

Таким образом, программа, разработанная для моделирования опыта Резерфорда, является инструментом для исследования поведения атомов и помогает углубить понимание их структуры. Она может использоваться для обучения студентов, проведения научных исследований и разработки новых материалов.

## Литература

1. Резерфорд, Э. Строение атома и искусственное превращение элементов. Избранные научные труды / Э. Резерфорд. – Отв. ред. Г. Н. Флеров ; сост. и ред. перевода Ю.М.Ципенюк. – М. : Наука, 1972. – 63 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебное пособие / И. В. Савельев. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 50 с.

**Д. В. Синегрибов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## АНАЛИЗ АСИММЕТРИИ ЭФФЕКТОВ ТЯЖЕЛЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ НА ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

### Введение

Электрон-позитронный коллайдеры ILC и CLIC активно обсуждаются как важный компонент будущих экспериментов в физике высоких энергий. Интригующим вопросом современной физики элементарных частиц является наличие новых частиц за пределами Стандартной модели (СМ). Точные измерения на ILC и CLIC позволят оценить различные характеристики новых тяжелых частиц. Энергия столкновений  $\sqrt{S_{ILC}} = 0,5, 1$  ТэВ и  $\sqrt{S_{CLIC}} = 3$  ТэВ.

Работа посвящена разработке метода обнаружения интерференционных эффектов новых нейтральных промежуточных бозонов в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару с помощью асимметрии вперед-назад  $A_{FB}$  на будущих электрон-позитронных коллайдерах CLIC и ILC.

### Асимметрия вперед-назад

Амплитуды для процесса  $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$  могут быть получены с помощью диаграмм Фейнмана (рисунок 1):

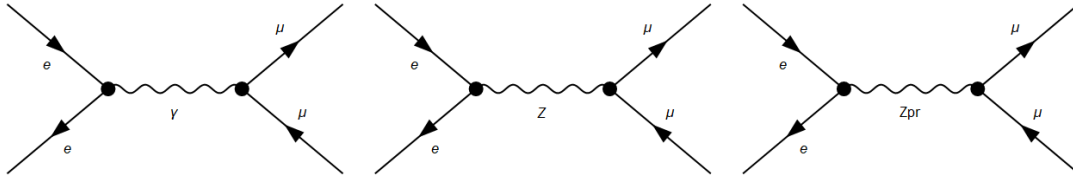


Рисунок 1 – Диаграммы Фейнмана

Полное сечение рассеяния  $\sigma_{\mu\mu}$ :

$$\sigma_{\mu\mu} = \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta = \sigma_{pt} F_1$$

где  $\sigma_{pt} = \frac{4\pi\alpha_{e.m.}^2}{3S}$ ,  $\theta$  – угол рассеяния между направлением движения начального электрона и вылетающего мюона  $\mu$ . Функции  $F_1$  и  $F_2$  являются функциями констант связи и зависят от энергии  $\sqrt{S}$  и массы  $Z$  и  $Z'$  бозонов, выражения для которых представлены в работе [1].

Асимметрия вперед-назад,  $A_{FB}$ :

$$A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_{\mu\mu}} \equiv \frac{\sigma_{\mu\mu}^F - \sigma_{\mu\mu}^B}{\sigma_{\mu\mu}} = \frac{3F_2}{4F_1}$$

Здесь сечение в переднюю и заднюю полусферу определяются, соответственно, как  $\sigma_{\mu\mu}^F = \int_0^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta$  и  $\sigma_{\mu\mu}^B = \int_{-1}^0 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta$ .

Для количественного представления интерференционной картины рассмотрим три случая, отличающиеся друг от друга разным выбором фермионных констант связи  $v'_f$  и  $a'_f$ , но с одной и той же массой  $M_{Z'}$  (рисунки 2 и 3):

- 1) векторный  $Z'_V$ -бозон ( $v'_f=1, a'_f=0$ );
- 2) аксиально-векторный  $Z'_A$ -бозон ( $v'_f=0, a'_f=1$ );
- 3)  $Z'_{AV}$ -бозон ( $v'_f=1, a'_f=1$ ).

### Заключение

Исследованы интерференционные эффекты новых нейтральных  $Z'$  векторных бозонов в асимметрии вперед-назад  $A_{FB}$  в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару,  $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ , и выявлены их характерные особенности в энергетическом поведении по сравнению с такими же эффектами в СМ. По полученным результатам

можно заключить что предсказать  $Z'$  можно при энергиях  $\sqrt{S} < M_{Z'}$  по наличию отклонения от поведения СМ. Энергия, при которой асимметрия становится отрицательной, будет свидетельствовать о приближении к реальной массе  $Z'$ . Таким образом исследование асимметрии является очень важной задачей для дальнейших экспериментов на будущих электрон-позитронных коллайдерах.

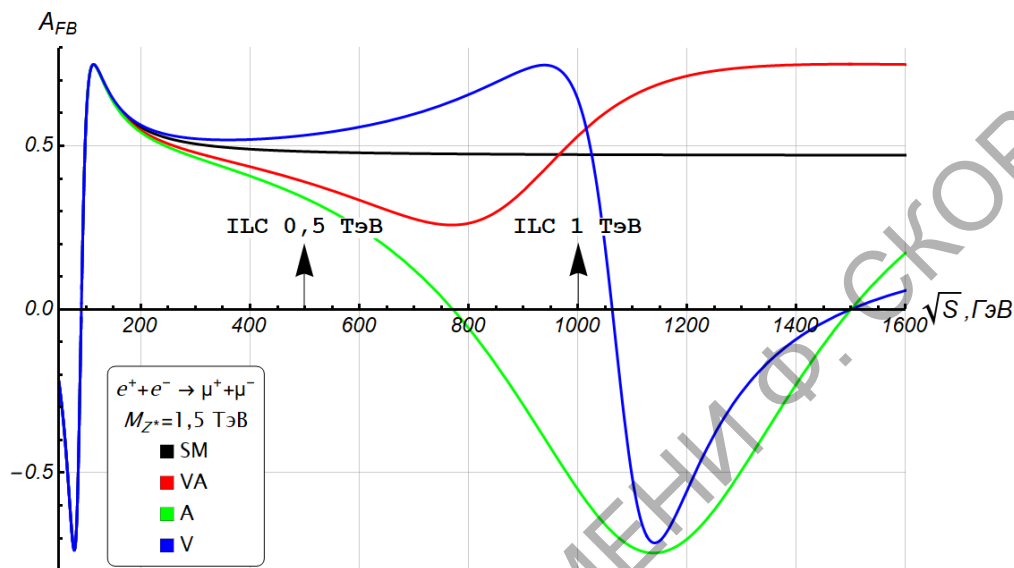


Рисунок 2 – Энергетическая зависимость асимметрии для Стандартной модели и для модели, предсказывающей существование  $Z'$ -бозона с массой  $M_{Z'} = 1,5$  ТэВ

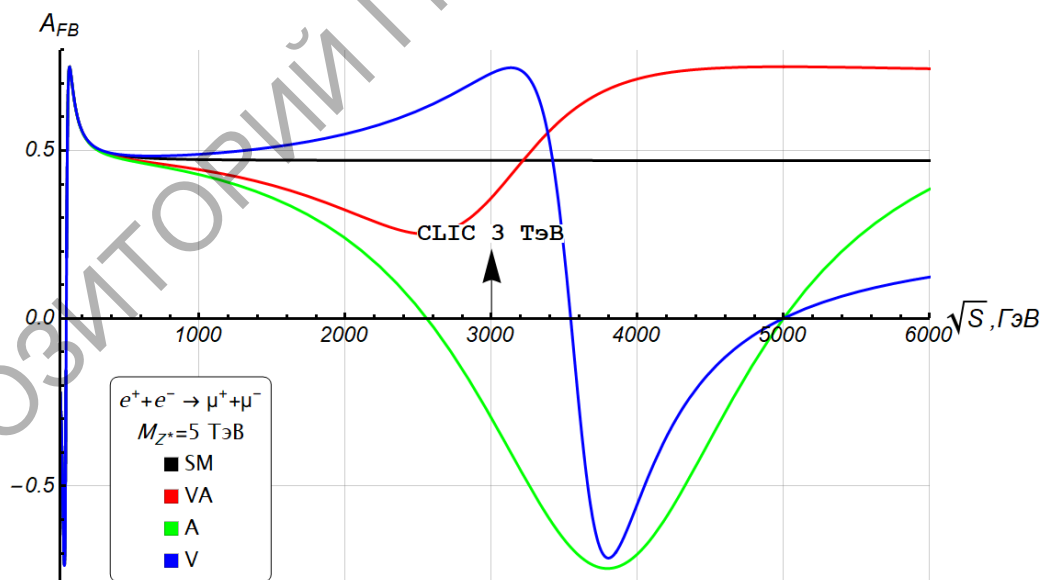


Рисунок 3 – Энергетическая зависимость асимметрии для Стандартной модели и для модели, предсказывающей существование  $Z'$ -бозона с массой  $M_{Z'} = 5$  ТэВ

## Литература

1. Sinegribov, D. V. Model-independent analysis of the effects of new heavy gauge bosons at high energy electron–positron colliders / D. V. Sinegribov, V. R. Kurylenka, A. A. Babich, A. A. Pankov // XXVIII International seminar in memory of Prof V. I. Kuvshinov «Nonlinear Phenomena in Complex Systems». – 2021. – Vol. 27. – P. 440–447.

**М. А. Сковородко**

(ПГУ имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк)  
Науч. рук. **Д. А. Антонович**, канд. техн. наук, доцент

### **К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ПОТОКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Для получения физико-математической модели электронно-оптической системы плазменных источников заряженных частиц, необходимо решить самосогласованно задачи по расчету полей, движению потока частиц, объемного заряда пучка и т.д.

Поток заряженных частиц можно представить в виде моделей:

- дискретной;
- непрерывной;
- модели «макрочастиц»;
- модели трубок тока.

В данной работе представлены некоторые аспекты и существующие сложности при построении описания модели потока заряженных частиц различными вариантами.

В случае непрерывной модели поток изображается как непрерывная несжимаемая фазовая жидкость. Взаимодействия частиц потока можно разделить на взаимодействие типа столкновений и коллективные (интегральные) взаимодействия [1]. Коллективные взаимодействия играют основную роль в потоке заряженных частиц, отражая воздействие на выбранную частицу остальных частиц, составляющих поток. Они могут быть учтены посредством суммарного поля, создаваемого частицами.

Учитывая коллективные взаимодействия данное суммарное поле можно заменить на поле непрерывно распределенного пространственного заряда.

При отсутствии столкновений плотность частиц в фазовом пространстве в области данной частицы при ее движении не меняется: