

ГРАВИТАЦИОННЫЕ РАСПАДЫ ТЯЖЕЛЫХ КВАРКОВ И ЛЕПТОНОВ

Дж.Л. Чкареули

Обсуждаются гравитационные распады гипотетических тяжелых кварков и лептонов, стабильных по всем другим взаимодействиям. Показано, что составные кварки и лептоны с "размерами" $\sim M^{-1}$ (M – масса гранд-объединения) и массой $O(G_F^{-1/2})$ будут распадаться (на известные кварки и лептоны) со скоростями обычных слабых распадов. Тот же механизм генерирует эвные массы составных нейтрино.

Идея о том, что черная дыра может не сохранять барионный заряд была высказана Уилером довольно давно [1]. Зельдович [2], а также Хокинг и др. [3] обсуждали вопрос гравитационной аннигиляции протона виртуальными "мини" черными дырами (с планковской массой $M_0 \cong 10^{19}$ ГэВ)¹⁾ и получили для его времени жизни значение $\tau_p \sim 10^{45}$ лет. К сожалению, обнаружение столь медленного распада сегодня технически неосуществимо. С другой стороны, нестабильность протона, предсказываемая стандартными моделями великого объединения (МВО) [4] значительно сильнее ($\tau_p \sim 10^{30 \div 33}$ лет).

Цель настоящей статьи – обратить внимание на возможность изучения механизма [2, 3] на другом примере. Речь идет о детектировании гравитационных распадов гипотетических тяжелых кварков и лептонов, стабильных по всем другим взаимодействиям. Такие кварки и лептоны (Q, L) (наряду с обычными (q, l)) с необходимостью появляются в фермионном спектре "составных" МВО [4], в частности, в недавно предложенной нами $SU(8)$ -модели [5]. Мы найдем, что благодаря близости "радиуса" составных фермионов ($R \sim M^{-1}$,

¹⁾Здесь и далее имеются в виду гравитационные флуктуации вакуума с топологией черной дыры и средней плотностью – флуктуация на планковский объем [3].

$M \sim 10^{15}$ ГэВ) к гравитационному радиусу ($R_0 \sim M_0^{-1}$) распады состояний (Q, L) в известные кварки и лептоны (q, l), обусловленные механизмом [2, 3], должны ускоряться очень сильно. Для того чтобы оценить по порядку эти скорости необходимо задать примерную преонную структуру составных фермионов и их массы. Обратимся с этой целью к $SU(8)$ -модели [5].

В "составной" $SU(8)$ -модели с группой метацивета $SO(3)_L \otimes SO(3)_R$ три семейства известных кварков и лептонов

$$(u d e v_e), (c s \mu v_\mu), (t? b \tau v_\tau) \quad (1)$$

содержатся в представлении (с размерностью 216), образуемом связанными состояниями из "левых" преонов $\mathcal{P}_{i\alpha L}(i, j, k = 1, 2, 3) SO(3)_L$ ($\alpha, \beta = 1 \dots 8 (SU(8))$):

$$\psi_{\{\beta\gamma\}}^{(1)\alpha}(x) = \hat{D}(\gamma_\mu \mathcal{P}_{i\beta L}(x)) (\bar{\mathcal{P}}_{jL}^{\alpha}(x) \gamma_\mu \mathcal{P}_{k\gamma L}(x)) \epsilon_{ijk}, \quad (2)$$

где $\hat{D} = \gamma_\nu D_\nu$, D_ν – ковариантная (по $SU(8)$ -индексам преонов) производная. Преонный ток (2) в приближении "валентных" преонов отвечает наглядной картине, в которой связанное состояние из трех преонов с массой, равной нулю ($p^2 = (p_1 + p_2 + p_3)^2 = 0$), образуют безмассовые преоны ($p_1^2 = p_2^2 = p_3^2 = 0$), летящие в одном направлении. Тогда ясно, что состояние со спином $1/2$ (и спиральностью $-1/2$) можно получить лишь "собирая" в кварк или лептон два преона и один антипреон. Всем состояниям (2) можно сопоставить "левое" преонное число $N_L = 1$. Аналогично строится преонный ток $\psi_{\{\beta\gamma\}}^{(2)\alpha}$, отвечающий мультиплету состояний (также с размерностью 216, но спиральностью $+1/2$) из "правых" преонов) заменой в (2) $L \rightarrow R$ и $i, j, k \rightarrow s, t, u (SO(3)_R)$ с "правым" преонным числом $N_R = 1$.

Декомпозиция мультиплетов $216_L^{(1)}$ и $216_R^{(2)}$ по $SU(5) \otimes SU(3)$ имеет вид

$$216 = (\bar{5}, \bar{3}) + (10, \bar{3}) + (\bar{45}, 1) + (24, 3) + (5, 8) + (5, 1) + (1, 3) + (1, \bar{6}). \quad (3)$$

После бреккинга все состояния в этих мультиплетах, кроме трех левоспиральных $SU(5)$ -семейств (q, l) = $(\bar{5} + 10, \bar{3})_L$ и трех правоспиральных семейств (Q, L) = $(\bar{5} + 10, \bar{3})_R$ получают массы $\sim M$ [5] и мы их не обсуждаем. Семейства (q, l) – известные кварки и лептоны (1), семейства (Q, L) – новые кварки и лептоны с $(V + A)$ -структурой слабого взаимодействия, но с тем же набором зарядов по $SU(3)_c \otimes U(1)_{EM}$ что и семейства (1). Массы состояний (Q, L) ограничены сверху значением $O(v)$, где v – величина вакуумного ожидания хиггсовского скаляра, дающего массы также и слабым бозонам W^\pm и Z^0 , $v = (2\sqrt{2}G_F)^{-1/2}$. Переходы между семействами (q, l) и (Q, L) отсутствуют поскольку всюду в "составном" $SU(8)$ -лагранжиане выполняется условие сохранения левого и правого преонного числа в отдельности, $\Delta N_L = \Delta N_R = 0$. Отсюда следует, что самые легкие кварки и лептоны в "правых" семействах (Q, L) стабильны относительно всех взаимодействий $SU(8)$.

Таким образом, мы имеем ситуацию, когда механизм [2, 3] может "работать" без конкуренции со стороны и при этом глобальные квантовые заряды не обязаны сохраняться [1]. Действительно, в этом случае кварк Q из правого семейства может быть захвачен виртуальной черной дырой и вместо него излучен обычный кварк q (с теми же калибровочными ароматами). Эти переходы с $\Delta N_L = -\Delta N_R = \pm 1$ вызовут в "составном" $SU(8)$ -лагранжиане недиагональный массовый член фермионов, который с учетом структуры составных полей

1) Группа метацивета, которая отвечает силам, "собирающим" кварки и лептоны из преонов, должна иметь киральную структуру для того чтобы не возникало преонного конденсата, что неизбежно привело бы к массам составных фермионов $\sim R^{-1}$, где R – радиус метаконфайнмента [5, 6]. При этом нужно положить $R \lesssim 10^{-14}$ ГэВ⁻¹, чтобы скорость распада протона за счет упругого перераспределения преонов внутри него не "уходила" за экспериментальную границу $\Gamma_p \lesssim 10^{-30}$ лет⁻¹ [6].

$\psi^{(1,2)}$ (см. (2)) должен иметь вид¹⁾

$$\Delta \mathcal{L} \sim (M/M_0)^7 M [\bar{\psi}_L^{(1)} \psi_R^{(2)} + h.c.]. \quad (4)$$

Этот член приведет к малому смешиванию кварков q и Q в слабых токах диагонализированных q' - и Q' -кварков, с углом $\phi \sim (M/M_0)^7 (M/m_Q) (m_Q$ — масса Q -кварка). Полагая для определенности самым легким среди Q -кварков кварк \bar{U} (аналог u -кварка) будем иметь распад $U' \rightarrow d + e^* + \nu_e$ со скоростью равной (удобно его сравнить с кинематически эквивалентным распадом мюона)

$$\Gamma_Q \cong \phi^2 (m_Q/m_\mu)^5 \Gamma_\mu \sim (M/M_0)^{14} (M/m_Q)^2 (m_Q/m_\mu)^5 \Gamma_\mu. \quad (5)$$

Экспериментальное ограничение на время жизни протона снизу требует, чтобы $M \geq 10^{14}$ ГэВ²⁾. С другой стороны, верхняя граница для M может быть получена из (4). Действительно, связь (4) генерирует дираковские массы нейтрино, чьи левые компоненты принадлежат семействам (q, l) (1), а правые — семействам (Q, L) . Величина этой массы есть $m_{\nu_i} \sim (M/M_0)^7 M$ ($i = e, \mu, \tau$). Полагая в соответствии с экспериментом ($m_{\nu_i} \leq 30$ эВ [4]), получаем $M \leq 5 \cdot 10^{15}$ ГэВ. И, наконец, наилучшее описание иерархии массовых шкал в "составных" МВО достигается при значениях $M \sim (0.5 \div 1) \cdot 10^{16}$ ГэВ [1, 7]³⁾. Принимая $M = 5 \cdot 10^{15}$ ГэВ, получаем для значений масс $m_Q \sim 10^{2 \div 3}$ ГэВ интервал скоростей распада $\Gamma_Q \sim 10^{2 \div 5}$ сек⁻¹. С такими же (по порядку) скоростями распадаются и самый легкий лептон E из правого семейства и самые легкие адроны, содержащие кварки U .

Рождение на ускорителях пар таких адронов и лептонов с последующим медленным распадом одного из них свидетельствовало бы в пользу механизма [2, 3] несохранения глобальных квантовых чисел (в данном случае кирального преонного числа), обусловленном гравитационными флуктуациями вакуума на сверхмалых расстояниях. Поскольку для элементарных фермионов вклад этого механизма, по-видимому, исчезающе мал [3], обнаружение этих распадов можно было бы рассматривать также и как экспериментальное указание на преонную структуру кварков и лептонов с радиусом преонного конфайнмента $R \sim 10^{-15}$ ГэВ⁻¹.

Автор глубоко признателен О.В. Канчели за многочисленные ценные замечания и советы.

Литература

1. Wheeler J.A. Cortona Symposium on Weak Interaction, Roma, 1971.
2. Зельдович Я.Б. ЖЭТФ, 1977, 72, 18.
3. Hawking C.W., Page D.N., Pope C.N. Phys. Lett., 1979, 86B, 83.
4. Salam A. Trieste preprint, IC/79/142, 1979.
5. Чкареули Дж.Л. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 684; ЯФ (в печати).
6. Ансельм А.А. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 88; ЖЭТФ, 1981, 80, 49.
7. Чкареули Дж.Л. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 474.

Институт физики
Академии наук Грузинской ССР

Поступила в редакцию
26 октября 1981г.

¹⁾ Седьмая степень планковской массы M в знаменателе (4) следует из эффективного 6-преонного взаимодействия, который мы должны написать для этого перехода в преонном лагранжиане. Масса M отвечает "размерам" составных кварков q и Q , $R \sim M^{-1}$.

²⁾ Примечательно, что три независимые (хотя и приближенные) оценки $M \sim R^{-1}$ (из времени жизни протона, массы нейтрино и калибровочных иерархий) попадают в интервал $10^{14 \div 16}$ ГэВ.