

ОСЦИЛЛЯЦИИ  $B_d\bar{B}_d$  МЕЗОНОВ. ЧЕТВЕРТОЕ ПОКОЛЕНИЕ И ХИГГСОВСКИЕ ЧАСТИЦЫ

А.А. Быков

*Рассмотрены два варианта расширения стандартной модели электрослабых взаимодействий – введение четвертого поколения кварков и двух хиггсовских дублетов. Обсуждается возможность их одновременного существования с точки зрения экспериментальных данных об осцилляциях в системе  $B_d$ -мезонов.*

Данные об осцилляциях в системе нейтральных  $B_d\bar{B}_d$  мезонов /1/ в рамках стандартной теории электрослабых взаимодействий приводят к выводу о том, что масса шестого гипотетического t-кварка должна иметь величину порядка  $70\text{--}90 \text{ ГэВ} /2\text{--}4/$ .

Однако возможен ряд модификаций стандартной модели, в которых данный эффект может быть объяснен иначе, а масса t-кварка при этом оказывается значительно меньшей и ограничивается лишь экспериментальным пределом  $m_t \geq 25 \text{ ГэВ}$ . К их числу относятся введение четвертого поколения кварков и расширение хиггсовского сектора до двух дублетов. Ниже рассмотрены обе эти возможности.

Осцилляции в системе  $B_d$ -мезонов в модели электрослабых взаимодействий описываются диаграммой рис. 1а, из которой для параметра осцилляций  $X_{B_d} = \Delta M/\Gamma$  получаем выражение

$$X_{B_d} = (G_F^2 f_B^2 m_B m_W^2 \tau_B / 6\pi^2) \left| \sum_{i,j} V_{bi} V_{di}^* V_{bj} V_{dj}^* A_{ij} \right|, \tag{1}$$

где  $f_B$  – распадная константа  $B_d$ -мезона,  $m_B$  – его масса,  $\tau_B$  – время жизни,  $V_{ij}$  – элементы матрицы Кобаяши – Маскавы, коэффициенты  $A_{ij}$  приводятся в работе /5/. Суммирование в (1) проводится по всем поколениям кварков.

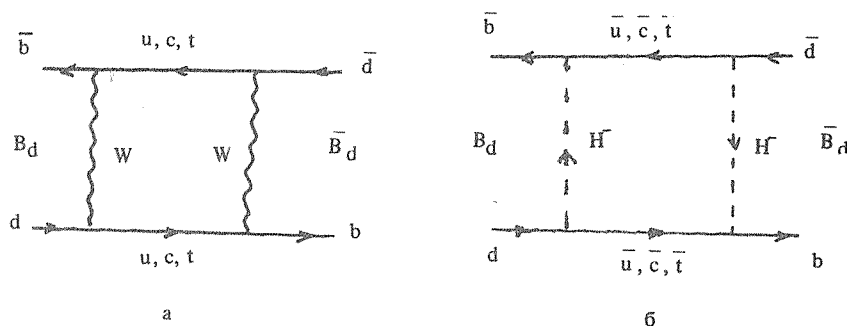


Рис. 1 Осцилляции  $B_d$ -мезона за счет обмена W-W (а) и H-H (б).

При введении четвертого поколения возникает неопределенность в выборе матричных элементов матрицы Кобаяши – Маскавы, для которых имеются лишь унитарные ограничения /6/. С целью устранения этого произвола нами использована модель Фритча /7/ построения массовой матрицы для случая четырех поколений кварков с выбором фаз, предложенным в работе /8/. При этом единственными параметрами задачи являются кварковые массы, для которых использованы следующие значения :  $m_u = 3 \text{ МэВ}$ ,  $m_c = 1,5 \text{ ГэВ}$ ,  $m_t = 45 \text{ ГэВ}$ ,  $m_{t'} = 50 \text{ ГэВ}$ ,  $m_d = 7 \text{ МэВ}$ ,  $m_s = 130 \text{ МэВ}$ ,  $m_b = 4,4 \text{ ГэВ}$ ,  $m_{b'} = 47 \text{ ГэВ}$ . Возникающая при этом матрица Кобаяши – Маскавы имеет вид:

$$\begin{bmatrix} 0,98 & 0,221 - 0,04i & 0,0017 - 0,05i & -0,00097 + 0,023i \\ -0,175 & 0,042 + 0,841i & -0,011 + 0,047i & 0,019 - 0,458i \\ 0,055 & 0,139 - 0,371i & 0,249 + 0,631i & 0,194 - 0,607i \\ -0,091 & 0,066 + 0,323i & -0,254 + 0,61i & 0,191 + 0,653i \end{bmatrix},$$

а параметр осцилляций  $X_{B_d} = 0,72$ .

При указанном способе построения матрицы смешивания и выборе фаз масса  $t'$ -кварка должна быть близка к массе  $t$ -кварка, так как  $|V_{cb}| \approx (1/N_{u2} N_{d3}) \sqrt{(m_c/m_t)(1 - m_t/m_t')} \approx 0,04 - 0,06$ . Здесь коэффициенты  $N_{u2}, N_{d3} \approx 1$ . Удовлетворить этому условию можно, либо полагая массу  $t$ -кварка большой (но при этом нет необходимости вводить четвертое поколение), либо полагая  $m_t \approx m_t'$ . Последняя возможность противоречий ранее наблюдавшейся иерархии кварковых масс соседних поколений  $m_{i+1} \gg m_i \gg m_{i-1}$ .

Расширение хиггсовского сектора модели электрослабых взаимодействий до двух дублетов приводит к возникновению заряженных хиггсовских бозонов, обмен которыми (рис. 16) приводит к осцилляциям в системе нейтральных  $B_d$ -мезонов. Из диаграммы рис. 16 при использовании лагранжиана взаимодействия хиггсовских полей с полями кварков вида /9/ следует

$$L_{int} = (gH^2/2\sqrt{2}M_W) \left\{ \bar{U} [(\xi/\eta) M_u V (1 - \gamma_5) + (\eta/\xi) V M_D (1 + \gamma_5)] D \right\} + \text{э. с.},$$

где  $M_u (M_D)$  — массовая матрица верхних (нижних) кварков,  $V$  — матрица смешивания,  $\xi$  и  $\eta$  — вакуумные средние двух дублетов хиггсовских полей. Тогда для параметра осцилляций  $X_{B_d}$  получаем выражение

$$X_{B_d} = (2/3) G_F^2 f_B^2 m_B (\xi/\eta)^4 |V_{tb} V_{td}^*|^2 m_t^4 I_1(m_t),$$

где  $I_1 = (1/16\pi^2) [(m_H^2 + m_t^2)/(m_H^2 - m_t^2)^2 + 2m_t^2 m_H^2 (m_H^2 - m_t^2)^{-3} \ln(m_t^2/m_H^2)]$ . При этом члены, пропорциональные массам  $s$ - и  $u$ -кварков, опущены. Подробный анализ вклада двух хиггсовских дублетов в осцилляции  $B_d$ -мезонов содержится в /10/.

Обратимся к вопросу о возможности одновременного существования двух вкладов в осцилляции  $B_d$ -мезонов; обусловленного существованием четырех поколений кварков, и связанного с наличием заряженных хиггсовских бозонов.

Чтобы было правомерно задаваться вопросом о возможности одновременного существования четырех поколений кварков и заряженных хиггсовских бозонов, необходимо, чтобы введение кварков четвертого поколения не в полной мере "объясняло" большое значение параметра осцилляций  $X_{B_d}$ , а оставшийся "дефицит" мог бы быть приписан обмену  $H$ -Н. Пусть на диаграммы с обменом заряженными хиггсовскими частицами приходится доля  $\epsilon \Delta M_{exp}$  разности масс  $B_L$ - $B_H$ , где  $\epsilon \ll 1$ . Тогда

$$\Delta M_{B_H}^{HH} = (8/3) G_F^2 f_B^2 m_B (\xi/\eta)^4 m_t^4 I_1(m_t) |V_{t'b} V_{t'd}^*|^2 = \epsilon \Delta M_{exp}, \quad (2)$$

причем коэффициент 8 в формуле (2) возник из-за учета того обстоятельства, что  $m_t \approx m_t'$ ,  $I_1(m_t) \approx I_1(m_t')$  и  $|V_{t'b} V_{t'd}^*|^2, |V_{t'b'} V_{t'd}^*|^2$  имеют одинаковый порядок величины. Поэтому можно считать, что вклады  $tt, tt'$  и  $t't'$  равны между собой. Отсюда получаем  $(\xi/\eta)^4 = 3\epsilon \Delta M_{exp} / (8G_F^2 f_B^2 m_B m_t^4 I_1(m_t'))$ .

Рассмотрим осцилляции в системе нейтральных  $D^0$ -мезонов, основной вклад в которые возникает от обмена  $H$ -Н при распространении в промежуточном состоянии  $b'$  кварков четвертого поколения. В этом случае  $\Delta M_D^{HH} = (2/3) G_F^2 f_D^2 m_D (\eta/\xi)^4 m_{b'}^4 I_1(m_{b'}) |V_{b'u}^* V_{b'c}|^2$ . Для величины  $\Delta M_D$  существует экспериментальное ограничение  $\Delta M_D \leq 2,6 \cdot 10^4$  эВ /11/. Поэтому

$$(2/3) G_F^2 f_D^2 m_D m_{b'}^4 I_1(m_{b'}) |V_{b'u}^* V_{b'c}|^2 |V_{t'b} V_{t'd}^*|^2 8G_F^2 f_B^2 m_B m_t^4 I_1(m_t) / 3\epsilon \Delta M_{exp}(B_d) \leq 2,6 \cdot 10^4 \text{ эВ}.$$

Подставляя значения всех входящих сюда величин, получаем  $\epsilon \geq 3,2 \cdot 10^3$ . Таким образом, уже в том случае, когда вклад заряженных хиггсовских бозонов в осцилляции  $B_d$ -мезонов составляет 0,3% и более, од-

новременное существование четырех поколений кварков и двух дублетов хиггсовских частиц не противоречит экспериментальным ограничениям на осцилляции в системе  $D^0$ -мезонов. Способ разделения этих двух вкладов представляет собой самостоятельную задачу.

Подводя итоги данной работы, можно сформулировать следующие утверждения:

1. Введение четвертого поколения кварков при использовании метода Фритча построения матрицы смешивания и выборе фаз /8/ позволяет объяснить экспериментальные данные о величине осцилляций в системе  $B_d$ -мезонов при малых значениях массы топ-кварка  $m_t \geq 25$  ГэВ.

2. Возникающее при этом соотношение между массами верхних кварков третьего и четвертого поколений  $m_t \approx m_t'$  нарушает традиционную иерархию масс кварков в соседних поколениях  $m_{i+1} \gg m_i$ .

3. Одновременное существование двух дублетов хиггсовских полей и четырех поколений кварков в модели электрослабых взаимодействий не противоречит существующим экспериментальным ограничениям на величину осцилляций в системе D-мезонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Albrecht H. et al. Phys. Lett., B192, N 1, 2, 245 (1987).
2. Ellis J. et al. Preprint CERN-TH-4816/87, MIU-THP-87/017, 1987.
3. Hoogeveen F. Preprint MPI-PAE/PTh50/87, 1987.
4. Kaufman W., Steger H., Yao Y. P. Preprint UM-TH-87-13, 1987.
5. Du D., Zhao Z. Phys. Rev. Lett., 59, N 10, 1072 (1987).
6. Ali A. Preprint DESY 87-083, 1987.
7. Fritzsche H. Phys. Lett., B73, 317 (1978).
8. Shin M., Chivukula R. S., Flynn J. M. Nucl. Phys., B271, N 3, 4, 509 (1986).
9. Abbot L. F., Sikivie P., Wise M. B. Phys. Rev., D21, N 5, 1393 (1980).
10. Glashow S. L., Jenkins E. E. Phys. Lett., B196, N 2, 233 (1987).
11. Argus Collab. Preprint DESY 87-085, 1987.

Поступила в редакцию 15 июня 1988 г.