

Прецизионное определение угла смешивания Вайнберга в процессе рождения мюонных пар на электрон-позитронных коллайдерах следующего поколения

А. А. Садовский ^{a,b}, А. А. Бабич ^b, А. А. Панков ^{b,c}

^a Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

^b Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

^c Объединенный институт ядерных исследований, ОИЯИ, Дубна, Россия
E-mail: aasadouski@yahoo.com

Проверка стандартной модели (СМ) электрослабых и сильных взаимодействий элементарных частиц осуществлялась на протяжении ряда лет в ускорительных экспериментах на высокоэнергетических коллайдерах, таких как LEP (опции LEP1 и LEP2), SLC, Tevatron, HERA и др., а также интенсивно ведется в настоящее время на Большом адронном коллайдере LHC. При этом результаты экспериментов, как правило, согласуются с предсказаниями СМ. Последний громкий успех СМ связан с открытием хиггсовского бозона в экспериментах CMS и ATLAS на LHC.

В представленной работе излагаются результаты исследований, посвященные разработке методов прецизионной проверки СМ на высокоэнергетических электрон-позитронных коллайдерах следующего поколения, таких как FCC-ee (Future Circular Collider), ILC (International Linear Collider), CLIC (Compact Linear Collider). В частности, определена светимость коллайдера FCC-ee, при которой точность измерения квадрата синуса угла Вайнберга $\pm \delta(\sin^2 \theta_W)$ (угла смешивания) в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона превысит современные предельные значения, полученные из глобального анализа электрослабых данных.

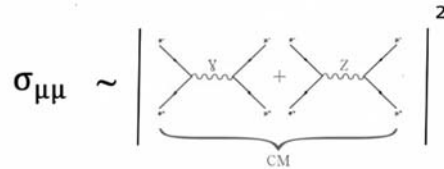


Рис. 1. Наборы фейнмановских диаграмм для амплитуды электрон-позитронной аннигиляции в пару мюонов в СМ.

Полное сечение рассеяния $\sigma_{\mu\mu}$ и относительное сечение R^μ определяются [1-3] в соответствии с выражениями:

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

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

$$R^\mu = \frac{\sigma_{\mu\mu}}{\sigma_{e.m.}} = 1 + 2v^2 \operatorname{Re}(\chi) + (v^2 + a^2)^2 |\chi|^2 \quad (3)$$

где a – постоянная тонкой структуры, χ – пропагатор Z – бозона (с учетом ширины распада Z – бозона). В СМ лептонные константы связи Z -бозона имеют вид: $\nu = -1 + 4 \sin^2 \theta_W$ ($a = -1$).

Определим функцию χ^2 как: $\chi^2 = \left(\frac{\Delta\sigma_{\mu\mu}}{\delta\sigma_{\mu\mu}} \right)^2$, где отклонение сечения $\Delta\sigma_{\mu\mu}$

вызвано возможным изменением параметра $x_W = \sin^2 \theta_W$:

$\Delta\sigma_{\mu\mu} = \sigma_{\mu\mu}(x_W \pm \delta x_W) - \sigma_{\mu\mu}(x_W)$. Величина $\delta\sigma_{\mu\mu} = \sqrt{\frac{\sigma_{\mu\mu}}{L}}$ является статической

погрешностью эксперимента. Установлено, что при планируемой максимальной светимости коллайдера FCC-ее удастся более чем на порядок увеличить современную точность измерения квадрата синуса угла Вайнберга (рисунок 2).

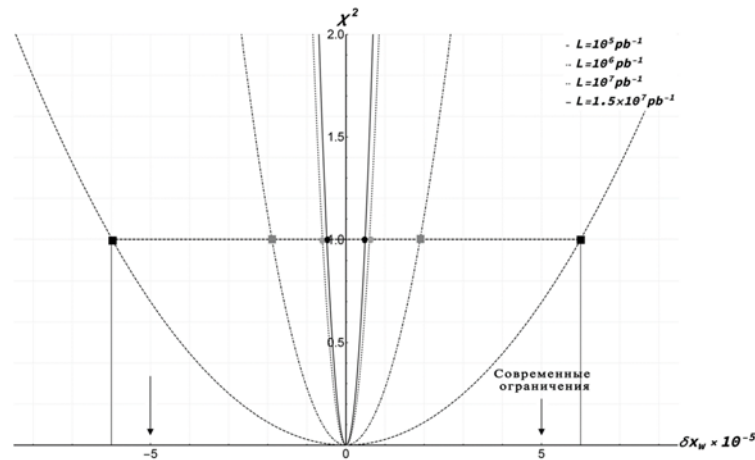


Рис. 2. Функция χ^2 в зависимости от δx_W в окрестности резонансного пика стандартного Z -бозона при различных значениях интегральной светимости.

На рисунке 3 отражена точность определения синуса квадрата угла Вайнберга $\sin^2 \theta_W$, достигнутая при измерении полного сечения аннигиляционного рождения мюонных пар в окрестности резонансного пика стандартного Z -бозона, асимметрии вперед-назад и полученная из комбинированного анализа обеих наблюдаемых.

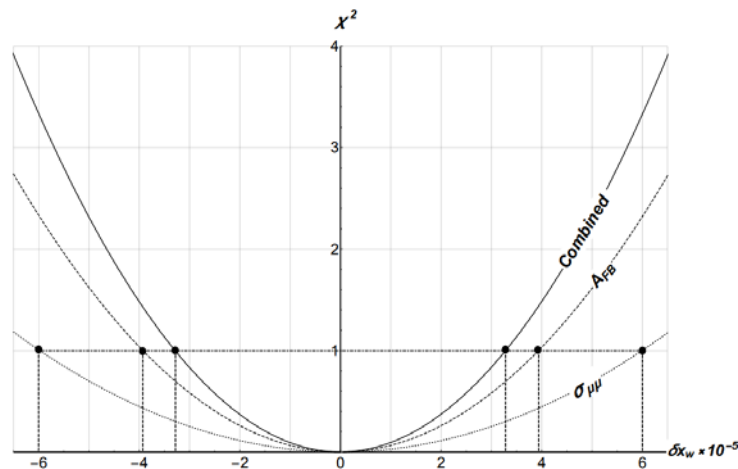


Рис. 3. Точность определения синуса квадрата угла Вайнберга $\sin^2 \theta_W$.

Заключение. Определена светимость коллайдера FCC-ee, при которой точность измерения синуса квадрата угла Вайнберга (угла смешивания) $\pm\delta(\sin^2\theta_W)$ в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона превысит современные предельные значения, полученные из глобального анализа электрослабых данных. Показано, что при планируемой максимальной светимости коллайдера FCC-ee, а так же при увеличении количества наблюдаемых физических величин удастся более чем на порядок улучшить современную точность измерения ключевого параметра SM – синуса квадрата угла Вайнберга.

Литература.

1. 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. – 518. – pp.128–136.
2. 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. – 80. – no.6, – pp.503–525.
3. Pankov, A. A. Updated constraints on Z' and W' bosons decaying into bosonic and leptonic final states using the run 2 ATLAS data t /A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova // Phys. Rev. D – 2021. – 103. – no.5, – pp. 053009.