

2. Machleidt, R. High-precision, charge-dependent Bonn nucleon-nucleon potential / R. Machleidt // Phys. Rev. C. – 2001. – Vol. 63, № 2. – P. 024001(32).
3. Relativistic Dispersion Relation Approach to Photomeson Production / G. F. Chew [et al.] / Phys. Rev. – 1957. – Vol. 106, № 6. – P. 1345–1355.
4. A unitary isobar model for pion photo- and electroproduction on the proton up to 1 GeV / D. Drechsel [et al.] // Nucl. Phys. A. – 1999. – Vol. 645, Iss. 1. – P. 145–174.
5. Accurate nucleon-nucleon potential with charge-independence breaking / R. B. Wiringa, V. G. J. Stoks, R. Schiavilla // Phys. Rev. C. – 1995. – Vol. 38, № 1 – P. 38–51.
6. Construction of high-quality NN potential models / V. G. J. Stoks [et al.] // Phys. Rev. C. – 1994. – Vol. 49, № 6. – P. 2950–2963.
7. Coherent π^0 and η photoproduction on the deuteron / S. S. Kamalov, L. Tiator, C. Bennhold // Phys. Rev. C. – 1997. – Vol. 55, № 1. – P. 98–110.
8. Darwish, E. M. Private communication.
9. Coherent pion photoproduction on the deuteron in the Δ resonance region / P. Wilhelm, H. Arenhövel // Nucl. Phys. A. – 1995. – Vol. 593, № 4. – P. 435–462.

**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 $SU(3)_C SU(2)_L U(1)_Y$, 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 ($\bar{\mu} \mu$) 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

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

$$F_1 = F_1^{SM} + \Delta F_1, F_2 = F_2^{SM} + \Delta F_2. \quad (1)$$

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:

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

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

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

$$\sigma_{ff}^F = \int_0^1 \left(\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} \right) d\cos\theta, \quad \sigma_{ff}^B = \int_{-1}^0 \left(\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} \right) d\cos\theta. \quad (4)$$

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 фермионных 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 σ к параметрам Z' -бозона можно оценить с помощью функции χ^2 :

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

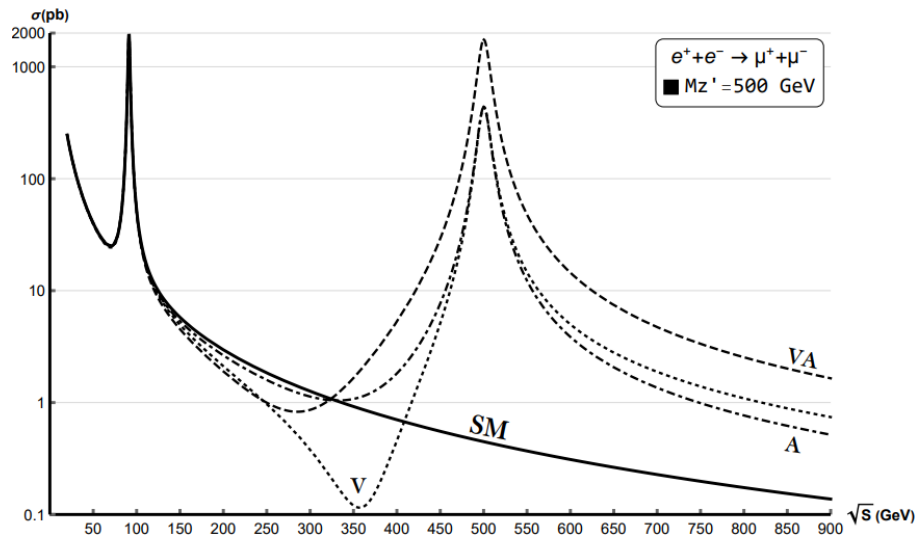


Рисунок 1 – Энергетическая зависимость полного лептонного сечения в и для модели с Z' -бозонами. Подписи на кривых пояснены в тексте

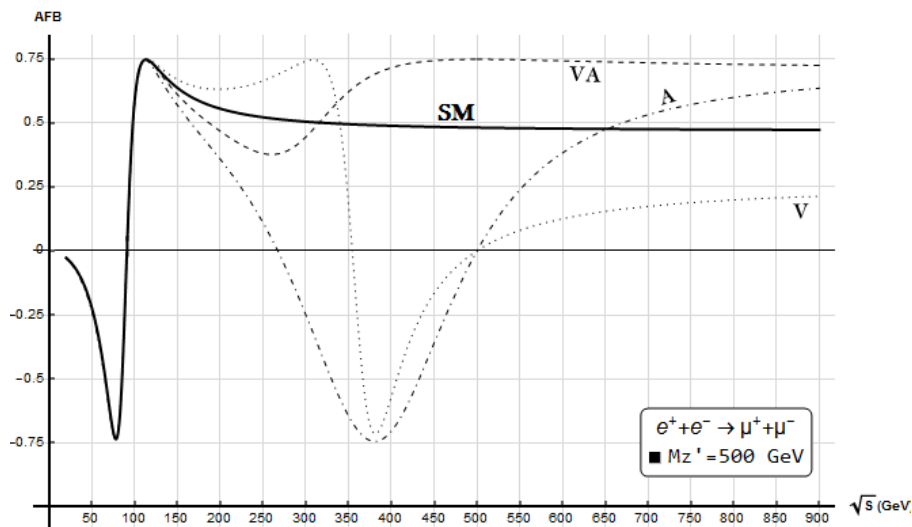


Рисунок 2 – Зависимость аналогичная графикам рисунка 1, но для асимметрии вперед-назад

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 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.

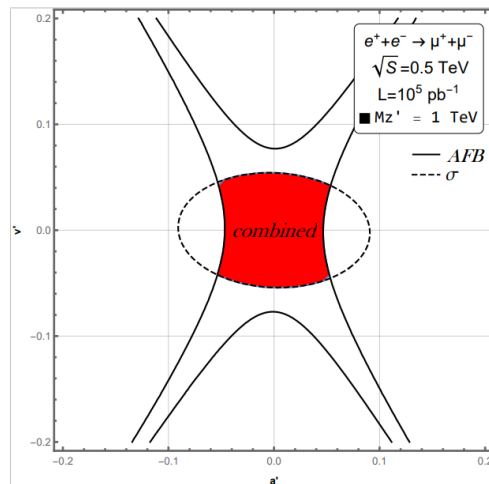


Рисунок 3 – Модельно независимые ограничения на лептонные константы Z' -бозона, полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад

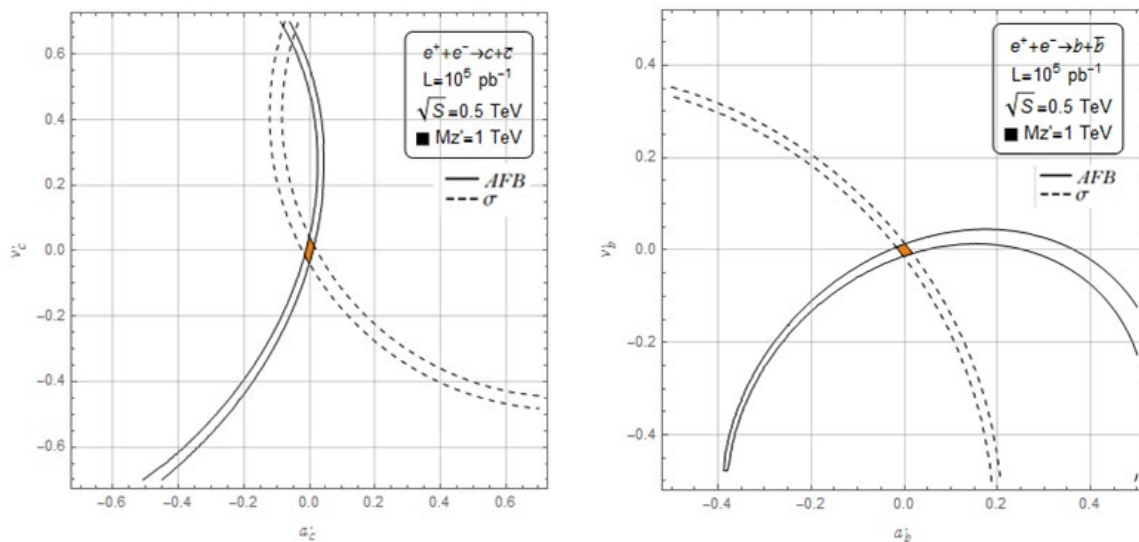


Рисунок 4 – Модельно независимые ограничения на константы Z' -бозонов (a'_f, v'_f) , полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад ($f = c, b$)

Заключение

В работе исследованы интерференционные эффекты новых нейтральных Z' -бозонов в полном сечении и асимметрии вперед-назад A_{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

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.

Ю. А. Курочкин, Н. Д. Шайковская

Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

МЕТОД ГЕОМЕТРИИ ЛОБАЧЕВСКОГО В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КИНЕМАТИКЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ: СПЕЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Введение

На связь теории относительности с геометрией пространства Лобачевского обращали внимание такие выдающиеся ученые как В. Паули, А. Зоммерфельд, В. А. Фок. [1–3] В работах Н. А. Черникова и Я. А. Смородинского процессам столкновений и распадов частиц ставились в соответствие геометрические фигуры (многогранники), являющиеся инвариантными образами описываемых процессов, содержащие информацию об их кинематике [4–5].

В Институте физики имени Б. И. Степанова развит новый метод релятивистской кинематики, основанный на связи бикватернионного