

Проявление аномальных взаимодействий топ-кварка при высоких энергиях

Денисов В.В.

Научный руководитель: Слабоспицкий С.Р.
Московский физико-технический институт
НИЦ „Курчатовский институт“ – ИФВЭ

11 июля 2017

План дипломной работы

- Введение
- Феноменологический лагранжиан FCNC(Flavor-changing neutral current) взаимодействия
- КЭД взаимодействие
- КХД взаимодействие
- Правила Фейнмана
- Ширины
- Результаты

Введение

- Стандартная Модель (СМ) хорошо описывает современные экспериментальные данные, однако есть ряд проблем (темная материя, масса нейтрино и другие)
- Поиск новой физики за рамками СМ
- Топ-кварк один из перспективных объектов для проявления новой физики

Преимущества физики t-кварка

- Время жизни t-кварка много меньше времени адронизации(на порядок)
- Основная мода распада($t \rightarrow Wb$)
- Хорошая точность вычислений в рамках СМ процессов с t-кварками
- FCNC(например: $t \rightarrow Vu(c)$) в СМ сильно подавлены из-за GIM-механизма ($\sim 10^{-11} - 10^{-13}$)
- Вклад новых взаимодействий за рамками СМ может резко увеличить вероятности таких процессов

Феноменологический лагранжиан FCNC взаимодействия

Существуют различные варианты расширения SM:

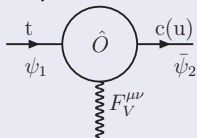
- SUSY
- Суперструны
- ...

Одним из альтернативных подходов является рассмотрение феноменологического лагранжиана с операторами высших размерностей.

Феноменологический лагранжиан FCNC взаимодействия

Требования к построению лагранжиана

Лагранжиан взаимодействия будет рассматриваться в виде:



$$\mathcal{L}_{FCNC} \propto \bar{\psi}_2 \hat{O}^{\mu\nu} \psi_1 F_V^{\mu\nu}$$

- Рассматриваем взаимодействие с одним калибровочным бозоном
- Лагранжиан должен обладать калибровочной и Лоренц-инвариантностью
- Оператор $\hat{O}^{\mu\nu}$ состоит из матриц Дирака $(1, \gamma^\mu)$ и ковариантных производных
- Каждое слагаемое лагранжиана содержит размерный параметр Λ и независимые аномальные константы

Важные замечания!

1

$$\bar{\psi}_2(\gamma^\alpha D^{*\alpha})\gamma^\mu D^\nu \psi_1 F_V^{\mu\nu} \rightarrow \kappa(q^2)\bar{\psi}_2\gamma^\mu D^\nu \psi_1 F_V^{\mu\nu}$$

- 2** Явный вид правил Фейнмана приводится для вершин с одним и двумя бозонами. Для вершины с тремя и четырьмя бозонами не приведен („радиационные поправки“)

Операторы размерности 5 и 6 известны.

Лагранжиан размерности 5

$$\mathcal{L}_{FCNC}^{(5)} = \frac{e_q \kappa_A}{\Lambda_A} \bar{\psi}_2 \sigma^{\mu\nu} \psi_1 F^{\mu\nu} + g_s \frac{\kappa_G}{\Lambda_G} \bar{\psi}_2 t^a \sigma^{\mu\nu} \psi_1 G_a^{\mu\nu}$$

Обозначения

$$F^{\mu\nu} = \partial_\mu A^\nu - \partial_\nu A^\mu, \quad G_a^{\mu\nu} = \partial_\mu G_a^\nu - \partial_\nu G_a^\mu + g_s f^{abc} G_b^\mu G_c^\nu$$

FCNC: взаимодействие с фотоном

Вид оператора размерности 7

$$\mathcal{L}_{(7)}^{\text{QED}} = \frac{e_q}{\Lambda^3} \bar{\psi}_2 (\xi_1 D^{*\mu} D^\nu + \xi_2 D^\mu D^\nu + \xi_3 D^{*\mu} D^{*\nu}) \psi_1 F^{\mu\nu}$$

Обозначения

$$D_\mu \psi = (\partial_\mu - ie_q A_\mu) \psi, \quad \bar{\psi} D_\mu^* = \bar{\psi} (\partial_\mu + ie_q A_\mu)$$

FCNC: взаимодействие с глюоном

Вид оператора размерности 7

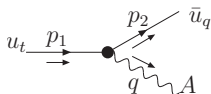
$$\mathcal{L}_{(7)}^{\text{QCD}} = \frac{g_s}{\Lambda^3} \bar{\psi}_2 (\xi_1 D^{*\mu} t^a D^\nu + \xi_2 D^{*\mu} D^{*\nu} t^a + \xi_3 t^a D^\mu D^\nu) \psi_1 G_a^{\mu\nu}$$

Обозначения

$$D_\mu \psi = (\partial_\mu - ig_s t^a G_\mu^a) \psi, \quad \bar{\psi} D_\mu^* = \bar{\psi} (\partial_\mu + ig_s t^a G_\mu^a)$$

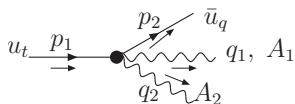
Правила Фейнмана

1 С одним фотоном



$$\frac{e_q}{\Lambda^3} \bar{u}_q (\xi_1 + \zeta_1 \gamma^5) p_2^\mu p_1^\nu (q^\mu g^{\nu\alpha} - q^\nu g^{\mu\alpha}) u_t A^\alpha$$

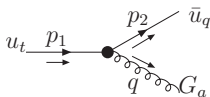
2 С двумя фотонами



$$\frac{e_q^2}{\Lambda^3} \bar{u}_q \{ (\xi_1 + \zeta_1 \gamma^5) [(q_1 + q_2)^\alpha (q_1 + q_2)^\beta - (q_1 + q_2)^2 g^{\alpha\beta}] + 2(\xi_2 + \zeta_2 \gamma^5) [(q_1 q_2) g^{\alpha\beta} - q_2^\alpha q_1^\beta] \} u_t A_1^\alpha A_2^\beta$$

Правила Фейнмана

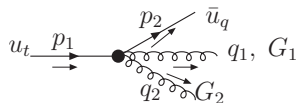
С одним глюоном



$$\frac{g_s}{\Lambda^3} \bar{u}_q (\xi_1 + \zeta_1 \gamma^5) p_2^\mu p_1^\nu t^a (q^\mu g^{\nu\alpha} - q^\nu g^{\mu\alpha}) u_t G_a^\alpha$$

Правила Фейнмана

С двумя глюонами



$$\begin{aligned}
 & \frac{g_s^2}{\Lambda^3} \bar{u}_q (\xi_1 + \zeta_1 \gamma^5) \times \\
 & \left\{ t^a t^b \left[(p_2 q_1) g^{\alpha\beta} - (p_1 q_2) g^{\alpha\beta} + p_1^\beta q_2^\alpha - p_2^\alpha q_1^\beta + p_2^\alpha p_1^\beta - p_1^\alpha p_2^\beta \right] - \right. \\
 & \left. - t^b t^a \left[(p_1 q_1) g^{\alpha\beta} - (p_2 q_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha q_1^\beta + p_2^\beta q_2^\alpha + p_2^\alpha p_1^\beta - p_1^\alpha p_2^\beta \right] \right\} + \\
 & + (\xi_2 + \zeta_2 \gamma^5) \left(\frac{1}{3} \delta^{ab} + d^{abc} t^c \right) [(q_1 q_2) g^{\alpha\beta} - q_1^\beta q_2^\alpha] u_t G_{1a}^\alpha G_{2b}^\beta
 \end{aligned}$$

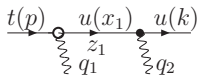
Амплитуды распадов

$$t \rightarrow qV(\gamma, g)$$

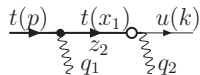
за счет операторов размерности 7 равны нулю, поэтому
вычисляются распады

$$t \rightarrow qV_1 V_2$$

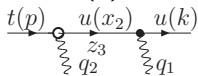
Ширины распадов топ-кварка



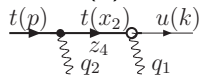
(a)



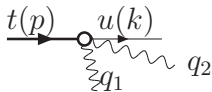
(b)



(c)



(d)



(e)

Рис. : Диаграммы, описывающие распад $t \rightarrow u\gamma\gamma$

Ширины распадов топ-кварка

Полный квадрат амплитуды такого процесса

$$|M|^2 = \frac{e_q^4 \xi_1^2}{\Lambda^6} 32(q_1 q_2)^2 [(pk) + \mu m]$$

Ширина:

$$\Gamma_{anom} = \alpha^2 |\xi_1^{(7)}|^2 \left(\frac{m}{\Lambda}\right)^6 \frac{m}{270\pi}$$

Ширины распадов топ-кварка

Получим ограничение на аномальную константу из ограничения на ширину топ-кварка:

$$\Gamma_t \leq 1.76 \text{ ГэВ}$$

и ширины t-кварка в рамках СМ.

$$\Gamma_{SM} = 1.32 \text{ ГэВ}$$

Имеем:

$$\Gamma_{anom} + \Gamma_{SM} \leq \Gamma_t$$

$$|\xi_1^{(7)}| \leq 3.7 \times 10^4$$

Результаты

- 1 Сформулированы принципы построения операторов аномального FCNC взаимодействия
- 2 Построен оператор аномального FCNC взаимодействия t-кварка с фотоном и глюоном размерности 7
- 3 Получены правила Фейнмана для таких взаимодействий
- 4 Посчитаны ширины процессов с таким взаимодействием
- 5 Получено ограничение на аномальную константу такого взаимодействия

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!