В. Р. Куриленко^{1,2}, Д. В. Синегрибов^{1,2}, С. А. Лукашевич¹, А. А. Бабич², А. А. Панков^{2,3} ¹УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь ²УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Гомель, Беларусь ³Объединенный институт ядерных исследований, ОИЯИ, Дубна, Россия

МОДЕЛЬНО-НЕЗАВИСИМЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ НОВЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ НА ЛИНЕЙНОМ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОН КОЛЛАЙДЕРЕ ILC

Введение

Стандартная модель сильных и электрослабых взаимодействий элементарных частиц (СМ), основанная на калибровочной группе $SU(3)_C \Psi SU(2)_L \Psi U(1)_Y$, достигла поистине впечатляющих успехов в

описании экспериментальных данных во всем интервале достижимых на сегодняшний день энергий. Основными задачами экспериментов на будущих ускорительных электрон-позитронных комплексах таких, например, как ILC и CLIC, являются всесторонняя проверка CM, а также поиск новых объектов материи и промежуточных состояний, таких, например, как новые нейтральные калибровочные бозоны Z', существование которых предсказывается моделями, являющимися обобщением CM [1]. В этой связи оптимизация стратегии поиска эффектов нестандартной физики, в частности, Z'-бозонов на Международном линейном коллайдере ILC является чрезвычайно актуальной и важной задачей. Поставленная задача будет решаться с помощью «традиционных» наблюдаемых величин, таких как сечение процесса и асимметрия вперед-назад. При этом будут рассматриваться процессы аннигиляционного рождения пар лептонов ($\overline{\mu} \mu$) и тяжелых кварков – $c\bar{c}$ и $b\bar{b}$.

1. Сечение процесса аннигиляционного рождения фермионных пар. Асимметрия вперед-назад

Дифференциальное сечение электрон-позитронной аннигиляции в пару фермионов $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ для неполяризованных начальных пучков может быть представлено в борновском приближении в виде

$$\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} = \frac{\pi\alpha^2}{2s} \left[(1 + \cos^2\theta)F_1 + 2\cos\theta F_2 \right],$$
$$F_1 = F_1^{SM} + \Delta F_1, F_2 = F_2^{SM} + \Delta F_2.$$
(1)

Функции $F_{1,2}$ зависят от констант связи и масс стандартного Z-бозона и нового тяжёлого нейтрального Z'-бозона [<u>1-3</u>]. Парциальные ширины распада Z'-бозона в фермионные пары имеют вид:

$$\Gamma_{Z'}^{ff} = N_C \frac{\alpha_{e.m.}M_{Z'}}{3} \sqrt{1 - 4m_f^2/M_{Z'}^2} \left[v'_f^2 + a'_f^2 + 2m_f^2/M_{Z'}^2 (v'_f^2 - 2a'_f^2) \right].$$
(2)

Полная ширина распада, $\Gamma_{Z'}$, состоит из суммы парциальных фермионных и бозонных ширин распада [<u>1–3</u>].

Лептонный канал процесса $e^+e^- \to f\bar{f}$ (*f*=*l*) в предположении *el*-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 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ в общем случае требуется также информация о кварковых константах связи.

При анализе процесса парного рождения фермионов традиционно используется следующая пара интегральных наблюдаемых, полное сечение рассеяния, σ_{ff} , и асимметрия вперед-назад, A_{FB} [1]:

$$\sigma_{ff} = \int_{-1}^{1} \frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} d\cos\theta = N_C \sigma_{pt} F_1, \quad A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_{ff}} = \frac{\sigma_{ff}^F - \sigma_{ff}^B}{\sigma_{ff}} = \frac{3F_2}{4F_1}, \quad (3)$$

где $\sigma_{pt} \equiv \sigma(e^+e^- \to \gamma \to \mu^+\mu^-) = (4\pi \alpha_{e.M.}^2)/s$. Цветовой фактор $N_C = 3(1)$ для кварков (лептонов). Сечения рассеяния в переднюю и заднюю полусферы определяются, соответственно, как

$$\sigma_{ff}^{F} = \int_{0}^{1} \left(\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta}\right) d\cos\theta, \quad \sigma_{ff}^{B} = \int_{-1}^{0} \left(\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta}\right) d\cos\theta.$$
(4)
$$ff = \mu^{+}\mu^{-}, b\bar{b}, c\bar{c}.$$

Здесь $ff = \mu^+\mu^-, b\bar{b}, c\bar{c}$.

2. Модельно независимые ограничения на константы связи Z'-бозона

Для количественного представления интерференционной картины рассмотрим три случая, отличающиеся друг от друга разным выбором формионных констант связи v'_l и a'_l , но с одной и той же массой $M_{Z'}$: векторный Z'_V -бозон ($v'_l = 1$, $a'_l = 0$); аксиально-векторный Z'_A -бозон $(v'_l = 0, a'_l = 1); Z'_{VA}$ -бозон $(v'_l = 1, a'_l = 1)$. Во всех случаях, представленных на рисунке 1 и рисунке 2, берется $M_{z'} = 500$ ГэВ.

Если на ИС не удастся обнаружить отклонения наблюдаемых от предсказаний СМ на уровне ожидаемой экспериментальной точности, то в этом случае можно оценить ограничения на параметры (константы связи) Z'-бозона. В настоящей заметке будут получены модельно независимые ограничения на лептонные и кварковые константы связи Z'-бозона на основе статистического анализа данных, ожидаемых из экспериментов на коллайдере ILC.

Чувствительность, например, полного сечения σ к параметрам Z'-бозона можно оценить с помощью функции χ^2 :

$$\chi^2 = \left(\frac{\Delta\sigma}{\delta\sigma}\right)^2. \tag{5}$$



Рисунок 1 – Энергетическая зависимость полного лептонного сечения в и для модели с Z'-бозонами. Подписи на кривых пояснены в тексте



Здесь $\Delta \sigma$ есть отклонение сечения от поведения в СМ. Экспериментальная погрешность $\delta \sigma$ учитывает как статистическую, так и систематическую ошибки. Критерием для ограничений модельно независимых фермионных констант связи v'_f и a'_f служит условие, согласно которому $\chi^2 < \chi^2_{crit}$. Величина χ^2_{crit} определяется требуемым уровнем статистической достоверности. Аналогично определяется и функции χ^2 для асимметрии вперед-назад.

Результаты модельно независимого анализа эффектов Z'-бозонов из (ожидаемых) данных коллайдера ILC по измерению физических

наблюдаемых величин для лептонных и кварковых процессов представлены на рисунках 3 и 4.



Рисунок 3 – Модельно независимые ограничения на лептонные константы *Z'*-бозона, полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад



Рисунок 4 – Модельно независимые ограничения на константы Z'-бозонов (a'_{f}, v'_{f}) , полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад (f = c, b)

Заключение

В работе исследованы интерференционные эффекты новых нейтральных Z'-бозонов в полном сечении и асимметрии впередназад $A_{\rm FB}$ в лептонных и кварковых процессах. Выявлены их харак-

терные особенности в энергетическом поведении в сравнении с такими же эффектами в СМ.

Выполнен статистический анализ эффектов Z'-бозонов, на основе которого впервые получены модельно-независимые ограничения на константы Z'-бозона для процессов $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$, $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$, ожидаемые из экспериментов на коллайдере ILC.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ.

Литература

Pankov, A. A. Z-prime interference effects from TRISTAN to LEP-2
A. A. Pankov, P. Osland // Phys. Lett. B. – 1997. – Vol. 403. – P.93–100.
Pankov, A. A. Searches for new neutral gauge Z-prime bosons at the e+ e- International Linear Collider and their identification / A. A. Pankov,

A. V. Tsytrinov, A.A. Babich, N. V. Karpenko // Phys. Atom. Nucl. – 2010. – Vol. 73. – P. 773–784.

3. Pankov, A. A. Updated constraints on Z' and W' bosons decaying into bosonic and leptonic final states using the run 2 ATLAS data / A. A. Pankov, I. A. Serenkova, P. Osland // Phys. Rev. D. – 2021. – Vol. 103, N_{2} 5, – P. 053009.