### В. Р. Куриленко<sup>1,2</sup>, Д. В. Синегрибов<sup>1,2</sup>, С. А. Лукашевич<sup>1</sup>, А. А. Бабич<sup>2</sup>, А. А. Панков<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь <sup>2</sup>УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Гомель, Беларусь <sup>3</sup>Объединенный 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  $SU(3)_C$ Ч $SU(2)_L$ Ч $U(1)_Y$ , 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 СМ, а также поиск новых объектов материи и промежуточных состояний, таких, например, как новые нейтральные калибровочные бозоны Z', существование которых предсказывается моделями, являющимися обобщением СМ [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  $e^+e^- \to f\bar{f}$  для неполяризованных начальных пучков может быть представлено в борновском приближении в виде

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

$$F_1 = F_1^{SM} + \Delta F_1, F_2 = F_2^{SM} + \Delta F_2. \tag{1}$$

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

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

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

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 за-

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

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

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 ILC 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  $\sigma$  к параметрам Z'-бозона можно оценить с помощью функции  $\chi^2$ :

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

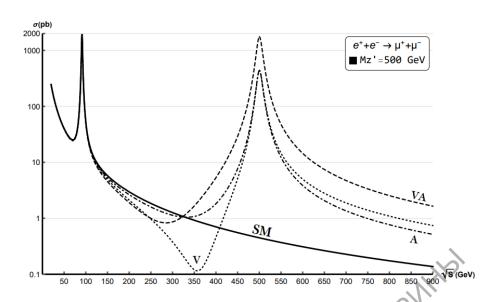


Рисунок 1 — Энергетическая зависимость полного лептонного сечения в и для модели с Z'-бозонами. Подписи на кривых пояснены в тексте

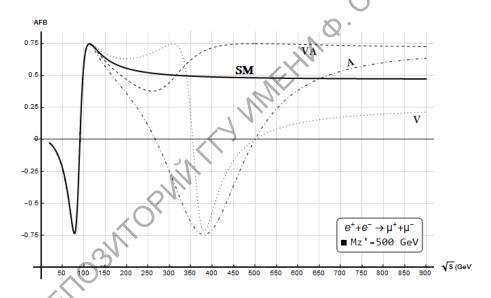


Рисунок 2 — Зависимость аналогичная графикам рисунка 1, но для асимметрии вперед-назад

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  $\chi^2_{crit}$  определяется требуемым уровнем статистической достоверности. Аналогично определяется и функции  $\chi^2$  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.

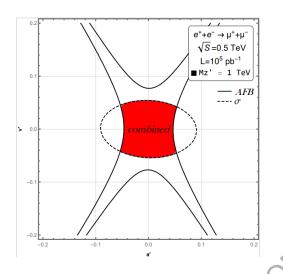


Рисунок 3 — Модельно независимые ограничения на дептонные константы Z'-бозона, полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад

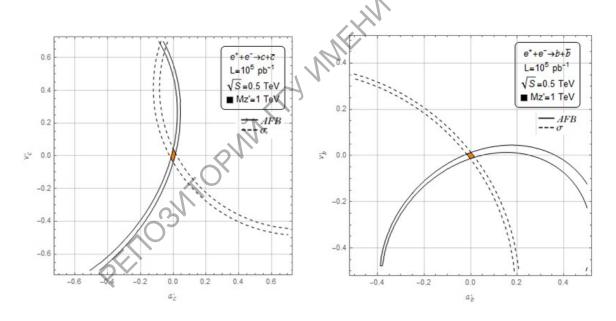


Рисунок 4 — Модельно независимые ограничения на константы Z'-бозонов  $(a'_f, v'_f)$ , полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад (f=c,b)

#### 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  $e^+e^- \to \mu^+\mu^-$ ,  $e^+e^- \to b\bar{b}$ ,  $e^+e^- \to c\bar{c}$ , ожидаемые из экспериментов на коллайдере ILC.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ.

#### Литература

- 1. 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.
- 2. 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, № 5, − P. 053009.