

$$F(z) = -\sqrt{\pi} \Gamma(z+1) {}_3F_2\left(1, 1+z, 1+z; \frac{3}{2}+z, 2+z; 1\right) / 2(1+z) \Gamma\left(\frac{3}{2}+z\right). \quad (6a)$$

Это выражение для $F(z)$, в отличие от (1), определено в левой полуплоскости. Связь междигипергеометрической функцией (1) и содержащейся в (6a), имеет вид:

$$F\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1; \frac{3}{2}, \frac{3}{2}+z; 1\right) = \frac{F\left(1, 1+z, 1+z; \frac{3}{2}+z, 2+z; 1\right)}{2(z+1)}. \quad (7)$$

При нахождении полюсов гипергеометрической функции, входящей в (6a), нужно воспользоваться явным представлением ${}_3F_2$ в виде бесконечного ряда:

$${}_3F_2\left(1, 1+z, 1+z; \frac{3}{2}+z, 2+z; 1\right) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(z+n)}{\Gamma(z)} \frac{z+1}{n+z+1} \frac{\Gamma\left(z+\frac{3}{2}\right)}{\Gamma\left(n+z+\frac{3}{2}\right)}. \quad (8)$$

Если функция в левой части (7) определена лишь при $\text{Re} z > -1$, то функция (8) определена на всей комплексной плоскости за исключением z , в которых она имеет простые полюсы при целых отрицательных z и полуцелых отрицательных z .

Таким образом, получено новое представление для обобщенной гипергеометрической функции $\left({}_3F_2 \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1; \frac{3}{2}, \frac{3}{2}+z; 1\right)$, которое позволяет сделать аналитическое продолжение этой функции в левую полуплоскость. Это выражение может быть использовано при вычислении интегралов по теореме Коши о вычетах, в частности, при нахождении точных аналитических выражений для вкладов в аномальный магнитный момент лептонов a_L от поляризации вакуума лептонными петлями.

УДК 539.12

РОЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПУЧКОВ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ЧАСТИЦ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ

А. А. Бабич

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Рассмотрен потенциал экспериментов на линейных электрон-позитронных коллайдерах с поляризованными пучками для детального изучения свойств частиц и их взаимодействий в физике микромира. Показано, что поляризация электронных и позитронных пучков в сочетании с другими замечательными особенностями линейных электрон-позитронных коллайдеров (чистота экспериментов, возможность управления энергией столкновений) позволяет значительно повысить чувствительность экспериментов к эффектам динамики частиц. В частности, структура и особенности взаимодействий скалярных и псевдоскалярных частиц может быть обнаружена и исследована только в случае столкновений пучков с двойной поляризацией.

Ключевые слова: электрослабые взаимодействия, Стандартная Модель, линейные коллайдеры, поляризация пучков.

THE ROLE OF BEAMS POLARIZATION FOR DETAILED STUDYING OF PARTICLES PROPERTIES AND THEIR INTERACTIONS AT LC

A. A. Babich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Potential of experiments at LC with polarized beams for precisely unraveling the structure of the underlying physics is discussed. It is shown that positron polarization combined with other remarkable features of LC such as the clean experiment environment and tunable collision energy allows to strongly improve the sensitivity of experiments to effects of particles dynamics. In particular, the scalar-scalar or pseudo scalar-pseudo scalar interactions structure can be detectable only if both electron and positron beams are polarized.

Keywords: electro-weak interactions, Standard Model, linear colliders, beam polarization.

Открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере (LHC) в 2012 г., безусловно, является знаменательным триумфом физики. Вместе с тем до сих пор остается ряд неразрешенных вопросов, касающихся как истинной природы открытой скалярной частицы, так и самой Стандартной Модели (СМ). В частности, обладает ли открытая частица точно такими свойствами (масса, константы связи), которые предсказываются СМ, является ли она единственной частицей, ответственной за генерацию масс элементарных частиц, является ли она элементарной или составной? Ответы на эти и другие вопросы микромира физики надеются найти в экспериментах на линейных электрон-позитронных коллайдерах (LC).

Линейный коллайдер обладает уникальными возможностями для проведения прецизионных измерений и поиска сигналов новой физики (физики, выходящей за рамки СМ). Отличительными особенностями LC являются: чистота экспериментов и экспериментальной среды, регулируемая энергия столкновений, возможность поляризации сталкивающихся пучков, расширение набора наблюдаемых, повышение точности измерений. Здесь следует отметить, что в недавнем прошлом именно возможность поляризации электронного пучка на установке SLC (SLAC Linear Collider) позволила компенсировать недостаток энергии столкновений по сравнению с экспериментами на циклотронном коллайдере LEP.

В работе обсуждается значимость проведения экспериментов с поляризованными пучками для изучения динамических характеристик элементарных частиц.

Формализм. Основным типом процессов, которые будут изучаться на LC, является процесс аннигиляции электронов и позитронов [1, 2]:

$$e^-(p_{e-}, \lambda_{e-}) e^+(p_{e+}, \lambda_{e+}) \rightarrow X. \quad (1)$$

Здесь $p_{e\pm}$ – импульсы сталкивающихся пучков, $\lambda_{e\pm}$ – их спиральности, а X – конечные состояния. Спиральные амплитуды могут быть записаны как

$$F_{\lambda_{e-}\lambda_{e+}} = \bar{v}(p_{e+}, \lambda_{e+}) \Gamma u(p_{e-}, \lambda_{e-}), \quad (2)$$

где $\Gamma = \sum_k \Gamma_k A_k, \dots \Gamma_k = (\gamma_u, \gamma_\mu, \gamma_5, I \gamma_5, \sigma_{\mu\nu}) \equiv (V, A, S, P, T)$, A_k – амплитуды перехода, конкретный вид которой зависит от конечного состояния.

Вероятность перехода определяется как

$$|M|^2 = \sum \lambda_e - \lambda_e + \lambda'_e - \lambda'_e + P\lambda_e - \lambda'_e - P_{\lambda_e - \lambda_{e+}} \bar{F}\lambda'_e - \lambda'_{e+}. \quad (3)$$

Полный вид сечения для процессов парного рождения фермионов в общем случае (произвольная поляризация сталкивающихся пучков) приведен в обзоре [1]. Сечение с продольно-поляризованными пучками имеет вид:

$$\sigma_{pe-pe+} = \frac{1}{4} \left\{ (1+P_{e-})(1+P_{e+})\sigma_{RR} + (1+P_{e-})(1-P_{e+})\sigma_{LL} + \right. \\ \left. + (1+P_{e-})(1-P_{e+})\sigma_{RL} + (1-P_{e-})(1+P_{e+})\sigma_{LR} \right\}, \quad (4)$$

где $P_{e\pm}$ – степени поляризации электронного и позитронного пучков. При анализе поляризационных наблюдаемых удобно ввести эффективную поляризацию P_{eff} и эффективную светимость L_{eff} :

$$P_{eff} = \frac{p_c - p_{c+}}{1 - p_c + p_{c-}}; \quad (5)$$

$$L_{eff} = \frac{1}{2}(1 - P_e - P_{e+})L. \quad (6)$$

Тогда, используя лево-правую асимметрию:

$$A_{LR} = \frac{\sigma_{LK} - \sigma_{KL}}{\sigma_{LK} + \sigma_{KL}}, \quad (7)$$

полное сечение СМ процессов можно записать как

$$\sigma_{pe-pe+} = 2\sigma_0 \left(\frac{L_{eff}}{L} \right) [1 - P_{eff} A_{LR}]. \quad (8)$$

Следует отметить, что в чисто аннигиляционных (s-канальных) диаграммах спиральности сталкивающихся пучков скоррелированы между собой. В то же время особенностью диаграмм обменного типа (t- и u-канальных) является тот факт, что спиральности сталкивающихся пучков определяют конфигурацию спиральностей конечных частиц.

Возможность проведения экспериментов с поперечно-поляризованными пучками, включая и поляризационные конфигурации смешенного типа (один пучок поляризован продольно, а второй – поперечно) позволяет исследовать взаимодействия любой структуры.

В таблице указана зависимость сечений аннигиляционных процессов парного рождения фермионов от типа поляризации сталкивающихся пучков для скалярного (S), псевдоскалярного (PS), векторного (V), аксиально-векторного (A) и тензорного (T) типов взаимодействий в пределе $m_e \rightarrow 0$.

Структура взаимодействий		Продольная поляризация		Поперечная поляризация		Продольно-поперечная поляризация
Γ_k	Γ_l	Двойная	Одиночная	Двойная	Одиночная	Смешанная
S	S	$\sim P_e - P_e^+$	—	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
S	PS	—	$\sim P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
S	V, A	—	—	—	$\sim P_{e^\pm}^T$	$\sim P_e \pm P_{e^\pm}^T$
S	T	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
PS	PS	$\sim P_e - P_e^+$	—	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
PS	V, A	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	$\sim P_{e^\pm}^T$	$\sim P_e \pm P_{e^\pm}^T$
PS	V, A	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	$\sim P_{e^\pm}^T$	$\sim P_e \pm P_{e^\pm}^T$
PS	T	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
V, A	V, A	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
V, A	V, A	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—
V, A	T	—	—	—	$\sim P_{e^\pm}^T$	$\sim P_e \pm P_{e^\pm}^T$
T	T	$\sim P_e - P_e^+$	$P_e^\pm$	$\sim P_e^T - P_{e+}^T$	—	—

Из анализа таблицы можно сделать следующие выводы:

1) полный потенциал линейного коллайдера может быть реализован только с использованием поляризованных пучков;

2) S – S или PS – PS структура взаимодействия может быть обнаружена только в экспериментах с двойной поляризацией пучков;

3) в случае V, A – взаимодействий в пределе $m_e \rightarrow 0$ эффекты поперечной поляризации пучков будут проявляться только при одновременной поляризации сталкивающихся пучков;

4) двойная поляризация пучков повышает статистику и снижает доминирование систематических погрешностей в косвенных поисках физических эффектов;

5) опции с поперечно-поляризованными пучками предоставляют возможность измерения новых наблюдаемых, чувствительных к возможным эффектам новой физики (источники СР нарушения, эффекты массивных гравитонов, модели с дополнительными измерениями и т. п.).

Литература

1. Moortgat-Pick, G. The role of polarized positrons and electrons in revealing fundamental interactions at the linear collider / G. Moortgat-Pick, T. Abe, A. A. Babich // Phys. Rept. – 2008. – Vol. 460 – P. 131–243.
2. Renard, F. M. Basic of electron positron collisions / F. M. Renard // Dreux, France: Editions Frontieres. – 1981. – 238 p.
3. Haber, H. E. / In «Spin structure in high energy processes», Stanford, 1993. – P. 231–272.
4. Hikasa, K. I. Transverse-polarization effects in e^+e^- collisions: the role of chiral symmetry / K. I. Hikasa // Phys. Rev. – 1986. – Vol. D33. – P. 3203–3223.