

при волочении  $570^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, эффективность оптимизированной технологии волочения и свивки увеличена почти в 8 раз.

*Пример 3.* Если в заводском маршруте волочения до оптимизации с шестью сдвоенными волоками уменьшить скорость волочения до 4 м/с, то температура поверхности проволоки уменьшится до  $528^{\circ}\text{C}$ . Для такого варианта волочения  $K = 14,373$ . Таким образом, простое снижение скорости волочения в технологии волочения до оптимизации не повышает эффективности производства корда.

*Пример 4.* Для режима волочения  $K = 0,868$ . Этот маршрут волочения соответствует новому разработанному маршруту волочения с семью сдвоенными волоками при скорости волочения 5,3 м/с и максимальной температуре поверхности проволоки при волочении  $543^{\circ}\text{C}$ . Этот режим волочения является более эффективным в сравнении с примером 1.

*Пример 5.* Если в режимах волочения уменьшить скорость волочения до 5 м/с, то максимальная температура поверхности проволоки уменьшится до 533. В таком варианте волочения  $K = 0,76$ . Этот режим волочения следует считать наиболее эффективным.

#### Л и т е р а т у р а

1. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1970. – 162 с.
2. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров – М. : Металлургия, 1986. – 688 с.
3. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – 3 вып. – С. 205–209.

### ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОТКЛОНЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КАЛИБРОВОЧНОГО БОЗОНА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ В ПАРУ ЛЕПТОНОВ

Д. В. Синегрибов

<sup>1</sup> Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: В. В. Андреев<sup>1</sup>, И. А. Серенкова<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», Республика Беларусь

*Исследовано влияние поляризации на эффективные параметры отклонения дополнительного калибровочного бозона.*

**Ключевые слова:** стандартная модель,  $Z'$ -бозон, ограничения.

При наличии в природе «новой» физики будущие ускорительные эксперименты должны иметь отклонения от поведения стандартной модели (СМ), которая в настоящее время рассматривается как низкоэнергетическое приближение будущей фундаментальной теории. Такое отклонение можно интерпретировать, используя параметры дополнительного калибровочного  $Z'$ -бозона [1]. Основная эффективная

калибровочная группа типичной модели, предсказывающей один дополнительный бозон  $Z'$ , имеет следующий вид:

$$SU(3)_C \cdot SU(2)_L \cdot U(1)_Y \cdot U'(1), \quad (1)$$

где SM дополнена группой  $U'(1)$ .

Симметрия калибровочной группы  $U'(1)$  нарушается при энергии порядка ТэВ, в следствие чего появляется возможность рождения тяжелого  $Z'$  бозона.

За счет небольшого фона, высокой энергии и наличия возможности поляризации  $e^+$  и  $e^-$  пучка будущие  $e^+e^-$  коллайдеры ILC, CLIC и FCC-ee позволяют исследовать масштабы и сценарии «новой» физики, недоступные Большому адронному коллайдеру (LHC) [2].

Современные ограничения на массу  $Z'$  существенно больше в сравнении с энергиями  $e^+e^-$  ускорителей следующего поколения [3]. Экспериментальную информацию для такого случая можно представить в виде ограничений на физические параметры  $Z'$  (масса, константы связи, ширина). Такие оценки полезны для корректировки моделей  $Z'$  и построения будущей фундаментальной теории.

**Представление дифференциального сечения.** Для выполнения модельно-независимого анализа нужно получить представление дифференциального сечения, содержащее эффективные параметры  $Z'$ , линейно входящие в выражение. Условие линейности позволяет использовать стандартную методику получения ограничений при условии, что отклонение от SM не больше одного стандартного отклонения.

Таким образом, получено представление дифференциального сечения рассеяния в приближении Борна для процесса  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma, Z^0, Z' \rightarrow f + \bar{f}$ , которое записывается в виде

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma^{SM+Z'}}{dz}(P_{e^+}, P_{e^-}) &= \frac{d\sigma^{SM}}{dz} + \frac{\Delta d\sigma}{dz} = N_C (1 - P_{e^+} P_{e^-}) \frac{\alpha^2 \beta \pi}{8s} \times \\ &\times \left[ (1 - z\beta)^2 Q_1^{SM+Z'} + (1 + z\beta)^2 Q_2^{SM+Z'} + \eta_f^2 Q_3^{SM+Z'} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

В формуле (2):  $z \equiv \cos \theta$  ( $\theta$  – угол между  $e^-$  и  $f$ );  $N_C$  – цветовой фактор ( $N_C = 1(3)$  для лептона (кварка));  $\alpha$  – постоянная тонкой структуры;  $P_{e^+}$  и  $P_{e^-}$  – степени продольной поляризации  $e^+$  и  $e^-$  пучка;  $\beta = \sqrt{1 - 4m_f^2/s}$  ( $\eta_f = \sqrt{1 - \beta^2}$ ); здесь  $m_f$  – масса конечного фермиона;  $\sqrt{s}$  – энергия столкновения.

Параметры  $Q_{1,2,3}^{SM+Z'}$  определяются комбинациями  $q_{\lambda_e \lambda_f}^{SM+Z'}$  ( $\lambda_e$  и  $\lambda_f$  – спиральности начального и конечного состояния) и функцией  $P_{eff} = (P_{e^-} - P_{e^+}) / (1 - P_{e^+} P_{e^-})$ :

$$\begin{aligned} Q_1^{SM+Z'} &= p_{eff}^- |q_{LR}^{SM+Z'}|^2 + p_{eff}^+ |q_{RL}^{SM+Z'}|^2, \quad Q_2^{SM+Z'} = p_{eff}^- |q_{LL}^{SM+Z'}|^2 + p_{eff}^+ |q_{RR}^{SM+Z'}|^2; \\ Q_3^{SM+Z'} &= 2p_{eff}^- \operatorname{Re}[q_{LL}^{SM+Z'} q_{LR}^{*SM+Z'}] + 2p_{eff}^+ \operatorname{Re}[q_{RL}^{SM+Z'} q_{RR}^{*SM+Z'}], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $p_{eff}^\pm = 1 \pm P_{eff}$ .

Параметры  $q_{\lambda_e \lambda_f}^{SM+Z'}$ , содержащие константы связи, массу и полную ширину  $Z'$ , определяются формулами:

$$q_{\lambda_e \lambda_f}^{SM+Z'} = \sum_i \frac{s g_{i,e}^{\lambda_e} g_{i,f}^{\lambda_f}}{s - m_i^2 + im_i \Gamma_i}, \quad (4)$$

здесь  $g_{i,f}^{L,R} \equiv g_{i,f}^{\mp}$  – фермионные константы связи с бозонами  $i = \gamma, Z^0, Z'$  с соответствующими массами  $m_i$  и ширинами  $\Gamma_i$ .

Введенные обобщенные, эффективные параметры отклонения  $\Delta Q_i$ , определяющие отклонение дифференциального сечения от СМ, записываются в виде

$$\Delta Q_1(p_{eff}^+, p_{eff}^-) = Q_1^{SM+Z'} - Q_1^{SM} = p_{eff}^- \Delta q_{LR} - p_{eff}^+ \Delta q_{RL};$$

$$\Delta Q_2(p_{eff}^+, p_{eff}^-) = Q_2^{SM+Z'} - Q_2^{SM} = p_{eff}^- \Delta q_{LL} - p_{eff}^+ \Delta q_{RR}, \quad \Delta Q_3(p_{eff}^+, p_{eff}^-) = Q_3^{SM+Z'} - Q_3^{SM}, \quad (5)$$

здесь  $\Delta q_{\lambda_e \lambda_f} = \left| q_{\lambda_e \lambda_f}^{SM+Z'} \right|^2 - \left| q_{\lambda_e \lambda_f}^{SM} \right|^2$ .

**Влияние поляризации на параметры отклонения  $\Delta Q_i$ .** Для получения ограничений на физические параметры  $Z'$  нужно:

- 1) используя функцию  $\chi^2$ , найти области изменения  $\Delta Q_i$  (7);
- 2) получить области изменения  $\Delta q_{\lambda_e \lambda_f}$ , используя систему уравнений;
- 3) используя выражения для  $\Delta q_{\lambda_e \lambda_f}$ , получить ограничения на физические параметры  $Z'$ .

Для получения ограничений на параметры отклонения  $\Omega = \Delta Q_i$  используется функция  $\chi^2$ , которая записывается в виде

$$\chi^2(\Omega) = \sum_i^{bins} \left[ \frac{N_i^{SM+Z'}(\Omega) - N_i^{SM}}{\delta N_i^{SM}} \right]^2 \leq \chi_{min}^2 + \chi_{C.L.}^2, \quad (6)$$

где  $\delta N_i^{SM}$  – экспериментальная относительная погрешность процесса, состоящая из случайной и систематической ошибки.

Экспериментальной величиной является число событий  $N_i^{SM}$ , которое в  $i$ -м бине определяется по формуле

$$N_i^{SM} = L_{int} p_L \varepsilon_f \int_{z_i}^{z_{i+1}} \frac{d\sigma^{SM}}{dz} dz, \quad (7)$$

здесь  $L_{int}$  – интегральная светимость;  $p_L$  – коэффициент, уменьшающий светимость при наличии поляризации  $e^+$  и  $e^-$  пучка;  $\varepsilon_f$  – эффективность регистрации конечного пучка.

Отметим, что  $\chi^2_{\min}$  определяется из требования минимального значения функции  $\chi^2(\Omega)$  и для нашего случая равно нулю. Значение  $\chi^2_{C.L.}$  задается уровнем достоверности (C.L.) и вычисляется из определения квантиля (обратная функция распределения  $\chi^2$ ).

Для получения ограничений используется конечное состояние  $\tau + \bar{\tau}$  в предположении выполнения для  $Z'$  лептонной универсальности ( $g^p_{Z',e} = g^p_{Z',\mu} = g^p_{Z',\tau}$ ). С помощью (6) получены одномерные ограничения на параметры  $\Delta Q_{1,2}$  (рис. 1).

При положительной поляризации электронного пучка  $P_{e^-} = 0,8 - p_L = 1/5$ , а при отрицательной  $P_{e^-} = -0,8 - p_L = 4/5$ . Аналогично, для случая поляризации позитронного пучка при значении  $P_{e^+} = \pm 0,5$ . Для случая  $P_{e^-} = P_{e^+} = 0$  значение  $p_L = 1$ , а когда поляризованы оба пучка, значение  $p_L$  выбирается по поляризации электронного [4].

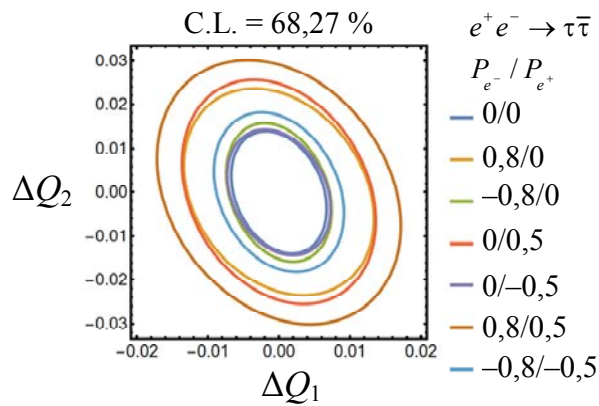


Рис. 1. Модельно-независимые ограничения на параметры отклонения  $\Delta Q_{1,2}$ , полученные для эксперимента ILC ( $\sqrt{s} = 1$  ТэВ и  $L_{int} = 8 \text{ аб}^{-1}$ ) при различной начальной поляризации

Как можно заметить, область ограничений увеличивается при положительной поляризации электронного или позитронного пучка, что связано с уменьшением интегральной светимости на 80 % ( $p_L = 1/5$ ). Согласно (7), ограничения на прямую зависимости от интегральной светимости и меньше – для неполяризованного случая ( $p_L = 1$ ). Однако, рассматривая случай при поляризации  $0/-0,5$ , можно предположить, что при увеличении степени позитронной поляризации возможно получить ограничения, меньшие неполяризованного случая.

Таким образом, в работе получены модельно независимые ограничения на параметры  $Z'$  в зависимости от поляризации электрон-позитронных пучков в процессе  $e^+e^- \rightarrow \tau + \bar{\tau}$ .

Литература

1. Leike, A. The Phenomenology of extra neutral gauge bosons / A. Leike // Phys. Rept. – 1999. – Vol. 317. – P. 143–250.

2. Probing the minimal  $U(1)_X$  model at future electron-positron colliders via fermion pair-production channels / A. Das [et al.]. – 2022. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/2104.10902.pdf>. – Date of access: 15.03.2024.
3. Review of Particle Physics / R. L. Workman [et al.] // Prog. Theor. Exp. Phys. – 2022. – iss. 083C01. – P. 995–999.
4. Franceschini, R. Beyond the Standard Model physics at CLIC / R. Franceschini. – 2019. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1902.10125.pdf>. – Date of access: 20.03.2024.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ANSYS

П. В. Дубоделова

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

Научный руководитель О. А. Лапко

*Описаны этапы проектирования 3D-модели режущего инструмента с помощью программы ANSYS.*

**Ключевые слова:** проектирование, 3D-моделирование, режущий инструмент.

При проектировании режущего инструмента решается комплекс вопросов, в том числе выполнение требований к материалам режущих инструментов: твердость, превышающая твердость обрабатываемых материалов, прочность и износостойкость, высокая теплостойкость и теплопроводность.

Назначать режимы резания необходимо рационально, а именно – так, чтобы деталь требуемого качества изготовили при минимальных денежных затратах. Этот режим соответствует экономическому периоду стойкости инструмента. Методика назначения режима резания включает:

- выбор материала, геометрических параметров режущей части и размеров токарных резцов;
- назначение глубины резания;
- назначение величины подачи;
- определение скорости резания.

Выбранный режим резания нужно проверить по мощности привода шпинделя станка, прочности механизма подачи, а также по прочности державки резца и пластинки твердого сплава.

Чертеж резца в ANSYS начинается с создания новой детали. Затем необходимо выбрать плоскость, в которой будет строиться эскиз. На плоскости вычерчиваем по размеру согласно ГОСТу контур резца. После создания эскиза выбираем операцию по сечениям и создаем резец. Далее вырезаем паз под режущую пластину. Отдельно строим режущую пластину и собираем в одно целое тело резца и режущую пластину [1].

На рис. 1 представлена 3D-модель металлорежущего инструмента.