

А. А. Садовский^{1,2}, 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

ПРЕЦИЗИОННАЯ ПРОВЕРКА СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ НА БУДУЩИХ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Введение

Хотя Большому адронному коллайдеру LHC в ЦЕРНе предстоят еще почти два десятилетия исследований, физики уже давно приступили к работе над проектом коллайдеров нового поколения. Это циклический (FCC-ee) и линейные электрон-позитронные (ILC, CLIC) коллайдеры. Для конкретизации расчетов мы остановимся на первом из них.

Первоначальный этап работы коллайдера FCC-ee будет связан с прецизионной проверкой Стандартной модели (СМ) при энергии электрон-позитронных пучков, равной или близкой массе стандартного Z-бозона, т.е. $\sqrt{s} \approx 88\text{--}95$ ГэВ. Коллайдер будет обладать поистине фантастической светимостью, которая достигнет величины 150 атобарн⁻¹ за четыре года работы. Это позволит кардинально, иногда на порядки, улучшить точность измерения многих модельных параметров, например, угла Вайнберга θ_W . В представленной работе будет оценена ожидаемая точность будущих экспериментов по измерению $\sin^2\theta_W$.

Отметим, что, если экспериментальное значение отличается от предсказаний СМ даже на мизерную величину, отклонения могут быть надежно зарегистрированы, открыв тем самым дорогу к «новой физике».

1. Полное сечение и асимметрия вперед-назад процесса аннигиляционного рождения мюонных пар

В представленной работе выявлены особенности в энергетическом поведении сечения аннигиляционного рождения мюонных пар и асимметрии вперед-назад в рамках СМ, которые позволят выполнить прецизионный тест СМ на электрон-позитронных ускорителях сле-

дующего поколения, в частности, FCC-ee. В работе исследуется возможность измерения с рекордной точностью одного из ключевых параметров СМ – угла электрослабого смешивания, известного также как угол Вайнберга θ_w .

Дифференциальное сечение электрон–позитронной аннигиляции в пару мюонов $e^+e^- \rightarrow f\bar{f} (f=\mu)$, т.е.

$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- \quad (1)$$

для неполяризованных начальных пучков может быть записано в борновском приближении следующим образом [1]

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

где θ есть угол рассеяния между направлением движения начального электрона и вылетающего фермиона f . Кроме того, функции F_1 и F_2 в СМ

$$\begin{aligned} F_1^{SM} &= Q_e^2 Q_f^2 + 2 Q_e v_e Q_f v_f \text{Re}\chi_Z + (v_e^2 + a_e^2)(v_f^2 + a_f^2) |\chi_Z|^2, \\ F_2^{SM} &= 2 Q_e a_e Q_f a_f \text{Re}\chi_Z + 4 v_e a_e v_f a_f |\chi_Z|^2, \end{aligned} \quad (3)$$

зависят от электрических зарядов лептонов и лептонных констант связи Z -бозона, а также его пропагатора χ_Z . Физические наблюдаемые, измеряемые на эксперименте, включают в себя полное сечение процесса (1)

$$\sigma_{\mu\mu} = \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta = \sigma_{pt} F_1 \quad (4)$$

и асимметрию вперед-назад:

$$A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_{\mu\mu}} \equiv \frac{\sigma_{\mu\mu}^F - \sigma_{\mu\mu}^B}{\sigma_{\mu\mu}} = 3F_2/4F_1, \quad (5)$$

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

Энергетическое поведение относительного сечения $R^\mu = \sigma_{\mu\mu}/\sigma_{pt}$ ($=F_1$) и асимметрии вперед-назад A_{FB} в СМ представлены на рисунке 1 и рисунке 2 соответственно. Особенностью поведения наблюдаемых является наличие характерных экстремумов, в окрестности которых следует ожидать увеличения чувствительности к параметрам СМ.

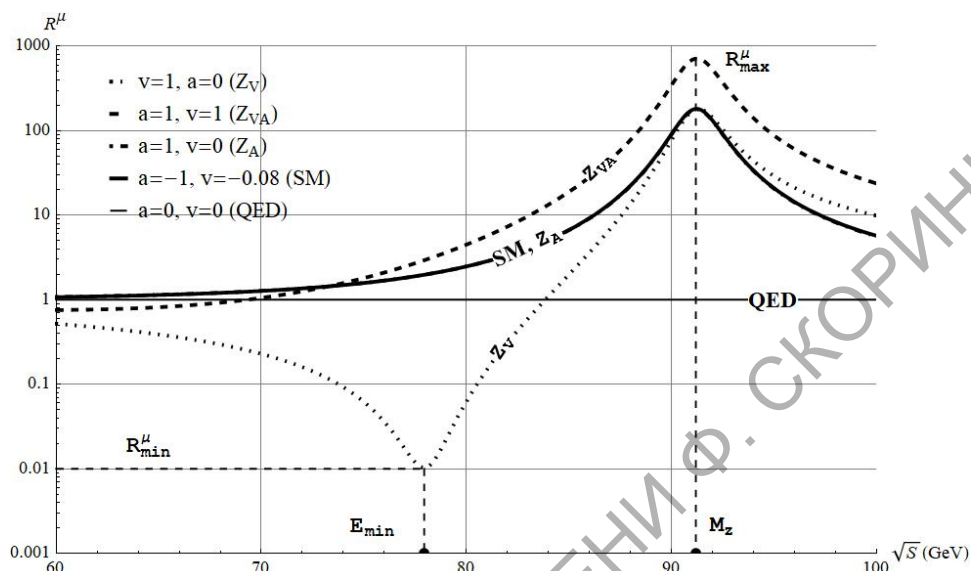


Рисунок 1 – Энергетическое поведение относительного сечения R^μ в процессе аннигиляционного рождения мюонных пар. Указаны различные возможные комбинации констант связи Z-бозона с лептонами в СМ $(v, a)=(-0,08; -1)$, а также для случаев $v=a=1$, $v=0$ и $a=0$, приведенных в легенде

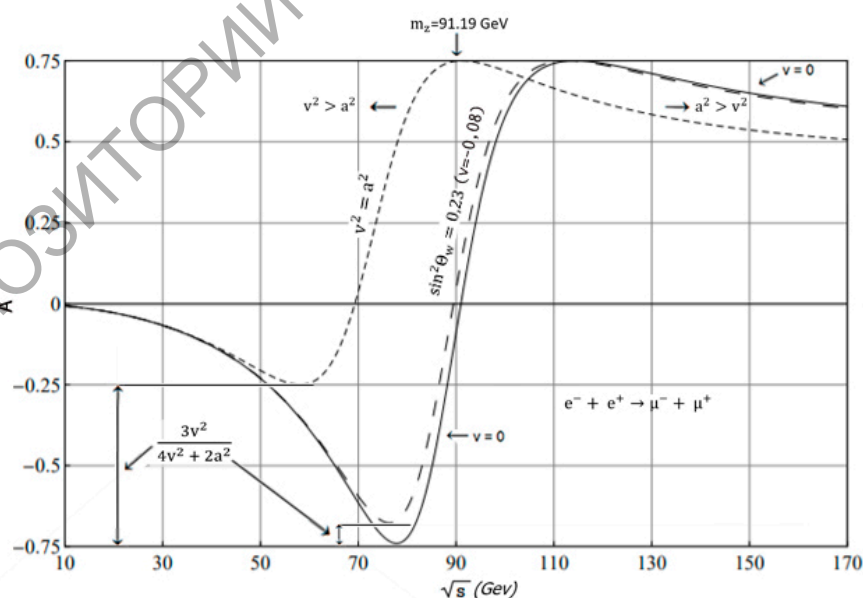


Рисунок 2 – Зависимость аналогичная графикам, приведенным на рисунке 1, но для асимметрии вперед-назад A_{FB}

Проведенный в работе статистический анализ свидетельствует о том, что при планируемой светимости пучков коллайдера FCC-ее равной 150 атобарн^{-1} удастся более чем на порядок повысить точность измерения $\sin^2\theta_W$ по сравнению с современной, доведя ее до рекордного значения $\delta(\sin^2\theta_W) \sim 10^{-6}$.

Кроме того отметим, что экспериментальное исследование экстремумов в энергетическом поведении наблюдаемых позволит не только осуществить прецизионную проверку СМ, но и получить указания на существование «новой» физики.

В заключении авторы выражают благодарность Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований (БРФФИ), за финансовую поддержку настоящей работы.

Литература

1. Osland, P. Z-prime interference effects from TRISTAN to LEP-2 / P. Osland, A. A. Pankov // Phys. Lett. B. – 1997. – Vol. 403. – P. 93–100.
2. Babich, A. A. New physics signatures at a linear collider: Model independent analysis from conventional polarized observables / A. A. Babich, P. Osland, A. A. Pankov, N. Paver // Phys. Lett. B. – 2001. – Vol. 518. – P. 128–136.
3. Pankov, A. A. High-precision limits on W–W' and Z–Z' mixing from diboson production using the full LHC Run 2 ATLAS data set / A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova, V. A. Bednyakov // Eur. Phys. J. C. – 2020. – Vol. 80. – P. 503–525.