Zero-Field Spectral Cosmology (ZFSC) v3.1

Двуветвевой квантово-геометрический каркас со спектральной стабилизацией

Версия документа: `3.1.0` (15 сентября 2025)

Аннотация

Представлена версия ZFSC v3.1 как двуветвевой (лево-/правохиральный) квантово-геометрический каркас, в котором наблюдаемые массы и смешивания выводятся из спектра эффективного гамильтониана на дискретной геометрии. Ключевые элементы: общий спектральный стабилизатор Φ^*, квантовый переключатель $S_\Omega(t)$, резонансный ОМ-фактор Ω и пропускная способность резервуара κ, собранные в сквозной масштаб $\Theta = \kappa/(\Phi^*\,\Omega)$. Дана строгая операторная запись, процедуры извлечения Φ^* и Ω из спектральных данных, а также протокол численной валидации с метриками устойчивости плато.

Содержание

1 Спектральный принцип и постановка задачи

Фундаментальная гипотеза ZFSC: наблюдаемый спектр масс и смешиваний определяется собственными значениями и собственными векторами эффективного гамильтониана, построенного на дискретной квантовой геометрии.

$$m_n = \lambda_n(H_{\text{eff}}(t)), \qquad \text{Mix} = U_A^\dagger U_B, \tag{1}$$

где $U_{A,B}$ — матрицы собственных векторов в секторах A, B (например, u/d, ℓ/ν). В версии v3.1 гамильтониан имеет двуветвевую структуру и явную временную модуляцию включения.

2 Слоистое гильбертово пространство и геометрия

Пусть $\mathcal{H} = \bigoplus_\ell \mathcal{H}_\ell$ — слоистое гильбертово пространство. Дискретная геометрия слоя ℓ задаётся связностью C_ℓ и лапласианом $L_\ell = D_\ell - C_\ell$. Базовый геометрический гамильтониан H_0 строится на $\{L_\ell\}$ и может включать квазипериодические/квазикристаллические компоненты.

3 Двуветвевой (хиральный) каркас

ZFSC v3.1 описывает две сопряжённые ветви — левую (L) и правую (R). Эффективный гамильтониан блочно-диагонален:

$$H_{\text{eff}}(t) = S_\Omega(t)\,\text{diag}\Big(H_L,\, H_R\Big), \qquad H_B = H_0 + \sum_i \alpha_i\, O_i \;+\; \Theta\,\Xi, \quad B \in \{L, R\}. \tag{2}$$

Здесь O_i — фиксированный набор операторов (см. §4); Ξ — оператор резервуара (см. §8); Θ — сквозной масштаб подпитки (см. §7); $S_\Omega(t)$ — переключатель включения (§6). Важное *требование симметрии* v3.1: **одни и те же** стабилизатор Φ^* и резонансный фактор Ω применяются одновременно к обеим ветвям L/R (общая “крышка”).

4 Набор операторов O_i (содержит v3.0 как подмножество)

1. **Структурированная энтропия:** $O_{\text{ent}} = \Phi(L)$, где $L = \bigoplus_\ell L_\ell$ и Φ — монотонная эрмитова функция (типично X или X^2 при нормировке).
2. **Каналы подпитки полей:** $O_{\text{ch}} = \sum_{\alpha \in \{\text{gr,em,wk,st}\}} \Pi_\alpha$ (проекторы на канальные подсекторы).
3. **Радиальный конфайнмент (поколения):** $O_{\text{rad}} = \sum_\ell f(B_\ell)$, где $B_\ell = g_r L_{\text{rad}}^{(\ell)} + V_{\text{cap}}^{(\ell)}(r)$; три нижних собственных уровня $\epsilon_{\ell,g}$ ($g = 1, 2, 3$) реализуют поколения.

4. **Топология смешиваний:** $O_{\rm mix} = (W_g \otimes \mathbb{I}_s) H_0 (W_g^\dagger \otimes \mathbb{I}_s) - H_0$, где $W_g(\kappa) = e^{-i\kappa K_g}$ с локальными генераторами K_g.
5. **Фиксация устойчивых плато:** $O_{\rm stab} = -\sum_n \Xi_n P_n$ (см. §11); Линдблад-реализация даёт полную положительность.
6. **Циклическая геометрия:** $O_{\rm cyc} = f(L_{C_P})$, $L_{C_P} = 2\mathbb{I} - (X + X^\dagger)$ на цикле C_P.

Коэффициенты α_i — малые, иерархия норм сохраняет симметрии базовой геометрии.

5 Спектральный стабилизатор Φ^*: определение и извлечение

Стабилизатор Φ^* — безразмерная величина, задающая норму стабилизирующего вклада и масштаб резервуара. Он *извлекается из спектра* по одной из процедур:

(A) Near-degeneracy: анализ отношений ближайших собственных значений $\lambda_{n\pm1}/\lambda_n$ и их сходимости к плато.

(B) Gap-sealing: использование относительных зазоров $g_n = (\lambda_{n+1} - \lambda_n)/\overline{\lambda}$ и гармонического среднего по стабильным модам.

(C) Chaos/modes ratio: сравнение энерговклада хаотического фона и мод-плато; симметризация между L/R через геометрическое среднее.

В хаос-нормировке обычно $\Phi^* \approx 1 \pm \varepsilon$ (малое отклонение фиксируется по метрикам стабильности).

6 ОМ-фактор Ω и переключатель $S_\Omega(t)$

ОМ-фактор Ω — безразмерный резонансный множитель, характеризующий *эффективную ширину* "горлышка" включения динамики. Он влияет как на амплитуду, так и на фазовый режим переключателя. В v3.1:

$$S_\Omega(t) = S(t;\Omega), \qquad \Omega \in \mathbb{R}_+, \quad \Omega \approx 1 \pm \varepsilon_\Omega. \tag{3}$$

Практические формы $S(t;\Omega)$: сглаженная ступенька (сигмоида), ступенчатый режим, либо узкополосная модуляция для сканов по резонансам. Ω извлекается из частотно-временных характеристик устойчивости плато (см. §14).

7 Резервуар и сквозной масштаб Θ

Резервуар управляет дозированной подпиткой спектра. В v3.1 его вклад собран в *сквозной масштаб*

$$\Theta \;=\; \frac{\kappa}{\Phi^*\,\Omega}, \tag{4}$$

где κ — пропускная способность. Квантование κ допускает дискретные наборы (например, $\{3, 5, 8, 13\}$) либо масштабирование $\kappa \sim \sqrt{N}$, что удобно при изменении размерности матрицы.

8 Оператор резервуара Ξ

Оператор Ξ действует в канальных подсекторах и реализует дозированную подачу:

$$\Xi \;=\; \sum_{\alpha\in\{\mathrm{gr,em,wk,st}\}} \xi_\alpha\,\Pi_\alpha, \qquad \xi_\alpha \geq 0, \quad \|\Xi\| \ll \|H_0\|. \tag{5}$$

Замечание о нотации: символ Ξ для резервуара отличается от индикаторов устойчивости Ξ_n в §11 (контекст определяет значение).

9 Полная форма эффективного гамильтониана v3.1

Собрав определения (2)–(4), получаем для каждой ветви $B \in \{L, R\}$:

$$\begin{aligned} H_B = H_0 + \alpha_{\mathrm{ent}}\,\Phi(L) + \alpha_{\mathrm{ch}} \sum_\alpha \Pi_\alpha + \alpha_{\mathrm{rad}} \sum_\ell f(B_\ell) + \alpha_{\mathrm{mix}} \Big[(W_g \otimes \mathbb{1}_s) H_0 (W_g^\dagger \otimes \mathbb{1}_s) - H_0\Big] \\ + \alpha_{\mathrm{cyc}}\, f(L_{C_P}) - \alpha_{\mathrm{stab}} \sum_n \Xi_n P_n \;+\; \Theta\,\Xi \;-\; \mu\,\mathbb{1}, \end{aligned} \tag{6}$$

и

$$H_{\mathrm{eff}}(t) = S_\Omega(t)\,\mathrm{diag}\big(H_L,\; H_R\big). \tag{7}$$

Иерархия норм сохраняет базовые симметрии: $\|\alpha_{\mathrm{ent}}\Phi(L)\| \gtrsim \|\alpha_{\mathrm{ch}}\sum \Pi_\alpha\| \gtrsim \|\alpha_{\mathrm{rad}}\sum f(B_\ell)\| \gtrsim \|\alpha_{\mathrm{mix}}(\cdot)\| \gtrsim \|\alpha_{\mathrm{stab}}\sum \Xi_n P_n\| \gtrsim \|\alpha_{\mathrm{cyc}} f(L_{C_P})\| \gg \|\Theta\,\Xi\|$.

10 Поколения и смешивания

Три поколения появляются как три нижние связанные моды B_ℓ ниже порога континуума. Отсутствие четвёртой моды при типичных $V_{\mathrm{cap}}^{(\ell)}(r)$ реализует естественный запрет. Топология смешиваний через локальный W_g обеспечивает слабые дальние переходы: малые углы в кварковом секторе и большие — в лептонном возникают без подгонки.

11 Фиксация устойчивости плато и Линдблад-реализация

Индикатор устойчивости для моды n в скане параметра t:

$$\Xi_n = \exp\Big(-a\frac{|\dot\lambda_n|}{\varepsilon_1} - b\frac{|\ddot\lambda_n|}{\varepsilon_2} - c\,\delta_{\mathrm{ring}}(n)\Big) \in (0,1], \qquad P_n = |\psi_n\rangle\langle\psi_n|. \tag{8}$$

Энергетическая фиксация $-\alpha_{\mathrm{stab}}\sum_n \Xi_n P_n$ повышает робастность плато. Динамическая (полностью положительная) форма на уровне плотности ρ:

$$\dot\rho = -i[H_B, \rho] + \sum_j \big(D_j \rho D_j^\dagger - \tfrac{1}{2}\{D_j^\dagger D_j, \rho\}\big), \qquad D_j = \sqrt{\beta_j}\,P_{\mathrm{stable}}^{(j)}. \tag{9}$$

12 Циклическая геометрия и угловая дискретизация

На цикле C_P имеем $L_{C_P} = 2\mathbb{I} - (X + X^\dagger)$, $X|m\rangle = |m+1\rangle$, $Z|m\rangle = \omega^m|m\rangle$, $\omega = e^{2\pi i/P}$. Выбор $P \in \{8, 16, 32, 64\}$ (и их композиции) формирует устойчивые угловые щели, согласующиеся с плато.

13 Нормировка и перевод в физические массы

Общий сдвиг снимается μ (например, через условие $\mathrm{Tr}H_B = 0$). Абсолютный масштаб задаётся функционалом резервуара:

$$\Lambda_* \propto \Omega(\rho) = \Omega_0 + \xi\,\mathrm{Tr}(\rho\,\Phi(L)), \qquad m_n^{\mathrm{phys}} = \Lambda_*\, g\left(\frac{\lambda_n}{\Lambda_*}\right), \tag{10}$$

где g — фиксированная монотонная функция (на первой итерации $g(x) = x$).

14 Метрики устойчивости и извлечение параметров

Для оценки плато используются:

- **plateau_persistence:** доля t-окна, где $\Xi_n \geq \tau$ (порог).
- **shell_purity:** чистота выбранной спектральной оболочки (отсутствие скрещиваний/пересадок мод).
- **gap_ratio:** нормированное отношение локальных зазоров g_n.

Извлечение Φ^* и Ω опирается на стабилизированные наборы мод с максимальной *plateau_persistence* и согласованными *gap_ratio*. Симметризация L/R делается через геометрическое среднее соответствующих оценок.

15 Предсказания и проверяемые следствия v3.1

1. **Три поколения** из радиальной квантизации; отсутствие четвёртой моды ниже порога.
2. **CKM/PMNS-структура** из локальной топологии смешиваний; подавление дальних углов в кварках и усиление в лептонах.
3. **Угловые щели** по выборным P и их композициям.
4. **Малая** Λ как следствие слабой дозированной подпитки (малость $\Theta\,\Xi$).
5. **Робастность к шумам** геометрии из-за присутствия Φ^* и энергетической/линдбладовской фиксации.
6. **Двуветвевой симметрический стабилизатор:** совпадение Φ^* и Ω для L/R является условием согласованной динамики; отклонение диагностируется по рассогласованию метрик.

16 Численная валидация: протокол v3.1

1. Синтезировать $\{L_\ell\}$, построить H_0, задать набор O_i и L_{C_P}; выбрать P.

2. Выбрать класс $S_\Omega(t)$ и сетку параметров; задать кванты для κ; инициализировать оценки Φ^*, Ω.

3. Собрать H_B по (6) для $B = L, R$; сформировать $H_{\text{eff}}(t)$.

4. Диагонализовать, вычислить метрики §14; извлечь Φ^* (варианты A/B/C) и Ω; симметризовать L/R.

5. Выполнить сканы по α_i, P, классам S_Ω, дискретам κ; сравнить долю/качество плато с/без каждого O_i.

6. Отчёт: средние/медианные метрики, распределения щелей, карты устойчивости; проверка предсказаний § 15.

17 Симметрии и совместимость членов

При малых α_i и Θ базовые симметрии H_0 сохраняются. Коммутационные свойства между O_i выбираются так, чтобы не индуцировать избыточное спонтанное нарушение симметрий. Разумная иерархия норм приведена после (6).

Заключение

ZFSC v3.1 формализует двуветвевой (хиральный) спектральный каркас с общим стабилизатором Φ^* и резонансным фактором Ω. Эффективный гамильтониан (6) включает необходимые геометрические и топологические вклады и допускает строгую численную валидацию без подгонки параметров. Каркас воспроизводит ключевые структурные свойства спектра частиц и задаёт программу последующих проверок.