



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2002-27

ОЭФ

М.Ю. Осипов

**ПОДАВЛЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОГО ПЕРЕХОДА $\bar{s}W^0b$
В ОДНОМ ВАРИАНТЕ МОДЕЛИ
ДИНАМИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ
ЭЛЕКТРОСЛАБОЙ СИММЕТРИИ**

Протвино 2002

Аннотация

Осипов М.Ю. Подавление нейтрального перехода $\bar{s}W^0b$ в одном варианте модели динамического нарушения электрослабой симметрии: Препринт ИФВЭ 2002–27. – Протвино, 2002. – 16 с., 2 рис., 1 табл., библиогр.: 14.

В рамках одного из вариантов модели динамического нарушения электрослабой симметрии рассматривается вопрос о возможных аномальных взаимодействиях s -кварка. Данный вариант модели динамического нарушения симметрии связан со спонтанным возникновением аномального взаимодействия трёх калибровочных бозонов с константой λ_V . Особое внимание уделяется возможности существования в рамках указанной модели аномального нейтрального перехода $\bar{s}W^0b$ и связанных с ним эффектов. В частности, показано, что при выполнении определённых условий имеет место решение, которое описывает эффект подавления этого нейтрального перехода. Причём данное решение согласуется как с экспериментальным ограничением для величины константы λ_V , так и с описанием отклонений от Стандартной Модели для величин, связанных с распадом $Z \rightarrow \bar{b}b$.

Abstract

Osipov M. Yu. The Suppression of the Neutral $\bar{s}W^0b$ Transition in a Variant of Dynamical Electroweak-Symmetry Breaking Model: IHEP Preprint 2002–27. – Protvino, 2002. – p. 16, figs. 2, tables 1, refs.: 14.

A possibility of anomalous coupling of s -quark is considered in the framework of a variant of dynamical electroweak-symmetry breaking. The present variant of dynamical breaking of the electroweak symmetry is connected with the spontaneous appearance of triple gauge boson coupling with constant λ_V . A special attention is given to the possibility of existence of neutral transition $\bar{s}W^0b$ and effects which are connected with the transition in the framework of this model. In particular, it is shown that there is a solution which describes effects of suppression of the neutral transition under certain conditions. This solution agrees both with experimental limitation for value of constant λ_V and with description of deviations from Standard Model of some decay $Z \rightarrow \bar{b}b$ parameters.

Стандартная Модель (СМ) электрослабых взаимодействий, как известно, находится в хорошем согласии с совокупностью экспериментальных данных. Однако, как было показано в работах [1], [2], существует ряд эффектов, которые приводят к отклонениям от Стандартной Модели. Такие эффекты наблюдаются в процессах распада $Z \rightarrow \bar{b}b$, в частности, при рассмотрении значений ширины данного распада R_b и асимметрии вперед-назад A_{FB}^b рождения пары $\bar{b}b$ в электрон-позитронных столкновениях. Эти и другие эффекты были рассмотрены в рамках одного из вариантов модели динамического нарушения электрослабой симметрии [3], [5].

В указанной модели нарушение симметрии происходит своеобразным “динамическим” способом: в рамках метода квазисредних Н.Н. Боголюбова [6]. В данном варианте электрослабая симметрия нарушается благодаря возникновению в теории дополнительной калибровочно-инвариантной вершины взаимодействия электрослабых векторных бозонов, которая эффективно действует в области “малых” импульсов, ограниченных автоматически возникающим в теории обрезанием по импульсам частиц. Вершина взаимодействия трех бозонов W^+ , W^- , W^0 с импульсами и индексами соответственно $p, \mu; q, \nu; k, \rho$ имеет вид

$$\begin{aligned} \Gamma(W^+, W^-, W^0)_{\mu\nu\rho}(p, q, k) &= \frac{i\lambda_V g}{M_W^2} F(p^2, q^2, k^2) \Gamma_{\mu\nu\rho}(p, q, k); \\ \Gamma_{\mu\nu\rho}(p, q, k) &= g_{\mu\nu}(p_\rho(qk) - q_\rho(pk)) + g_{\nu\rho}(q_\mu(pk) - k_\mu(pq)) + \\ &+ g_{\rho\mu}(k_\nu(pq) - p_\nu(qk)) + k_\mu p_\nu q_\rho - q_\mu k_\nu p_\rho. \end{aligned} \quad (1)$$

$$F(p^2, q^2, k^2) = \frac{\Lambda^6}{(\Lambda^2 - p^2)(\Lambda^2 - q^2)(\Lambda^2 - k^2)}.$$

Вершины вида (1) рассматривались, исходя из феноменологических соображений [8], [9], следствия вершины (1) изучались экспериментально и существуют экспериментальные данные для λ_V [7]. А именно прямые эффекты (измерение рождения пар W^- и t -кварков) дают следующие экспериментальные ограничения [7]:

$$\lambda_V = -0.037 \pm 0.03; \quad |\kappa| \leq 0.5. \quad (2)$$

Наличие формфактора $F(p^2, q^2, k^2)$, содержащего множитель обрезания Λ , обеспечивает сходимость петлевых интегралов. Таким образом, основное отличие данного варианта модели динамического нарушения электрослабой симметрии от СМ состоит в наличии новой эффективной вершины (1).

В данной работе рассматривается вопрос о возможности существования аномальных взаимодействий с участием s -кварка. Согласно данным экспериментов, посвящённых изучению эффектов, связанных, в частности, с нейтральным переходом $\bar{b}W^0b$ ($W^0 = Z^0 \cos \theta_W + A \sin \theta_W$), имеет место подавление указанного нейтрального перехода. Можно показать, что нейтральный переход $\bar{s}W^0b$ в нашем варианте модели также оказывается подавленным при соблюдении определённых условий. Для этого исследуем вершины взаимодействий нейтральных токов $\bar{s}W^0s$, $\bar{s}W^0b$ и заряженных токов $\bar{t}W^+s$, $\bar{c}W^+s$ аналогично тому, как это было сделано при рассмотрении аномальных взаимодействий c -кварка. Запишем указанные вершины в следующем виде:

Вершина $\bar{s}W^0s$:

$$\Gamma_\mu^s(p, q, k) = \frac{ig}{2M_t} x^s F(p^2, q^2, k^2) \sigma_{\mu\nu} k_\nu. \quad (3)$$

Вершина $\bar{s}W^0b$:

$$\Gamma_\mu^{sb}(p, q, k) = \frac{ig}{2M_t} F(p^2, q^2, k^2) \sigma_{\mu\nu} k_\nu (x_+^{sb}(1 + \gamma_5) + x_-^{sb}(1 - \gamma_5)). \quad (4)$$

Вершина $\bar{t}W^0s$:

$$\Gamma_\mu^{ts}(p, q, k) = \frac{ig}{2M_t} F(p^2, q^2, k^2) \sigma_{\mu\nu} k_\nu (\xi_+^{ts}(1 + \gamma_5) + \xi_-^{ts}(1 - \gamma_5)). \quad (5)$$

Вершина $\bar{c}W^0s$:

$$\Gamma_\mu^{cs}(p, q, k) = \frac{ig}{2M_t} F(p^2, q^2, k^2) \sigma_{\mu\nu} k_\nu (\xi_+^{cs}(1 + \gamma_5) + \xi_-^{cs}(1 - \gamma_5)). \quad (6)$$

Вследствие калибровочной инвариантности имеют место также вершины $\bar{s}sW^+W^-$, $\bar{s}bW^+W^-$, $\bar{t}sW^+W^0$, $\bar{c}sW^+W^0$:

$$\Gamma_{\mu\nu}^s(p, q, k_1, k_2) = \frac{ig}{2} F(p^2, q^2, (k_1 + k_2)^2) x^s \sigma_{\mu\nu}, \quad (7)$$

здесь k_1, μ и k_2, ν суть соответственно импульсы и индексы W^+ - и W^- -бозонов, а p, q — импульсы кварков.

$$\Gamma_{\mu\nu}^{sb}(p, q, k_1, k_2) = \frac{ig}{2} F(p^2, q^2, (k_1 + k_2)^2) \sigma_{\mu\nu} (x_+^{sb}(1 + \gamma_5) + x_-^{sb}(1 - \gamma_5)), \quad (8)$$

здесь, как и в предыдущем случае, k_1, μ и k_2, ν суть соответственно импульсы и индексы W^+ - и W^- -бозонов, а p, q — импульсы кварков.

$$\Gamma_{\mu\nu}^{ts}(p, q, k_1, k_2) = \frac{ig}{2} F(p^2, q^2, (k_1 + k_2)^2) \sigma_{\mu\nu} (\xi_+^{ts}(1 + \gamma_5) + \xi_-^{ts}(1 - \gamma_5)), \quad (9)$$

$$\Gamma_{\mu\nu}^{cs}(p, q, k_1, k_2) = \frac{ig}{2} F(p^2, q^2, k^2) \sigma_{\mu\nu} (\xi_+^{cs}(1 + \gamma_5) + \xi_-^{cs}(1 - \gamma_5)), \quad (10)$$

где μ и ν — соответственно индексы W^+ , W^0 . Здесь формфакторы имеют тот же вид, что и в (1). Наличие вершин (3)–(10) позволяет сформулировать выражения для новых вершин со структурой $\gamma_\rho k^2 - k_\rho \hat{k}$:

$$\begin{aligned}
\hat{\Gamma}_\rho^{ts} &= \frac{ig}{Mt^2}(\gamma_\rho k^2 - k_\rho \hat{k})(\hat{\xi}_+^{ts}(1 + \gamma_5) + \hat{\xi}_-^{ts}(1 - \gamma_5)); \\
\hat{\Gamma}_\rho^{cs} &= \frac{ig}{Mt^2}(\gamma_\rho k^2 - k_\rho \hat{k})(\hat{\xi}_+^{cs}(1 + \gamma_5) + \hat{\xi}_-^{cs}(1 - \gamma_5)); \\
\hat{\Gamma}_\rho^{ss} &= \frac{ig}{Mt^2}(\gamma_\rho k^2 - k_\rho \hat{k})(\hat{x}_+^{ss}(1 + \gamma_5) + \hat{x}_-^{ss}(1 - \gamma_5)); \\
\hat{\Gamma}_\rho^{sb} &= \frac{ig}{Mt^2}(\gamma_\rho k^2 - k_\rho \hat{k})(\hat{x}_+^{sb}(1 + \gamma_5) + \hat{x}_-^{sb}(1 - \gamma_5)).
\end{aligned} \tag{11}$$

Уравнения для вершин (3)–(10) представлены в диаграммной форме на рис. 1. В работах [4], [2] был рассмотрен вопрос о массе c -кварка, которая оказалась отличной от нуля. Поэтому в дальнейшем мы введём следующий ненулевой дополнительный параметр:

$$\eta = \frac{m_c}{M_t}, \tag{12}$$

где m_c и M_t — соответственно массы c - и t -кварков.

Проводя вычисление петлевых интегралов в диаграммах, представленных на рис. 1, получаем совокупность уравнений для параметров модели, которые можно сгруппировать в четыре отдельные системы. Так, для параметров ξ_-^{tb} и x^b , ξ_-^{cb} и x_-^{sb} получаем систему

$$\begin{aligned}
\xi_-^{tb} &= \left(-a U_{tb} + k_0(\hat{\xi}_+^{tb} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{y}_+^{tt} + U_{cb}\hat{y}_+^{ct})) \right) x^b + \\
&+ \left(-a U_{ts} + k_0(\hat{\xi}_+^{ts} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\hat{y}_+^{tt} + U_{cs}\hat{y}_+^{ct})) \right) x_-^{sb} - \frac{5}{24}h\xi_-^{tb} + \\
&+ 2b((y^t - \mu x^b)\xi_-^{tb} + \eta y_+^{ct}\xi_-^{cb}) - k_0(\hat{y}_+^{tt}\xi_-^{tb} + y_+^{ct}\hat{\xi}_-^{cb} + \hat{y}_+^{ct}\xi_-^{cb} + y^t\hat{\xi}_-^{tb}) + \\
&+ k_0\left(\hat{x}_-^{bb}\left(\xi_-^{tb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}y^t + U_{cb}y_+^{ct}) \right) + \hat{x}_-^{sb}\left(\xi_-^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}y^t + U_{cs}y_+^{ct}) \right) \right) + \\
&+ \frac{a}{2}U_{tb}\mu\hat{x}_-^{bb} - \frac{a}{2\sqrt{2}}\hat{\xi}_-^{tb}, \\
x^b &= \left(-a U_{tb} + 2b\xi_+^{tb} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{tb} \right) \xi_-^{tb} + \left(-a U_{cb} + 2b\eta\xi_+^{cb} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cb} \right) \xi_-^{cb} - \frac{h}{4}x^b - \\
&- \frac{k_0}{9}\left(\hat{x}_+^{sb}x_-^{sb} + \hat{x}_-^{sb}x_+^{sb} + (\hat{x}_-^{bb} + \hat{x}_+^{bb})x^b \right) + \frac{10}{9}k_0\left(\xi_+^{tb}\hat{\xi}_-^{tb} + \xi_+^{cb}\hat{\xi}_-^{cb} \right) + \\
&+ \frac{a}{2}(U_{tb}\hat{\xi}_-^{tb} + U_{cb}\eta\hat{\xi}_-^{cb}), \\
\xi_-^{cb} &= \left(-a U_{cb} + k_0(\hat{\xi}_+^{cb} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{y}_+^{ct} + U_{cb}\hat{y}_+^{cc})) \right) x^b + \\
&+ \left(-a U_{cs} + k_0(\hat{\xi}_+^{cs} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\hat{y}_+^{ct} + U_{cs}\hat{y}_+^{cc})) \right) x_-^{sb} - \frac{5}{24}h\xi_-^{cb} + \\
&+ 2b(y_-^{ct}\xi_-^{tb} + (\eta y^c - \mu x^b)\xi_-^{cb}) - k_0(\hat{y}_+^{ct}\xi_-^{tb} + y_-^{ct}\hat{\xi}_-^{tb} + \hat{y}_+^{cc}\xi_-^{cb} + y^c\hat{\xi}_-^{cb}) + \\
&+ k_0\left(\hat{x}_-^{bb}\left(\xi_-^{cb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}y_-^{ct} + U_{cb}y^c) \right) + \hat{x}_-^{sb}\left(\xi_-^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}y_-^{ct} + U_{cs}y^c) \right) \right) + \\
&+ \frac{a}{2}U_{cb}\mu\hat{x}_-^{bb} - \frac{a}{2\sqrt{2}}\eta\hat{\xi}_-^{cb},
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
x_-^{sb} &= \left(-aU_{ts} + 2b\xi_+^{ts} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{ts}\right)\xi_-^{tb} + \left(-aU_{cs} + 2b\eta\xi_+^{cs} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cs}\right)\xi_-^{cb} - \frac{h}{4}x_-^{sb} - \\
&- \frac{k_0}{9}\left(\hat{x}_+^{sb}x^b + (\hat{x}_-^{bb} + \hat{x}_+^{ss})x_-^{sb} + \hat{x}_-^{sb}x^s\right) + \frac{10}{9}k_0\left(\xi_+^{ts}\hat{\xi}_-^{tb} + \xi_+^{cs}\hat{\xi}_-^{cb}\right) + \\
&+ \frac{a}{2}(U_{ts}\hat{\xi}_-^{tb} + U_{cs}\eta\hat{\xi}_-^{cb}), \\
\hat{x}_+^{bb} &= -b((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2) - 2a(U_{tb}\hat{\xi}_+^{tb} + U_{cb}\hat{\xi}_+^{cb}), \quad \hat{x}_-^{bb} = -b((\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{cb})^2), \\
\hat{\xi}_-^{tb} &= b(y^t\xi_-^{tb} + y_-^{ct}\xi_-^{cb} - x^b\xi_+^{tb} - x_-^{sb}\xi_+^{ts}), \quad \hat{x}_-^{sb} = -b(\xi_-^{ts}\xi_-^{tb} + \xi_-^{cs}\xi_-^{cb}), \\
\hat{\xi}_-^{cb} &= b(y_+^{ct}\xi_-^{tb} + y^c\xi_-^{cb} - x^b\xi_+^{cb} - x_-^{sb}\xi_+^{cs}).
\end{aligned}$$

Система уравнений для параметров ξ_+^{tb} , y^t , ξ_+^{ts} , y_-^{ct} :

$$\begin{aligned}
\xi_+^{tb} &= \left(aU_{tb} - k_0(\hat{\xi}_+^{tb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{x}_+^{bb} + U_{ts}\hat{x}_+^{sb}))\right)y^t + \\
&+ \left(aU_{cb} - k_0(\hat{\xi}_+^{cb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}\hat{x}_+^{bb} + U_{cs}\hat{x}_+^{sb}))\right)y_-^{ct} - \frac{5}{24}h\xi_+^{tb} + \\
&+ 2b((y^t - \mu x^b)\xi_+^{tb} + \eta y_-^{ct}\xi_+^{cb}) + k_0(x^b\hat{\xi}_+^{tb} + x_+^{sb}\hat{\xi}_+^{ts} + \xi_+^{ts}\hat{x}_+^{sb} + \xi_+^{tb}\hat{x}_+^{bb}) + \\
&+ k_0\left(\hat{y}_-^{tt}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x^b + U_{ts}x_+^{sb}) - \xi_+^{tb}\right) + \hat{y}_-^{ct}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x^b + U_{cs}x_+^{sb}) - \xi_+^{cb}\right)\right) - \\
&- \frac{a}{2}(U_{tb}\hat{y}_-^{tt} + \eta U_{cb}\hat{y}_-^{ct}) - \frac{a}{2\sqrt{2}}\mu\hat{\xi}_-^{tb}, \\
y^t &= \left(aU_{tb} - 2b\mu\xi_-^{tb} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{tb}\right)\xi_+^{tb} + \left(aU_{ts} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{ts}\right)\xi_+^{ts} - \frac{h}{4}y^t + \\
&+ \frac{k_0}{9}\left((\hat{y}_+^{tt} + \hat{y}_-^{tt})y^t + y_+^{ct}\hat{y}_-^{ct} + y_-^{ct}\hat{y}_+^{ct}\right) - \frac{10}{9}k_0\left(\xi_-^{tb}\hat{\xi}_-^{tb} + \xi_-^{ts}\hat{\xi}_-^{ts}\right) - \frac{a}{2}U_{tb}\mu\hat{\xi}_-^{tb}, \quad (14) \\
\xi_+^{ts} &= \left(aU_{ts} - k_0(\hat{\xi}_+^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{x}_+^{sb} + U_{ts}\hat{x}_+^{ss}))\right)y^t + \\
&+ \left(aU_{cs} - k_0(\hat{\xi}_+^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}\hat{x}_+^{sb} + U_{cs}\hat{x}_+^{ss}))\right)y_-^{ct} - \frac{5}{24}\xi_+^{ts} + \\
&+ 2b(\mu x_-^{sb}\xi_+^{tb} - y^t\xi_+^{ts} - \eta y_-^{ct}\xi_+^{cs}) + k_0(x_-^{sb}\hat{\xi}_+^{tb} + x^s\hat{\xi}_+^{ts} + \hat{x}_+^{sb}\xi_+^{tb} + \hat{x}_+^{ss}\xi_+^{ts}) + \\
&+ k_0\left(\hat{y}_-^{tt}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x_-^{sb} + U_{ts}x^s) - \xi_+^{ts}\right) + \hat{y}_-^{ct}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x_-^{sb} + U_{cs}x^s) - \xi_+^{cs}\right)\right) - \\
&- \frac{a}{2}(U_{ts}\hat{y}_-^{tt} + \eta U_{cs}\hat{y}_-^{ct}), \\
y_-^{ct} &= \left(aU_{cb} - 2b\mu\xi_-^{cb} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cb}\right)\xi_+^{tb} + \left(aU_{cs} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cs}\right)\xi_+^{ts} - \frac{h}{4}y_-^{ct} - \\
&+ \frac{k_0}{9}\left(y^c\hat{y}_-^{ct} + (\hat{y}_+^{cc} + \hat{y}_-^{tt})y_-^{ct} + y^t\hat{y}_+^{ct}\right) - \frac{10}{9}k_0\left(\xi_-^{cb}\hat{\xi}_-^{tb} + \xi_-^{cs}\hat{\xi}_-^{ts}\right) - \frac{a}{2}U_{cb}\mu\hat{\xi}_-^{tb}, \\
\hat{\xi}_+^{tb} &= b(y^t\xi_+^{tb} + y_-^{ct}\xi_+^{cb} - x^b\xi_-^{tb} - x_+^{sb}\xi_-^{ts}) + \sqrt{2}a\hat{\xi}_+^{tb} - \\
&- a(U_{tb}\hat{x}_+^{bb} + U_{ts}\hat{x}_+^{sb} - U_{tb}\hat{y}_+^{tt} - U_{cb}\hat{y}_+^{ct}),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\hat{y}_+^{tt} &= b((\hat{\xi}_-^{tb})^2 + (\hat{\xi}_-^{ts})^2) + 2a(U_{tb}\hat{\xi}_+^{tb} + U_{ts}\hat{\xi}_+^{ts}), & \hat{y}_-^{tt} &= b((\hat{\xi}_+^{tb})^2 + (\hat{\xi}_+^{ts})^2), \\
\hat{\xi}_+^{ts} &= b(y_-^t\hat{\xi}_+^{ts} + y_+^c\hat{\xi}_+^{cs} - x_-^s\hat{\xi}_-^{tb} - x^s\hat{\xi}_-^{ts}) + \sqrt{2}a\hat{\xi}_+^{ts} + \\
&+ a(U_{ts}\hat{y}_+^{tt} + U_{cs}\hat{y}_+^{ct} - U_{ts}\hat{x}_+^{ss} - U_{tb}\hat{x}_+^{sb}), & \hat{y}_-^{ct} &= b(\hat{\xi}_+^{tb}\hat{\xi}_+^{cb} + \hat{\xi}_+^{ts}\hat{\xi}_+^{cs}).
\end{aligned}$$

Система уравнений для параметров $\hat{\xi}_+^{cb}$, y_+^{ct} , $\hat{\xi}_+^{cs}$, y^c :

$$\begin{aligned}
y_+^{tc} &= \left(aU_{tb} - 2b\mu\hat{\xi}_-^{tb} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{tb} \right) \hat{\xi}_+^{cb} + \left(aU_{ts} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{ts} \right) \hat{\xi}_+^{cs} - \frac{h}{4}y_+^{ct} - \\
&- \frac{10}{9}k_0 \left(\hat{\xi}_-^{tb}\hat{\xi}_-^{cb} + \hat{\xi}_-^{ts}\hat{\xi}_-^{cs} \right) + \frac{k_0}{9} \left(y_-^c\hat{y}_+^{ct} + (\hat{y}_-^{cc} + \hat{y}_+^{tt})y_+^{ct} + y^t\hat{y}_+^{ct} \right) - \frac{a}{2}U_{tb}\mu\hat{\xi}_-^{cb}, \\
\hat{\xi}_+^{cb} &= \left(aU_{tb} - k_0(\hat{\xi}_+^{tb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{x}_+^{bb} + U_{ts}\hat{x}_+^{sb})) \right) y_+^{ct} + \\
&+ \left(aU_{cb} - k_0(\hat{\xi}_+^{cb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}\hat{x}_+^{bb} + U_{cs}\hat{x}_+^{sb})) \right) y^c - \frac{5h}{24}\hat{\xi}_+^{cb} - \\
&+ 2b((\eta y^c - \mu x^b)\hat{\xi}_+^{cb} + y_+^{ct}\hat{\xi}_+^{tb}) + k_0(x^b\hat{\xi}_+^{cb} + x_+^{sb}\hat{\xi}_-^{cs} + \hat{\xi}_+^{cs}\hat{x}_+^{sb} + \hat{\xi}_+^{cb}\hat{x}_+^{bb}) + \\
&+ k_0 \left(\hat{y}_-^{ct} \left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x^b + U_{ts}x_+^{sb}) - \hat{\xi}_+^{tb} \right) + \hat{y}_-^{cc} \left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x^b + U_{cs}x_+^{sb}) - \hat{\xi}_+^{cb} \right) \right) - \\
&- \frac{a}{2}(U_{tb}\hat{y}_-^{ct} + \eta U_{cb}\hat{y}_-^{cc}) - \frac{a}{2\sqrt{2}}\mu\hat{\xi}_-^{cb}, \tag{15} \\
y^c &= \left(aU_{cb} - 2b\mu\hat{\xi}_-^{cb} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cb} \right) \hat{\xi}_+^{cb} + \left(aU_{cs} - \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cs} \right) \hat{\xi}_+^{cs} - \frac{h}{4}y^c + \\
&+ \frac{k_0}{9} \left((y^c(\hat{y}_+^{cc} + \hat{y}_-^{cc}) + \hat{y}_-^{ct}y_+^{ct} + y_+^{ct}\hat{y}_+^{ct}) - \frac{10}{9}k_0(\hat{\xi}_-^{cb}\hat{\xi}_-^{cb} + \hat{\xi}_-^{cs}\hat{\xi}_-^{cs}) - \frac{a}{2}U_{cb}\mu\hat{\xi}_-^{cb}, \right. \\
\hat{\xi}_+^{cs} &= \left(aU_{ts} - k_0(\hat{\xi}_+^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{x}_+^{sb} + U_{ts}\hat{x}_+^{ss})) \right) y_+^{ct} + \\
&+ \left(aU_{cs} - k_0(\hat{\xi}_+^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}\hat{x}_+^{sb} + U_{cs}\hat{x}_+^{ss})) \right) y^c - \frac{5h}{24}\hat{\xi}_+^{cs} - \\
&+ 2b(\eta y^c\hat{\xi}_+^{cs} - \mu x_-^s\hat{\xi}_+^{cb} + y_+^{ct}\hat{\xi}_+^{ts}) + k_0(x_-^s\hat{\xi}_+^{cb} + x^s\hat{\xi}_-^{cs} + \hat{\xi}_+^{cs}\hat{x}_+^{ss} + \hat{\xi}_+^{cb}\hat{x}_+^{sb}) + \\
&+ k_0 \left(\hat{y}_-^{ct} \left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x_-^s + U_{ts}x^s) - \hat{\xi}_+^{ts} \right) + \hat{y}_-^{cc} \left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x_-^s + U_{cs}x^s) - \hat{\xi}_+^{cs} \right) \right) - \\
&- \frac{a}{2}(U_{ts}\hat{y}_-^{ct} + \eta U_{cs}\hat{y}_-^{cc}), \\
\hat{y}_-^{cc} &= b((\hat{\xi}_+^{cb})^2 + (\hat{\xi}_+^{cs})^2), & \hat{y}_+^{cc} &= b((\hat{\xi}_-^{cb})^2 + (\hat{\xi}_-^{cs})^2), \\
\hat{\xi}_+^{cb} &= b(y_-^c\hat{\xi}_+^{tb} + y^c\hat{\xi}_+^{cb} - x^b\hat{\xi}_-^{cb} - x_+^{sb}\hat{\xi}_-^{cs}) + \sqrt{2}\hat{\xi}_+^{cb} - \\
&- a(U_{cb}\hat{x}_+^{bb} + U_{cs}\hat{x}_+^{sb} - U_{tb}\hat{y}_+^{ct} - U_{cb}\hat{y}_+^{cc}), \\
\hat{y}_+^{ct} &= b(\hat{\xi}_-^{tb}\hat{\xi}_-^{cb} + \hat{\xi}_-^{ts}\hat{\xi}_-^{cs}) + a(U_{ts}\hat{\xi}_+^{cs} + U_{tb}\hat{\xi}_+^{cb} + U_{cs}\hat{\xi}_+^{ts} + U_{cb}\hat{\xi}_+^{tb}), \\
\hat{\xi}_+^{cs} &= b(y_-^c\hat{\xi}_+^{cs} + y_+^{ct}\hat{\xi}_+^{ts} - x_-^s\hat{\xi}_-^{cb} - x^s\hat{\xi}_-^{cs}) + \sqrt{2}a\hat{\xi}_+^{cs} + \\
&+ a(U_{cs}\hat{y}_+^{cc} + U_{ts}\hat{y}_+^{ct} - U_{cs}\hat{x}_+^{ss} - U_{cb}\hat{x}_+^{sb}).
\end{aligned}$$

Система уравнений для параметров $\xi_-^{ts}, x^s, \xi_-^{cs}, x_+^{sb}$:

$$\begin{aligned}
x^s &= \left(-aU_{cs} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cs}\right)\xi_-^{cs} + \left(-aU_{ts} + 2b\xi_+^{ts} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{ts}\right)\xi_-^{ts} - \frac{h}{4}x^s - \\
&- \frac{k_0}{9}\left(\hat{x}_+^{sb}x_-^{sb} + \hat{x}_-^{sb}x_+^{sb} + (\hat{x}_-^{bb} + \hat{x}_+^{bb})x^b\right) + \\
&+ \frac{10}{9}k_0\left(\xi_+^{ts}\hat{\xi}_-^{ts} + \xi_+^{cs}\hat{\xi}_-^{cs}\right) + \frac{a}{2}(U_{ts}\hat{\xi}_-^{ts} + U_{cs}\eta\hat{\xi}_-^{cs}), \\
x_+^{sb} &= \left(-aU_{tb} + 2b\xi_+^{tb} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{tb}\right)\xi_-^{ts} + \left(-aU_{cb} + \frac{10}{9}k_0\hat{\xi}_+^{cb}\right)\xi_-^{cs} - \frac{h}{4}x_+^{sb} - \\
&- \frac{k_0}{9}\left(\hat{x}_+^{sb}x^s + \hat{x}_-^{sb}x^b + \hat{x}_-^{ss}x_+^{sb} + \hat{x}_+^{bb}x_+^{sb}\right) + \\
&+ \frac{10}{9}k_0\left(\xi_+^{tb}\hat{\xi}_-^{ts} + \xi_+^{cb}\hat{\xi}_-^{cs}\right) + \frac{a}{2}(U_{tb}\hat{\xi}_-^{ts} + U_{cb}\eta\hat{\xi}_-^{cs}), \tag{16} \\
\xi_-^{cs} &= \left(-aU_{cs} + k_0(\hat{\xi}_+^{cs} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\hat{y}_+^{ct} + U_{cs}\hat{y}_+^{cc}))\right)x^s + \\
&+ \left(-aU_{cb} + k_0(\hat{\xi}_+^{cb} + \frac{\sqrt{2}}{9}((U_{tb}\hat{y}_+^{ct} + U_{cb}\hat{y}_+^{cc})))\right)x_+^{sb} - \frac{5}{24}h\xi_-^{cs} + \\
&+ 2b(y_-^{ct}\xi_-^{ts} + \eta y_-^{cs}\xi_-^{cs} - \mu x_+^{sb}\xi_-^{cb}) - k_0(\hat{y}_+^{ct}\xi_-^{ts} + y_-^{ct}\hat{\xi}_-^{ts} + \hat{y}_+^{cc}\xi_-^{cs} + y_-^{cs}\hat{\xi}_-^{cs}) + \\
&+ k_0\left(\hat{x}_-^{ss}\left(\xi_-^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}y_-^{ct} + U_{cs}y_-^{cc})\right) + \hat{x}_+^{sb}\left(\xi_-^{cb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}y_-^{ct} + U_{cb}y_-^{cc})\right)\right) + \\
&+ \frac{a}{2}U_{cb}\mu\hat{x}_-^{sb} - \frac{a}{2\sqrt{2}}\eta\hat{\xi}_-^{cs}, \\
\xi_-^{ts} &= \left(-aU_{ts} + k_0(\hat{\xi}_+^{ts} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\hat{y}_+^{tt} + U_{cs}\hat{y}_+^{ct}))\right)x^s + \\
&+ \left(-aU_{tb} + k_0(\hat{\xi}_+^{tb} + \frac{\sqrt{2}}{9}((U_{tb}\hat{y}_+^{tt} + U_{cb}\hat{y}_+^{ct})))\right)x_+^{sb} - \frac{5}{24}h\xi_-^{ts} + \\
&+ 2b(y^t\xi_-^{ts} + \eta y_+^{ct}\xi_-^{cs} - \mu x_+^{sb}\xi_-^{tb}) + k_0(\hat{y}_+^{tt}\xi_-^{ts} + y^t\hat{\xi}_-^{ts} + \hat{y}_+^{ct}\xi_-^{cs} + y_+^{ct}\hat{\xi}_-^{cs}) + \\
&+ k_0\left(\hat{x}_-^{ss}\left(\xi_-^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}y^t + U_{cs}y_+^{ct})\right) + \hat{x}_+^{sb}\left(\xi_-^{tb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}y^t + U_{cb}y_+^{ct})\right)\right) + \\
&+ \frac{a}{2}U_{tb}\mu\hat{x}_-^{sb} - \frac{a}{2\sqrt{2}}\hat{\xi}_-^{ts}, \\
\hat{\xi}_-^{ts} &= b(y^t\xi_-^{ts} + y_-^{ct}\xi_-^{cs} - x_+^{sb}\xi_+^{tb} - x^s\xi_+^{ts}), \\
\hat{\xi}_-^{cs} &= b(y^c\xi_-^{cs} + y_+^{ct}\xi_-^{ts} - x_+^{sb}\xi_+^{cb} - x^s\xi_+^{cs}), \\
\hat{x}_+^{sb} &= -b(\xi_+^{ts}\xi_+^{tb} + \xi_+^{cs}\xi_+^{cb}) - 2a(U_{ts}\hat{\xi}_+^{tb} + U_{cs}\hat{\xi}_+^{cb}), \\
\hat{x}_+^{ss} &= -b((\xi_+^{ts})^2 + (\xi_+^{cs})^2) - 2a(U_{ts}\hat{\xi}_+^{ts} + U_{cs}\hat{\xi}_+^{cs}), \quad \hat{x}_-^{ss} = -b((\xi_-^{ts})^2 + (\xi_-^{cs})^2), \tag{17}
\end{aligned}$$

где введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
a &= \frac{h}{12\sqrt{2}}, \quad b = \frac{h}{40}, \quad \theta = \sin^2 \theta_W, \\
h &= \frac{\alpha \lambda_V \Lambda^2}{\pi \theta M_W^2}, \quad K = \frac{\alpha \Lambda^2}{\pi M_t^2}, \quad k_0 = \frac{9}{24\theta} K.
\end{aligned} \tag{18}$$

Данная система уравнений имеет, во-первых, тривиальное решение, когда все параметры, описывающие различные аномальные переходы между кварками, равны нулю.

В общем случае в силу нелинейности указанной системы, содержащей довольно большое количество переменных, решить её весьма затруднительно. Однако данную систему можно несколько упростить, если ввести следующие комбинации параметров с использованием элементов матрицы смешивания:

$$\begin{aligned}
U_{ts} \xi_-^{tb} + U_{cs} \xi_-^{cb} &= \alpha_{sb}, \quad U_{ts} \xi_-^{ts} + U_{cs} \xi_-^{cs} = \alpha, \\
U_{ts} \hat{\xi}_+^{tb} + U_{cs} \hat{\xi}_+^{cb} &= \hat{\alpha}_{sb}, \quad U_{ts} \hat{\xi}_+^{ts} + U_{cs} \hat{\xi}_+^{cs} = \hat{\alpha}, \\
U_{ts} y^t + U_{cs} y^{ct} &= \beta_{ts}, \quad U_{ts} y_+^{ct} + U_{cs} y^c = \beta_{cs},
\end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
U_{ts} \hat{y}_+^{tt} + U_{cs} \hat{y}_+^{ct} &= \hat{\beta}_{ts}, \quad U_{ts} \hat{y}_+^{ct} + U_{cs} \hat{y}_+^{cc} = \hat{\beta}_{cs}, \\
U_{ts} \hat{\xi}_-^{tb} + \eta U_{cs} \hat{\xi}_-^{cb} &= \gamma_{sb}, \quad U_{ts} \hat{\xi}_-^{ts} + \eta U_{cs} \hat{\xi}_-^{cs} = \gamma, \\
U_{ts} \hat{y}_-^{tt} + \eta U_{cs} \hat{y}_-^{ct} &= \delta_{ts}, \quad U_{ts} \hat{y}_-^{ct} + \eta U_{cs} \hat{y}_-^{cc} = \delta_{cs}.
\end{aligned} \tag{20}$$

Тогда, умножая левые и правые части уравнений системы на соответствующие элементы матрицы смешивания и затем складывая их так, чтобы в левых частях получались введённые выше комбинации (19), запишем систему уравнений следующим образом:

$$\begin{aligned}
\alpha_{sb} &= k_0 x^b \left(\hat{\alpha}_{sb} + \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{tb} \hat{\beta}_{ts} + U_{cb} \hat{\beta}_{cs}) \right) - \frac{5h}{24} \alpha_{sb} + 2b (\beta_{ts} \xi_-^{tb} + \eta \beta_{cs} \xi_-^{cb} - \mu \alpha_{sb} x^b) + \\
&+ \left(-a + k_0 (\hat{\alpha} + \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{ts} \hat{\beta}_{ts} + U_{cs} \hat{\beta}_{cs})) \right) x_-^{sb} + k_0 (\xi_-^{tb} \hat{\beta}_{ts} + \xi_-^{cb} \hat{\beta}_{cs} + \hat{\xi}_-^{tb} \beta_{ts} + \hat{\xi}_-^{cb} \beta_{cs}) + \\
&+ k_0 \left(\hat{x}_-^{bb} \left(\alpha_{sb} - \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{tb} \beta_{ts} + U_{cb} \beta_{cs}) \right) + \hat{x}_-^{sb} \left(\alpha - \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{ts} \beta_{ts} + U_{cs} \beta_{cs}) \right) \right) - \\
&- \frac{a}{2\sqrt{2}} \gamma_{sb}, \\
x_-^{sb} &= -a \alpha_{sb} + 2b (\xi_+^{ts} \xi_-^{tb} + \eta \xi_+^{cs} \xi_-^{cb}) + \frac{10}{9} k_0 \left(\hat{\xi}_+^{ts} \xi_-^{tb} + \hat{\xi}_+^{cs} \xi_-^{cb} + \xi_+^{ts} \hat{\xi}_-^{tb} + \xi_+^{cs} \hat{\xi}_-^{cb} \right) - \\
&- \frac{h}{4} x_-^{sb} - \frac{k_0}{9} \left(\hat{x}_+^{sb} x^b + (\hat{x}_-^{bb} + \hat{x}_+^{ss}) x_-^{sb} + \hat{x}_-^{sb} x^s \right) + \frac{a}{2} \gamma_{sb}, \\
\beta_{ts} &= a \xi_+^{ts} - 2b \mu \alpha_{sb} \xi_+^{tb} - \frac{10}{9} k_0 \left(\hat{\alpha} \xi_+^{ts} + \hat{\alpha}_{sb} \xi_+^{tb} + \alpha \xi_+^{ts} + \alpha_{sb} \hat{\xi}_+^{tb} \right) - \frac{h}{4} \beta_{ts} + \\
&+ \frac{k_0}{9} \left(\beta_{cs} \hat{y}_-^{ct} + y^t \hat{\beta}_{ts} + \beta_{ts} \hat{y}_-^{tt} + y_-^{ct} \hat{\beta}_{cs} \right), \\
\xi_+^{ts} &= a \beta_{ts} + 2b (\mu x_-^{sb} \xi_+^{tb} - y^t \xi_+^{ts} - \eta y_-^{ct} \xi_+^{cs}) - \frac{5}{24} \xi_+^{ts} - \\
&- k_0 \left(y^t \left(\hat{\xi}_+^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{tb} \hat{x}_+^{sb} + U_{ts} \hat{x}_+^{ss}) \right) + y_-^{ct} \left(\hat{\xi}_+^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9} (U_{cb} \hat{x}_+^{sb} + U_{cs} \hat{x}_+^{ss}) \right) \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + k_0(x_-^{sb}\hat{\xi}_+^{tb} + x^s\hat{\xi}_+^{ts} + \hat{x}_-^{sb}\xi_+^{tb} + \hat{x}_+^s\xi_+^{ts}) + \\
& + k_0\left(\hat{y}_-^{tt}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x_-^{sb} + U_{ts}x^s) - \xi_+^{ts}\right) + \hat{y}_-^{ct}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x_-^{sb} + U_{cs}x^s) - \xi_+^{cs}\right)\right) - \\
& - \frac{a}{2}\delta_{ts}, \\
\beta_{cs} & = a\xi_+^{cs} - 2b\mu\alpha_{sb}\xi_+^{cb} - \frac{10}{9}k_0\left(\hat{\alpha}\xi_+^{cs} + \hat{\alpha}_{sb}\xi_-^{cb} + \alpha\hat{\xi}_+^{cs} + \alpha_{sb}\hat{\xi}_-^{cb}\right) - \frac{h}{4}\beta_{cs} + \\
& + \frac{k_0}{9}\left(\beta_{cs}\hat{y}_-^{cc} + y^c\hat{\beta}_{cs} + \beta_{ts}\hat{y}_-^{ct} + y_-^{ct}\hat{\beta}_{ts}\right), \\
\xi_+^{cs} & = a\beta_{cs} + 2b(\mu x_-^{sb}\xi_+^{cb} - y_-^{ct}\xi_+^{ts} - \eta y^c\xi_+^{cs}) - \frac{5}{24}\xi_+^{cs} - \\
& - k_0\left(y_-^{ct}\left(\hat{\xi}_+^{ts} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{x}_+^{sb} + U_{ts}\hat{x}_+^{ss})\right) + y^c\left(\hat{\xi}_+^{cs} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}\hat{x}_+^{sb} + U_{cs}\hat{x}_+^{ss})\right)\right) + \\
& + k_0(x_-^{sb}\hat{\xi}_+^{cb} + x^s\hat{\xi}_+^{cs} + \hat{x}_-^{sb}\xi_+^{cb} + \hat{x}_+^s\xi_+^{cs}) + \\
& + k_0\left(\hat{y}_-^{ct}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}x_-^{sb} + U_{ts}x^s) - \xi_+^{ts}\right) + \hat{y}_-^{cc}\left(\frac{\sqrt{2}}{9}(U_{cb}x_-^{sb} + U_{cs}x^s) - \xi_+^{cs}\right) - \right. \\
& \left. - \frac{a}{2}\delta_{cs}, \tag{21}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha & = k_0x_+^{sb}\left(\hat{\alpha}_{tb} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\hat{\beta}_{ts} + U_{cb}\hat{\beta}_{cs})\right) - \frac{5h}{24}\alpha + 2b(\beta_{ts}\xi_-^{ts} + \eta\beta_{cs}\xi_-^{cs} - \mu\alpha_{sb}x_+^{sb}) + \\
& + \left(-a + k_0(\hat{\alpha} + \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\hat{\beta}_{ts} + U_{cs}\hat{\beta}_{cs}))\right)x_-^{sb} + k_0(\xi_-^{tb}\hat{\beta}_{ts} + \xi_-^{cb}\hat{\beta}_{cs} + \hat{\xi}_-^{tb}\beta_{ts} + \hat{\xi}_-^{cb}\beta_{cs}) + \\
& + k_0\left(\hat{x}_-^{bb}\left(\alpha_{sb} - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{tb}\beta_{ts} + U_{cb}\beta_{cs})\right) + \hat{x}_-^{sb}\left(\alpha - \frac{\sqrt{2}}{9}(U_{ts}\beta_{ts} + U_{cs}\beta_{cs})\right)\right) - \\
& - \frac{a}{2\sqrt{2}}\gamma, \\
x^s & = -a\alpha + 2b(\xi_+^{ts}\xi_-^{ts} + \eta\xi_+^{cs}\xi_-^{cs}) + \frac{10}{9}k_0\left(\hat{\xi}_+^{ts}\xi_-^{ts} + \hat{\xi}_+^{cs}\xi_-^{cs} + \xi_+^{ts}\hat{\xi}_-^{ts} + \xi_+^{cs}\hat{\xi}_-^{cs}\right) - \\
& - \frac{h}{4}x^s - \frac{k_0}{9}\left(\hat{x}_+^{sb}x_+^{sb} + (\hat{x}_-^{ss} + \hat{x}_+^{ss})x^s + \hat{x}_-^{sb}x_-^{sb}\right) + \frac{a}{2}\gamma, \\
\hat{\alpha} & = b(\beta_{ts}\xi_+^{ts} + \beta_{cs}\xi_+^{cs} - x_-^{sb}\alpha_{sb} - x^s\alpha) + \sqrt{2}a\hat{\alpha} + a(b((\xi_+^{ts})^2 + (\xi_+^{cs})^2) + \\
& + 2a\hat{\alpha} + U_{ts}\hat{\beta}_{ts} + U_{cs}\hat{\beta}_{cs}), \\
\hat{\alpha}_{sb} & = b(\beta_{ts}\xi_+^{tb} + \beta_{cs}\xi_+^{cb} - x^b\alpha_{sb} - x_+^{sb}\alpha) + \sqrt{2}a\hat{\alpha}_{sb} + a(b(\xi_+^{tb}\xi_+^{ts} + \xi_+^{cb}\xi_+^{cs}) + \\
& + 2a\hat{\alpha}_{sb} + U_{tb}\hat{\beta}_{ts} + U_{cb}\hat{\beta}_{cs}), \\
\hat{\beta}_{ts} & = b(\alpha_{sb}(\xi_-^{tb} - al_1(U_{tb}x^b + U_{ts}x_-^{sb})) + \alpha(\xi_-^{ts} - al_1(U_{tb}x_+^{sb} + U_{ts}x^s))) + \\
& + abl_1(\beta_{ts}(U_{tb}\xi_+^{tb} + U_{ts}\xi_+^{ts}) + \beta_{cs}(U_{tb}\xi_+^{cb} + U_{ts}\xi_+^{cs})) + a^2l_1(\hat{\beta}_{ts} - (U_{ts}\hat{x}_+^{ss} + U_{tb}\hat{x}_+^{sb})), \\
\hat{\beta}_{cs} & = b(\alpha_{sb}(\xi_-^{cb} - al_1(U_{cb}x^b + U_{cs}x_-^{sb})) + \alpha(\xi_-^{cs} - al_1(U_{cb}x_+^{sb} + U_{cs}x^s))) + \\
& + abl_1(\beta_{ts}(U_{cb}\xi_+^{tb} + U_{cs}\xi_+^{ts}) + \beta_{cs}(U_{cb}\xi_+^{cb} + U_{cs}\xi_+^{cs})) + a^2l_1(\hat{\beta}_{cs} - (U_{cs}\hat{x}_+^{ss} + U_{cb}\hat{x}_+^{sb})),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_1 &= \frac{1}{1 - \sqrt{2}a}, \\
\hat{\xi}_+^{ts} &= b(y^t \xi_+^{ts} + y_+^{ct} \xi_+^{cs} - x_-^{sb} \xi_-^{tb} - x^s \xi_-^{ts}) + \sqrt{2}a \hat{\xi}_+^{ts} + \\
&+ a(U_{ts} \hat{y}_+^{tt} + U_{cs} \hat{y}_+^{ct} - U_{ts} \hat{x}_+^{ss} - U_{tb} \hat{x}_+^{sb}), \\
\hat{\xi}_+^{cs} &= b(y^c \xi_+^{cs} + y_+^{ct} \xi_+^{ts} - x_-^{sb} \xi_-^{cb} - x^s \xi_-^{cs}) + \sqrt{2}a \hat{\xi}_+^{cs} + \\
&+ a(U_{cs} \hat{y}_+^{cc} + U_{ts} \hat{y}_+^{ct} - U_{cs} \hat{x}_+^{ss} - U_{cb} \hat{x}_+^{sb}), \\
\hat{x}_+^{sb} &= -b(\xi_+^{ts} \xi_+^{tb} + \xi_+^{cs} \xi_+^{cb}) - 2a(U_{ts} \hat{\xi}_+^{tb} + U_{cs} \hat{\xi}_+^{cb}), \\
\hat{x}_+^{ss} &= -b((\xi_+^{ts})^2 + (\xi_+^{cs})^2) - 2a(U_{ts} \hat{\xi}_+^{ts} + U_{cs} \hat{\xi}_+^{cs}).
\end{aligned}$$

Исследуем вопрос, можно ли получить некоторое решение данной системы, которое описывает эффект подавления перехода $b \rightarrow s$, и если такое решение существует, то как оно соответствует экспериментальным данным по распаду $Z \rightarrow \bar{b}b$. Здесь следует обратить внимание на то, что параметры, описывающие различные переходы между кварками t, b и c , уже рассматривались в работах [1], [2] при описании эффектов отклонения от Стандартной Модели, связанных с распадом $Z \rightarrow \bar{b}b$. Так, эти параметры участвовали при вычислениях относительных отклонений ширины Δ_b и асимметрии вперед-назад Δ_{FB}^b . Для ширины и асимметрии эксперимент [7] и СМ дают соответственно следующие значения: $R_b(exp) = 0.21664 \pm 0.00068$, $R_b(theor) = 0.21569$, $A_{FB}^b(exp) = 0.0982 \pm 0.0017$, $A_{FB}^b(theor) = 0.1036$. Для описания указанных эффектов удобно использовать следующие относительные отклонения:

$$\begin{aligned}
\Delta_b &= \frac{R_b(exp) - R_b(theor)}{R_b(theor)} = 0.004 \pm 0.004, \\
\Delta_{FB} &= \frac{A_{FB}^b(exp) - A_{FB}^b(theor)}{A_{FB}^b(theor)} = -0.052 \pm 0.016.
\end{aligned} \tag{22}$$

Здесь (*exp*) означает экспериментальные значения, а (*theor*) — значения, даваемые Стандартной Моделью. Возможный эффект в параметре Δ_{FB} , хотя и составляет 3.2 стандартных отклонения, однако неизменно фиксируется на протяжении уже длительного времени.

Как можно легко заметить, систему уравнений (21) можно сделать однородной относительно переменных $\alpha_{sb}, \alpha, \beta_{ts}, \beta_{cs}, \hat{\alpha}_{sb}, \hat{\alpha}, \hat{\beta}_{ts}, \hat{\beta}_{cs}, x_-^{sb}, x^s, \xi_+^{ts}, \xi_+^{cs}, \hat{x}_+^{sb}, \hat{x}_+^{ss}, \hat{\xi}_+^{ts}, \hat{\xi}_+^{cs}$, если потребовать одновременного выполнения условий равенства нулю следующих комбинаций: $\gamma_{sb}, \gamma, \delta_{ts}, \delta_{cs}, 0$. Если внимательно посмотреть на выражения для комбинаций $\gamma_{sb}, \gamma, \delta_{ts}, \delta_{cs}$, то можно заметить, что их одновременное обращение в нуль осуществляется при следующем соотношении между параметрами: ξ_+^{tb}, ξ_+^{cb} , массой c -кварка и элементами матрицы смешивания

$$U_{ts} \xi_+^{tb} + \eta U_{cs} \xi_+^{cb} = 0. \tag{23}$$

Итак, если выполняется соотношение (23), мы имеем однородную систему уравнений. В качестве решения данной системы выберем тривиальное решение, при котором следующие переменные равны нулю:

$$\begin{aligned}
\alpha_{sb} &= 0, & \alpha &= 0, & \beta_{ts} &= 0, & \beta_{cs} &= 0, \\
\hat{\alpha}_{sb} &= 0, & \hat{\alpha} &= 0, & \hat{\beta}_{ts} &= 0, & \hat{\beta}_{cs} &= 0,
\end{aligned} \tag{24}$$

$$\begin{aligned} x_-^{sb} &= 0, & x^s &= 0, & \xi_+^{ts} &= 0, & \xi_+^{cs} &= 0, \\ \hat{x}^{sb} &= 0, & \hat{x}^{ss} &= 0, & \hat{\xi}_+^{ts} &= 0, & \hat{\xi}_+^{cs} &= 0. \end{aligned}$$

Здесь следует отметить, что так как нас интересует переход $b \rightarrow s$, мы будем рассматривать параметры x_{\pm}^{sb} . Обратимся к первым уравнениям подсистем (13), (16) и рассмотрим однородные уравнения соответственно для параметров ξ_-^{tb} и ξ_-^{ts} . Проведя вычисления, получим совокупность однородных уравнений:

$$B_-^{tb} \xi_-^{tb} = 0 \quad (25)$$

$$\begin{aligned} B_-^{tb} &= \left(a(1 - k_b l_0 ((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2 + (\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2)) - (l_0 + 1) k_b (y_0^t \xi_+^{tb} + \right. \\ &+ (y_+^{ct})_0 \xi_+^{cb}) - \frac{ab}{2\sqrt{2}} \xi_+^{tb} \left. \right) \left(a - 2b \xi_+^{tb} + \frac{ab}{2} y_0^t + \frac{10}{9} k_b (y_0^t \xi_+^{tb} + \right. \\ &+ (y_+^{ct})_0 \xi_+^{cb}) (l_0 + 1) \left. \right) l_x^c - \frac{5}{24} h + 2b(\mu x_0^b - y_0^t) - k_b ((y_0^t)^2 + (y_+^{ct})_0^2 + \\ &+ l_0 x_0^2 (1 + (\xi_-^{ts}/\xi_-^{tb})^2)) - \frac{ab}{2} \mu \xi_-^{tb} - \frac{ab}{2\sqrt{2}} y_0^t - 1, \\ l_x^c &= \frac{36}{36 + 9h + 4k_0 b (9((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2) + (10l_0 - 1)((\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2)) + 18ab \xi_+^{tb}}, \\ B_-^{ts} \xi_-^{ts} &= 0 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} B_-^{ts} &= \left(a(1 - k_b l_0 ((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2 + (\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2)) - (l_0 + 1) k_b (y_0^t \xi_+^{tb} + \right. \\ &+ (y_+^{ct})_0 \xi_+^{cb}) - \frac{ab}{2\sqrt{2}} \xi_+^{tb} \left. \right) \left(a - 2b \xi_+^{tb} + \frac{ab}{2} y_0^t + \frac{10}{9} k_b (y_0^t \xi_+^{tb} + \right. \\ &+ (y_+^{ct})_0 \xi_+^{cb}) (l_0 + 1) \left. \right) l_x^c - \frac{5}{24} h + 2b(\mu x_0^b - y_0^t) - k_b ((y_0^t)^2 + (y_+^{ct})_0^2 + \\ &+ l_0 x_0^2 (1 + (\xi_-^{ts}/\xi_-^{tb})^2)) - \frac{ab}{2} \mu \xi_-^{tb} - \frac{ab}{2\sqrt{2}} y_0^t - 1, \end{aligned} \quad (27)$$

здесь использовано нулевое приближение:

$$\begin{aligned} x_0^b &= (-a + (2 + a^2 l_y^c) b \xi_+^{tb} + 10/9 a l_y^c k_b (l_0 + 1) ((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2) \xi_-^{tb} l_x^c, \\ y_0^t &= (a - (2 + a^2 l_x^c) b \mu \xi_+^{tb} - 10/9 a l_x^c k_b (l_0 + 1) ((\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2)) \xi_+^{tb} l_y^c, \\ (y_+^{ct})_0 &= (a - (2 + a^2 l_x^c) b \mu \xi_+^{tb} - 10/9 a l_x^c k_b (l_0 + 1) ((\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2)) \xi_+^{cb} l_y^c. \end{aligned} \quad (28)$$

$$l_y^c = \frac{36}{36 + 9h + 4k_0 b (9(\xi_-^{tb})^2 + (\xi_-^{ts})^2 + (10l_0 - 1)((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2) + 18ab \mu \xi_-^{tb}}. \quad (29)$$

Отсюда видно, что определители B_-^{tb} и B_-^{ts} равны между собой, и, следовательно, в качестве решения однородного уравнения (26) можно выбрать как тривиальное решение $\xi_-^{ts} = 0$, так и нетривиальное, причём последнее реализуется при условии равенства нулю определителя $B_- = B_-^{tb} = B_-^{ts}$. Как было показано в [1], [2], ненулевые значения для относительных отклонений Δ_b, Δ_{FB}^b получаются в случае нетривиального решения для ξ_-^{tb} , поэтому в данном случае будем считать, что осуществляется условие $B_- = 0$,

при котором однородное уравнение (26) относительно параметра ξ_-^{ts} имеет нетривиальное решение. Заметим, что параметр x_+^{sb} , описывающий нейтральный переход между левополяризованными s - и b -кварками, связан с ξ_-^{ts} следующим соотношением в нулевом приближении:

$$x_+^{sb} = (-a + (2 + a^2 l_y^c) b \xi_+^{tb} + 10/9 a l_y^c k_b (l_0 + 1) ((\xi_+^{tb})^2 + (\xi_+^{cb})^2) \xi_-^{ts} l_x^c). \quad (30)$$

Итак, мы пришли к выводу, что если выполняется условие (23), то правая компонента x_-^{sb} нейтрального перехода $\bar{s}Wb$ равна нулю. Кроме того, левая компонента x_+^{sb} может принимать произвольные значения, если выполняется условие равенства нулю определителя однородных уравнений (25), (26). Вычислим массу c -кварка с учётом диаграмм, содержащих вклады с участием s -кварка. Однопетлевые диаграммы, дающие вклады в массу c -кварка и имеющие квадратичную расходимость, представлены на рис. 2.

После вычисления петлевых интегралов выражение для массы c -кварка с учётом соотношений (24) принимает вид

$$\begin{aligned} m_c &= \frac{K}{4\theta} M_t \left(\frac{3}{\sqrt{2}} (U_{cb} \xi_+^{cb} + U_{cs} \xi_+^{cs}) - \frac{3}{2} y^c - y_+^{ct} y_-^{ct} - 3\sqrt{2} U_{cb} \mu \hat{\xi}_-^{cb} \right); \\ y_-^{ct} &= \left(a - 2b\mu \xi_-^{tb} / U_{tb} + \frac{ab}{2} \mu x_0^b + \frac{10}{9} k_b (x_0^b \xi_-^{tb} + x_+^{sb} \xi_-^{ts}) (l_0 + 1) \right) \xi_+^{tb} U_{cb}; \\ y^c &= \left(a - 2b\mu \xi_-^{tb} / U_{tb} + \frac{ab}{2} \mu x_0^b + \frac{10}{9} k_b (x_0^b \xi_-^{tb} + x_+^{sb} \xi_-^{ts}) (l_0 + 1) \right) \xi_+^{cb} U_{cb}. \end{aligned} \quad (31)$$

Однако массу c -кварка можно также выразить иным способом, а именно из условия (23):

$$\bar{m}_c = \frac{|U_{cb}| \xi_+^{tb}}{|U_{tb}| \xi_+^{cb}} M_t. \quad (32)$$

Рассчитаем относительные отклонения ширины Δ_b и асимметрии A_{FB}^b от СМ [2], подбирая $\xi_\pm^{tb}, \xi_\pm^{cb}$ таким образом, чтобы определитель B_{tb} (25) обращался в нуль. Результаты вычислений представим в виде табл. 1, замечая при этом, что m_c — масса c -кварка, найденная из выражения (31), а под \bar{m}_c подразумевается масса c -кварка, вычисленная с помощью соотношения (32). При этом в качестве $|U_{cb}|$ выбирается среднее значение 0.039.

Таблица 1.

λ_V	ξ_-^{tb}	ξ_+^{tb}	ξ_+^{cb}	$\Lambda, T \Delta B$	Δ_b	Δ_{FB}^b	κ	$m_c, \Gamma \Delta B$	$\bar{m}_c, \Gamma \Delta B$
-0.03	0.173	0.05	0.1872	7.827	0.0023	-0.0377	-0.119	1.816	1.816
	0.174	0.0506	0.1883	7.823	0.005	-0.0407	-0.121	1.827	1.83
-0.04	0.1971	0.0478	0.214	6.786	0.002	-0.0433	-0.114	1.555	1.557
	0.1976	0.0494	0.21504	6.784	0.0058	-0.0442	-0.118	1.56	1.562
-0.045	0.2062	0.0475	0.2244	6.404	0.0013	-0.0426	-0.113	1.436	1.438
	0.2073	0.0483	0.226	6.401	0.0053	-0.0448	-0.115	1.456	1.453
-0.05	0.2155	0.0465	0.2344	6.08	0.001	-0.0444	-0.111	1.349	1.349
	0.217	0.0474	0.2363	6.077	0.0047	-0.0475	-0.113	1.365	1.364
-0.06	0.2314	0.0447	0.2516	5.559	0.0002	-0.047	-0.107	1.197	1.208
	0.2335	0.0454	0.2541	5.555	0.0042	-0.0507	-0.109	1.219	1.215

Оценку для значения ξ_+^{sb} можно найти из данных по относительной ширине $BR(b \rightarrow s\gamma) = 3.21 \pm 0.43 \times 10^{-4}$ [14], учитывая, что вершина (4) даёт для ширины распада $\Gamma(b \rightarrow s\gamma)$ следующее выражение:

$$\Gamma(b \rightarrow s\gamma) = \frac{1}{4M_t^2} \alpha m_b ((x_+^{sb})^2 + (x_-^{sb})^2). \quad (33)$$

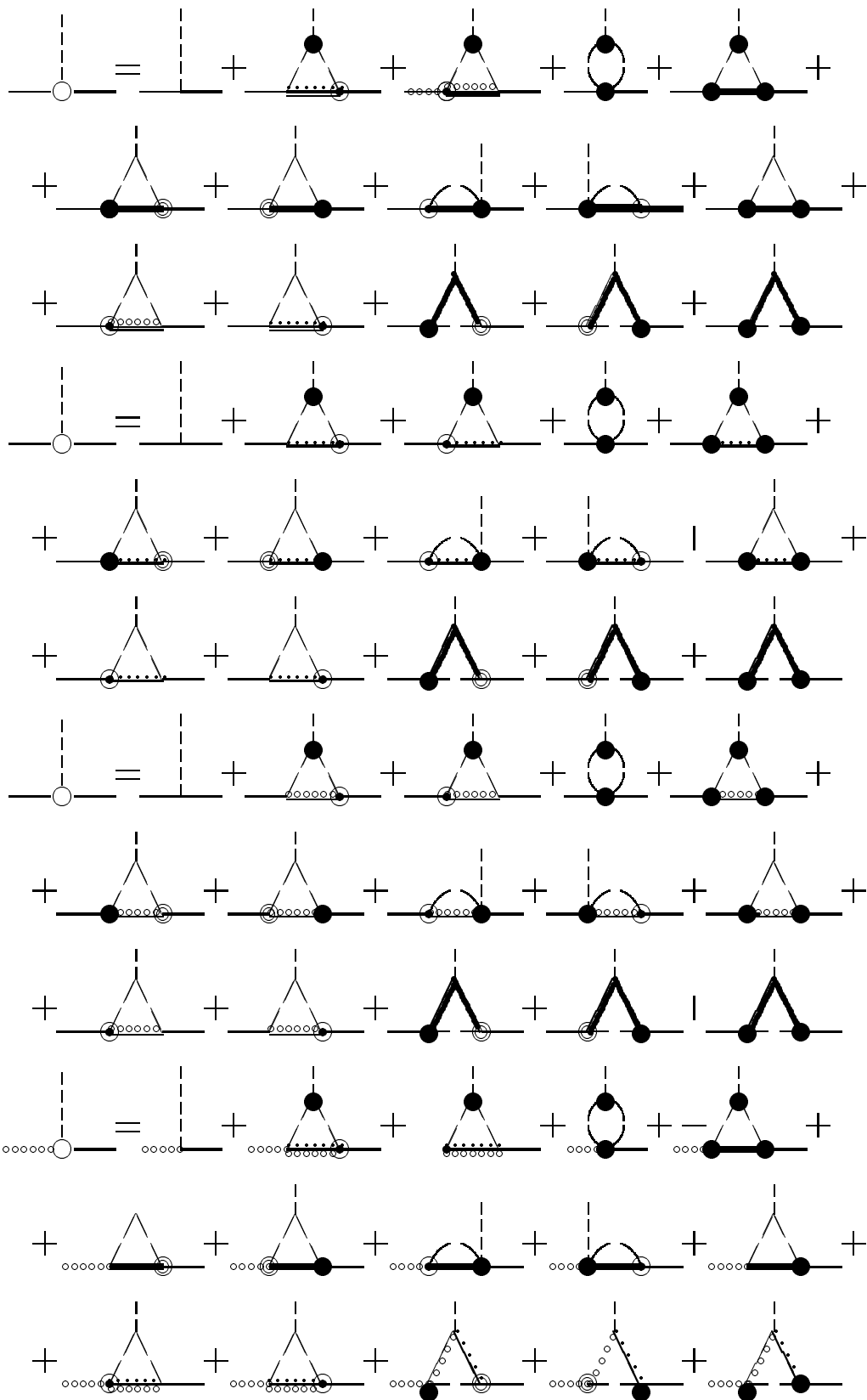
Заключение

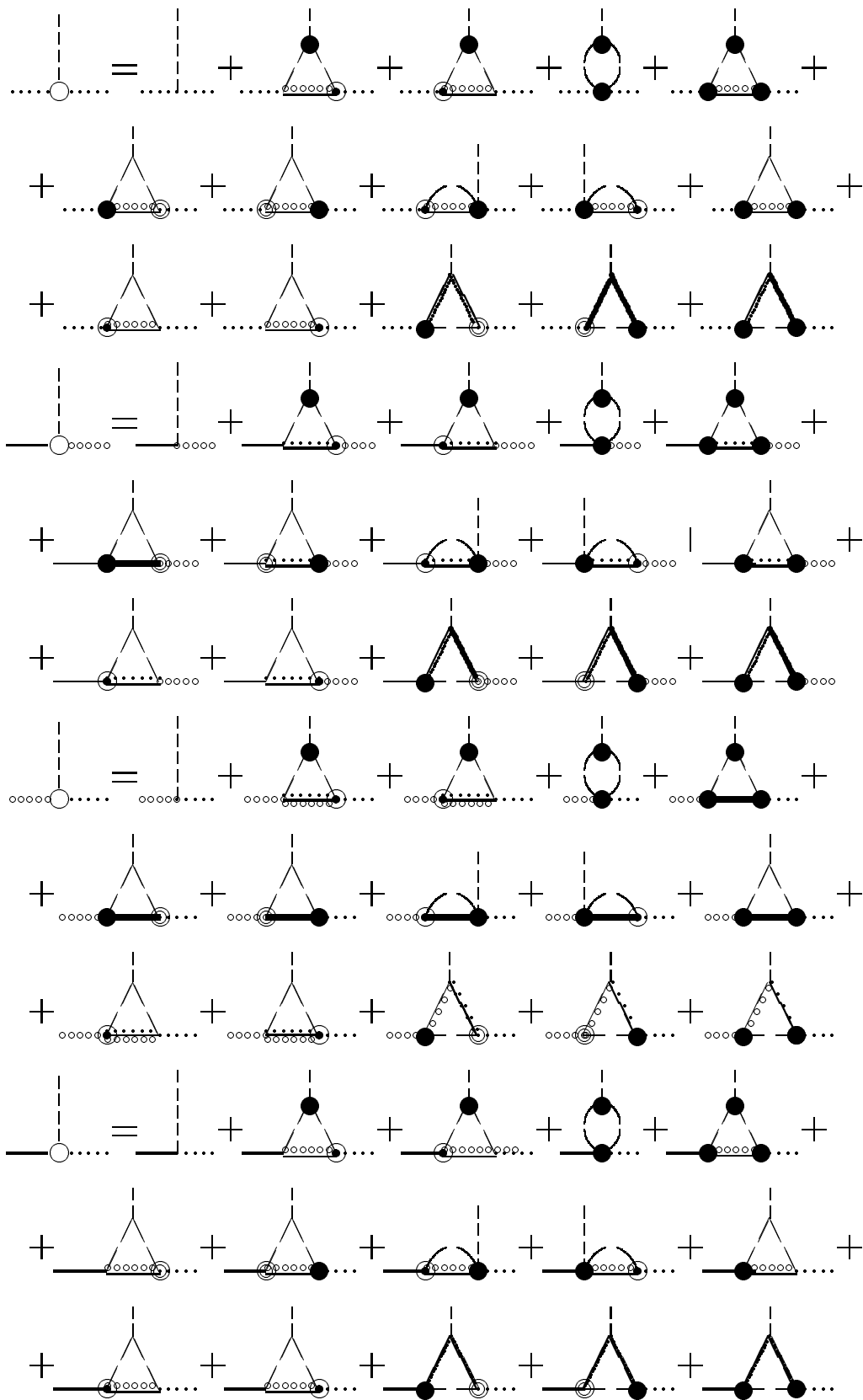
В заключение отметим, что при рассмотрении возможности аномальных взаимодействий s -кварка в рамках рассматриваемого варианта модели динамического нарушения электрослабой симметрии найдено частное решение, приводящее к нулевому значению параметра x_-^{sb} , который описывает взаимодействие правополяризованных кварков в переходе $b \rightarrow s$. Как было показано, данное решение осуществляется при соотношении $U_{ts}\xi_+^{tb} + \eta U_{cs}\xi_+^{cb} = 0$. Значения ξ_+^{tb}, ξ_+^{cb} , при которых удовлетворяется данное условие, приводят к неплохим результатам для относительных отклонений ширины Δ_b и асимметрии A_{FB}^b . Параметр x_+^{sb} , характеризующий участие во взаимодействии “левых” кварков, в силу равенства нулю определителя B_{ts} (26), при котором существует также нетривиальное решение для ξ_-^{tb} , может быть отличен от нуля, и его значения могут быть оценены из экспериментальных ограничений, накладываемых на относительную ширину распада $BR(b \rightarrow s\gamma)$.

Автор благодарен Б.А. Арбузову за обсуждения и критические замечания.

Обозначения, использующиеся в представленных ниже диаграммах

- Вершины Стандартной Модели ——— линия t -кварка;
- Аномальные вершины: вершина (1) ——— линия b -кварка;
и вершина со структурой $\sigma_{\mu\nu}k_\nu$;
- ⊙ Вершина со структурой $\gamma_\rho k^2 - \hat{k}k_\rho$; ○○○○○○ линия s -кварка;
- ⊙ = ⊙ + ●; ⋯⋯⋯ линия c -кварка; — — бозонная линия;
- = • + ⊙; ———— Сумма линий t, b, c и s -кварков.





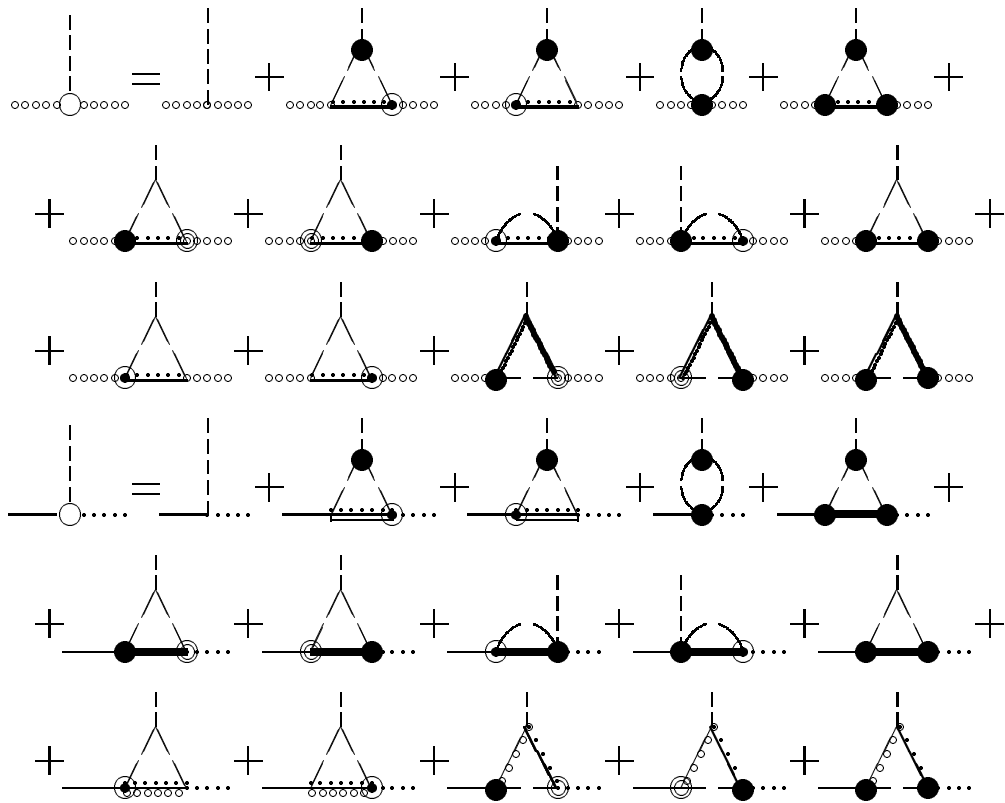


Рис. 1. Диаграммное представление систем уравнений (13)-(16).



Рис. 2. Диаграммы, дающие вклады в массу с-кварка.

Список литературы

- [1] Б.А. Арбузов, М.Ю. Осипов. // *Письма в ЖЭТФ*, т. 66, с. 299 (1997).
- [2] Б.А.Арбузов, М.Ю.Осипов. Препринт ИФВЭ 2001-15, Протвино, 2001.
- [3] В.А. Arbuzov. // *Phys. Lett. B.*, vol. 288, p. 179 (1992).
- [4] Б.А. Арбузов, М.Ю. Осипов. // *ЯФ*, т. 62, с. 528 (1999).
- [5] В.А. Arbuzov. In: *Advanced Study Conference on: HEAVY FLAVOURS, Pavia (Italy)*, ed. G.Bellini et al., Frontiers, Gif-sur-Yvette, p. 227 (1994).
- [6] Н.Н. Боголюбов. Препринт ОИЯИ Д-781, Дубна, 1961.
- [7] P. Langacker, hep-ph/0110129 (2001).

- [8] K. Hagiwara, R.D. Peccei, D. Zeppenfeld and K. Hikasa. // *Nucl. Phys. B.*, vol. 282, p. 253 (1987).
- [9] K. Hagiwara, S. Ishihara, S. Szalapski, D. Zeppenfeld. // *Phys. Rev. D.*, vol. 48, p. 2182 (1993).
- [10] Б.А. Арбузов, С.А. Шичанин. // *Письма в ЖЭТФ*, т.60, с. 75 (1994).
- [11] B.A. Arbuzov. // *Phys. Lett. B.*, vol. 353, p. 532 (1995).
- [12] R. Barate et al. (ALEPH Collaboration), CERN-EP-2000-102, Geneva, submitted to *Phys. Lett. B* (2000).
- [13] R. Barbieri, G. Cacciapaglia, hep-ph/0107148, vol. 1 (2001).
- [14] S. Chen et al. hep-ex/108032, vol. 1 (2001).

Ручкопись поступила 15 июля 2002 г.

М.Ю. Осипов.

Подавление нейтрального перехода $\bar{s}W^0b$ в одном варианте модели динамического нарушения электрослабой симметрии.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 18.07.2002. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 2. Уч.-изд.л. 1,6. Тираж 130. Заказ 117. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

