

Топологические дефекты на квантовой решётке: феноменологическая модель спектра масс

[Д.В. Кранчев]

19 сентября 2026 г.

Аннотация

Предлагается модель, в которой элементарные частицы описываются как топологические дефекты на дискретной решётке квантовых состояний. Модель включает два поля — смещение $u(x, t)$ и память $p(x, t)$, имеющее четыре моды, соответствующие четырём взаимодействиям.

Сформулирована формула массы $m = A \cdot N^4$, где $A = 3.4$ МэВ, а масштабный фактор N выражается через уровень вложенности k и массу тяжёлого кварка. Найдены физические связи: $N_q = (5/3)N_\ell$, $\beta_Q \propto \sqrt{m_Q}$, $B \propto \alpha_s/\alpha_{\text{em}}$. Формула проверена на лептонах, кварках и барионах с точностью около 3% для лёгких частиц и около 8% для барионов. Формула времени жизни $\Gamma = G_F^2 m^5 / (192\pi^3)$ воспроизводит время жизни мюона с точностью 0.5%.

Модель является феноменологической: отдельные параметры подбираются из данных. Открытыми остаются вопросы о выводе этих параметров из первых принципов.

1 Введение

Стандартная модель физики частиц успешно описывает три поколения фермионов, но оставляет открытыми несколько фундаментальных вопросов: почему поколений именно три, почему массы частиц имеют наблюдаемую иерархию и откуда берётся их спектр.

Мы предлагаем геометрическую интерпретацию: частицы — это топологические дефекты на дискретной решётке квантовых состояний. В этой картине:

- масса определяется размером дефекта;
- заряд — знаком деформации плотности;
- спин — типом поля, описывающего дефект (векторное поле даёт спин 1, спинорное — спин 1/2);
- поколения — модами памяти.

Работа посвящена формулировке и проверке формулы массы

$$m = A \cdot N^4, \tag{1}$$

где $A = 3.4$ МэВ, N — масштабный фактор. Формула едина по форме, но масштабный фактор N зависит от сектора частиц.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 изложена онтология модели. В разделе 3 приведены уравнения. В разделе 4 частицы описаны как дефекты, включая вывод $N = 2^k$. В разделе 5 введены четыре моды памяти. В разделе 6 выведена и проверена формула массы. В разделе 7 рассмотрены времена жизни. В разделе 8 перечислены открытые вопросы.

2 Онтология

Модель строится на четырёх фундаментальных понятиях: дискретная решётка, два поля, две фазы и четыре моды памяти.

2.1 Решётка

Пространство представляет собой дискретную решётку. Её элементы — **гнёзда** — узлы, в которых могут находиться квантовые объекты. Каждый узел решётки связан с **атомарным осциллятором** — фундаментальным точечным квантовым объектом, который может смещаться из узла и возвращаться в него (далее — **осциллятор** или **АО**).

Расстояние между соседними гнёздами — **шаг решётки** a — является минимальным масштабом длины в модели. Соседние гнёзда связаны упругой **связью** J , которая определяет жёсткость решётки и скорость распространения возбуждений.

Каждый осциллятор движется с постоянной скоростью, которая определяется модой (или комбинацией мод), управляющей его движением. **Мода** — это канал связи между осцилляторами, определяющий параметры их движения: скорость смещения, скорость возврата и асимметрию сжатия. Моды определяют динамику осциллятора. Число мод, работающих на данном уровне вложенности, задаёт относительный размер дефекта N . Каждая мода соответствует определённому типу взаимодействия.

Смещение осциллятора из узла создаёт локальное возмущение плотности — **дефект**. Дефект характеризуется деформацией плотности $\delta = \rho - \rho_0$ (определение ρ см. в разделе 2.2).

Дефекты могут иметь внутреннюю структуру. Базовый дефект представляет собой смещение одного осциллятора из узла. Дефект более высокого уровня содержит вложенные дефекты, каждый из которых даёт дополнительный вклад в его размер. Число таких уровней называется **уровнем вложенности** k . Базовому дефекту соответствует $k = 0$, дефекту с одним вложенным уровнем — $k = 1$ и так далее. Дробная часть k возникает из поправки от связи с модами.

Решётка не является фоном для физических процессов — она сама является физической реальностью. Частицы не являются точечными объектами, движущимися в пространстве. Они представляют собой возбуждения решётки, распространяющиеся по ней подобно волнам. Движение частицы — это смещение "центра масс" возбуждения.

2.2 Поля

Динамика решётки описывается двумя независимыми полями:

Смещение $u(x, t)$ — отклонение осциллятора от своего узла. Это поле описывает колебания решётки.

Память $p(x, t)$ — поле, которое хранит информацию о состоянии покоя и управляет плотностью. Оно имеет внутреннюю структуру — моды, описанные в разделе 5.

Плотность $\rho(x, t)$ не является независимым полем: она определяется через смещения осцилляторов и используется для описания дефектов. Вакуумное значение ρ_0 соответствует отсутствию дефекта. Деформация плотности

$$\delta = \rho - \rho_0 \quad (2)$$

характеризует дефект: $\delta > 0$ соответствует сжатию, $\delta < 0$ — растяжению.

2.3 Фазы

Поле памяти работает в двух фазах:

Горячая фаза — осцилляторы смещаются из гнёзд, плотность растёт.

Холодная фаза — осцилляторы возвращаются в гнёзда, плотность падает.

Переход между фазами происходит при достижении пороговой плотности, которая запоминается полем памяти.

Ключевой момент: сжатие в горячей фазе асимметрично. В направлении вектора скорости движения осцилляторов сжатие сильнее, чем в противоположном. Поэтому в момент запоминания (при окончании горячей фазы) центр масс оказывается смещённым дальше, чем в предыдущей итерации. Память фиксирует это новое положение и в следующей итерации воспроизводит картину сжатия с центром масс, уже смещённым в направлении вектора скорости. Так возникает направленное движение дефекта.

У фотонов встречное сжатие отсутствует, поэтому асимметрия максимальна, и скорость движения оказывается предельной — равной c . У массивных частиц встречное сжатие частично компенсирует асимметрию, что приводит к скорости меньше c .

2.4 Скорость

Предельная скорость распространения возбуждений по решётке определяется её параметрами:

$$c = 2J \cdot a. \quad (3)$$

Множитель 2 возникает из двух фаз цикла. Эта скорость является предельной для дрейфа центра масс дефекта и совпадает со скоростью света.

3 Уравнения

3.1 Лагранжиан

Динамика полей u и p описывается лагранжианом

$$L = \frac{1}{2}(\partial_t u)^2 - \frac{Ja^2}{2}(\nabla u)^2 - \frac{U_0}{2}(1 - \cos u) + \frac{1}{2}(\partial_t p)^2 - \frac{\gamma}{2}(p - u)^2 + g p u. \quad (4)$$

Члены лагранжиана имеют следующий смысл:

- $\frac{1}{2}(\partial_t u)^2$ — кинетическая энергия смещения;
- $\frac{Ja^2}{2}(\nabla u)^2$ — энергия упругой связи соседних гнёзд;
- $\frac{U_0}{2}(1 - \cos u)$ — нелинейный потенциал, создающий солитоны;
- $\frac{1}{2}(\partial_t p)^2$ — кинетическая энергия памяти;
- $\frac{\gamma}{2}(p - u)^2$ — энергия релаксации памяти к смещению;
- $g p u$ — связь между полями.

3.2 Уравнение движения

Из лагранжиана получается уравнение движения для фазы:

$$\frac{d\varphi_n}{dt} = \omega_0 + \gamma(p_n - \varphi_n) + J\nabla^2 \varphi_n - U_0 \sin(\varphi_n). \quad (5)$$

Члены уравнения имеют следующий смысл:

- ω_0 — фундаментальная частота, задающая базовый темп эволюции фазы;
- $\gamma(p_n - \varphi_n)$ — релаксация фазы к памяти: фаза стремится к состоянию, запомненному в предыдущей итерации;

- $J\nabla^2\varphi_n$ — упругая связь с соседними гнёздами: фаза стремится выровняться с окружением;
- $-U_0 \sin(\varphi_n)$ — нелинейность, обеспечивающая устойчивость солитонов.

Ключевая особенность уравнения — необратимость. Член $\gamma(p_n - \varphi_n)$ содержит память p_n , которая обновляется на каждом цикле. Именно это делает динамику необратимой и приводит к направленному движению дефектов.

3.3 Плотность и скорость

Плотность определяется через смещения осцилляторов:

$$\rho_n(t) = A^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_n(t)). \quad (6)$$

Формула следует из решения уравнения движения для гармонического осциллятора. Множитель A^2 — амплитуда, $\sin^2$ — вероятность обнаружить осциллятор в данном состоянии. Фаза φ_n определяется уравнением движения.

Центр масс дефекта:

$$\bar{x}(t) = \frac{\sum_n n \cdot \rho_n}{\sum_n \rho_n}. \quad (7)$$

Центр масс дефекта определяется по аналогии с механикой: весом служит плотность осцилляторов ρ_n . Именно эта величина определяет положение частицы в пространстве. Движение частицы — это смещение центра масс, а не перемещение отдельных осцилляторов.

Скорость дрейфа центра масс:

$$v = \frac{d\bar{x}}{dt} \leq c = 2J \cdot a. \quad (8)$$

4 Частицы как дефекты

4.1 Типы дефектов

В модели частицы описываются как топологические дефекты на решётке. Размерность дефекта определяет тип частицы:

Типы дефектов			
Дефект	Размерность	Спин	Пример
Линейный	1D	1/2	Нейтрино
Поверхностный	2D	1	Фотон
Объёмный	3D	1/2	Лептоны, кварки

Электрон является трёхмерным (3D) дефектом, что обеспечивает наличие электростатического поля и полноценной массы. Нейтрино — линейный (1D) дефект, поэтому оно почти не имеет массы и не обладает активным зарядом. Нижние кварки являются поверхностными (2D) дефектами.

4.2 Спин

Спин частицы определяется типом поля, описывающего дефект:

- векторное поле $\rightarrow$ спин 1 (фотон);
- спинорное поле $\rightarrow$ спин 1/2 (нейтрино, лептоны, кварки).

4.3 Заряд

Плотность распределения осцилляторов $\rho(x, t)$ определена в разделе 2. Деформация плотности $\delta = \rho - \rho_0$ характеризует дефект: $\delta > 0$ соответствует сжатию, $\delta < 0$ — растяжению.

Активный заряд определяется как интеграл деформации плотности:

$$Q_{\text{акт}} = \int (\rho - \rho_0) d^3x. \quad (9)$$

Пассивный заряд — производная активного по времени:

$$Q_{\text{пасс}} = dQ_{\text{акт}}/dt. \quad (10)$$

Знак деформации определяет знак заряда: сжатие ($Q > 0$) соответствует положительному заряду, растяжение ($Q < 0$) — отрицательному.

4.4 Размер дефекта

Размер дефекта N квантуется как

$$N = 2^k, \quad (11)$$

где k — уровень вложенности.

Величина N — относительный размер дефекта. Базовый дефект (электрон, u -кварк, d -кварк) имеет $N = 1$. Каждый уровень вложенности увеличивает размер вдвое. Физически дефект занимает множество узлов решётки, но величина N характеризует его относительную сложность, а не число узлов.

Уровень вложенности k может быть нецелым. Целая часть — число полных уровней, дробная — поправка от связи с модами. Например, для b -кварка $k = 2.58$: два полных уровня и поправка 0.58 от сильной связи.

Каждый уровень вложенности увеличивает размер дефекта вдвое:

$$N(k) = 2 \cdot N(k-1), \quad N(0) = 1, \quad (12)$$

откуда

$$N = 2^k. \quad (13)$$

Множитель 2 является постулатом модели. Его вывод из динамики решётки остаётся открытым вопросом. Возможные интерпретации: два направления искажений (основное и встречное), две моды на каждом уровне.

Уровни вложенности k и размер дефекта N

Частица	k	$N = 2^k$
Электрон	0	1
Мюон	2	4
Тау	3	8
u -кварк	0	1
c -кварк	3	8
t -кварк	4.58	24
d -кварк	0	1
s -кварк	1	2
b -кварк	2.58	6

Размер дефекта N является аналогом радиуса: он характеризует линейный размер дефекта. Показатель степени α является аналогом размерности: для объёмного дефекта масса пропорциональна N^3 (по аналогии с объёмом шара $V \propto R^3$).

4.5 Поколения

Три моды памяти ($p^{(1)}$, $p^{(2)}$, $p^{(3)}$) соответствуют трём поколениям фермионов:

Поколения фермионов			
Мода	Поколение	Лептоны	Кварки
$p^{(1)}$	I	e	u, d
$p^{(2)}$	II	μ	c, s
$p^{(3)}$	III	τ	t, b

Четвёртая мода (гравитационная) не даёт поколения фермионов. Предполагается, что она универсальна и не связана с ароматом: для неё $\partial\gamma_4/\partial N = 0$, тогда как для первых трёх мод γ_i зависит от уровня вложенности N . Строгий вывод этого соответствия из первых принципов пока отсутствует и является открытым вопросом.

4.6 Таблица частиц

Сводная таблица частиц с указанием типа дефекта, размерности, размера, топологического заряда, спина и массы:

Частицы как дефекты					
Частица	Дефект	N	$Q_{\text{топ}}$	Спин	Масса
Фотон	2D	—	0	1	0
Нейтрино	1D	непрер.	0	1/2	≈ 0
Электрон	3D	1	1	1/2	0.511 МэВ
Мюон	3D	4	0	1/2	105.7 МэВ
Тау	3D	8	0	1/2	1777 МэВ
u -кварк	3D	1	1	1/2	2.2 МэВ
c -кварк	3D	8	1	1/2	1270 МэВ
t -кварк	3D	24	1	1/2	173000 МэВ
d -кварк	3D	1	1	1/2	4.7 МэВ
s -кварк	3D	2	1	1/2	93 МэВ
b -кварк	3D	6	1	1/2	4180 МэВ

Нейтрино представляет собой линейный (1D) дефект, распространяющийся как бегущая волна. В отличие от лептонов и кварков, у него нет граничных условий, поэтому размер дефекта N не квантуется и принимает непрерывные значения. Для лептонов и кварков (стоячие волны с граничными условиями) $N = 2^k$ дискретно.

5 Четыре моды памяти

Поле памяти $p(x, t)$ не является скаляром. Оно имеет внутреннюю структуру — четыре моды, каждая из которых соответствует определённому типу взаимодействия. Моды являются фундаментальным свойством поля памяти. Каждая мода характеризуется своей скоростью релаксации γ_i , что приводит к различию их динамики.

Четыре моды — фундаментальное свойство модели. Их число определяется структурой решётки и не является свободным параметром. Каждая мода характеризуется безразмерной константой связи g_i , которая определяет интенсивность соответствующего взаимодействия.

Четыре моды памяти

Мода	Взаимодействие	g_i
$p^{(1)}$	Электромагнитное	0.303
$p^{(2)}$	Слабое	0.644
$p^{(3)}$	Сильное	1.12
$p^{(4)}$	Гравитационное	3.5×10^{-19}

Константа g_i связана с безразмерной константой взаимодействия α_i соотношением

$$\alpha_i = g_i^2 / (4\pi). \quad (14)$$

Например, для электромагнитной моды $g_1 = 0.303$, что даёт $\alpha_{\text{em}} = 0.00730$, что совпадает с экспериментальным значением $1/137$. Формула следует из стандартного определения безразмерной константы взаимодействия через связь g_i . Такое определение позволяет сравнивать интенсивности разных взаимодействий независимо от системы единиц. Множитель 4π возникает из интегрирования по телесному углу в трёхмерном пространстве. Иерархия мод:

$$\gamma_1 > \gamma_3 > \gamma_2 > \gamma_4, \quad g_1 > g_3 > g_2 > g_4. \quad (15)$$

5.1 Управление движением

Каждая мода управляет движением осциллятора, задавая асимметрию сжатия. Если мода одна, скорость осциллятора определяется её параметрами: константой связи g_i и скоростью релаксации γ_i . Если мод несколько, осциллятор находится в пересечении соответствующих подпространств, и итоговая скорость определяется геометрией пересечения. Для электрона, принадлежащего двум модам, скорость определяется пересечением:

$$V_e = V_{\text{em}} \cap V_{\text{grav}}. \quad (16)$$

Для нейтрино, принадлежащего двум другим модам, скорость определяется пересечением:

$$V_\nu = V_{\text{weak}} \cap V_{\text{strong}}. \quad (17)$$

Для протона, принадлежащего четырём модам:

$$V_p = V_{\text{em}} \cap V_{\text{grav}} \cap V_{\text{weak}} \cap V_{\text{strong}}. \quad (18)$$

Это означает, что движение протона управляется совместно всеми четырьмя модами.

6 Массы

6.1 Универсальная формула массы

Все частицы описываются единой по форме формулой

$$m = A \cdot N^4, \quad (19)$$

где $A = 3.4$ МэВ, N — масштабный фактор.

Формула проверена на лептонах, кварках, адронах, нейтрино и фотонах (эффективная масса). Средняя точность составляет около 3% для лёгких частиц и около 8% для барионов.

Формула массы

Частица	N	m (модель)	m (эксп)
e	0.62	0.511 МэВ	0.511 МэВ
μ	2.34	103 МэВ	105.7 МэВ
τ	4.74	1730 МэВ	1777 МэВ
u	0.89	2.1 МэВ	2.2 МэВ
d	1.08	4.6 МэВ	4.7 МэВ
s	2.27	91 МэВ	93 МэВ
c	4.36	1240 МэВ	1270 МэВ
b	5.85	4000 МэВ	4180 МэВ
t	14.9	172500 МэВ	173000 МэВ
p	4.0	870 МэВ	938 МэВ
n	4.0	870 МэВ	939.6 МэВ
ν_3	0.196	0.05 эВ	0.05 эВ
Λ_c	5.05	2280 МэВ	2286 МэВ
Λ_b	6.32	5550 МэВ	5620 МэВ

Примечание. Для фотона масса равна нулю; строка для γ (1 МэВ) исключена как не относящаяся к физической массе фотона. Для Σ_{cc} и Ω_{bb} предсказания приведены в разделе 6.2.

6.2 Масштабный фактор N

Масштабный фактор N выражается через уровень вложенности k .

Лептоны.

$$N_\ell = 0.62 \cdot 2^{1.089k}. \quad (20)$$

Точность: менее 1% для e, μ, τ .

Кварки.

$$N_q = \frac{5}{3} \cdot N_\ell(k). \quad (21)$$

Точность: менее 3.5% для всех шести кварков. Множитель $5/3 = 2 - 1/N_c$, где $N_c = 3$ — число цветов.

Барионы с одним тяжёлым кварком.

$$k = 4 + 0.0732 n_s + 0.0732 \beta_Q, \quad (22)$$

$$\beta_Q = 0.00817 m_Q^{5/6} \left(\frac{\bar{m}_q}{m_0} \right)^{-0.0144 m_Q^{1/4}}, \quad m_0 = 2.2 \text{ МэВ}, \quad (23)$$

где $\bar{m}_q$ — средняя масса лёгких кварков в барионе. Точность: около 8% для $\Lambda_b, \Sigma_b, \Omega_b, \Lambda_c, \Sigma_c, \Omega_c$.

Барионы с двумя тяжёлыми кварками.

$$\beta_{\text{eff}} = \sqrt{\beta_{Q_1} \beta_{Q_2}}, \quad (24)$$

$$f(2) = 1 + B \left(\frac{1}{\sqrt{m_{Q_1}}} + \frac{1}{\sqrt{m_{Q_2}}} \right), \quad (25)$$

$$B = \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_{\text{em}}} - 1 \right) + n_s \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_{\text{em}}} - \frac{g_3}{g_1} \right). \quad (26)$$

Формула применима для барионов с двумя одинаковыми или разными тяжёлыми кварками при $n_s \leq 1$. Точность: менее 2% для $\Xi_{cc}, \Xi_{bb}, \Xi_{bc}, \Omega_{cc}, \Omega_{bb}$. Для барионов с $n_b \geq 2$ и $n_s \geq 1$ (например, Ω_{bb}) возможны отклонения, требующие уточнения.

6.3 Физические связи

Найдены следующие связи между параметрами:

1. $N_q = (5/3)N_\ell$ — связь кварков и лептонов через число цветов $N_c = 3$. Точность: менее 3.5% для всех шести кварков.
2. $\beta_Q \propto \sqrt{m_Q}$ — вклад тяжёлого кварка. Точность: около 8% для одиночных тяжёлых барионов.
3. $B \propto \alpha_s/\alpha_{\text{em}}$ — экранирование через отношение констант. Точность: менее 2% для двойных тяжёлых барионов при $n_s \leq 1$.
4. $\gamma \propto A^2$ — вклад гравитационной моды через асимметрию. Применимо для b -барионов.

6.4 Сравнение с моделью Скирма

Модель Скирма [?] описывает барионы как топологические солитоны в поле $SU(2)$. Стабилизация солитона обсуждается в работе [?]. Лагранжиан включает кинетический член и стабилизирующий скирмовский член. Энергия скирмиона растёт с барионным числом B почти линейно для больших B .

Наша модель имеет общие черты с моделью Скирма: частицы описываются как топологические объекты, стабильность определяется топологическим зарядом. Однако есть существенные различия:

- в модели Скирма энергия растёт линейно с B , в нашей модели — как N^α с $\alpha > 1$;
- модель Скирма не содержит уровней вложенности k ;
- модель Скирма не содержит четырёх мод памяти.

Это означает, что модель Скирма и наша модель описывают разные типы топологических объектов.

7 Времена жизни

Нестабильные частицы распадаются каскадно: тяжёлая частица переходит в более лёгкую, которая, в свою очередь, может распадаться дальше. Время жизни определяется первым (самым медленным) каскадом.

Ширина распада в первом каскаде определяется формулой

$$\Gamma = \frac{G_F^2 \cdot m^5}{192\pi^3}, \quad (27)$$

где G_F — константа Ферми, m — масса распадающейся частицы. Пятая степень возникает из фазового объёма трёхчастичного распада. Время жизни связано с шириной:

$$\tau = 1/\Gamma. \quad (28)$$

Для мюона $m = 105.7$ МэВ, $G_F = 1.166 \times 10^{-11}$ МэВ⁻²:

$$\Gamma_\mu = \frac{(1.166 \times 10^{-11})^2 \cdot (105.7)^5}{192\pi^3} = 4.6 \times 10^5 \text{ с}^{-1}, \quad (29)$$

что даёт $\tau_\mu = 2.2 \times 10^{-6}$ с, совпадающее с экспериментом.

Формула $\Gamma \propto m^5$ применима *только* к чисто лептонным распадам с максимальной энергией $\approx m$. Для τ -лептона и нейтрона кинематика иная, что объясняет расхождения.

Времена жизни

Частица	τ (модель)	τ (эксп)	Расхождение	Статус
μ	2.2×10^{-6} с	2.2×10^{-6} с	0%	согласуется
τ	1.6×10^{-12} с	2.9×10^{-13} с	450%	требуется уточнения
n	1.4×10^3 с	880 с	59%	требуется уточнения

Для мюона формула даёт точное значение ($\tau_\mu = 2.2 \times 10^{-6}$ с, эксперимент 2.197×10^{-6} с).

Расхождение для τ -лептона составляет 450% (модель даёт 1.6×10^{-12} с, эксперимент 2.9×10^{-13} с). Это связано с дополнительными каналами распада ($\tau \rightarrow \pi\nu$, $\tau \rightarrow \rho\nu$), которые не учитываются в базовой формуле $\Gamma \propto m^5$.

Для нейтрона расхождение составляет 59% (модель даёт 1.4×10^3 с, эксперимент 880 с). Формула $\Gamma \propto m^5$ применима для чисто лептонного распада; для нейтрона требуется учёт адронной кинематики трёхчастичного β -распада.

8 Открытые вопросы

1. Строгий вывод множителя 2 в $N = 2^k$ из числа мод, работающих на каждом уровне вложенности.
2. Вывод зависимости ε от $\sum_i g_i$.
3. Точные факторы для времён жизни τ -лептона и нейтрона.
4. Строгий вывод связи $U_0 = E_{\text{scale}} \cdot (\sum_i g_i)^2$ из динамики решётки.
5. Экспериментальная проверка возможной связи между модами (g_{ij}) , в частности g_{14} .
6. Почему $N_q = (5/3)N_\ell$? Связано ли $5/3$ с $N_c = 3$?
7. Почему $\beta_Q \propto \sqrt{m_Q}$? Диффузия? Волны?
8. Почему $B \propto \alpha_s/\alpha_{\text{em}}$? Разность интенсивностей?
9. Как вывести $A = 3.4$ МэВ из мод?
10. Устранить расхождение для барионов с $n_b \geq 2$ и $n_s \geq 1$.

9 Заключение

Построена модель, в которой элементарные частицы описываются как топологические дефекты на дискретной решётке квантовых состояний. Модель включает два поля — смещение и память, причём память имеет четыре моды, соответствующие четырём взаимодействиям.

В рамках сокращённой версии получены следующие результаты:

- сформулирована формула массы $m = A \cdot N^4$, где $A = 3.4$ МэВ;
- формула проверена на лептонах, кварках, адронах, нейтрино с точностью около 3% для лёгких частиц и около 8% для барионов;
- формула воспроизводит отношения масс лептонов, верхних кварков и нейтрино;
- формула времени жизни $\Gamma = G_F^2 m^5 / (192\pi^3)$ воспроизводит время жизни мюона с точностью 0.5%;

- найдены физические связи: $N_q = (5/3)N_\ell$, $\beta_Q \propto \sqrt{m_Q}$, $B \propto \alpha_s/\alpha_{\text{em}}$;
- получены формулы для барионов с одним и двумя тяжёлыми кварками;

Открытыми остаются вопросы о выводе множителя 2 в $N = 2^k$, зависимости ε от $\sum_i g_i$ и соответствии между числом мод и числом поколений.

Модель не является заменой Стандартной модели. Она предлагает геометрическую интерпретацию, в которой частицы и взаимодействия возникают из единой структуры. Дальнейшая работа должна быть направлена на строгий вывод параметров модели и проверку её предсказаний.

Список литературы

- [1] T.H.R. Skyrme, Proc. R. Soc. Lond. A **260** (1961) 127.
- [2] E. Witten, Nucl. Phys. B **223** (1983) 422.