

Рисунок 7 – Зависимость показателя преломления покрытия SiO₂ от длины волны

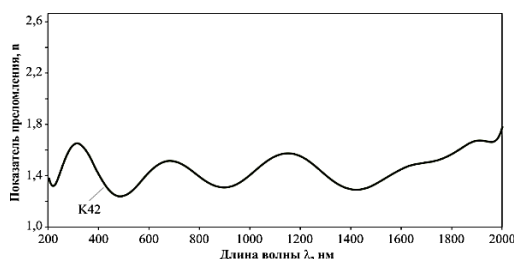


Рисунок 8 – Зависимость показателя преломления покрытия K42 от длины волны

В таблице 1 представлены табличные и измеренные значения показателя преломления и толщины покрытий. Значения расчётной толщины получены по программе для расчёта покрытий МультиСпектр ООО «ЭссентОптикс», которая шла в комплекте с СОК Iris.

Таблица 1 – Табличные и измеренные значения показателя преломления и толщины покрытий

Тип покрытия	Табличный показатель преломления на длине волны 550 нм	Расчётная толщина покрытия, нм	Измеренное значение показателя преломления на длине волны 550 нм	Измеренная толщина покрытия, нм
K42	—	—	1,38	1 544,0
SiO ₂	1,46	298,2	1,50	319,7
TiO ₂	2,04	214,2	1,92	270,7
ZnS	2,38	183,1	2,06	259,3

Литература

1 Матвеев, А. Н. Оптика : учебное пособие / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1985. – 351 с.

2 Яковлев, П. П. Проектирование интерференционных покрытий : библиотека приборостроения / П. П. Яковлев, Б. Б. Мешков. – 1 серия. – М. : Машиностроение, 1987. – 185 с.

УДК 539.12

Д. В. Синегрибов

КОСВЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ Z' -БОЗОНА И РАСШИРЕНИЯ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ $U(1)_X$ СИММЕТРИИ

Статья посвящена методике модельно-независимого и модельно-зависимого анализа косвенного проявления дополнительного Z' -бозона на e^+e^- коллайдере

следующего поколения. Предполагается, что масса Z' -бозона значительно больше максимальной энергии коллайдера. На основе косвенного анализа получены нижние границы на массу Z' -бозона для максимальной энергии Международного линейного коллайдера. Выполнено сравнение ограничений для неполяризованного и поляризованного случая.

Связывая нейтринные массы, темную материю и возникновение барионной асимметрии Вселенной, расширение Стандартной Модели (СМ) на основе $U(1)_X$ является универсальной платформой для исследования физики за пределами СМ [1, 2]. Полная калибровочная группа модели $U(1)_X$ записывается в виде:

$$SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \times U(1)_X, \quad (1)$$

Масса дополнительного Z' -бозона генерируется после нарушения дополнительной калибровочной симметрии $U(1)_X$ при помощи скалярного поля Φ , которое определяется зарядами $U(1)_X$. Хиггсовскими дублетами H обеспечивается нарушение электрослабой симметрии, порождая калибровочные бозоны и фермионы СМ. Заряды $U(1)_X$ определяются свободными параметрами модели x_H и x_Φ . Параметризацией $U(1)_X$ определяются особенности взаимодействия между Z' -бозонами и фермионами СМ. В настоящей работе рассматриваются сценарии взаимодействия, представленные в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Специфика взаимодействия Z' -бозона с фермионами СМ ($x_\Phi = 1$)

x_H	Специфика взаимодействия
-2	Отсутствие связи между Z' -бозонами и левыми фермионами
-1	Отсутствие связи между Z' -бозонами и правыми электронами
1	Отсутствие связи между Z' -бозонами и правыми d -кварками
2	Наличие связи между Z' -бозонами и всеми фермионами

Цель исследования – оценить возможность улучшения нижней границы массы Z' -бозона на основе разработанной методики для e^+e^- коллайдера следующего поколения и особенностей, которые представлены в Таблице 1. В настоящей работе не учитывается $Z-Z'$ массовое смешивание и взаимодействия с другими экзотическими частицами за пределами СМ. Также предполагается, что масса Z' -бозона значительно больше максимальной энергии коллайдера. Важно отметить, что задача установления ограничений на характеристики Z' -бозона содержится в программе исследований Международного линейного коллайдера (ILC), ключевыми преимуществами которого относительно Большого адронного коллайдера (ЛHC) является чистота e^+e^- столкновений и возможность поляризовать сталкивающиеся электроны и позитроны [4]. Важной особенностью методики является учет ширины, которая обычно пренебрегается.

Описание методики. Ключевая роль отводится представлению дифференциального сечения рассеяния в приближении Борна для процесса $e^+e^- \rightarrow \bar{f}f$ которое приведено и детально рассмотрено в работе [5]. Рассматриваются исключительно s -канальные диаграммы и все фермионы предполагаются безмассовыми. Отклонения от предсказаний СМ описываются как интерференционные эффекты Z' -бозона. В качестве наблюдаемой характеристики процесса используется отклонение бинированного числа событий, которое определяется:

$$\Delta N_i(\Delta Q_i) = N_i^{SM+Z'} - N_i^{SM} = L_{Eff}(\sigma_i^{SM+Z'} - \sigma_i^{SM}). \quad (2)$$

В уравнении (2) безразмерными и линейными параметрами $\Delta Q_i = Q_i^{SM+Z'} - Q_i^{SM}$ определяется величина отклонения. Важно отметить, что обычно напрямую ограничиваются характеристики Z' -бозона, которые являются нелинейными. При нелинейной зависимости интерпретировать доверительные области значительно сложнее. Доверительные области на линейные параметры накладываются более явно, и зачастую результаты анализа предсказуемы. При определении эффективной светимости L_{Eff} важно учитывать то, что время работы коллайдера распределено неравномерно относительно поляризации (таблица 2).

Таблица 2 – Доля общего времени работы ILC, относительно комбинаций ориентации поляризации для энергетической стадии 1 ТэВ [4]

Степень поляризации $\{P_{e^+}, P_{e^-}\}$	$\{-20\%, -80\%\}$ и $\{20\%, 80\%\}$	$\{20\%, -80\%\}$ и $\{-20\%, 80\%\}$
Доля от времени работы при отсутствии поляризации	10 %	40 %

При анализе отклонений выдвигается предположение, согласно которому все экспериментальные данные согласуются СМ в пределе одного стандартного отклонения. Разрешенные области (рисунок 1) получены на основе традиционного критерия χ^2 относительно отклонений ΔQ_1 и ΔQ_2 . Важно учитывать различия вероятностного охвата между многомерными и одномерными распределениями. Представленные области (совместная оценка) получены для уровня достоверности 39,35 %, что эквивалентно однопараметрическому интервалу 68,27 % (1σ) для каждого параметра в отдельности. Все необходимые параметры эксперимента подробно описаны и представлены в работе [4].

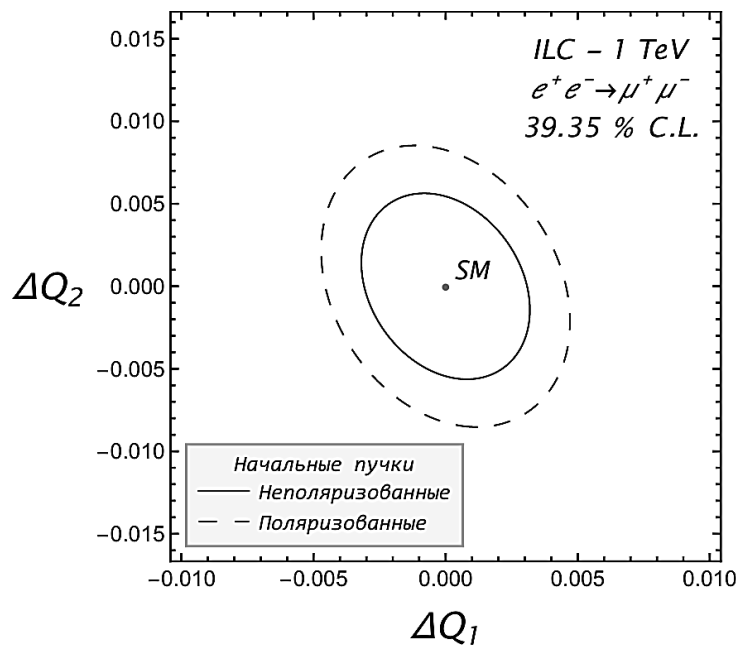


Рисунок 1 – Модельно-независимые разрешенные области отклонений ΔQ_1 и ΔQ_2 от предсказаний СМ

Моделями Z' -бозона (Таблица 1) определяются фермионные константы связи. Ширина распада $Z' \rightarrow \bar{f}f$ рассчитывается аналогично стандартному Z -бозону. Используя критерий χ^2 относительно $M_{Z'}$, можно получить значение нижней границы, выше которой эффекты Z' -бозона статистически неразличимы от предсказаний СМ (таблица 3).

Таблица 3 – Нижние границы на массу Z' -бозона для различных расширений $U(1)_X$ на уровне 1σ на ILC – 1 ТэВ с поляризованными и неполяризованными пучками

x_H	$P_{e^+} = P_{e^-} = 0$	$P_{e^+} = 20 \%, P_{e^-} = -80 \%$
-2	21,075	13,890
-1	8,544	5,252
1	16,792	12,205
2	29,365	20,870

Можно заметить, что нижние границы значительно выше для неполяризованного случая по причине лучшей статистики событий. Модельно-независимые области (рисунок 1) полезны для проверки моделей Z' -бозона. На основе проведенного модельно-зависимого анализа несложно рассчитать параметры отклонений ΔQ_1 и ΔQ_2 для исследуемого ряда моделей Z' -бозона. Как следует из рисунка 2, результаты модельно-независимого и модельно-зависимого анализа согласуются.

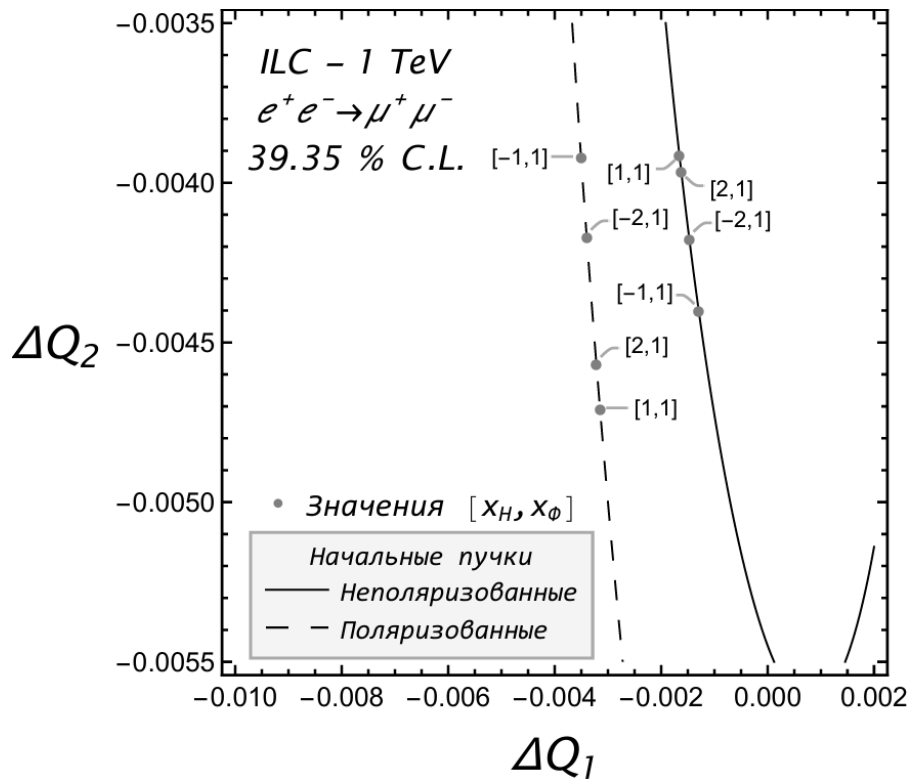


Рисунок 2 – Согласие модельно-независимого (рисунок 1) и модельно-зависимого анализа (таблица 3)

Получены нижние границы на массу дополнительного Z' -бозона на ILC – 1 ТэВ для расширений $U(1)_X$ (таблица 1), которые представлены в таблице 3. Рассмотрены

неполяризованные и поляризованные начальные пучки. Важно отметить, что рассматриваемые модели Z' -бозона не исследовались экспериментально на LHC и полученные нижние границы значительно превышают ограничения LHC для моделей SSM, LR, E_6 (~ 5 ТэВ). Полученная информация является ключевой для проверки и построений теорий на основе рассматриваемой калибровочной группы.

Литература

- 1 Review of particle physics [Particle Data Group Collaboration] / S. Navas [et al.] // Phys. Rev. D. – Vol. 110. – № 3. – 2024. – 030001.
- 2 The Phenomenology of extra neutral gauge bosons / A. Leike // Phys. Rept. – Vol. 317. – 1999. – P. 143–250.
- 3 Probing the minimal $U(1)_X$ model at future electron-positron colliders via fermion pair-production channels / A. Das, P. S. Bhupal Dev, Y. Hosotani, S. Mandal // Phys. Rev. D. – Vol. 105. – № 11. – 2022. – 115030.
- 4 The International Linear Collider : Report to Snowmass 2021 / A. Aryshev [et al.] // FERMILAB-FN-1171-PPD-QIS-SCD-TD. – 2021. – P. 41–221.
- 5 Model-Independent Analysis of the Indirect Effects of Additional an Z' -boson at CLIC / D. V. Sinegribov, V. V. Andreev, I. A. Serenkova // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – Vol. 28. – № 1 – 2025. – P. 68–78.

УДК 372.853

А. Л. Шелестова

РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ К ФИЗИКЕ В ДЕТСКОМ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОМ ЛАГЕРЕ

В статье проведен анализ особенностей развития познавательного интереса учащихся к физике в детских оздоровительных лагерях, а также предложены конкретные рекомендации для педагогических работников, которые помогут стимулировать познавательный интерес и создать мотивацию учащихся к изучению физики в данной приятной и специфической образовательной среде.

Физика является одним из ключевых предметов в образовательной программе, который играет важную роль в формировании научного мышления учащихся. Однако часто возникает проблема недостаточного познавательного интереса учащихся к данной науке, особенно вне школьной среды. Одним из мест, где можно активно развивать познавательный интерес учащихся к физике, является детский оздоровительный лагерь.

Познавательный интерес представляет собой внутреннюю мотивацию учащихся к познанию и исследованию окружающего мира. Он играет важную роль в обучении физике, поскольку способствует активному и глубокому усвоению учебного материала, а также развитию компетенций и навыков учащихся.

Интерес – сильнодействующий мотив, побуждающий человека совершать определенные действия. Именно интерес является положительной оценкой в деятельности субъекта. Л. С. Выготский считал, что интерес является естественным двигателем детского поведения, он выражает его инстинктивные стремления, указывает на то, что деятельность ребенка совпадает с его органическими потребностями, именно поэтому вся воспитательная система должна быть сориентирована, в первую очередь, на детский интерес. Один из основных законов педагогики гласит: прежде чем обучать ребенка какой-