Резонансная топологическая волновая модель материи

Земцов Евгений Николаевич

13 марта 2026 г.

Аннотация

Предлагается модель, в которой материя возникает как устойчивые топологические дефекты нелинейной резонансной среды.

Фундаментальными степенями свободы являются четыре комплексные волновые моды

$$\Phi_i(x), \quad i = 1 \dots 4$$

с вакуумным ограничением

$$\sum_{i=1}^{4} |\Phi_i|^2 = v^2$$

которое определяет вакуумное многообразие S^7.

Показано, что калибровочная группа Стандартной модели

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$

естественно возникает как подгруппа симметрии системы.

Барионы интерпретируются как топологические солитоны типа скирмионов, фермионы возникают как нулевые моды Джекью–Ребби, а поколения фермионов интерпретируются как радиальные возбуждения солитонного состояния.

Гравитация возникает как эффективная геометрия волновой среды.

1 Введение

Несмотря на успех Стандартной модели, ряд фундаментальных вопросов остаётся открытым:

- происхождение калибровочной группы

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$

- механизм конфайнмента кварков
- происхождение трёх поколений фермионов
- происхождение пространства-времени

В данной работе предлагается гипотеза:

материя является топологическими дефектами нелинейной резонансной среды.

2 Фундаментальные поля

Фундаментальными степенями свободы являются четыре комплексных поля

$$\Phi_i(x) = A_i(x)e^{i\theta_i(x)}, \quad i = 1 \dots 4$$

которые можно рассматривать как координаты в пространстве

$$\mathbb{C}^4 \cong \mathbb{R}^8.$$

3 Вакуум

Вакуум определяется условием

$$\sum_{i=1}^{4} |\Phi_i|^2 = v^2$$

которое задаёт сферу

$$S^7.$$

Таким образом вакуумное многообразие теории равно

$$\mathcal{M} = S^7.$$

4 Лагранжиан

Полный лагранжиан имеет вид

$$\mathcal{L} = \sum_i (D_\mu \Phi_i)^\dagger (D^\mu \Phi_i) - V(\Phi) - \mathcal{L}_{\text{gauge}} - \mathcal{L}_{\text{top}} - \mathcal{L}_{\text{Yukawa}}.$$

4.1 Потенциал

$$V(\Phi) = \lambda(|\Phi|^2 - v^2)^2$$

4.2 Калибровочный сектор

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}} = -\frac{1}{4} G^a_{\mu\nu} G^{a\mu\nu} - \frac{1}{4} W^i_{\mu\nu} W^{i\mu\nu} - \frac{1}{4} B_{\mu\nu} B^{\mu\nu}$$

5 Симметрии

Кинетический член обладает глобальной симметрией

$$SO(8).$$

Однако введение комплексной структуры выделяет подгруппу

$$U(4) \subset SO(8).$$

При условии

$$\det = 1$$

получаем

$$SU(4) \subset U(4).$$

6 Происхождение группы Стандартной модели

Поле можно разложить как

$$\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4).$$

Первые три компоненты образуют цветовой триплет

$$\Phi_c = (\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3).$$

Оставшиеся две компоненты образуют электрослабый дублет

$$\Phi_w = (\Phi_3, \Phi_4).$$

Таким образом возникает подгруппа

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y.$$

$$\begin{tikzcd}
\mathrm{SO(8)} \arrow[d, "\text{комплексная структура}"] \\
\mathrm{U(4)} \arrow[d, "\det = 1"] \\
\mathrm{SU(4)} \arrow[d, "\text{разбиение полей}"] \\
\mathrm{SU(3)}_c \times \mathrm{SU(2)}_L \times \mathrm{U(1)}_Y
\end{tikzcd}$$

Рис. 1: Цепочка вложения симметрий

7 Ковариантная производная

$$D_\mu = \partial_\mu + ig_s G_\mu^a T^a + igW_\mu^i \frac{\tau^i}{2} + ig' B_\mu Y$$

8 Фермионы как нулевые моды

Фермионы возникают как нулевые моды в солитонном фоне.

Уравнение Дирака имеет вид

$$(i\gamma^\mu D_\mu - g\Phi)\psi = 0$$

что приводит к появлению локализованных нулевых мод.

9 Барионы как солитоны

Используется hedgehog-анзац

$$U(\vec{r}) = \exp(i\vec{\tau}\cdot\hat{r}F(r))$$

где

$$F(0) = \pi, \qquad F(\infty) = 0.$$

9.1 Барионное число

Определим

$$L_i = U^\dagger \partial_i U$$

тогда

$$B = \frac{1}{24\pi^2}\int d^3x\, \epsilon^{ijk}\mathrm{Tr}(L_i L_j L_k)$$

является топологическим зарядом.

10 Поколения фермионов

Радиальные возбуждения солитона дают спектр

$$E_n \sim E_0(1 + cn^2)$$

что естественно приводит к нескольким устойчивым уровням.

11 Конфайнмент

Цветовые поля допускают вихревые решения типа Абрикосова–Нильсена–Олесена.

Они приводят к линейному потенциалу

$$V(r) = \sigma r.$$

12 Топология пространства

Стабильность топологических дефектов требует

$$\pi_3(S^3) = \mathbb{Z}.$$

Это возможно только в трёх пространственных измерениях.

13 Возникающая гравитация

Уравнение волн среды

$$\rho\partial_t^2\theta - K\nabla^2\theta = 0$$

можно переписать как

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\partial_\mu(\sqrt{-g}g^{\mu\nu}\partial_\nu\theta) = 0.$$

Таким образом возникает эффективная метрика.

14 Октонионная структура вакуума

Сфера S^7 связана с единичными октонионами.

Группа автоморфизмов октонионов

$$G_2$$

содержит подгруппу

$$SU(3)$$

что даёт геометрическую интерпретацию цветовой симметрии.

15 Экспериментальные сигнатуры

Модель предсказывает:

- топологические резонансы в диапазоне 1–10 ТэВ
- экзотические барионы
- фазовые дефекты в высокоэнергетических столкновениях

16 Заключение

В предложенной модели

- материя является топологическими дефектами среды
- барионы — солитоны
- фермионы — нулевые моды
- поколения — радиальные возбуждения
- гравитация — эффективная геометрия

Список литературы

[1] T.H.R. Skyrme, Nucl. Phys. 31 (1962)

[2] Adkins, Nappi, Witten, Nucl. Phys. B228 (1983)

[3] Jackiw, Rebbi, Phys. Rev. D13 (1976)

[4] C. Barceló et al., Living Rev. Relativity (2005)

Приложение: Октонионная структура вакуума и космологические следствия

Идентификация вакуумного многообразия с семимерной сферой

$$M = S^7$$

естественным образом вводит геометрию единичных октонионов $\mathbb{O}$. Данная структура обеспечивает фундаментальный геометрический базис для интерпретации физических констант модели.

1. Геометрическое происхождение протонного масштаба

Характерный барионный масштаб длины определяется выражением

$$r_p \sim \alpha \frac{\hbar}{m_p c}$$

где α — безразмерный коэффициент порядка единицы. В рамках RToE барионы соответствуют солитонным возбуждениям, связанным с кватернионными подструктурами

$$\mathbb{H} \subset \mathbb{O}.$$

Поскольку кватернионные подпространства соответствуют трехмерным сферам $S^3 \subset S^7$, барион можно интерпретировать как проекцию многомерной фазовой структуры на эффективную трёхмерную среду. Геометрическая связь $S^7 \leftrightarrow \mathbb{O}$ естественным образом приводит к появлению численных коэффициентов порядка единицы в выражении для характерного радиуса солитона.

2. Симметрия $G_2 \supset SU(3)$ и природа цвета

Группа автоморфизмов октонионов G_2 содержит подгруппу

$$G_2 \supset SU(3).$$

Эта подгруппа соответствует стабилизатору выбранного направления в октонионном пространстве. В контексте модели это вложение даёт геометрическую интерпретацию цветовой симметрии: группа $SU(3)$ может рассматриваться как подгруппа преобразований, сохраняющих определённую внутреннюю структуру октонионного вакуума.

3. Темная энергия как фазовое давление

Вакуумное ограничение

$$\sum |\Phi_i|^2 = v^2$$

на многообразии S^7 задаёт глобальное условие нормировки волновых мод. Формирование локализованных солитонных дефектов (материи) искажает распределение фаз на S^7. Коллективный отклик среды, стремящейся восстановить глобальное ограничение, может проявляться как эффективное фазовое давление, которое на космологических масштабах интерпретируется как вклад в наблюдаемую тёмную энергию.

4. Когерентный гравитационный отклик

Высокая симметрия вакуумного многообразия $SO(8)$ приводит к статистической компенсации случайных флуктуаций фазы. Гравитационное взаимодействие, описываемое эффективной метрикой $g_{\mu\nu}$, возникает преимущественно от когерентных топологических конфигураций (например, скирмионных солитонов), которые создают направленный поток энергии. Такой механизм потенциально может приводить к сильному подавлению вклада некогерентных вакуумных флуктуаций.