

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА  
АННИГИЛЯЦИОННОГО РОЖДЕНИЯ ПАРЫ ОЧАРОВАННЫХ КВАРКОВ.  
АССИМЕТРИЯ ВПЕРЕД-НАЗАД**

<sup>1</sup>Куриленко В.Р., <sup>2</sup>Садовский А.А., <sup>3</sup>Лукашевич С.А.

<sup>1</sup>ГГУ им. Франциска Скорины, Факультет физики и ИТ, г. Гомель, Республика Беларусь, valera.kaban4ik@gmail.com

<sup>2</sup>ГГУ им. Франциска Скорины, Факультет физики и ИТ, г. Гомель, Республика Беларусь, sadovskiy2007@gmail.com,

<sup>3</sup>ГГУ им. Франциска Скорины, Факультет физики и ИТ, г. Гомель, Республика Беларусь, lukashevich@gsu.by

Одной из основных задач экспериментов на современных и будущих ускорительных комплексах таких как, например, CLIC, ILC, является поиск новых частиц и взаимодействий, существование которых предсказывается нестандартной («новой») физикой за рамками СМ. В этой связи оптимизация стратегии поиска эффектов нестандартной физики, в частности, новых нейтральных калибровочных бозонов  $Z'$  на Международном линейном коллайдере ILC является чрезвычайно актуальной и важной задачей. В статье эта проблема решается с помощью сечения аннигиляционного рождения с-кварков и асимметрии вперед-назад, в процессе  $e^+e^- \rightarrow c^+c^-$ .

Амплитуду для электрон-позитронной аннигиляции в пару очарованных с-кварков можно представить в виде диаграмм Фейнмана:

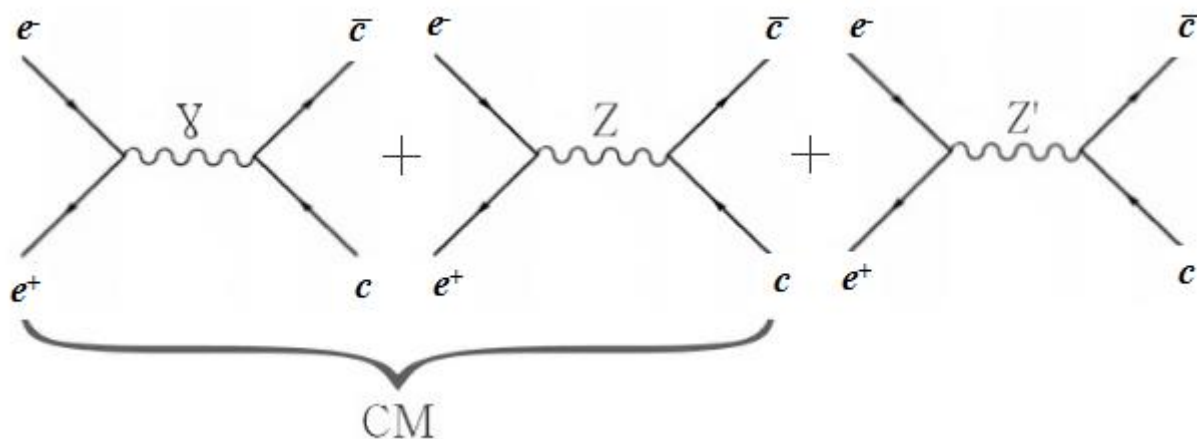


Рисунок 1 – Диаграммы Фейнмана для электрон-позитронной аннигиляции в пару очарованных с-кварков

Вероятность электромагнитного процесса описываемого первой диаграммой Фейнмана на рисунке 1 определяется, главным образом 2 факторами:

1) Интенсивность электромагнитного взаимодействия определяется константой  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137} \ll 1, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — постоянная тонкой структуры.

2) Сечение рождения пары очарованных с-кварков определяется квадратом модуля электромагнитной( $\gamma$ ), слабой( $Z$ ) амплитуды и амплитудой с обменом  $Z'$ -бозона.

Сама вероятность этого процесса  $\sim a_e$ , определяется значением дифференциального эффективного сечения.

Дифференциальное сечение электрон-позитронной аннигиляции в пару фермионов  $e^+e^- \rightarrow ff$  для неполяризованных начальных пучков может быть записано в борновском приближении:

$$\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} = \frac{\pi\alpha_{e.m.}^2}{2S} [(1 + \cos^2\theta)F_1 + 2\cos\theta F_2], \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол рассеяния между направлением движения начального электрона и вылетающего фермиона  $f$ . Кроме того, функции  $F_1$  и  $F_2$ :

$$F_1 = F_1^{SM} + \Delta F_1, \quad F_2 = F_2^{SM} + \Delta F_2. \quad (3)$$

В равенстве (4):

$$\begin{aligned} F_1 &= Q_e^2 Q_f^2 + 2 Q_e v_e Q_f v_f \text{Re}\chi_Z + (v_e^2 + a_e^2)(v_f^2 + a_f^2)|\chi_Z|^2, \\ F_2 &= 2 Q_e a_e Q_f a_f \text{Re}\chi_Z + 4 v_e a_e v_f a_f |\chi_Z|^2, \end{aligned} \quad (4)$$

а их отклонения, обусловленные  $Z'$ :

$$\begin{aligned} \Delta F_1 &= 2 Q_e v'_e Q_f v'_f \text{Re}\chi_Z + (v'^2_e + a'^2_e)(v'^2_f + a'^2_f)|\chi_Z|^2 + \\ &+ 2(v_e v'_e + a_e a'_e)(v_f v'_f + a_f a'_f) \text{Re}(\chi_Z \chi_{Z'}^*) \\ \Delta F_2 &= 2 Q_e a'_e Q_f a'_f \text{Re}\chi_Z + 4 v'_e a'_e v'_f a'_f |\chi_Z|^2 + 2(v_e a'_e + \\ &+ v'_e a_e)(v_f a'_f + v'_f a_f) \text{Re}(\chi_Z \chi_{Z'}^*) \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $\chi_V = s/(s - M_V^2 + iM_V \Gamma_V)$ –пропагатор векторного бозона ( $V = Z, Z'$ ). Фермионные константы связи нормированы следующим образом:

$$v_f = \frac{g_Z}{e} V_Z^f, \quad a_f = \frac{g_Z}{e} A_Z^f, \quad v'_f = \frac{g_{Z'}}{e} V_{Z'}^f, \quad a'_f = \frac{g_{Z'}}{e} A_{Z'}^f. \quad (6)$$

Полная ширина распада  $Z'$ -бозона,  $\Gamma_{Z'}$ , может быть представлена в виде суммы парциальных ширин распада в фермионную пару:

$$\Gamma_{Z'}^{ff} = \frac{\alpha_{e.m.} M_{Z'}}{3} \sqrt{1 - 4m_f^2/M_{Z'}^2} [v_f'^2 + a_f'^2 + 2m_f^2/M_{Z'}^2 (v_f'^2 - 2a_f'^2)]. \quad (7)$$

Лептонный канал процесса (1) в предположении  $e$ - $l$ -универсальности имеет очевидное преимущество перед процессом с произвольным конечным фермионным состоянием, состоящее в зависимости наблюдаемых от меньшего числа свободных параметров. В частности, лептонный процесс зависит от двух констант связи,  $v'_l$  и  $a'_l$ , и массы  $M_{Z'}$ . Для описания же процесса  $e^+e^- \rightarrow c^+c^-$  требуется также информация о

кварковых константах связи. В данной работе исследуется лептонный процесс (1) с  $l = c$  при энергиях действующей установки LEP2, при этом традиционно рассматриваются следующая пара интегральных наблюдаемых, полное сечение рассеяния,  $\sigma_{cc}$ , и асимметрия вперед–назад,  $A_{FB}$ :

$$\sigma_{cc} = 3 \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{cc}}{d\cos\theta} d\cos\theta = 3\sigma_{pt}F_1, \quad (8)$$

где:  $\sigma_{pt} \equiv \sigma(e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \bar{c}c) = (4\pi\alpha_{e.m.}^2)/(3s)$

$$A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_{cc}} \equiv \frac{\sigma_{cc}^F - \sigma_{cc}^B}{\sigma_{cc}} = \frac{3F_2}{4F_1}. \quad (9)$$

Здесь сечение рассеяния в переднюю и заднюю полусферу определяются, соответственно, как

$$\sigma_{cc}^F = \int_0^1 \left( \frac{d\sigma_{cc}}{d\cos\theta} \right) d\cos\theta, \text{ и } \sigma_{cc}^B = \int_{-1}^0 \left( \frac{d\sigma_{cc}}{d\cos\theta} \right) d\cos\theta.$$

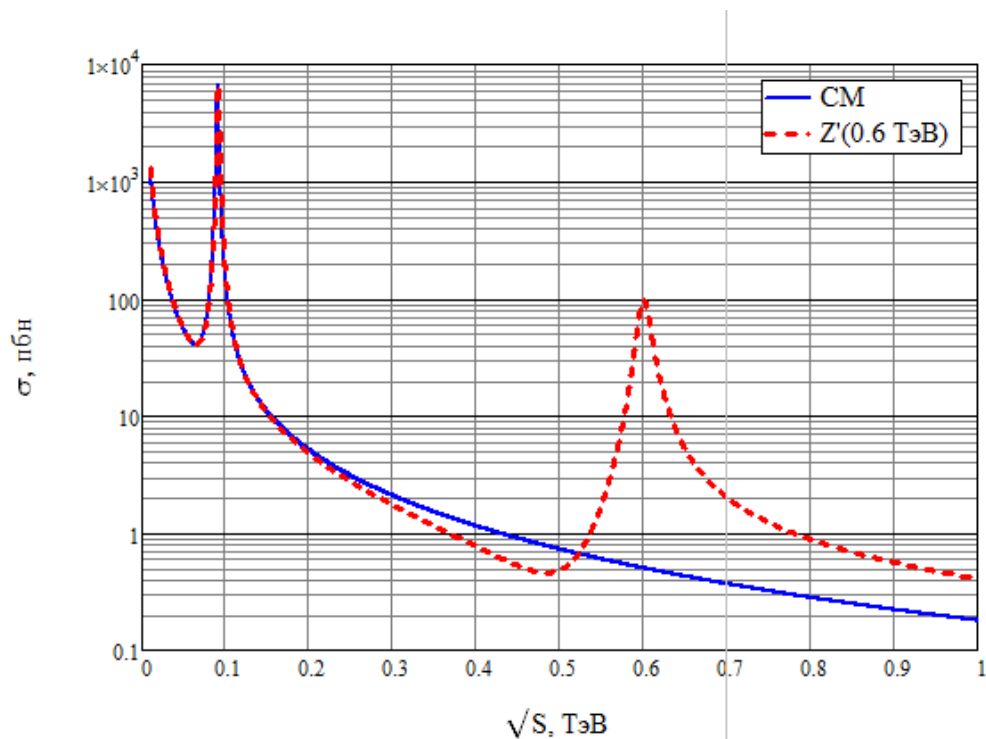


Рисунок 2 – Энергетическая зависимость полного сечения для Стандартной модели и модели, предсказывающей существование  $Z'$ -бозона при  $\sqrt{s}=[10,1000]$  ГэВ,  $M_{Z'} = 600$  ГэВ

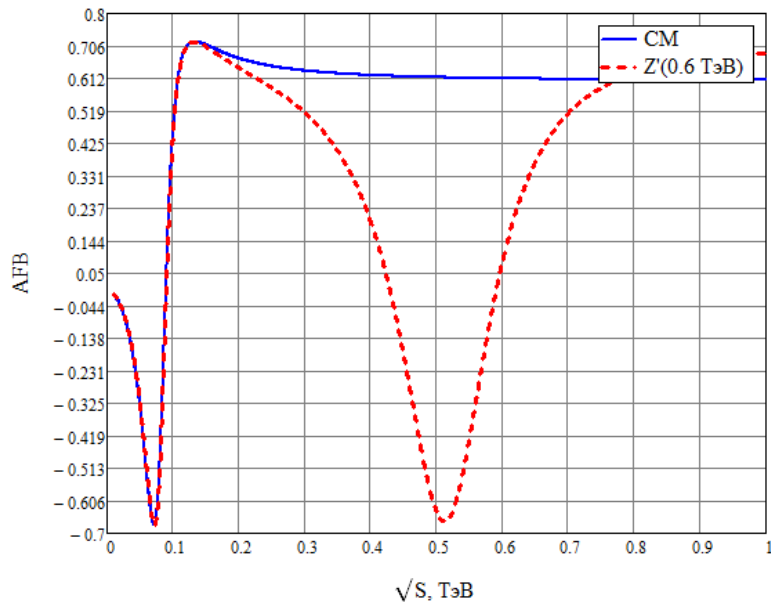


Рисунок 3 – Энергетическая зависимость асимметрии вперед-назад Стандартной модели и модели, предсказывающей существование  $Z'$ -бозона при  $\sqrt{s}=[10,1000]$  ТэВ,  $M_{Z'} = 600$  ТэВ

Вывод:

В работе исследованы интерференционные эффекты новых нейтральных  $Z'$  векторных бозонов в сечении  $\sigma_{cc}$  рассеяния и асимметрии вперед-назад AFB в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару,  $e^+e^- \rightarrow c^+c^-$ , и выявлены их характерные особенности в энергетическом поведении по сравнению с такими же эффектами в Стандартной модели. Показано, что знаки отклонений сечения  $\sigma_{cc}$  рассеяния и асимметрии вперед-назад AFB от поведения, предсказываемого Стандартной Моделью,  $\Delta\sigma \equiv \sigma(Z') - \sigma(\text{SM})$  и  $\Delta\text{AFB} \equiv \text{AFB}(Z') - \text{AFB}(\text{SM})$ , имеют специфическую корреляцию в энергетическом поведении, характерную для интерференционных эффектов  $Z'$ -бозонов, и которое может быть обнаружено и детально исследовано на будущем Международном линейном электрон-позитронном коллайдере ILC.

Список литературы:

1. Капитонов, И. М. Введение в физику ядра и частиц: Учебное пособие. – М.: Едиториал УРСС, 2002.–384 с.
2. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988.–272 с.
3. Barger, V. And Phillips, R. Collider Physics, updated edition. – С.: Addison-Wesley Publishing Company. 2006. –9 p.
4. A. Djouadi, A. Leike, T. Riemann, D. Schaile, C. Verzegnassi Signals of new gauge bosons at future e+e- colliders, Z. Phys. – С.: Particles and Fields 56, 1992.–P. 289-300.