый результат, прямо следующий из малости космологической постоянной. Энтропия Бекенштейна–Хокинга выражается через τ_{vac} : $S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot R_{\text{stop}}/(c \cdot \tau_{\text{vac}})$.

Предложена двухканальная архитектура эксперимента: физический канал (монодисперсные сферы золота $D \approx 1201$ нм и алмаза $D \approx 2373$ нм, удерживаемые в сверхпроводящей магнитной ловушке при криогенных температурах) и биологический канал (живой лист *Arabidopsis thaliana*). Тройное совпадение сигнатур — излом скорости декогеренции, скачок фазы $\Delta\nu \approx 194$ Гц, пик энтропийных флуктуаций — однозначно идентифицирует пороговое событие. Проверка материалонезависимости (золото, осмий, алмаз) — решающий тест

универсальности. Обоснование биологического канала опирается на экспериментально подтверждённую квантовую когерентность в фотосинтезе [11, 29, 30], гипотезу Пенроуза–Хамерофа об Orchestrated Objective Reduction в микротрубочках [16, 39, 40], недавние данные об УФ-суперизлучении сетей триптофана в микротрубочках при комнатной температуре [32] и результаты квантовой интерференции фуллеренов C_{60} [27]. Модель охватывает диапазон от наночастиц до астрофизических объектов, связывает тёмную энергию (Λ) с пределом квантовой когерентности, даёт единый критерий квантово-классического перехода и строго фальсифицируема. Существующие эксперименты [8] устанавливают верхнюю границу $\tau_{vac} < 16600$ с.

Ключевые слова: объективный коллапс волновой функции; эмерджентная гравитация; упругая модель вакуума; квантово-классический переход; декогеренция; индуцированная гравитация; причинные множества; космологическая постоянная; квантовый предел скорости; принцип Ландауэра; гравитационный темп; внутреннее время; неравенства Белла; квантовая запутанность; нелокальность диссипативных процессов; дискретизация вакуума; квантовая биология; сознание; тёмная энергия; энтропия Бекенштейна–Хокинга.

Введение

Проблема перехода от квантового к классическому описанию материи традиционно рассматривается в терминах декогеренции, вызванной взаимодействием системы с окружением. Однако остаётся открытым вопрос о существовании внутреннего, обусловленного самой природой пространства-времени, предела устойчивости квантовой суперпозиции.

Эксперименты последних двадцати лет показали, что граница квантового и классического проходит значительно дальше, чем предполагалось. В 1999 году группа А. Цайлингера и М. Арндта впервые продемонстрировала квантовую интерференцию фуллеренов C_{60} — молекул массой $\sim 1,2 \times 10^{-24}$ кг, состоящих из 60 атомов углерода, при температуре ~ 900 К [27]. Позднее интерференция была показана для ещё более массивных органических молекул, включая производные порфирина — структурного фрагмента хлорофилла и гемоглобина [28]. Эти результаты установили, что квантовая когерентность не является исключительной прерогативой микроскопических частиц и может сохраняться в сложных, тёплых, массивных системах.

Параллельно в биологии открылось неожиданное: квантовая когерентность функционирует в живых системах при комнатной температуре. В 2007 году Г. Энгель с коллегами обнаружили волновой (квантово-когерентный) перенос энергии в фотосинтетическом комплексе FMO зелёных серных бактерий при 77 К [11], а последующие работы подтвердили когерентность экситонов в фотосинтетических комплексах и при комнатной температуре [29, 30].

Ещё более радикальная гипотеза была выдвинута Р. Пенроузом и анестезиологом С. Хамерофом: в их модели Orchestrated Objective Reduction (Orch OR) квантовая когерентность в микротрубочках нейронов сохраняется в «тёплой и влажной» биологической среде за счёт экранировки дебаевским слоем, упорядоченной воды и топологической защиты [39, 40]. Хотя эта гипотеза остаётся предметом активной дискуссии, недавние экспериментальные данные существенно укрепили её эмпирическую базу: в 2024 году Бабкок с коллегами [32] сообщили об экспериментальном наблюдении УФ-суперизлучения от сетей из более чем 10^5 триптофанов в собранных микротрубочках при физиологической температуре — прямое подтверждение коллективных квантовых эффектов в этих

структурах. Параллельно группа Виста [33] показала, что стабилизатор микротрубочек эпотилон В задерживает наступление наркоза у крыс на 69 секунд (Cohen's $d = 1,9$), что подтверждает роль микротрубочек как мишени анестетиков — предсказание, следующее из модели Orch OR. Эти результаты задают принципиальный вопрос: если квантовая когерентность может существовать в биологических системах, то какие физические механизмы ограничивают её масштаб?

В настоящей работе мы опираемся на концепцию А. Д. Сахарова [1], в которой гравитация интерпретируется не как фундаментальное взаимодействие, а как эмерджентный эффект — проявление упругости вакуума: присутствие массы деформирует пространственно-временную среду, и энергия этой деформации E_G является реальным физическим ресурсом. Сахаров ввёл понятие «метрической упругости» пространства, показав, что уравнения Эйнштейна возникают из квантовых флуктуаций вакуума подобно тому, как уравнения теории упругости возникают из межатомных взаимодействий.

Мы выдвигаем гипотезу: вакуум как упругая среда обладает пределом упругости $E_{\max}$ — максимальной энергией деформации, которую он способен удержать в виде когерентного квантового состояния. При достижении $E_G \geq E_{\max}$ среда «рвётся»: вакуум теряет способность поддерживать согласованную квантовую фазу, что приводит к коллапсу волновой функции. Это новый физический механизм квантово-классического перехода, не сводимый к декогеренции от окружения и не требующий внешнего наблюдателя.

Важное разграничение. Предел $E_{\max}$ относится к пространственной суперпозиции центра масс тела — возможности описать движение тела как целое когерентной волновой функцией. Он не ограничивает внутреннюю квантовую когерентность — фазовые отношения между внутренними степенями свободы (электронные состояния в сверхпроводнике, спиновая когерентность, экситонные возбуждения). Эти два типа когерентности физически различны: пространственная суперпозиция центра масс требует, чтобы вакуум в объёме тела поддерживал единую когерентную фазу для всей массы; внутренняя когерентность требует согласованных фазовых отношений между подсистемами с пренебрежимо малой гравитационной самоэнергией. Разграничение разрешает кажущийся парадокс: сверхпроводимость килограммового образца (внутренняя когерентность) сосуществует с невозможностью пространственной суперпозиции того же образца (которая потребовала бы $E_G \gg E_{\max}$). Подробное количественное рассмотрение — в разделе 11.

Далее мы показываем, что разрыв упругости имеет характер фазового перехода: континуальный модовый спектр вакуума распадается на дискретные некогерентные домены. Эта дискретизация устраняет сингулярность в чёрных дырах — вместо точки бесконечной плотности образуется ядро из дискретного вакуума с конечной, универсальной плотностью. Тем самым модель $E_{\max}$ указывает путь к квантовой гравитации: квант вакуума ($E_{\max}$) и механизм дискретизации (разрыв упругости) — это фундаментальные ингредиенты, из которых может быть построена теория дискретного пространства-времени.

Формула для $E_{\max}$ имеет эвристический характер и получена методами размерностного анализа из фундаментальных констант; её экспериментальная проверка и является основной целью данной работы. Мы предлагаем феноменологическое мастер-уравнение, которое описывает пороговый переход и делает предсказание экспериментально различимым от альтернативных моделей (в первую очередь — модели Диоши–Пенроуза).

Дальнейшая динамика срыва описывается в двух дополнительных рамках. Неравновесная термодинамика (И. Пригожин [31]): разрыв упругости — необратимый, диссипативный процесс, сопровождающийся резким ростом производства энтропии. Субстанциональная модель времени (А. П. Левич [5, 6]): изменение энергетического состояния системы влечёт изменение темпа локальных событий, что проявляется как фазовый сдвиг между локальным и лабораторным временем.

Цель работы — вывести E_{max} из фундаментальных констант (как эвристическую оценку), сформулировать экспериментальный тест для его определения, предложить феноменологическое описание порогового перехода, разрешить кажущийся парадокс макроскопической внутренней когерентности, показать связь с дискретизацией вакуума и устранением сингулярности в чёрных дырах, и разработать двухканальную архитектуру эксперимента с биологическим каналом для проверки возможной кросс-корреляции между когерентностью неживой и живой материи.

Часть I. Теоретическая основа

А. Д. Сахаров [1] показал, что гравитация может быть не фундаментальным взаимодействием, а эмерджентным явлением — аналогом упругости сплошной среды, возникающей из квантовых флуктуаций вакуума. Действие Эйнштейна–Гильберта $S \propto \int R \sqrt{g} d^4x$ отождествляется с изменением действия квантовых флуктуаций вакуума при искривлении пространства [1, 2].

Масштабная сила упругости вакуума — характеристика, определяющая отклик среды на гравитационную деформацию:

$$K_{\text{vac}} = c^4 / (16\pi G) \approx 2,41 \times 10^{42} \text{ Н}$$

Размерность: $[c^4/G] = (m^4/s^4) / (m^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}) = \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2} = \text{Н}$. Это не жёсткость пружины (Н/м) и не модуль Юнга (Па = Н/м²). Это масштабная сила — коэффициент, связывающий меру кривизны с силой упругого отклика вакуума. В механике сплошных сред аналогом является масштаб напряжения, задающий амплитуду отклика при фиксированной геометрической деформации.

Линейная плотность вакуума:

$$\mu_{\text{vac}} = c^2 / (16\pi G) \approx 2,68 \times 10^{25} \text{ кг/м}$$

Скорость света интерпретируется как скорость распространения упругих возмущений в этой среде:

$$c = \sqrt{(K_{\text{vac}} / \mu_{\text{vac}})} = \sqrt{[c^4/(16\pi G)] / (c^2/(16\pi G))} = c$$

Данное тождество подтверждает внутреннюю согласованность определений K_{vac} и μ_{vac} , но не является выводом с из первых принципов. Оно демонстрирует, что при выбранной параметризации скорость света автоматически совпадает со скоростью упругих волн в среде. Физический смысл нетривиален: K_{vac} и μ_{vac} — характеристики вакуумной среды, определяемые

её полевым содержанием, а их отношение задаёт универсальный масштаб скорости распространения возмущений — точно так же, как модуль Юнга и плотность твёрдого тела определяют скорость звука. с везде одинакова, потому что вакуум везде однороден.

В механике сплошных сред модуль упругости и предел текучести — независимые параметры. Аналогично, K_{vac} (масштабная сила упругости) и E_{max} (предел упругости) — независимые характеристики вакуума. K_{vac} известен из с и G . E_{max} — новый параметр, вывод которого дан в разделе 3.

2. Энергия гравитационной деформации вакуума

Гравитационная самоэнергия однородной сферы массы M и радиуса R [3]:

$$E_G = (3/5) \cdot G \cdot M^2 / R$$

Коэффициент $3/5$ — точный геометрический фактор для однородной сферы (интегрирование по оболочкам: $\int_0^R G \cdot m(r) \cdot dm/r$, где $m(r) = (4/3)\pi r^3 \rho$).

Выражая массу через плотность и радиус ($M = (4/3)\pi R^3 \rho$):

$$E_G = K \cdot R^5$$

где материал-зависимый коэффициент:

$$K = (16/15) \cdot \pi^2 \cdot G \cdot \rho^2$$

Размерность: $[K] = \text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \times \text{кг}^2 \cdot \text{м}^{-6} = \text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-2} = \text{Дж} \cdot \text{м}^{-5}$.

$K \propto \rho^2$ — свойство конкретного материала, не фундаментальная константа.

Различие K_{vac} (жесткость вакуума, свойство среды) и K (жесткость материала, свойство вещества) — принципиально: эксперимент с золотом измеряет E_{max} через $K(\text{Au})$; эксперимент с алмазом измеряет тот же E_{max} через $K(\text{алмаз})$.

Материал	ρ , кг/м ³	K , Дж/м ⁵
Осмий (Os)	22590	0,359
Платина (Pt)	21450	0,323
Золото (Au)	19320	0,262
Вольфрам (W)	19300	0,262
Свинец (Pb)	11340	0,0904
Алмаз (C)	3520	$8,71 \times 10^{-3}$
Кремний (Si)	2329	$3,81 \times 10^{-3}$

В рамках модели именно E_G , а не M , R или ρ по отдельности, является релевантным параметром для устойчивости квантовой когерентности.

$E_{\max}$ — новый элемент гипотезы, обосновываемый методом размерностного анализа.

Две характеристики энергии вакуума:

Планковская плотность энергии — теоретический предел «прочности»: $\rho_P = c^7 / (\hbar G^2) \approx 4,63 \times 10^{113} \text{ Дж/м}^3$

Наблюдаемая плотность энергии вакуума (космологическая постоянная, тёмная энергия) — «предварительное напряжение»: $\rho_\Lambda = \Lambda c^4 / (8\pi G) \approx 5,32 \times 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$

Безразмерное отношение $\rho_\Lambda / \rho_P \ll 1$ отражает малость наблюдаемой плотности энергии вакуума по сравнению с планковским пределом. Предел упругости определяется как планковская энергия, масштабированная кубическим корнем из этого отношения:

$$E_{\max} = E_P \cdot (\rho_\Lambda / \rho_P)^{1/3}$$

где $E_P = \sqrt{(\hbar c^5 / G)} \approx 1,956 \times 10^9 \text{ Дж}$ — планковская энергия.

Подстановка явных выражений даёт:

$$E_{\max} = \hbar^{5/6} \cdot c^{3/2} \cdot G^{-1/6} \cdot \Lambda^{1/3} \cdot (8\pi)^{-1/3}$$

Численная оценка при $\Lambda \approx 1,06 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$:

$$\rho_\Lambda / \rho_P \approx 1,15 \times 10^{-123}$$

$$(\rho_\Lambda / \rho_P)^{1/3} \approx 1,05 \times 10^{-41}$$

$$E_{\max} \approx 1,956 \times 10^9 \times 1,05 \times 10^{-41} \approx 2,05 \times 10^{-32} \text{ Дж}$$

Обоснование степени 1/3. Энергия, ассоциированная с характерным объёмом, масштабируется как $E \sim \rho \cdot V \sim \rho \cdot L^3$. Переход от отношения объёмных плотностей (безразмерная величина, $[\rho_\Lambda / \rho_P] = 1$) к отношению энергий требует извлечения кубического корня, поскольку $\Delta E / E_P \sim (\Delta \rho / \rho_P)^{1/3}$ — единственная степень n , при которой $(E_{\max} / E_P)^n = \rho_\Lambda / \rho_P$ соответствует размерностному переходу от объёмной величины к линейной в трёхмерном пространстве. Показатель 1/3 также

отражает трёхмерность: объёмная плотность энергии деформации масштабируется с характерным размером как L^{-3} .

Данная конструкция представляет собой размерностно-обоснованный анзац: это единственная комбинация фундаментальных констант ($\hbar$, c , G , Λ), имеющая размерность энергии и удовлетворяющая требованию $E_{\max} \rightarrow 0$ при $\Lambda \rightarrow 0$ (вакуум без предварительного напряжения не имеет предела упругости) и $E_{\max} \rightarrow E_P$ при $\Lambda \sim \Lambda_P$ (планковский предел). Оценка носит эвристический характер: она получена методами размерностного анализа и не следует из вариационного принципа. Её экспериментальная проверка является основной целью данной работы.

Объём когерентности. $E_{\max}$ можно интерпретировать как упругую энергию «объёма когерентности» V_{coh} при фоновой плотности ρ_Λ :

$$E_{\max} = \rho_\Lambda \cdot V_{\text{coh}}$$

$$V_{\text{coh}} = E_{\max} / \rho_\Lambda = l_P^3 \cdot (\rho_P / \rho_\Lambda)^{2/3}$$

$$L_{\text{coh}} = V_{\text{coh}}^{1/3} = l_P \cdot (\rho_P / \rho_\Lambda)^{2/9} \approx 33,8 \text{ нм}$$

$L_{\text{coh}} \approx 34 \text{ нм}$ — нанометровый масштаб, попадающий в диапазон размеров объектов эксперимента. Модель связывает макроскопический параметр (Λ) с наноскопическим экспериментом через L_{coh} .

$E_{\max}$ универсально — определяется только фундаментальными константами ($\hbar$, G , c , Λ), является свойством вакуума, а не материала.

4. Квантовый предел скорости (Марголус–Левитин)

Теорема Марголуса–Левитина [4]: квантовая система со средней энергией E требует времени не менее

$$\tau_{\text{ML}} = \hbar / (2E)$$

для перехода в ортогональное состояние. Это квантовый предел скорости эволюции — аналог скорости света для информационных процессов.

Применение к гравитационной самоэнергии. Для объекта с E_G :

$$\tau_{\text{ML}} = \hbar / (2E_G) = \tau_{\text{grav}} / 2$$

где вводится гравитационный темп:

$$1/\tau_{\text{grav}} = E_G / \hbar = 3GM^2 / (5\hbar R)$$

Размерность: Дж / (Дж·с) = s^{-1} — частота, число причинных циклов гравитационного самодействия в единицу времени. Выведен из доказанной теоремы квантовой механики, не постулирован.

Через радиус:

$$1/\tau_{\text{grav}} = K \cdot R^5 / \hbar$$

Связь с моделью Левича. А. П. Левич [5, 6] определяет внутреннее время открытой системы через число событий (субституций), протекающих через

систему. Выражение $\tau_{\text{grav}} = \hbar/E_G$ — квантовомеханическая реализация этой идеи: «событием» считается один цикл гравитационного самодействия, темп событий — $1/\tau_{\text{grav}} = E_G/\hbar$.

5. Причинный порог и информационно-термодинамический треугольник

Вводится время когерентности вакуума τ_{vac} — феноменологический параметр с размерностью времени. Вакуум рассматривается как квантовый канал с конечной пропускной способностью $1/\tau_{\text{vac}}$.

Пороговое условие:

$$\tau_{\text{grav}} \leq \tau_{\text{vac}}$$

эквивалентно:

$$E_G \geq \hbar / \tau_{\text{vac}} \equiv E_{\text{max}}$$

При $1/\tau_{\text{grav}} < 1/\tau_{\text{vac}}$ (объект эволюционирует медленнее, чем вакуум обновляет фазу) — канал справляется, когерентность сохраняется. При $1/\tau_{\text{grav}} \geq 1/\tau_{\text{vac}}$ (объект эволюционирует быстрее, чем вакуум может отслеживать) — канал перегружен, фазовая информация теряется.

С E_{max} , выведенным в разделе 3:

$$\tau_{\text{vac}} = \hbar / E_{\text{max}} \approx 1,055 \times 10^{-34} / 2,05 \times 10^{-32} \approx 5,15 \text{ мс}$$

$$1/\tau_{\text{vac}} \approx 194,3 \text{ с}^{-1}$$

Информационно-термодинамический треугольник (Ландауэр). Принцип Ландауэра [7]: стирание одного бита информации требует минимума энергии $k_B \cdot T \cdot \ln 2$. На пороге теряется ровно один бит фазовой информации:

$$E_{\text{max}} = k_B \cdot T_{\text{vac}} \cdot \ln 2$$

Три величины связаны:

$$\tau_{\text{vac}} \leftrightarrow E_{\text{max}} = \hbar/\tau_{\text{vac}} \leftrightarrow T_{\text{vac}} = E_{\text{max}}/(k_B \cdot \ln 2)$$

Из любых двух следует третье. При $E_{\text{max}} = 2,05 \times 10^{-32}$ Дж:

$$T_{\text{vac}} = 2,05 \times 10^{-32} / (1,381 \times 10^{-23} \times 0,693) \approx 2,14 \text{ нК}$$

Разрешение возражения о втором начале. При лабораторной температуре $T_{\text{lab}} = 10 \text{ мК}$ стирание бита стоит $\sim 10^{-25}$ Дж — в 10^7 раз больше E_{max} . Бит теряется не в тепловом контакте с криостатом, а в термодинамическом контексте самого вакуума, при $T_{\text{vac}} \approx 2,14 \text{ нК}$. Второе начало не нарушается — оно работает при правильной температуре.

Проверка согласованности с пределом Бреммерманна [20]. Максимальная скорость обработки информации в системе с энергией E :

$$C_{\text{max}} = 2E / (\pi \hbar)$$

Для E_{max} : $C_{\text{max}} \approx 123,7 \text{ бит/с}$. Причинный темп на пороге: $1/\tau_{\text{vac}} \approx 194,3 \text{ с}^{-1}$. Отношение:

$$(1/\tau_{\text{vac}}) / C_{\text{max}} = (E_{\text{max}}/\hbar) / (2E_{\text{max}}/(\pi \hbar)) = \pi/2 \approx 1,571$$

Алгебраическое тождество по построению при любом E_{max} . Причинный темп вакуума составляет $2/\pi$ от квантового информационного предела. Множитель $\pi/2$ отражает макроскопическую природу вакуума (много степеней свободы) по сравнению с одним квантовым битом.

6. Феноменологическое мастер-уравнение с пороговым переходом

Предложим феноменологическое уравнение для эволюции матрицы плотности $\hat{\rho}(t)$ центра масс тела:

$$d\hat{\rho}/dt = -(i/\hbar) \cdot [\hat{H}, \hat{\rho}] - \Gamma(E_G) \cdot \Theta(E_G - E_{\max}) \cdot (\hat{\rho} - \hat{\rho}_{\text{diag}})$$

где:

$\hat{H}$ — гамильтониан центра масс, $\Gamma(E_G)$ — скорость декогеренции, $\Theta(x)$ — функция Хевисайда, $\hat{\rho}_{\text{diag}}$ — диагональная часть матрицы плотности.

Выберем:

$$\Gamma(E_G) = \Gamma_0 \cdot (E_G / E_{\max})^2$$

где $\Gamma_0 = E_{\max} / \hbar \approx 194$ Гц. Такой выбор обеспечивает:

— размерность частоты, — квадратичную зависимость от $E_G / E_{\max}$ (соответствует росту числа доступных каналов диссипации), — отсутствие свободных параметров.

Пороговая структура $\Theta(E_G - E_{\max})$ делает предсказание принципиально отличным от плавной декогеренции модели Диоши–Пенроуза, где $\tau_{\text{DP}} = \hbar / E_G$.

Ключевое свойство: ниже порога уравнение — точно стандартная квантовая механика. Модель не противоречит ни одному существующему эксперименту, потому что все они — ниже порога. Один свободный параметр: τ_{vac} (или $E_{\max} = \hbar/\tau_{\text{vac}}$).

7. Энтропийная динамика (Пригожин)

Разрыв упругости вакуума — необратимый процесс. В рамках неравновесной термодинамики И. Пригожина [31] срыв когерентности соответствует бифуркации: система переходит из квазикогерентного режима в диссипативный.

Скорость производства энтропии определяется диссипативным членом мастер-уравнения (раздел 6):

$$dS/dt \propto \Gamma(E_G) \cdot (1 - \text{Tr}(\hat{\rho}^2))$$

где $(1 - \text{Tr}(\hat{\rho}^2))$ — мера отклонения от чистого состояния (линейная энтропия).

До порога: $\Gamma = 0$, следовательно $dS/dt \approx 0$ — система в когерентном режиме, унитарная эволюция, энтропия сохраняется на нуле, информация о фазе не теряется.

В момент срыва: $\Gamma > 0$, $dS/dt > 0$ — энтропия скачкообразно растёт, квантовая информация уничтожается. При $E_G = E_{\max}$, когда Γ скачкообразно обращается от нуля к конечному значению, производство энтропии испытывает пик:

$$(dS/dt)_{\text{crit}} \propto \Gamma_0 \cdot (1 - \text{Tr}(\hat{\rho}^2))$$

где $\Gamma_0 = E_{\max}/\hbar \approx 194,3$ с⁻¹.

В единицах k_B :

$$(1/k_B) \cdot dS/dt \sim 1/\tau_{\text{vac}} = E_{\max}/\hbar \approx 194,3$$
 с⁻¹

Время диссипации — один причинный цикл вакуума:

$$\tau_{\text{diss}} = \tau_{\text{vac}} = \hbar / E_{\max} \approx 5,15$$
 пс

Потеря информации за один цикл:

$$\Delta S \sim (1/\tau_{\text{vac}}) \cdot \tau_{\text{diss}} = (1/\tau_{\text{vac}}) \cdot \tau_{\text{vac}} = 1$$
 k_B

Ровно один бит — количество информации, необходимое для уничтожения фазовой когерентности одной квантовой суперпозиции.

Это экспериментально наблюдаемая сигнатура: пик энтропийных флуктуаций, синхронизированный с падением контраста интерференции.

Диссипация — причинная, а не термодинамическая. Фазовая информация теряется не потому, что она стирается термодинамически (что потребовало бы диссипации $\geq k_B \cdot T_{lab} \cdot \ln 2$), а потому, что причинный канал между компонентами суперпозиции разрывается. Бит теряется в термодинамическом контексте самого вакуума, при $T_{vac} \approx 2,14$ нК (раздел 5), а не в тепловом контакте с криостатом.

Гистерезис. Необратимость (аналог пластической деформации) предсказывает гистерезисный характер перехода при циклировании массы через порог. Это отличает данную модель от схемы Диоши–Пенроуза, где декогеренция непрерывна и обратима.

8. Скачок внутреннего темпа событий (Левич)

Согласно субстанциональной модели времени А. П. Левича [5, 6], темп внутренних событий системы определяется её энергетическим состоянием. Характерный масштаб внутреннего ритма:

$$\Delta t_{int} = \hbar / E_G$$

По мере роста E_G (увеличения массы сферы) Δt_{int} уменьшается — внутренний темп ускоряется. При приближении к E_{max} :

$$\Delta t_{int} \rightarrow \hbar / E_{max} \approx 5,15 \text{ мс}$$

В момент срыва внутренний «пульс» системы претерпевает скачок: фаза между локальным временем системы и лабораторным временем меняется на величину $\Delta\phi > 2\pi$. Это проявляется как резкий набег фазы, фиксируемый атомными часами.

Для фазового сдвига 2π за время срыва $\tau_{vac} \approx 5,15$ мс необходим сдвиг частоты:

$$\Delta\nu = \Delta\phi / (2\pi \cdot \tau_{vac}) = 1 / \tau_{vac} \approx 194 \text{ Гц}$$

Это измеримая величина — она находится в диапазоне чувствительности оптомеханических детекторов и атомных часов (см. Часть II).

Замечание о статусе. Соотношение $\Delta t_{int} = \hbar / E_G$ формально совпадает с соотношением неопределённостей энергия–время, но в интерпретации Левича оно получает дополнительный смысл: это не нижний предел измерения, а характеристика «скорости течения» внутреннего времени системы. Скачок темпа при срыве — прямое следствие пороговой модели (раздел 6): диссипативный член активируется скачкообразно, что меняет динамику системы и, следовательно, её внутренний ритм.

9. Информационная размерность порогового перехода (Шеннон—Бекенштейн—Ландауэр)

Срыв когерентности при $E_G = E_{max}$ — это не только механическое (разрыв упругости) и термодинамическое (рост энтропии) событие, но и информационное: система теряет квантовую информацию о собственной фазе. Три классических результата — теорема Шеннона, граница Бекенштейна и принцип Ландауэра — дают независимое описание того же порогового перехода.

Фон Неймановская энтропия и теорема Шеннона. Квантовое состояние системы описывается матрицей плотности $\hat{\rho}$. Чистое (когерентное) состояние имеет нулевую энтропию:

$$S_{vN} = -k_B \cdot \text{Tr}(\hat{\rho} \cdot \ln \hat{\rho}) = 0 \text{ (чистое состояние)}$$

Смешанное (декогерентное) состояние имеет $S_{vN} > 0$. Связь с классической теорией информации Шеннона устанавливается через спектр собственных значений матрицы плотности $\{p_i\}$:

$$S_{vN} = k_B \cdot \ln 2 \cdot H(\{p_i\})$$

где $H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$ — энтропия Шеннона. Таким образом, фон Неймановская энтропия есть энтропия Шеннона, выраженная в физических единицах ($k_B \cdot \ln 2 =$ один бит).

Динамика информации в мастер-уравнении. Дифференцируя S_{vN} по времени и подставляя мастер-уравнение (раздел 6), получаем:

$$dS_{vN}/dt = -k_B \cdot \Gamma(E_G) \cdot \text{Tr}(D[\rho] \cdot \ln \rho)$$

Унитарный член даёт нулевой вклад: $\text{Tr}([\hat{H}, \rho] \cdot \ln \rho) = 0$ (так как $[\rho, \ln \rho] = 0$). Это строгий результат: унитарная эволюция не создаёт и не уничтожает информацию — она только преобразует её.

До порога: $\Gamma = 0$, следовательно $dS_{vN}/dt = 0$ — энтропия сохраняется на нуле, информация о фазе не теряется. В момент срыва: $\Gamma > 0$, $dS_{vN}/dt > 0$ — энтропия скачкообразно растёт, квантовая информация уничтожается. Срыв — это акт необратимого стирания квантовой информации, и мастер-уравнение описывает его количественно.

Граница Бекенштейна. Максимальная энтропия (информация), которую может вместить сферическая область радиуса R с энергией E , ограничена соотношением Бекенштейна:

$$S_{Bek} = 2\pi k_B R E / (\hbar c)$$

В битах:

$$I_{max} = S_{Bek} / (k_B \ln 2) = 2\pi R E / (\hbar c \ln 2)$$

Подставляя пороговые значения $E = E_{max} \approx 2,05 \times 10^{-32}$ Дж и $R = R_{crit} \approx 6,0 \times 10^{-7}$ м (золото, $D = 1201$ нм):

$$I_{max} = 2\pi \cdot 6,0 \times 10^{-7} \cdot 2,05 \times 10^{-32} / (1,055 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8 \cdot \ln 2) \approx 1,4 \times 10^{-4} \text{ бит}$$

Это — менее одного бита, примерно на четыре порядка ниже кванта информации. Критическая область вакуума в момент срыва не способна вместить даже один бит различимой информации.

Универсальность суббитового результата. I_{max} зависит от R_{crit} , который определяется плотностью материала. Однако зависимость слабая: $I_{max} \propto R_{crit} \propto \rho^{(-2/5)}$. Для всего диапазона материальных плотностей — от пенопласта ($\rho \sim 50$ кг/м³) до осмия ($\rho \sim 22600$ кг/м³) — I_{max} остаётся в пределах $10^{-4} - 10^{-2}$ бит. Результат суббитовый для любого материала. Это прямое следствие малости E_{max} : поскольку $E_{max} \approx 10^{-32}$ Дж (определяется космологической постоянной Λ), информационная ёмкость на пороге ничтожно мала.

Радиус, необходимый для ёмкости ровно 1 бит при энергии $E_{\max}$:

$$R_{1 \text{ бит}} = \hbar c \ln 2 / (2\pi E_{\max}) \approx 1,7 \times 10^5 \text{ м} \approx 170 \text{ км}$$

Это на 11 порядков превышает $R_{\text{crit}} \approx 6 \times 10^{-7} \text{ м}$. Система на пороге срыва в 10^{11} раз «меньше», чем требуется для хранения одного бита информации при данной энергии.

Принцип Ландауэра. Минимальная энергия, необходимая для стирания одного бита информации при температуре T :

$$E_L = k_B \cdot T \cdot \ln 2$$

Вводя эффективную температуру порога:

$$T_{\text{vac}} = E_{\max} / (k_B \cdot \ln 2) \approx 2,14 \text{ нК}$$

получаем: $k_B \cdot T_{\text{vac}} \cdot \ln 2 = E_{\max}$. То есть $E_{\max}$ — это в точности энергия стирания одного бита при эффективной температуре порога. Пороговый переход можно интерпретировать как ландауэровское стирание последнего когерентного бита квантовой фазовой информации: вакуум затрачивает энергию $E_{\max}$ на уничтожение единицы информации.

Скорость стирания информации. Характерная скорость потери квантовой информации в момент срыва:

$$dI/dt \sim E_{\max} / (\hbar \cdot \ln 2) \approx 280 \text{ бит/с}$$

Этому соответствует «вакуумная полоса пропускания» — характеристическая частота:

$$\nu_{\text{vac}} = E_{\max} / \hbar \approx 194 \text{ Гц}$$

и связанное с ней время:

$$\Delta t_{\text{int}} = 1 / \nu_{\text{vac}} = \hbar / E_{\max} \approx 5,15 \text{ мс}$$

— та же величина, что получена в разделе 8 из модели Левича. Совпадение не случайно: внутренний темп событий и скорость информационного обмена определяются одним и тем же отношением $\hbar / E_{\max}$.

Синтез. Пороговый переход $E_G = E_{\max}$ объединяет три описания одного события:

Уровень описания	До порога	В момент срыва
Механический (Сахаров)	Вакуум упруг, деформация удерживается	Вакуум рвётся, деформация необратима

Термодинамический (Пригожин)	$dS/dt \approx 0$, система когерентна	Скачок dS/dt , производство энтропии
Информационный (Шеннон— Бекенштейн— Ландауэр)	$S_{vN} = 0$, информация сохранена	$S_{vN} > 0$, квантовая информация стёрта; ёмкость < 1 бита

Малость космологической постоянной $\Lambda \rightarrow$ малость $E_{\max} \rightarrow$ суббитовая информационная ёмкость на пороге $\rightarrow$ невозможность пространственной суперпозиции центра масс. Это — информационная причина квантово-классического перехода: вакуум теряет способность кодировать фазовую информацию не потому, что «не хватает энергии», а потому, что не хватает информационной ёмкости.

10. Критические параметры и критерий срыва

Критерий срыва когерентности:

$$E_G \geq E_{\max}$$

Подставляя $E_G = (3/5) \cdot G \cdot M^2 / R$ и $M = (4/3) \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho$, получаем критический радиус:

$$R_{\text{crit}} = (E_{\max} / K)^{1/5} = (15 \cdot E_{\max} / (16 \cdot \pi^2 \cdot G \cdot \rho^2))^{1/5}$$

Поскольку $K \propto \rho^2$, критический радиус зависит от плотности: $R_{\text{crit}} \propto \rho^{-2/5}$. Более плотные материалы достигают порога при меньших размерах.

Критическая масса:

$$M_{\text{crit}} = (4/3) \cdot \pi \cdot R_{\text{crit}}^3 \cdot \rho = \sqrt[5]{(5 \cdot E_{\max} \cdot R_{\text{crit}} / (3G))}$$

Для золота ($\rho = 19320 \text{ кг/м}^3$, $K \approx 0,262 \text{ Дж/м}^5$):

$$R_{\text{crit}} \approx 6,01 \times 10^{-7} \text{ м}, D_{\text{crit}} \approx 1201 \text{ нм}, M_{\text{crit}} \approx 17,5 \text{ пг}$$

$$\text{Проверка: } E_G(\text{crit}) = 0,262 \times (6,01 \times 10^{-7})^5 \approx 2,05 \times 10^{-32} \text{ Дж} \approx E_{\max} \checkmark$$

Для алмаза ($\rho = 3520 \text{ кг/м}^3$, $K \approx 8,71 \times 10^{-3} \text{ Дж/м}^5$):

$$D_{\text{crit}} \approx 2373 \text{ нм}, M_{\text{crit}} \approx 24,6 \text{ пг}$$

Эти значения задают экспериментально достижимый масштаб, где ожидается резкий излом сигнала декогеренции.

Метрическое возмущение в точке срыва: $\varepsilon = r_s/R = 2GM/(c^2R) \approx 4,34 \times 10^{-35}$ — на 35 порядков меньше единицы. ОТО не нарушается. Срыв — квантовое свойство самого вакуума, происходящее внутри гладкого вакуума без нарушения общей теории относительности.

$M_{\text{crit}} \approx 17,5 \text{ пг}$ соответствует $\sim 5,36 \times 10^{10}$ атомов золота.

11. Разрешение парадокса макроскопической внутренней когерентности

Парадокс. Сверхпроводящий образец массой $M \sim 1 \text{ кг}$ имеет $E_G \sim 10^{-8} \text{ Дж}$, что на 24 порядка выше $E_{\max}$. Если бы E_G ограничивало все квантовые состояния, сверхпроводимость была бы невозможна.

Решение. Модель ограничивает только пространственную суперпозицию центра масс — возможность описать движение тела как целое в виде когерентной волновой функции. Внутренние степени свободы (сверхпроводимость, спиновая когерентность, экситонные состояния) описываются квантовыми состояниями с пренебрежимо малой гравитационной самоэнергией.

Количественно. Рассмотрим сверхпроводящее кольцо с током, радиусом R , числом куперовских пар N . Гравитационная самоэнергия одной куперовской пары (масса $m^* \approx 2m_e$) пренебрежимо мала:

$$E_G^{\text{(пара)}} = (3/5) \cdot G \cdot (2m_e)^2 / r_0 \ll E_{\text{max}}$$

где $r_0 \sim a_0$ (боровский радиус). Даже при $N \sim 10^{23}$ полная самоэнергия системы $E_G^{\text{(система)}}$ не равна сумме самоэнергий пар: гравитационная энергия — нелинейная функция распределения масс, и для распределённой системы она не суммируется линейно по подсистемам. Более того, для внутренних степеней свободы не требуется когерентная фаза вакуума в объёме всего образца: фазовые отношения поддерживаются локально, без необходимости глобальной согласованности вакуума.

Таким образом, внутренняя когерентность не подпадает под пороговое ограничение E_{max} . Это разграничение объясняет, почему сверхпроводимость (внутренняя когерентность) сохраняется при больших M , тогда как пространственная суперпозиция центра масс невозможна.

Область применимости. Порог E_{max} ограничивает пространственную суперпозицию центра масс тела — квантовую когерентность движения тела как целого. Внутренние степени свободы (сверхпроводимость, спиновая когерентность, экситонные состояния) описываются квантовыми состояниями с собственной гравитационной самоэнергией, много меньшей E_{max} , и не подпадают под пороговое ограничение. Это разграничение критически важно: оно объясняет, почему макроскопическая внутренняя когерентность (сверхпроводимость килограммового образца) сосуществует с невозможностью пространственной суперпозиции того же образца.

12. Дискретизация вакуума в квантовом континууме

12.1. Вакуум как квантовый континуум

В квантовой теории поля вакуум описывается как основное состояние — суперпозиция всех возможных конфигураций полей, образующая непрерывный спектр мод с частотами $\omega \in [0, \omega_P]$, где $\omega_P = 1/t_P \approx 1,85 \times 10^{43}$ рад/с — планковская частота. Это непрерывное спектральное многообразие мы называем квантовым континуумом вакуума. В рамках модели Сахарова квантовый континуум имеет скрытую дискретную структуру: упругость вакуума возникает из квантовых флуктуаций, аналогично тому как упругость кристалла возникает из межатомных взаимодействий. Планковская длина $l_P = \sqrt{(\hbar \cdot G / c^3)} \approx 1,616 \times 10^{-35}$ м играет роль «постоянной решётки» — минимального масштаба, на котором определены метрические свойства вакуума.

12.2. Когерентность модового спектра

В отсутствие деформации все моды квантового континуума когерентны: фазовые соотношения между модами сохраняются, и вакуум ведёт себя как гладкая упругая среда. Приложение гравитационной деформации (помещение массы) возмущает модовый спектр: низкочастотные моды (гравитационные волны) отклоняются от равновесия, а высокочастотные моды обеспечивают упругий отклик. Пока полная энергия деформации E_G не превышает E_{max} , все моды остаются фазово-согласованными — континуум сохраняет непрерывность.

12.3. Порог дискретизации

При $E_G = E_{\max}$ наступает принципиальное изменение: континуальный модовый спектр утрачивает когерентность. Это не постепенное затухание отдельных мод (как в модели Диоши–Пенроуза), а кооперативный срыв — аналог фазового перехода в кристалле при достижении предела текучести. В кристалле упругие волны (фононы) распространяются когерентно, пока деформация не превышает предела упругости; при превышении образуются дислокации, и континуальное описание разрушается. Аналогично, в вакууме при достижении $E_{\max}$ континуум мод «дискретизируется»: непрерывный спектр распадается на дискретные, взаимно некогерентные домены.

12.4. Когерентная длина вакуума

Характерный пространственный масштаб, связанный с пороговой динамикой:

$$l_{\text{coh}} = c \cdot \hbar / E_{\max} = c \cdot t_{\text{vac}} \approx 1,54 \times 10^6 \text{ м} \approx 1543 \text{ км}$$

Это расстояние, которое проходит свет за время срыва $t_{\text{vac}} = \hbar / E_{\max} \approx 5,15$ мс. Смысл l_{coh} — пространственный масштаб, внутри которого пороговый переход происходит причинно-связанным образом: вся область, охваченная срывом, находится в пределах причинного горизонта. Критическая сфера золота ($R_{\text{crit}} \approx 6,0 \times 10^{-7}$ м) занимает долю $R_{\text{crit}} / l_{\text{coh}} \approx 3,9 \times 10^{-13}$ — критический объект целиком находится внутри когерентной длины, и пороговый переход не требует сверхсветовой сигнализации.

12.5. Планковские ячейки

Число планковских ячеек в критическом объёме:

$$N_P = V_{\text{crit}} / l_P^3 = (4/3) \cdot \pi \cdot R_{\text{crit}}^3 / l_P^3$$

Для золота ($R_{\text{crit}} = 6,005 \times 10^{-7}$ м): $N_P \approx 2,15 \times 10^{86}$. Для алмаза ($R_{\text{crit}} = 1,187 \times 10^{-6}$ м): $N_P \approx 1,66 \times 10^{87}$.

Эти числа различаются (поскольку R_{crit} зависит от плотности), но энергия $E_{\max}$, приходящаяся на весь ансамбль, одинакова. Это принципиальный момент: $E_{\max}$ — не энергия одной ячейки, а кооперативный параметр всего ансамбля. Дискретизация — не локальное событие в одной ячейке, а кооперативный срыв согласованности между всеми N_P ячейками в деформированном объёме.

Число мод квантового континуума в критическом объёме при планковском обрезании:

$$N_{\text{modes}} = V_{\text{crit}} / (3\pi^2 \cdot l_P^3) = N_P / (3\pi^2)$$

Для золота: $N_{\text{modes}} \approx 7,26 \times 10^{84}$. До порога все эти моды когерентны; в момент срыва континуум из $\sim 10^{85}$ мод распадается на дискретные некогерентные домены.

12.6. Безразмерный предел текучести вакуума

Отношение энергии $E_{\max}$ к характерной упругой энергии одной планковской ячейки $E_P / (16\pi) \approx 3,89 \times 10^7$ Дж:

$$\varepsilon_{\text{yield}} = 16\pi \cdot E_{\max} / E_P \approx 5,27 \times 10^{-40}$$

Это безразмерная «деформация текучести» вакуума — аналог относительной деформации $\varepsilon \sim 10^{-3}$, при которой реальный кристалл переходит из упругой в пластическую область. Значение 10^{-40} колоссально мало, но отлично от нуля: оно определяется космологической постоянной и отражает предварительное напряжение вакуума. Без Λ предел текучести обращается в нуль — вакуум деформируется безгранично, и дискретизация не наступает.

12.7. Соотношение шкал

Отношение вакуумной частоты к планковской:

$$\nu_{\text{vac}} / \nu_P = E_{\text{max}} / E_P \approx 1,05 \times 10^{-41}$$

Это означает, что пороговая динамика вакуума протекает на 41 порядок медленнее планковской. Дискретизация — не планковский, а макроскопический процесс: его временной масштаб (5,15 мс) и пространственный масштаб (1543 км) далеко выходят за рамки планковских величин. Малость $\Lambda \rightarrow$ малость $E_{\text{max}} \rightarrow$ макроскопичность порога: чем меньше космологическая постоянная, тем легче достигим порог и тем крупнее объект, в котором он проявляется.

12.8. Квант вакуума

E_{max} определяет не только порог когерентности, но и квант вакуума — минимальный энергетический пакет, который вакуум способен удерживать как единое когерентное состояние. Из E_{max} строятся все характерные масштабы дискретного вакуума:

Параметр	Формула	Значение
Энергия кванта	E_{max}	$2,05 \times 10^{-32}$ Дж
Частота	$\nu_{\text{vac}} = E_{\text{max}} / \hbar$	194 Гц
Период	$\Delta t = \hbar / E_{\text{max}}$	5,15 мс
Длина	$l_{\text{vac}} = \hbar c / E_{\text{max}}$	1543 км
Масса	$m_{\text{vac}} = E_{\text{max}} / c^2$	$2,28 \times 10^{-49}$ кг

Энергия E_{max} на 41 порядок ниже планковской. Квант вакуума — не планковский, а макроскопический объект: его временной и пространственный масштабы лежат в лабораторном диапазоне.

12.9. Устранение сингулярности в чёрных дырах

Дискретизация вакуума имеет прямое следствие для проблемы сингулярностей в общей теории относительности.

При гравитационном коллапсе звезды плотность нарастает, и гравитационная деформация вакуума в центре стремится к бесконечности. В стандартной ОТО это ведёт к точечной сингулярности. В модели с пределом упругости вакуум не сжимается бесконечно: при достижении порога E_{max} он дискретизируется — переходит из континуального состояния в состояние, состоящее из N дискретных квантов.

Число квантов вакуума в чёрной дыре. Если полная энергия чёрной дыры $E = Mc^2$ распределена по квантам вакуума, каждый из которых несёт энергию E_{max} , то:

$$N = Mc^2 / E_{\text{max}}$$

Это конечное число. Для солнечной массы ($M \approx 1,99 \times 10^{30}$ кг):

$$N \approx 8,7 \times 10^{78}$$

Минимальный радиус. Если каждый квант занимает минимальный объём — естественный кандидат, планковский объём $V_P = l_P^3 \approx 4,22 \times 10^{-105} \text{ м}^3$ — то минимальный радиус ядра:

$$r_{\text{min}} = (3 \cdot N \cdot l_P^3 / (4\pi))^{1/3} = (3 \cdot Mc^2 \cdot l_P^3 / (4\pi \cdot E_{\text{max}}))^{1/3}$$

Для солнечной массы:

$$r_{\text{min}} \approx 2 \times 10^{-9} \text{ м} \approx 2 \text{ нм}$$

Не ноль. Сингулярность не наступает. Вместо точечного коллапса образуется ядро из дискретного вакуума конечного размера.

Масштабирование. $r_{\text{min}} \propto M^{1/3}$ — растёт как корень кубический из массы. Радиус Шварцшильда $r_s = 2GM/c^2 \propto M$ — растёт линейно. При малых массах $r_{\text{min}} > r_s$: вакуум слишком жёсткий, и объект не может сколлапсировать в чёрную дыру. При больших — $r_s > r_{\text{min}}$: чёрная дыра формируется, но с ядром конечного размера вместо сингулярности.

Масса перехода, при которой $r_{\text{min}} = r_s$:

$$M_{\text{trans}} = (3 \cdot c^8 \cdot l_P^3 / (32\pi \cdot G^3 \cdot E_{\text{max}}))^{1/2} \approx 1,2 \times 10^{12} \text{ кг}$$

Это масса небольшого астероида (диаметр ~1 км). Объекты легче M_{trans} не могут образовать чёрную дыру — предел упругости вакуума препятствует коллапсу.

Максимальная плотность дискретного вакуума. Плотность ядра из дискретного вакуума:

$$\rho_{\text{max}} = m_{\text{vac}} / l_P^3 = E_{\text{max}} / (c^2 \cdot l_P^3) \approx 5,4 \times 10^{55} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

Это универсальная константа, определяемая только E_{max} и l_P . Она не зависит от массы чёрной дыры: все ядра имеют одинаковую плотность, но разный размер ($\propto M^{1/3}$). Значение $5,4 \times 10^{55} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ лежит между ядерной плотностью ($\sim 10^{17} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$) и планковской ($\sim 10^{97} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$) — новый, промежуточный масштаб плотности, определяемый космологической постоянной.

Иерархия плотностей:

Объект	Плотность, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Вода	10^3
Ядро атома	$\sim 10^{17}$
Нейтронная звезда	$\sim 10^{18}$

Ядро дискретного
вакуума

$$\sim 5,4 \times 10^{55}$$

Планковская
плотность

$$\sim 10^{97}$$

Статус оценки. Формула $r_{\min}$ опирается на предположение $V_{\min} = l_P^3$, которое не выводится из $E_{\max}$. Это делает модель двухпараметрической ($E_{\max}$ и l_P), а не однопараметрической. Если бы удалось вывести $V_{\min}$ из $E_{\max}$ без привлечения l_P , теория стала бы однопараметрической. Пока это открытая задача (раздел 12.12).

12.10. Связь с квантовой пеной

Подавление квантовой пены получает естественное объяснение в рамках дискретизации. Ниже порога квантовая пена «жидкая»: флуктуации метрики когерентны и образуют непрерывный спектр. При достижении порога пена «замерзает» — континуум мод распадается на дискретные некогерентные флуктуации, и крупные метрические возмущения эффективно подавляются. Это не сглаживание пены внешним механизмом, а её внутренний фазовый переход.

12.11. Отличие от планковской дискретизации

Планковская дискретизация пространства-времени (в теориях квантовой гравитации) предполагает фундаментальную решётку с шагом l_P на всех масштабах. В нашей модели дискретизация не фундаментальна, а индуцирована: она наступает только при достижении порога $E_{\max}$ и связана не с геометрией пространства, а с упругими свойствами вакуума. Ниже порога пространство-время гладко и континуально; дискретизация — пороговое явление, возникающее при критической деформации.

12.12. Полшага до квантовой гравитации

Модель $E_{\max}$ указывает путь к квантовой гравитации, но не завершает его. Что уже сделано в рамках данной модели:

— Квант вакуума — $E_{\max} \approx 2 \times 10^{-32}$ Дж, определён из фундаментальных констант. — Механизм дискретизации — разрыв упругости при $E_G = E_{\max}$, аналогичный пределу текучести кристалла. — Устранение сингулярности — замена точечного коллапса ядром конечной плотности $\rho_{\max}$. — Универсальный масштаб — $\rho_{\max} \approx 5,4 \times 10^{55}$ кг·м⁻³, новый промежуточный уровень между ядерной и планковской плотностью.

Чего пока нет:

— Вывод минимального объёма $V_{\min} = l_P^3$ из $E_{\max}$ без отдельного привлечения l_P . Если бы это удалось, теория стала бы однопараметрической: единственный масштаб $E_{\max}$ порождает все остальные. — Динамика дискретного вакуума — правила взаимодействия квантов вакуума, уравнения эволюции дискретных доменов, спектр возбуждений. — Квантование геометрии — переход от феноменологического мастер-уравнения к микроскопической теории дискретного пространства-времени.

Простыми словами: найден атом пространства-времени ($E_{\max}$) и механизм, при котором сплошная среда распадается на атомы (разрыв упругости). Полный шаг — это квантовая теория этих атомов. Но самое трудное — найти атом — сделано.

Часть II. Экспериментальная стратегия: двухканальный квантовый компаратор

13. Принцип «снизу вверх»

Стратегия эксперимента основана на последовательном наращивании массы монодисперсных сфер с контролем когерентности центра масс. Принципиальное преимущество — возможность плавно приближаться к предсказанному порогу и наблюдать переход от когерентного режима к декогерентному в реальном времени.

Ключевая идея: использовать коммерчески доступные монодисперсные сферы нарастающего размера (100–1500 нм для золота), удерживаемые в сверхпроводящей магнитной ловушке при криогенных температурах ($T \sim 10\text{--}20\text{ мК}$), и измерять три сигнатуры порогового перехода одновременно:

- Резкий излом $\Gamma(D)$ — падение контраста интерференции при достижении D_{crit} .
- Скачок фазы — сдвиг $\Delta\nu \approx 194\text{ Гц}$, фиксируемый атомными часами ^{87}Sr .
- Пик энтропийных флуктуаций — рост dS/dt , синхронизированный с падением контраста.

Тройное совпадение этих сигнатур однозначно идентифицирует пороговое событие и отличает его от тепловой декогеренции.

Эксперимент — двухканальная система. Каналы физически изолированы, но жёстко синхронизированы по времени атомными часами (^{87}Sr). Запись данных обоих каналов непрерывна; кросс-корреляция вычисляется постфактум.

14. Магнитная левитация сверхпроводящих сфер

Обоснование выбора. Оптическая левитация (лазерный пинцет) обеспечивает отличный контроль положения, но вносит паразитную декогеренцию: рассеяние фотонов нагревает частицу и разрушает когерентность. Лазерный пинцет на 1064 нм также непригоден для золотых частиц микронного масштаба из-за плазмонного поглощения. Для порогового эксперимента, где цель — измерить внутренний предел когерентности, а не декогеренцию от окружения, необходимо минимизировать внешние возмущения.

Магнитная левитация сверхпроводящих микросфер в статическом магнитном поле решает эту задачу: статическое поле не содержит фотонов и не вносит радиочастотный нагрев. Сфера из свинца (Pb) или свинцово-оловянного сплава (PbSn) становится сверхпроводящей при $T < T_c \approx 7,2\text{ К}$ и левитирует в магнитном поле за счёт эффекта Мейсснера.

Достижимые параметры. Группа Хофера [21] продемонстрировала магнитную левитацию сверхпроводящей микросферы (PbSn, $D \sim 0,2\text{ мм}$) при $T = 15\text{ мК}$ с добротностью $Q = 2,6 \times 10^7$. Группа Гутьерреса Латорре [22] показала левитацию в ангармоническом потенциале с интегрированным магнитным считыванием. Недавняя работа Кунил-Субиранаса [23] описала магнитные ловушки высшего порядка, обеспечивающие квантовый режим движения центра масс для левитированных сверхпроводящих частиц.

Протокол. Золотая сфера (несверхпроводящая) помещается в сверхпроводящую капсулу или наносится на поверхность сверхпроводящей подложки, которая левитирует в магнитном поле. Альтернативно — золотое покрытие наносится на сверхпроводящую микросферу. Таким образом, масса золота определяет E_G , а сверхпроводящая оболочка обеспечивает левитацию.

Условия. Глубокий криогенный вакуум: $P \leq 10^{-10}$ мбар (целевое — 10^{-12} мбар), $T \leq 10$ мК. Удержание — статическое магнитное поле без радиочастотного нагрева. Цель — не основное состояние, а достаточно низкое тепловое заполнение ($\bar{n} \sim 10\text{--}100$).

15. Подготовка пространственной суперпозиции

Для создания суперпозиции центра масс используется импульсный метод: короткий магнитный импульс расщепляет волновой пакет центра масс на две компоненты, разделённые расстоянием Δx . Время свободной эволюции $t_{\text{evolution}}$ позволяет компонентам разойтись; затем второй импульс рекомбинирует их. Контраст интерференции измеряется по сигналу магнитного считывания.

Пороговый эффект проявляется следующим образом:

— При $D < D_{\text{crit}}$ ($E_G < E_{\text{max}}$): интерференция наблюдается с контрастом, определяемым тепловой декогеренцией (плавно убывающим с ростом D). — При $D \approx D_{\text{crit}}$ ($E_G \approx E_{\text{max}}$): контраст испытывает резкий излом — диссипативный член мастер-уравнения активируется, и декогеренция ускоряется скачкообразно. — При $D > D_{\text{crit}}$ ($E_G > E_{\text{max}}$): интерференция полностью подавлена — пространственная суперпозиция центра масс невозможна.

Критическое отличие от тепловой декогеренции: тепловая декогеренция — плавная функция D (через зависимость массы от размера). Пороговая декогеренция — скачкообразная, с изломом при $D = D_{\text{crit}}$. Это различие — основа экспериментального теста.

16. Контроль монодисперсности

Монодисперсность сфер — критический параметр эксперимента. Разброс диаметра $\delta D/D$ напрямую определяет размытие порога: поскольку $E_G \propto D^5$ (для фиксированной плотности), относительный разброс E_G составляет $5 \times \delta D/D$. При $\delta D/D = 2\%$ (заявляемая спецификация для $D > 40$ нм [18]) разброс E_G составляет $\sim 10\%$, что сопоставимо с шириной предсрывной зоны. При $\delta D/D = 5\%$ — $\sim 25\%$, что может размыть порог.

Протокол контроля. Для каждого размера сфер:

— Синтез методом seeded growth [19] для $D \leq 200$ нм или закупка коммерческих сфер [18] для $D > 200$ нм. — Характеризация методом DLS (динамического светорассеяния) и TEM (просвечивающей электронной микроскопии) — не менее 100 частиц на образец. — Отбор фракции с $\delta D/D < 3\%$ для эксперимента. — Повторное измерение после загрузки в ловушку (по частоте колебаний в потенциале ловушки, которая зависит от массы).

Особое внимание к $D \sim 1200$ нм. Коммерческие сферы такого размера могут иметь больший разброс, чем заявлено. Если монодисперсность недостаточна, стратегия — использовать сферу как «точечный зонд»: измерять E_G не по номинальному диаметру, а по фактической массе (из частоты колебаний в ловушке) и фактическому размеру (из сечения рассеяния). Это позволяет сравнивать измеренный порог с теоретическим D_{crit} без предположения об идеальной монодисперсности.

17. Стратегия наращивания

Эксперимент проводится в три этапа:

Этап 1 (калибровочный): $D = 100\text{--}500$ нм. В этом диапазоне $E_G \ll E_{\text{max}}$, и система находится глубоко в когерентном режиме. Цель — откалибровать установку: измерить тепловую декогеренцию как функцию D , подтвердить

отсутствие паразитных источников декогеренции, установить базовую зависимость $\Gamma_{\text{thermal}}(D)$. Вычислить теоретический тепловой фон $\Gamma_{\text{thermal}}(M)$ из давления газа, температуры, сечения рассеяния и геометрии ловушки. Построить кривую $\Gamma_{\text{thermal}}(D)$. В этом диапазоне $\Gamma_{\text{causal}} = 0$ (гарантированно ниже порога). График определяется только тепловым фоном. Сравнить с $\Gamma_{\text{thermal}}(D)$. Расхождение — индикатор неучтённых шумов.

Этап 2 (предпороговый): $D = 500\text{--}1100$ нм. Приближение к порогу. E_G растёт как D^5 и при $D \sim 1000$ нм составляет значительную долю E_{max} . Цель — измерить предпороговую зависимость $\Gamma(D)$ и убедиться, что она следует тепловой модели (плавный рост). Вычислить производную $d\Gamma/dD$. Тепловой фон даёт гладкую производную. Любое отклонение от тепловой модели в этом диапазоне — ранний признак порогового эффекта.

Этап 3 (пороговый): $D = 1100\text{--}1500$ нм. Прохождение порога. Ожидается резкий излом $\Gamma(D)$ при $D \approx 1201$ нм. Загрузить частицы $D = 1100, 1150, 1200, 1250, 1300$ нм (шаг 50 нм в окрестности порога, по 10 частиц — повышенная статистика). Ожидается:

— При $D < D_{\text{crit}}$: плавный рост, объясняемый тепловым фоном. — При $D \approx D_{\text{crit}}$: излом — резкое изменение производной $d\Gamma/dD$. — При $D > D_{\text{crit}}$: рост Γ значительно быстрее теплового фона (как R^5).

Точка излома — D_{crit} . Измерить с точностью ± 20 нм. Вычислить: $\tau_{\text{vac}} = \hbar / (K \times R_{\text{crit}}^5)$, $E_{\text{max}} = \hbar / \tau_{\text{vac}}$, $T_{\text{vac}} = E_{\text{max}} / (k_B \cdot \ln 2)$.

Проверка материалонезависимости: алмаз. После определения D_{crit} для золота эксперимент повторяется с алмазными сферами. Предсказанный $D_{\text{crit}} \approx 2373$ нм. Поскольку E_{max} — свойство вакуума, а не материала, порог должен наступать при одном и том же E_G для разных материалов. Совпадение $E_{G^{\text{crit}}}(\text{золото}) \approx E_{G^{\text{crit}}}(\text{алмаз}) \approx E_{\text{max}}$ — решающий тест универсальности. Повторить также с осмием ($\rho = 22590$ кг/м³, $D_{\text{crit}} \approx 1128$ нм).

Критерий подтверждения: $E_G(\text{crit})$ одинаково для золота, осмия и алмаза ($\pm 10\%$). Различные D_{crit} и M_{crit} , но одинаковое E_G — однозначное доказательство причинного порога, а не теплового эффекта.

Критерий опровержения: излом происходит при разных E_G для разных материалов.

Гистерезис. При наличии частицы с $D > D_{\text{crit}}$ (когерентность потеряна) — проверить обратимость: уменьшить эффективную массу (нагрев до испарения поверхностного слоя). Восстанавливается ли когерентность? Не восстанавливается — гистерезис подтверждён (отличие от Диоши–Пенроуза). Восстанавливается — модель необратимого срыва опровергнута.

Отрицательный результат. Если излома нет до $D = 1300$ нм (золото): $\tau_{\text{vac}} < 3,47$ мс. Если излома нет до $D = 2500$ нм (алмаз): $\tau_{\text{vac}} < 3,97$ мс. Отрицательный результат сужает диапазон поиска. Модель не опровергнута, но ограничена.

18. Частотная сигнатура и атомные часы

Скачок фазы $\Delta\nu \approx 194$ Гц (раздел 8) — уникальная сигнатура порогового перехода, не имеющая аналога в тепловой декогеренции. Измерение выполняется с помощью атомных часов на переходе ^{87}Sr (оптическая решётка, частота $\sim 4,29 \times 10^{14}$ Гц). Левитирующая сфера служит «локальными часами»; её внутренний темп событий $\Delta t_{\text{int}} = \hbar / E_G$ сравнивается с лабораторным темпом.

При $E_G < E_{\text{max}}$: $\Delta t_{\text{int}} > \hbar / E_{\text{max}}$ — локальный темп медленнее порогового. Фаза накапливается плавно.

При $E_G = E_{\max}$: $\Delta t_{\text{int}} = \hbar / E_{\max}$ — темп достигает порога. Фаза претерпевает скачок на 2π за время $\tau \approx 5,15$ мс.

Для фазового сдвига 2π за время срыва $\tau_{\text{vac}} \approx 5,15$ мс необходим сдвиг частоты:

$$\Delta\nu = \Delta\phi / (2\pi \cdot \tau_{\text{vac}}) = 1 / \tau_{\text{vac}} \approx 194 \text{ Гц}$$

Чувствительность ^{87}Sr -часов ($\sim 10^{-18}$ относительной нестабильности) более чем достаточна для регистрации сдвига 194 Гц.

Метод: непрерывная запись разности фаз $\phi(t) = \int (v_{\text{osc}} - v_{\text{ref}}) dt$. Ключевой сигнал: резкий набег фазы $\Delta\phi > 2\pi$, фиксируемый одновременно с изломом $\Gamma(D)$.

Параллельно регистрируется энтропийная сигнатура (раздел 7): пик флуктуаций рассеяния, синхронизированный с моментом срыва. Тройное совпадение — излом Γ + скачок фазы + пик энтропийных флуктуаций — однозначная сигнатура порогового перехода.

19. Разрешение по добротности

При $D = D_{\text{crit}}$ добротность ловушки Q падает от тепловой величины $Q_{\text{thermal}} \sim 2,6 \times 10^7$ (достигнутой в [21]) до:

$$Q_{\text{crit}} \approx \omega_{\text{osc}} / \Gamma_{\text{crit}}$$

где $\Gamma_{\text{crit}} = \Gamma_0 \times (E_G / E_{\max})^2 = \Gamma_0 \times 1^2 = \Gamma_0 \approx 194$ Гц при $E_G = E_{\max}$. При типичной частоте колебаний $\omega_{\text{osc}} \sim 2\pi \times 10^3$ Гц:

$$Q_{\text{crit}} \approx 2\pi \times 10^3 / 194 \approx 32$$

Падение добротности от $Q_{\text{thermal}} \sim 2,6 \times 10^7$ до $Q_{\text{crit}} \sim 32$ — фактор $\sim 8 \times 10^5$. Это резкий, хорошо различимый сигнал: добротность падает на 5–6 порядков при прохождении порога. Контраст интерференции при этом падает от ~ 1 до ~ 0 за время $\tau \sim 5,15$ мс.

20. Двухканальный компаратор: принципиальная схема

Двухканальная архитектура эксперимента предназначена для проверки возможной кросс-корреляции между пороговым срывом когерентности в неживой материи (золотая наносфера) и динамикой квантовой когерентности в живой материи.

Канал А (физический): золотая наносфера в сверхпроводящей магнитной ловушке, нарастающего размера 100–1500 нм. Регистрация тройного совпадения (излом Γ , скачок фазы, пик энтропии) при $D \approx 1201$ нм.

Канал В (биологический): живой биологический объект, в котором квантовая когерентность экспериментально подтверждена и может быть измерена *in vivo*. Параллельная регистрация динамики когерентности синхронно с каналом А.

Оба канала работают в одном криогенном объёме (или в термически связанных объёмах) и синхронизированы по времени. Корреляционный анализ выявляет или исключает связь между событиями в двух каналах.

21. Биологический канал: обоснование

Выбор биологического объекта для канала В основан на четырёх экспериментально подтверждённых фактах:

1. Квантовая когерентность в фотосинтезе [11, 29, 30]. Экситонный перенос в светособирающих комплексах (LHC) происходит через квантово-когерентные состояния при физиологических температурах. Время когерентности — сотни фемтосекунд при 77 К [11], десятки фемтосекунд при 300 К [30]. Эти состояния — коллективные

квантовые явления в макромолекулярных структурах, не сводимые к классической химической кинетике.

2. УФ-суперизлучение в микротрубочках [32]. Бабкок с коллегами (2024) сообщили об экспериментальном наблюдении ультрафиолетового суперизлучения от сетей из более чем 10^5 триптофанов в собранных микротрубочках при физиологической температуре. Суперизлучение — коллективный квантовый эффект (аналог сверхизлучения Дике), при котором сеть излучает когерентно, с интенсивностью, пропорциональной N^2 , а не N . Это прямое экспериментальное подтверждение того, что микротрубочки поддерживают макроскопическую квантовую когерентность при комнатной температуре.
3. Микротрубочки как мишень анестетиков [33]. Группа Виста (2024) показала, что стабилизатор микротрубочек эпотилон В задерживает наступление наркоза у крыс на 69 секунд (Cohen's $d = 1,9$). Это подтверждает гипотезу Пенроуза–Хамерофа [39, 40] о том, что микротрубочки — место действия анестетиков, и, следовательно, структурный элемент, связанный с сознанием.
4. Мезоскопическая квантовая интерференция [27, 28]. Квантовая интерференция фуллеренов C_{60} (60 атомов углерода, масса $\sim 1,2 \times 10^{-24}$ кг, $T \sim 900$ K) [27] и более крупных органических молекул [28] демонстрирует, что квантовая когерентность сохраняется в сложных молекулярных системах при высоких температурах. Молекулы порфирина — структурные фрагменты хлорофилла — участвовали в интерференционных экспериментах, устанавливая прецедент квантовой когерентности в биологически релевантных молекулах.

22. Модель Пенроуза–Хамерофа как теоретическая основа биологического канала

Гипотеза Пенроуза–Хамерофа (Orchestrated Objective Reduction, Orch OR) [39, 40] предлагает конкретный механизм связи между квантовой когерентностью в микротрубочках и фундаментальной физикой:

— Квантовая когерентность в микротрубочках обеспечивается структурной изоляцией: дебаевский слой, упорядоченная вода, топологическая защита тубулиновых димеров. — Коллапс квантовой когерентности (objective reduction) происходит не от декогеренции окружения, а от гравитационного предела — механизма, предложенного Пенроузом [17]: когда гравитационная самоэнергия суперпозиции E_G достигает порога, происходит объективный коллапс. — В модели Orch OR этот коллапс составляет основу отдельных моментов сознания («оркестрованных» квантовых вычислений в микротрубочках).

Связь с моделью E_{max} . Модель Пенроуза и модель E_{max} разделяют ключевое предположение: коллапс квантовой когерентности обусловлен гравитацией, а не окружением. Различие — в масштабе порога: Пенроуз использует планковский масштаб ($E_G \sim E_P$), модель E_{max} — на 41 порядок ниже ($E_G \sim E_{\text{max}} \approx 2 \times 10^{-32}$ Дж). Это различие принципиально: планковский порог недостижим в лаборатории, тогда как E_{max} достижим при $D \sim 1200$ нм.

Модель E_{max} , таким образом, предлагает макроскопически достижимый аналог порога Пенроуза. Если порог Пенроуза верен, но масштаб — E_{max} , а не E_P , то:

— Коллапс в микротрубочках может происходить при $E_G \sim E_{\text{max}}$, а не E_P . — Эксперимент с золотой наносферой при $D \sim D_{\text{crit}}$ создаёт «тот же» пороговый

переход, что и коллапс в микротрубочках, — но в контролируемых условиях. — Кросс-корреляция между каналами А и В была бы свидетельством универсальности порогового механизма.

Замечание. Модель Orch OR не является общепринятой. Однако недавние экспериментальные данные [32, 33] существенно укрепили её эмпирическую базу. Двухканальный эксперимент не требует истинности Orch OR: он проверяет корреляцию, наличие или отсутствие которой имеет смысл независимо от теоретической интерпретации.

23. Биологический объект: *Arabidopsis thaliana*

В качестве биологического объекта канала В выбран *Arabidopsis thaliana* (резуховидка Таля) — модельный организм с полностью секвенированным геномом, хорошо изученными фотосинтетическими комплексами и коротким жизненным циклом.

Обоснование:

— Квантовая когерентность в фотосинтетических комплексах *Arabidopsis* экспериментально подтверждена [29, 30]. — Фотосинтетические ЛНС-комплексы содержат хлорофилл — порфириновый макроцикл, структурно родственный порфиринам, использованным в интерференционных экспериментах [28]. — Растение можно выращивать и измерять в контролируемых условиях, в том числе при пониженных температурах. — Флуоресценция хлорофилла — стандартный индикатор состояния фотосинтетического аппарата, измеряемый *in vivo*.

Протокол измерения:

— Лист *Arabidopsis* облучается слабым немодулированным светом (достаточным для поддержания фотосинтеза, но не для насыщения). — Флуоресценция хлорофилла (680 нм и 700 нм) регистрируется с временным разрешением ~ 100 фс (фемтосекундная спектроскопия). — Когерентность экситонов измеряется по осцилляциям флуоресценции (quantum beat) — прямой признак квантовой интерференции между экситонными состояниями. — Одновременно регистрируется сигнал канала А (золотая сфера).

Корреляционный анализ. Синхронно с прохождением золотой сферой порога D_{crit} в канале В регистрируется динамика экситонной когерентности.

Анализируются:

— Изменение времени когерентности экситонов (если пороговый срыв в канале А влияет на квантовую когерентность в канале В). — Изменение интенсивности флуоресценции (если пороговый переход изменяет эффективность экситонного транспорта). — Временной сдвиг между событиями в каналах А и В (если сигналы коррелированы, но с задержкой).

Искусственные триггеры в био-канале (контрольные):

— Химический: подача ксенона (анестетик, взаимодействующий с микротрубочками). — Оптический: сверхкороткая лазерная вспышка для перенасыщения и тепловой декогеренции.

24. Контрольный эксперимент

Для исключения ложных корреляций:

— Канал В без канала А: дрейф экситонной когерентности *Arabidopsis* в отсутствие золотой сферы — базовая линия. — Канал А без канала В: прохождение порога золотой сферой в отсутствие растения — проверка, что событие в канале А не артефакт. — Канал А, $D < D_{crit}$ (подпороговый), с каналом

В: золотая сфера малой массы в присутствии растения — контроль, что корреляция (если она есть) связана именно с порогом, а не с простым присутствием металла. — Канал А, $D > D_{crit}$ (надпороговый), с каналом В: золотая сфера за порогом в присутствии растения — проверка, остаётся ли корреляция, когда срыв уже произошёл.

25. Интерпретация результатов

Сценарий 1: корреляция обнаружена. Синхронно с пороговым срывом в канале А наблюдается изменение экситонной когерентности в канале В. Это указывает на универсальность порогового механизма E_{max} : предел упругости вакуума ограничивает квантовую когерентность как в неживой, так и в живой материи. Сценарий согласуется с моделью Orch OR (с заменой масштаба E_P на E_{max}) и указывает на фундаментальную связь между гравитацией, квантовой когерентностью и биологией.

Сценарий 2: корреляция отсутствует. Пороговый срыв в канале А не вызывает изменения в канале В. Это указывает на существование в биологических системах защитных механизмов, независимых от упругости вакуума: экранировка, топологическая защита, активное поддержание когерентности. Сценарий не опровергает модель E_{max} (порог в неживой материи может быть подтверждён каналом А), но ограничивает её применимость к биологии.

Сценарий 3: корреляция обнаружена, но с задержкой. Изменение в канале В происходит с задержкой Δt относительно события в канале А. Это указывает на наличие сигнального механизма (не обязательно электромагнитного), передающего информацию о пороговом переходе от канала А к каналу В. Задержка Δt и её зависимость от расстояния между каналами дают информацию о скорости и природе этого механизма.

Статус. Все три сценария имеют научную ценность. Сценарий 1 — прорыв. Сценарий 2 — уточнение границ применимости. Сценарий 3 — открытие нового канала передачи. Ни один из сценариев не делает эксперимент бессмысленным.

26. Критерий успеха и фальсифицируемость

Модель подтверждается только если:

1. При $D \approx 1201$ нм (золото) или $D \approx 2373$ нм (алмаз) — излом производной dG/dD .
2. Одновременно (в окне $\Delta t \leq 1$ с) — скачок накопленной фазы $\Delta\phi > 2\pi$ ($\Delta\nu \approx 194$ Гц).
3. Регистрируется пик энтропийных флуктуаций, синхронизированный с изломом.
4. В канале В (живой лист) в тот же момент по атомным часам — сдвиг фазы или падение когерентности экситонов.
5. $E_G(crit)$ одинаково для золота, осмия и алмаза ($\pm 10\%$).
6. Эффект воспроизводим.

Модель опровергнута, если:

— Излом происходит при разных E_G для разных материалов. — Эффекты рассинхронизированы. — Порог не совпадает с расчётом. — Гистерезис отсутствует (срыв обратим).

Контрольные тесты:

— Тепловая декогеренция: при повышении T до 10 К контраст падает раньше, но без скачка фазы. — Рассеяние: при росте давления газа контраст падает, но без скачка фазы. — Калибровка часов: независимый контроль стабильности частоты.

27. Существующие экспериментальные ограничения

Каждый эксперимент, демонстрирующий квантовое поведение частицы массы M , устанавливает: $\tau_{\text{vac}} < \tau_{\text{grav}}(M)$.

Эксперимент	Частица	Масса	τ_{grav}	Ограничение
Delić et al. (2020) [8]	143 нм, кремнезём	3,37 фг	16600 с	$\tau_{\text{vac}} < 16600$ с (4,61 ч)
Делокализация (2025) [13]	125 нм, кремнезём	2,25 фг	32500 с	$\tau_{\text{vac}} < 32500$ с (9,03 ч)
Matter-wave [14]	Na, 170000 а.е.м.	$2,82 \times 10^{-25}$ кг	$6,61 \times 10^{10}$ с	$\tau_{\text{vac}} < 6,61 \times 10^{10}$ с (слабое)
Q-Xtreme (цель, до 2027) [10]	$\sim 10^9$ атомов, кремнезём	~ 100 фг	58,3 с	$\tau_{\text{vac}} < 58,3$ с

Текущее ограничение: $\tau_{\text{vac}} < 16600$ с (Delić, 2020).

28. Доступный диапазон сканирования

τ_{vac}	E_{max} , Дж	D_{crit} , нм (Au)	M_{crit} , пг	Доступность
100 с	$1,06 \times 10^{-36}$	167	0,05	Доступно сейчас
10 с	$1,06 \times 10^{-35}$	264	0,19	Доступно сейчас
1 с	$1,06 \times 10^{-34}$	419	0,74	Доступно сейчас
0,1 с	$1,06 \times 10^{-33}$	664	2,96	Ближайшее будущее

0,00515 с (номинал)	$2,05 \times 10^{-32}$	1201	17,5	Трудно (10+ лет)
------------------------	------------------------	------	------	------------------

Если τ_{vac} находится между 5 мс и 100 с (более четырёх порядков), порог попадает в экспериментально доступный диапазон (167–1201 нм). При $\tau_{vac} > 1$ с — эксперимент доступен на существующих установках.

29. Расчётные оценки для золотых сфер

$E_G = 0,262 \times R^5$ (Дж, R в метрах). $E_{max} \approx 2,05 \times 10^{-32}$ Дж. $\tau_{vac} \approx 5,15$ мс. $1/\tau_{vac} \approx 194,3$ с⁻¹.

$\tau_{grav},$ с	$1/\tau_{grav},$ с ⁻¹	$\Gamma_{causal},$ с ⁻¹	E_G / E_{max}	Режим
5,30	0,19	0	0,001	Стабильно
0,412	2,43	0	0,013	Стабильно
0,0766	13,1	0	0,067	Приближение
0,0218	45,9	0	0,236	Предсривное
0,0129	77,7	0	0,400	Предсривное
0,0101	99,2	0	0,511	Предсривное
0,00799	125	0	0,644	Предсривное
0,00640	156	0	0,805	Предсривное
0,00517	193	0	0,995	Порог

0,00 422	237	42,9	1,22	Диссипа ция
0,00 347	289	94,3	1,49	Диссипа ция

Ниже $D \approx 1201$ нм Γ_{causal} строго равна нулю: график $\Gamma(D)$ определяется только тепловым фоном и плавен. При $D \approx 1201$ нм — излом. При переходе от $D = 1201$ к $D = 1300$ (увеличение на 8%) Γ_{causal} возрастает от 0 до $94,3 \text{ с}^{-1}$. Тепловой фон за тот же интервал изменится незначительно (масса вырастет на 27%).
Отношение сигнал/фон быстро растёт выше порога.

30. Материалонезависимость

$M_{\text{crit}} \propto \tau_{\text{vac}}^{-3/5} \cdot \rho^{-1/5}$. Зависимость от плотности — в степени $-1/5$ — настолько слаба, что для материалов с близкой плотностью критическая масса практически совпадает:

Материал	ρ , кг/м ³	K , Дж/м ⁵	D_{crit} , нм	M_{crit} , пг	$E_G(\text{crit})$, Дж
Осмий (Os)	22590	0,359	1128	17,0	$2,05 \times 10^{-32}$
Иридий (Ir)	22560	0,358	1129	17,0	$2,05 \times 10^{-32}$
Платина (Pt)	21450	0,323	1152	17,2	$2,05 \times 10^{-32}$
Золото (Au)	19320	0,262	1201	17,5	$2,05 \times 10^{-32}$
Вольфрам (W)	19300	0,262	1202	17,5	$2,05 \times 10^{-32}$
Уран (U)	19050	0,255	1208	17,6	$2,05 \times 10^{-32}$
Свинец (Pb)	11340	0,0904	1486	19,5	$2,05 \times 10^{-32}$
Алмаз (C)	3520	$8,71 \times 10^{-3}$	2373	24,6	$2,05 \times 10^{-32}$

Кремний (Si)	2329	$3,81 \times 10^{-3}$	2800	26,8	$2,05 \times 10^{-32}$
Вода	1000	$7,03 \times 10^{-4}$	3926	31,7	$2,05 \times 10^{-32}$

Для металлов с близкой плотностью различие M_{crit} не превышает 3%. $E_G(crit)$ одинаково для всех — универсальность порога.

31. Оценка ожидаемого контраста интерференции

Контраст интерференции $C(t)$ для суперпозиции центра масс:

$$C(t) = \exp(-\Gamma_{total} \cdot t)$$

где $\Gamma_{total} = \Gamma_{thermal} + \Gamma_{threshold}$, а $\Gamma_{threshold} = \Gamma_0 \cdot (E_G / E_{max})^2 \cdot \Theta(E_G - E_{max})$.

Для золотой сферы при $D = 1150$ нм (подпороговая область):

$E_G \approx 0,805 \times E_{max}$ $\Gamma_{threshold} = 0$ ($\Theta = 0$) $\Gamma_{total} \approx \Gamma_{thermal} \approx 2\pi \times 1$ Гц
(типичная тепловая декогеренция при $T = 20$ мК) $C(t_{evolution} = 1 \text{ мс}) \approx \exp(-2\pi \times 0,001) \approx 0,994$

Для $D = 1201$ нм (порог):

$E_G = E_{max}$ $\Gamma_{threshold} = \Gamma_0 = 194$ Гц $\Gamma_{total} \approx 194 + 6,28 \approx 194,3$ Гц $C(1 \text{ мс}) \approx \exp(-194,3 \times 0,001) \approx 0,823$

Для $D = 1250$ нм (надпороговая область):

$E_G \approx 1,22 \times E_{max}$ $\Gamma_{threshold} = 194 \times (1,22)^2 \approx 288$ Гц $\Gamma_{total} \approx 294$ Гц $C(1 \text{ мс}) \approx \exp(-0,294) \approx 0,745$

Резкий излом контраста при $D \approx 1201$ нм — падение с 0,994 до 0,823 за 50 нм — является ключевой сигнатурой порога.

Чувствительность к разбросу диаметра. При разбросе $\delta D/D = 3\%$ (типично для коммерческих сфер) разброс E_G составляет $5 \times 3\% = 15\%$. Это размывает порог: вместо резкого излома $\Gamma(D)$ наблюдается плавный переход на интервале $\Delta D \approx 180$ нм. Однако даже при таком разбросе:

— Контраст при $D < 1100$ нм остаётся $> 0,95$ — Контраст при $D > 1300$ нм падает $< 0,6$ — Перепад контраста $\Delta C > 0,35$ — хорошо различим на фоне шумов.

Порог остаётся детектируемым даже при неидеальной монодисперсности.

Влияние температуры. Тепловая декогеренция $\Gamma_{thermal} \propto T$. При $T = 20$ мК:

$\Gamma_{thermal} \sim k_B \cdot T / \hbar \sim 10^{-3}$ Гц. При $T = 4,2$ К (температура жидкого гелия):

$\Gamma_{thermal} \sim 1$ Гц. Даже при $T = 4,2$ К тепловая декогеренция на 2 порядка меньше пороговой ($\Gamma_{crit} \approx 194$ Гц). Порог остаётся доминирующим механизмом декогеренции вплоть до температур, совместимых с криогенными установками.

Оценка отношения сигнал/шум. Для сферы $D = 1200$ нм, $m \approx 17,5$ пг, добротности $Q = 2,6 \times 10^7$:

— Тепловой шум: $\delta x_{thermal} = \sqrt{(k_B \cdot T / (m \cdot \omega_{osc}^2))} \approx 10^{-15}$ м — Амплитуда сигнала при возбуждении: $x_{signal} \approx 10^{-12}$ м — Отношение сигнал/шум (SNR) $\approx 10^3$ — Ошибка измерения $\Delta C \approx 1/SNR \approx 0,001$ — на порядок меньше ожидаемого перепада контраста $\Delta C \approx 0,35$.

Временное разрешение. Время срыва $\tau_{\text{vac}} = \hbar / E_{\text{max}} \approx 5,15$ мс. Для его разрешения необходимо временное разрешение $\Delta t < 1$ мс. Современные оптомеханические и магнитные системы обеспечивают временное разрешение ~ 1 мкс — более чем достаточно.

32. Технические вызовы

Массовый масштаб. Текущий рекорд массы объекта в квантовом режиме — $\sim 10^4$ – 10^5 атомов [8, 14]. Предлагаемый порог ($M_{\text{crit}} \approx 17,5$ пг) — $\sim 5,36 \times 10^{10}$ атомов золота. Разрыв — пять порядков. Однако при $\tau_{\text{vac}} = 1$ с порог — 419 нм, $\sim 10^8$ атомов (разрыв два порядка); при $\tau_{\text{vac}} = 10$ с — 264 нм, $\sim 10^7$ атомов (в пределах Q-Xtreme [10]).

Монодисперсность. Разброс $\pm 5\%$ при $D = 1200$ нм даёт разброс ± 60 нм — порядка шага сканирования. Необходима либо улучшенная монодисперсность ($\pm 2\%$), либо статистический анализ (раздел 16).

Тепловой фон. Вычисляется из первых принципов (давление газа, температура, сечение рассеяния) и вычитается. Причинный срыв отличается формой зависимости (скачок производной), а не абсолютной величиной.

Часть III. Универсальные следствия

33. Неравенства Белла и пороговая нелокальность

Модель E_{max} даёт чёткий ответ на вопрос, где проходит граница квантовой нелокальности: неравенства Белла [34] нарушаются при $E_G < E_{\text{max}}$ и выполняются при $E_G \geq E_{\text{max}}$.

Ниже порога система описывается чистой квантовой механикой. Матрица плотности $\hat{\rho}$ унитарно эволюционирует, квантовые корреляции сохраняются, неравенства Белла нарушаются. Сфера $D < D_{\text{crit}}$, помещённая в запутанное состояние с удалённой частицей, демонстрирует нелокальные корреляции, измеримые тестом Белла (CHSH). Это — режим, в котором выполнены все существующие эксперименты [34, 35, 36], — и все они показывают нарушение. Модель не противоречит ни одному из них.

Выше порога диссипативный член мастер-уравнения (раздел 6) активируется. Матрица плотности быстро диагонализуется, недиагональные элементы (кодирующие квантовую когерентность) затухают с характерным временем $\tau_{\text{vac}} \approx 5,15$ мс. Неравенства Белла выполняются — система ведёт себя классически.

Пороговый переход. Переход от нарушения к выполнению неравенств Белла происходит скачкообразно — в момент $E_G = E_{\text{max}}$. Θ -функция в мастер-уравнении обращается из нуля в конечную величину. Это предсказывает существование критической массы M_{crit} , выше которой запутанность центра масс с любой удалённой системой невозможна. Для золота $M_{\text{crit}} \approx 17,5$ пг; для алмаза — 24,6 пг.

Нелокальность порогового перехода. Критерий срыва $E_G \geq E_{\text{max}}$ определяется свойством вакуумной среды, а не локальным параметром частицы. E_{max} — глобальная характеристика вакуума, одинаковая во всех точках пространства. Когда порог достигнут, срыв происходит одновременно во всём объёме суперпозиции (в пределах когерентной длины $l_{\text{coh}} = c \cdot \tau_{\text{vac}} \approx 1543$ км, раздел 12.4). Это нелокальное событие — но не в смысле скрытого параметра частицы (которое запрещено теоремой Белла), а в смысле свойства среды.

Отличие от теорий скрытых параметров. Теорема Белла [34] запрещает локальные скрытые параметры, прикрепленные к частицам. Модель $E_{\max}$ не вводит скрытых параметров частицы: коллапс обусловлен не внутренним свойством объекта, а внешним условием — пределом упругости среды. Аналогия: кристалл ломается не потому, что у каждого атома есть «скрытый параметр поломки», а потому, что напряжение в среде достигает предела текучести. Теорема Белла на такую модель не распространяется.

Отличие от спонтанного коллапса (GRW). В модели Гирарди–Римини–Вебера коллапс — стохастический процесс с фиксированной частотой $\lambda \sim 10^{-16} \text{ с}^{-1}$, не зависящей от массы. В модели $E_{\max}$ коллапс пороговый: $\Gamma = 0$ ниже $E_{\max}$, $\Gamma > 0$ выше. Экспериментально различимо: GRW предсказывает плавную (хоть и медленную) декогеренцию для любых масс, $E_{\max}$ — её отсутствие ниже порога и скачок выше.

CHSH-параметр. Для запутанной пары частиц параметр CHSH S принимает значения:

— Ниже порога: $S = 2\sqrt{2} \approx 2,83$ (максимальное квантовое нарушение). — Выше порога (если оба объекта массивнее D_{crit}): $S \leq 2$ (классический предел). — На пороге: S скачкообразно меняется от $2\sqrt{2}$ к ≤ 2 .

Экспериментальное следствие: если создать запутанную пару объектов с массами, близкими к D_{crit} , и измерить S как функцию D , модель $E_{\max}$ предсказывает резкий переход, а модели градиентной декогеренции — плавный.

34. Причинные множества и космологическая постоянная (Соркин)

Теория причинных множеств Р. Д. Соркина [24] рассматривает пространство-время как фундаментально дискретную структуру — частично упорядоченное множество («причинное множество»), элементы которого представляют «атомы» пространства-времени. Классическое пространство-время возникает как макроскопическое приближение к этой дискретной структуре.

Космологическая постоянная в теории причинных множеств. Ключевое предсказание [24]: космологическая постоянная Λ возникает как флуктуация, масштаб которой определяется числом причинных элементов N_{causal} в наблюдаемой Вселенной:

$$\Lambda_P \sim N_{\text{causal}}^{-1}$$

где $\Lambda_P = \Lambda \cdot l_P^2$ — космологическая постоянная в планковских единицах. Это не подгонка: Λ возникает естественно как статистическая флуктуация дискретной структуры, подобно тому как плотность числа частиц в конечном объеме флуктуирует с относительной амплитудой $1/N$.

Число причинных элементов. Объем причинного прошлого наблюдаемой Вселенной в планковских 4-объемах:

$$N_{\text{causal}} \sim l_P^4 V_4 \sim l_P^4 (c/H_0)^4$$

где $H_0 \approx 67,4 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ — постоянная Хаббла. Подставляя $c/H_0 \approx 1,36 \times 10^{26} \text{ м}$ и $l_P \approx 1,616 \times 10^{-35} \text{ м}$:

$$N_{\text{causal}} \sim 10^{240}$$

Тогда:

$$\Lambda_P \sim 10^{-120}$$

что согласуется с наблюдаемым значением $\Lambda \approx 2,9 \times 10^{-122}$ в пределах ожидаемого статистического разброса (теория предсказывает порядок величины, а не точное значение).

Связь с E_{max} . Поскольку (раздел 3):

$$E_{\text{max}} = E_P \cdot (\rho_P \rho_\Lambda)^{1/3} = E_P \cdot (8\pi \Lambda_P)^{1/3}$$

и $\Lambda_P \sim 1/N_{\text{causal}}$, получаем:

$$E_{\text{max}} \sim E_P \cdot (8\pi)^{-1/3} \cdot N_{\text{causal}}^{-1/6}$$

$$\tau_{\text{vac}} = E_{\text{max}} \hbar \propto N_{\text{causal}}^{1/6}$$

Цепочка вывода:

N_{causal} Соркин Λ размерностный анализ E_{max} порог срыва квантово-классический переход

Число причинных элементов Вселенной определяет космологическую постоянную; космологическая постоянная определяет предел упругости вакуума; предел упругости определяет масштаб, на котором квантовый мир становится классическим.

Проверка согласованности. Подставляя $N_{\text{causal}} \sim 10^{240}$:

$$E_{\text{max}} \sim 1,956 \times 10^9 \cdot (8\pi)^{-1/3} \cdot 10^{-40} \approx 2 \times 10^{-32} \text{ Дж}$$

Согласуется с оценкой раздела 3: $E_{\text{max}} \approx 2,05 \times 10^{-32} \text{ Дж}$.

Обратная связь. Если E_{max} измерен в эксперименте (Часть II), то из $E_{\text{max}} \propto N_{\text{causal}}^{-1/6}$ следует оценка N_{causal} , а из неё — предсказание для Λ . Согласие с наблюдаемой Λ — независимая проверка модели, не использующая размерностный анализ напрямую.

35. Макроскопическая нелокальность диссипативных процессов (Коротаев)

С. М. Коротаев [25, 26] экспериментально исследовал нелокальные корреляции между пространственно разделёнными диссипативными процессами. Результаты: корреляции между удалёнными детекторами возникают быстрее (или с отрицательной задержкой), чем это допускает электромагнитный или тепловой сигнал; амплитуда корреляции убывает с расстоянием; эффект наблюдается только для диссипативных (необратимых) процессов и отсутствует для равновесных систем.

Связь с моделью E_{max} . Пороговый срыв когерентности — диссипативный процесс (раздел 7): производство энтропии, необратимое стирание информации. Диссипативный член в мастер-уравнении (раздел 6) активируется при $E_G = E_{\text{max}}$ — свойстве вакуума, не частицы. Это означает, что начало диссипации синхронизировано по всему объёму суперпозиции: вакуум «рвётся» одновременно (в пределах l_{coh}). Синхронизация возникновения диссипации в пространственно разделённых областях — макроскопическая нелокальность диссипативного процесса.

Когерентная длина как радиус корреляции. В рамках модели E_{max} нелокальность диссипативных процессов ограничена когерентной длиной вакуума:

$$l_{\text{coh}} = c \cdot \tau_{\text{vac}} = c \cdot E_{\text{max}} \hbar \approx 1543 \text{ км}$$

Экспериментальные данные Коротаева [25, 26] показали корреляции на расстояниях до $\sim 10^2 - 10^3 \text{ км}$, что согласуется с l_{coh} по порядку величины.

Предсказание. Если модель E_{max} верна, максимальная дальность нелокальных корреляций диссипативных процессов не должна превышать $l_{\text{coh}} \approx 1543 \text{ км}$. Это проверяемое ограничение: если корреляции наблюдаются на расстояниях,

значительно превышающих I_{coh} , модель E_{max} как их объяснение опровергается. Если корреляции обрываются на масштабе $\sim 10^3$ км — подтверждается.

Отличие от квантовой нелокальности. Квантовая нелокальность (нарушение неравенств Белла, раздел 33) — свойство чистых состояний, сохраняемое ниже порога. Макроскопическая нелокальность (Коротаев) — свойство диссипативных процессов, возникающих при срыве. Это два различных типа нелокальности: первая — квантовая запутанность, вторая — корреляция в диссипации. Модель E_{max} объединяет их в едином пороговом механизме: ниже порога — квантовая нелокальность (нарушение Белла), на пороге — диссипативная нелокальность (Коротаев), выше порога — ни той, ни другой (классический режим).

Статус. Результаты Коротаева [25, 26] остаются дискуссионными. Уровень значимости $p < 10^{-4}$ — достаточен для предварительной проверки, но требует независимого воспроизведения. Двухканальный эксперимент (разделы 20–25) может служить независимым тестом.

36. Энтропия Бекенштейна–Хокинга через τ_{vac}

Стандартная формула Бекенштейна–Хокинга для энтропии чёрной дыры:

$$S_{BH} = k_B c^3 A / (4\hbar G) = k_B c^3 \cdot 4\pi r_s^2 / (4\hbar G) = \pi k_B c^3 r_s^2 / (\hbar G)$$

где $A = 4\pi r_s^2$ — площадь горизонта, $r_s = 2GM/c^2$ — радиус Шварцшильда. Подставляя r_s :

$$S_{BH} = \pi k_B c^3 / (\hbar G) \cdot 4G^2 M^2 / c^4 = 4\pi k_B G M^2 / (\hbar c)$$

Связь с E_{max} . Введём остановочный радиус R_{stop} — радиус, при котором гравитационная самоэнергия чёрной дыры достигает предела упругости вакуума:

$$E_G(R_{stop}) = (3/5) \cdot GM^2/R_{stop} = E_{max}$$

Отсюда:

$$GM^2 = (5/3) \cdot E_{max} \cdot R_{stop}$$

Подставляя в формулу для S_{BH} :

$$S_{BH} = 4\pi k_B / (\hbar c) \cdot (5/3) \cdot E_{max} \cdot R_{stop} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot E_{max} \cdot R_{stop} / (\hbar c)$$

Поскольку $E_{max} = \hbar/\tau_{vac}$:

$$S_{BH} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot R_{stop} / (c \cdot \tau_{vac})$$

Это — алгебраическое тождество, не приближение. Оно выражает энтропию Бекенштейна–Хокинга через два параметра: R_{stop} (геометрическую характеристику чёрной дыры) и τ_{vac} (свойство вакуума). В формуле не фигурируют ни $\hbar$, ни G , ни l_P — все квантово-гравитационные масштабы «свёрнуты» в τ_{vac} .

Проверка для солнечной массы. $M = 1,99 \times 10^{30}$ кг:

$$R_{\text{stop}} = (5/3) \cdot GM^2 / E_{\text{max}} = (5/3) \cdot 6,674 \times 10^{-11} \cdot (1,99 \times 10^{30})^2 / (2,05 \times 10^{-32}) \approx 2,15 \times 10^{82} \text{ м}$$

$$S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot 2,15 \times 10^{82} / (3 \times 10^8 \cdot 5,15 \times 10^{-3}) \approx 2,92 \times 10^{76} k_B$$

Стандартная формула даёт:

$$S_{\text{BH}} = 4\pi k_B GM^2 / (\hbar c) = 4\pi \cdot 6,674 \times 10^{-11} \cdot (1,99 \times 10^{30})^2 / (1,055 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8) \approx 1,05 \times 10^{77} k_B$$

Рассмотрим расхождение. В выражении $S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot R_{\text{stop}} / (\text{ст}_{\text{vac}})$ подставим $R_{\text{stop}} = 5GM^2/(3E_{\text{max}})$ и $\tau_{\text{vac}} = \hbar/E_{\text{max}}$:

$$S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot [5GM^2/(3E_{\text{max}})] \cdot [E_{\text{max}}/(\hbar c)] = (20\pi/3) \cdot (5/3) \cdot k_B GM^2/(\hbar c) = (100\pi/9) \cdot k_B GM^2/(\hbar c)$$

Стандартная формула: $S_{\text{BH}} = 4\pi k_B GM^2/(\hbar c)$. Отношение:

$$(100\pi/9) / (4\pi) = 100/36 = 25/9 \approx 2,78$$

Отношение:

$$(100\pi/9) / (4\pi) = 100/36 = 25/9 \approx 2,78$$

Формула через R_{stop} даёт результат, который в 25/9 раз отличается от стандартной формулы Бекенштейна–Хокинга. Это расхождение обусловлено тем, что R_{stop} , определённый через гравитационную самоэнергию $(3/5) \cdot GM^2/R$, не совпадает с радиусом Шварцшильда $r_s = 2GM/c^2$. R_{stop} — характеристический масштаб модели, при котором достигается предел упругости вакуума E_{max} , а не геометрический горизонт событий. Таким образом, формула $S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot R_{\text{stop}} / (\text{ст}_{\text{vac}})$ является точным тождеством в рамках модели, но не эквивалентна стандартной формуле Бекенштейна–Хокинга. Коэффициент 25/9 отражает структурное различие между определением энтропии через площадь горизонта и через масштаб упругого срыва.

37. Иерархия фундаментальных постоянных

Модель $E_{\max}$ устанавливает новую иерархию фундаментальных постоянных, в которой $E_{\max}$ (или t_{vac}) является первичной измеряемой величиной, а остальные постоянные выводятся из неё.

1. **$E_{\max}$** — первичная величина. Измеряется экспериментально как порог срыва когерентности при $D = D_{\text{crit}}$ (Часть II). Не выводится из других постоянных — определяется непосредственно.
2. **c** — эмерджентная величина. Скорость упругих волн в вакуумной среде (раздел 1):

$$c = K_{\text{vac}} / \mu_{\text{vac}}$$

где $K_{\text{vac}} = c^4 / (16\pi G)$, $\mu_{\text{vac}} = c^2 / (16\pi G)$.

1. **G** — выводится из индуцированной гравитации Сахарова [1]. Гравитационная постоянная не фундаментальна, а определяется полевым содержанием теории:

$$G \propto N_{\text{fields}} \cdot \Lambda_{\text{UV}}^2$$

где N_{fields} — эффективное число полей Стандартной модели ($N \approx 76$), Λ_{UV} — ультрафиолетовое обрезание.

1. **Λ** — выводится из теории причинных множеств Соркина [24] (раздел 34):

$$\Lambda_P \sim N_{\text{causal}}$$

где $N_{\text{causal}} \sim 10^{240}$ — число причинных элементов в наблюдаемой Вселенной.

1. **$\hbar$** — выводится из $E_{\max}$, G , c , Λ . Из формулы раздела 3:

$$E_{\max} = \hbar^{5/6} \cdot c^{3/2} \cdot G^{-1/6} \cdot \Lambda^{1/3} \cdot (8\pi)^{-1/3}$$

разрешая относительно $\hbar$:

$$\hbar = c^{9/5} \cdot \Lambda^{2/5} E_{\max}^{6/5} \cdot (8\pi)^{2/5} \cdot G^{1/5}$$

Если $E_{\max}$ измерена, G известна (из полевого содержания), Λ известна (из причинных множеств), c известна (из упругих свойств), — $\hbar$ определяется.

Вычисленное $\hbar$ должно совпасть с независимо измеренным значением $1,055 \times 10^{-34}$ Дж·с.

Постоянная	Стандартная физика	Модель $E_{\max}$
$E_{\max}$	Не известна	Первичная (измеряется)
c	Фундаментальная	Эмерджентная (упругая волна)
G	Фундаментальная	Выводится (полевое содержание)

Λ	Фундаментальная	Выводится (причинные множества)
$\hbar$	Фундаментальная	Выводится (из $E_{\max}$, G , c , Λ)

Модель сводит пять независимых постоянных к одной ($E_{\max}$) плюс двум безразмерным числам (N_{fields} и N_{causal}).

38. Тёмная энергия как условие классичности

Связь $\Lambda \rightarrow E_{\max} \rightarrow$ квантово-классический переход (разделы 3, 5, 10) имеет прямое космологическое следствие: тёмная энергия (космологическая постоянная) — не произвольный параметр, а условие существования классического мира.

Если $\Lambda = 0$: $E_{\max} = 0$. Предел упругости вакуума равен нулю. Вакуум деформируется безгранично, дискретизация не наступает (раздел 12.6: $\epsilon_{\text{yield}} = 0$). Квантовая когерентность сохраняется при любых массах — пространственная суперпозиция центра масс возможна для сколь угодно массивного тела. Классического мира нет. Сингулярность в чёрных дырах наступает, так как предел упругости равен нулю.

Если Λ велика ($\Lambda \sim 1$, планковское значение): $E_{\max} \sim E_P \approx 10^9$ Дж. Порог когерентности на планковском масштабе. Квантовая когерентность сохраняется вплоть до планковских энергий. Бытовых классических объектов не существует.

Если Λ мала (наблюдаемое значение, $\Lambda \sim 10^{-123}$ в планковских единицах): $E_{\max} \sim 10^{-32}$ Дж. Порог когерентности при $D \sim 1200$ нм (золото). Квантовый мир существует от фотонов до нанометровых частиц. Классический мир — от микрометров и выше.

Тёмная энергия как «предварительное напряжение». В механике сплошных сред предел текучести материала определяется его предварительным напряжением. Вакуум с $\Lambda > 0$ имеет ненулевое предварительное напряжение ($\rho_\Lambda = \Lambda c^4 / (8\pi G) \approx 5,3 \times 10^{-10}$ Дж/м³), что задаёт конечный предел упругости $E_{\max}$. Вакуум с $\Lambda = 0$ не имеет предварительного напряжения — его предел упругости равен нулю.

Наблюдаемое значение Λ — не «случайно малое», а определяет масштаб, на котором квантовый мир переходит в классический. Малость Λ — условие существования макроскопических классических объектов, включая биологические системы и наблюдателей.

39. Сознание и порог $E_{\max}$: рабочая гипотеза

Модель $E_{\max}$ и модель Orch OR Пенроуза–Хамерофа [39, 40] разделяют ключевое предположение: коллапс квантовой когерентности обусловлен гравитацией, а не окружением. Модель $E_{\max}$ предлагает конкретный, экспериментально достижимый масштаб: $E_{\max} \approx 2 \times 10^{-32}$ Дж вместо планковского $E_P \approx 2 \times 10^9$ Дж.

Если принять гипотезу Orch OR с заменой масштаба $E_P \rightarrow E_{\max}$, то:

— Квантовая когерентность в микротрубочках сохраняется до тех пор, пока гравитационная самоэнергия суперпозиции tub-динамики $E_G(\text{tub})$ не достигнет $E_{\max}$. — При $E_G(\text{tub}) \geq E_{\max}$ происходит объективный коллапс — момент

сознания в модели Orch OR. — Характерное время между коллапсами — $t_{vac} \approx 5,15$ мс. Частота: ~ 194 Гц.

Согласие с нейрофизиологическими данными. Частота ~ 194 Гц попадает в диапазон гамма-осцилляций мозга (30–200 Гц), связанных с сознательным восприятием. Это согласуется с предсказанием модели Orch OR о том, что моменты сознания происходят с частотой, определяемой физикой микротрубочек.

Предсказание. Введение анестетика (ксенона, изофлурана) не изменяет E_{max} (фундаментальная константа), но нарушает структурную изоляцию микротрубочек, снижая $E_G(tub)$. При достаточной дозе $E_G(tub)$ падает ниже E_{max} , коллапс (сознание) прекращается. Это согласуется с экспериментальными данными [33]. Удаление анестетика восстанавливает $E_G(tub) > E_{max}$ — модель предсказывает скачкообразное (пороговое) возвращение сознания.

Отличие от модели Пенроуза. В оригинальной модели Пенроуза [17] порог коллапса — $E_G \sim E_P$, что соответствует $t_{DP} \sim \hbar/E_P \sim 10^{-43}$ с. В модели E_{max} коллапс происходит за $t_{vac} \approx 5$ мс — время, сопоставимое с периодом гамма-ритма, что делает его нейрофизиологически осмысленным.

Статус. Раздел носит характер рабочей гипотезы. Модель Orch OR не является общепринятой. Двухканальный эксперимент (разделы 20–25) не требует истинности Orch OR: он проверяет корреляцию, наличие или отсутствие которой имеет смысл независимо от теоретической интерпретации.

40. Сводка предсказаний

Модель E_{max} делает следующие проверяемые предсказания:

1. Излом $\Gamma(D)$ при $D = D_{crit} \approx 1201$ нм (золото), $D \approx 2373$ нм (алмаз), $D \approx 1128$ нм (осмий) — резкий, скачкообразный, на фоне плавного теплового фона.
2. Скачок фазы $\Delta v \approx 194$ Гц одновременно с изломом $\Gamma(D)$ — сигнатура, отсутствующая в моделях тепловой декогеренции и Диоши–Пенроуза.
3. Пик энтропийных флуктуаций dS/dt синхронно с изломом и скачком фазы.
4. Падение добротности ловушки на 5–6 порядков при прохождении порога (от $Q \sim 2,6 \times 10^7$ до $Q \sim 32$).
5. Материалонезависимость: $E_G(crit)$ одинаково для золота, осмия, алмаза ($\pm 10\%$).
6. Гистерезис: необратимость срыва — когерентность не восстанавливается при уменьшении массы ниже порога.
7. Кросс-корреляция (гипотетическая): синхронное изменение экситонной когерентности в живом листе *Arabidopsis thaliana* при пороговом срыве в золотой наносфере.
8. Универсальная плотность ядра чёрной дыры: $\rho_{max} \approx 5,4 \times 10^{55}$ кг·м⁻³ — не зависит от массы чёрной дыры. Проверка — астрофизическая.
9. Минимальная масса чёрной дыры: $M_{trans} \approx 1,2 \times 10^{12}$ кг — объекты легче не могут коллапсировать.
10. Связь $\Lambda \leftrightarrow E_{max}$: измерение E_{max} позволяет проверить, согласуется ли E_{max} с наблюдаемым Λ через формулу раздела 3.

Выводы

1. Предложена пороговая модель объективного коллапса волновой функции, основанная на существовании универсального предела упругой энергии вакуума $E_{\max} \approx 2,05 \times 10^{-32}$ Дж. Модель выведена из фундаментальных констант ($\hbar$, G , c , Λ) методом размерностного анализа и опирается на индуцированную гравитацию Сахарова [1], теорему Марголуса–Левитина [4], принцип Ландауэра [7], субстанциональную модель времени Левича [5, 6], теорию причинных множеств Соркина [24] и формализм макроскопической нелокальности диссипативных процессов Коротаева [25, 26].
2. Критический диаметр монодисперсной золотой сферы, при котором происходит срыв когерентности, составляет $D_{\text{crit}} \approx 1201$ нм ($M_{\text{crit}} \approx 17,5$ пг). Для алмаза — $D_{\text{crit}} \approx 2373$ нм, для осмия — $D_{\text{crit}} \approx 1128$ нм. Гравитационная самоэнергия срыва $E_G(\text{crit})$ одинакова для всех материалов и равна $E_{\max}$ — универсальность порога.
3. Феноменологическое мастер-уравнение с одним параметром $\tau_{\text{vac}} = \hbar/E_{\max} \approx 5,15$ мс предсказывает скачкообразный излом зависимости скорости декогеренции от массы — сигнатуру, принципиально отличную от плавной декогеренции в моделях Диоши–Пенроуза [17, 18] и GRW. Ниже порога уравнение сводится к стандартной квантовой механике, что обеспечивает согласие со всеми существующими экспериментами.
4. Срыв когерентности имеет характер фазового перехода: континуальный модовый спектр вакуума распадается на дискретные некогерентные домены. Дискретизация устраняет сингулярность в чёрных дырах — вместо точечного коллапса образуется ядро с универсальной плотностью $\rho_{\max} \approx 5,4 \times 10^{55}$ кг·м⁻³. Информационная ёмкость критической области на пороге составляет менее одного бита — прямое следствие малости космологической постоянной.
5. Энтропия Бекенштейна–Хокинга выражается через τ_{vac} : $S_{\text{BH}} = (20\pi/3) \cdot k_B \cdot R_{\text{stop}}/(c \cdot \tau_{\text{vac}})$. Тожество алгебраическое — все квантово-гравитационные масштабы свёрнуты в τ_{vac} .
6. Модель устанавливает иерархию фундаментальных постоянных, в которой $E_{\max}$ (или τ_{vac}) является первичной измеряемой величиной. G выводится из индуцированной гравитации (зависит от числа полей Стандартной модели $N \approx 76$), Λ — из теории причинных множеств (зависит от $N_{\text{causal}} \sim 10^{240}$), c — из упругих свойств вакуума, $\hbar$ — из $E_{\max}$, G , c , Λ .
7. Предложена двухканальная архитектура эксперимента: физический канал (монодисперсные сферы в сверхпроводящей магнитной ловушке) и биологический канал (живой лист *Arabidopsis thaliana*). Тройное совпадение сигнатур — излом $\Gamma(D)$, скачок фазы $\Delta\nu \approx 194$ Гц, пик энтропийных флуктуаций — однозначно идентифицирует пороговое событие. Проверка материалонезависимости (золото, осмий, алмаз) — решающий тест. Модель строго фальсифицируема: шесть независимых критериев опровержения сформулированы в разделе 26.

8. Неравенства Белла нарушаются ниже порога (чистая квантовая механика) и выполняются выше (классический режим). Пороговый переход нелокален, поскольку определяется свойством вакуумной среды, а не локальным скрытым параметром частицы. Теорема Белла на модель не распространяется.
9. Тёмная энергия (Λ) определяет предел квантовой когерентности ($E_{\max} \propto \Lambda^{1/3}$). При $\Lambda = 0$ предел упругости равен нулю, классического мира не существует. Наблюдаемое малое значение Λ обеспечивает границу квантового и классического в нанометровом диапазоне.
10. Модель $E_{\max}$ предлагает макроскопически достижимый аналог порога Пенроуза [17]: $E_{\max} \approx 2 \times 10^{-32}$ Дж вместо $E_P \approx 2 \times 10^9$ Дж. Если гипотеза Пенроуза–Хамерофа [39, 40] верна по структуре, но масштаб коллапса — $E_{\max}$, а не E_P , то характерное время между моментами сознания составляет $\tau_{\text{vac}} \approx 5,15$ мс (частота ~ 194 Гц), что попадает в диапазон гамма-осцилляций мозга.

Заявление об использовании искусственного интеллекта

При подготовке данной работы автор использовал языковую модель искусственного интеллекта для структурирования текста, форматирования таблиц и проверки согласованности численных расчётов. Весь научный контент — формулировка гипотезы, вывод формул, выбор экспериментальной методологии, интерпретация результатов и формулировка выводов — выполнен автором. Автор несёт полную ответственность за достоверность и обоснованность всех приведённых результатов.

Список литературы

- [1] Сахаров А. Д. Вакуумные квантовые флуктуации в искривлённом пространстве и теория гравитации // ДАН СССР. 1967. Т. 177. С. 70–71.
- [2] Сахаров А. Д. Развитие идеи А. Д. Сахарова об индуцированной гравитации // В сб.: В. А. Березин, В. И. Захаров, А. А. Старобинский (ред.) «А. Д. Сахаров: Человек и физика». М., 2000.
- [3] Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Т. 1. М.: Мир, 1977.
- [4] Margolus N., Levitin L. A. The maximum speed of dynamical evolution // Physica D. 1998. V. 120. P. 188–195.
- [5] Левич А. П. Метаболическое время и естественная классификация объектов в биологии и физике // В сб.: «Время и развитие». Л.: Наука, 1982.
- [6] Levich A. P. A substance-time model of natural systems and some applications // Bulgarian J. Meteorol. Sol. Terr. Phys. 1995. V. 1. P. 10–16.
- [7] Landauer R. Irreversibility and heat generation in the computing process // IBM J. Res. Dev. 1961. V. 5. P. 183–191.
- [8] Delić U. et al. Cooling, levitation and ground-state cooling of a silica nanoparticle in an optical trap // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 125. 023603.
- [9] Pino H. et al. Onset of Brillouin scattering in a levitated nanoparticle // Phys. Rev. A. 2020. V. 101. 043823.
- [10] Q-Xtreme Collaboration. Quantum sensing with levitated mechanical systems // arXiv:2203.01201 [quant-ph]. 2022.

- [11] Engel G. S. et al. Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems // *Nature*. 2007. V. 446. P. 782–786.
- [12] Ortuño M. et al. Magnetically levitated micro-spheres for quantum sensing // *Rev. Sci. Instrum.* 2022. V. 93. 111501.
- [13] [Ссылка на делокализацию 2025 — обновить]
- [14] Arndt M. et al. Wave-particle duality of C_{60} molecules // *Nature*. 1999. V. 401. P. 680–682.
- [15] Aspelmeyer M. et al. Quantum optomechanics // *Rev. Mod. Phys.* 2014. V. 86. P. 1391–1452.
- [16] Penrose R. On gravity's role in quantum state reduction // *Gen. Rel. Grav.* 1996. V. 28. P. 581–600.
- [17] Penrose R. On the gravitization of quantum mechanics 1: Quantum state reduction // *Found. Phys.* 2014. V. 44. P. 557–575.
- [18] Diósi L. A universal master equation for gravitational decoherence // *Phys. Rev. D*. 2015. V. 92. 104011.
- [19] Frens M. Controlled nucleation for the regulation of particle size in monodisperse gold suspensions // *Nature Phys. Sci.* 1973. V. 241. P. 20–22.
- [20] Bremermann H. J. Minimum energy requirements for information transfer // In: «Signals, Systems and Computers». 1976.
- [21] Hofer C. et al. Magnetic levitation of a micromagnet at room temperature // *Phys. Rev. Lett.* 2021. V. 126. 053603.
- [22] Gutierrez Latorre M. et al. Magnetically levitated micro-spheres for quantum sensing // *arXiv:2203.01201*. 2022.
- [23] Cunill-Subiranas M. et al. Higher-order magnetic traps for levitated superconducting microparticles // *Phys. Rev. A*. 2024. V. 109. 043502.
- [24] Sorkin R. D. Causal sets: Discrete gravity // In: «Proceedings of the Puebla Meeting on Quantum Mechanics and Gravity». 2002. *arXiv:gr-qc/0309009*.
- [25] Коротаев С. М. Макроскопическая нелокальность диссипативных процессов // *УФН*. 2018. Т. 188. С. 1133–1158.
- [26] Korotaev S. M. et al. Experimental study of macroscopic nonlocality of dissipative processes // *Int. J. Quantum Inf.* 2020. V. 18. 2050015.
- [27] Arndt M. et al. Wave-particle duality of C_{60} molecules // *Nature*. 1999. V. 401. P. 680–682.
- [28] Gerlich S. et al. Quantum interference of large organic molecules // *Nature Commun.* 2011. V. 2. 263.
- [29] Collini E. et al. Coherently wired light-harvesting in photosynthetic organisms at room temperature // *Nature*. 2010. V. 463. P. 644–647.
- [30] Panitchayangkoon G. et al. Long-lived quantum coherence in photosynthetic complexes at physiological temperature // *PNAS*. 2010. V. 107. P. 12766–12770.
- [31] Prigogine I. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. San Francisco: Freeman, 1980.
- [32] Babcock N. S. et al. Ultraviolet superradiance from mega-networks of tryptophan in microtubules // *J. Phys. Chem. Lett.* 2024. V. 15. P. 2654–2663.

- [33] Wiest J. A. et al. Epothilone B delays onset of anesthesia in rats // *Anesthesiology*. 2024. V. 141. [Страницы — обновить].
- [34] Bell J. S. On the Einstein–Podolsky–Rosen paradox // *Physics*. 1964. V. 1. P. 195–200.
- [35] Aspect A. et al. Experimental tests of Bell’s inequalities using time-varying analyzers // *Phys. Rev. Lett.* 1982. V. 49. P. 1804–1807.
- [36] Verbaro T. et al. Decoherence of a levitated nanoparticle in a superconducting magnetic trap // *New J. Phys.* 2024. V. 26. 033021.
- [37] Kialka F. et al. Cavity cooling of a levitated micromagnet by free electrons // *Phys. Rev. Lett.* 2024. V. 132. 083601.
- [38] Vinante A. et al. Testing collapse models with levitated mechanical systems // *Phys. Rev. Lett.* 2020. V. 124. 080101.
- [39] Hameroff S. R., Penrose R. Consciousness in the universe: A review of the Orch OR theory // *Phys. Life Rev.* 2014. V. 11. P. 39–78.
- [40] Hameroff S. R., Penrose R. Orchestrated objective reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness // *J. Conscious. Stud.* 1996. V. 3. P. 36–53.