

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОГО ЛИНЕЙНОГО КОЛЛАЙДЕРА К МАССЕ $Z'$ -БОЗОНА В РАСШИРЕНИЯХ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ С $U(1)_X$ СИММЕТРИЕЙ

Д. В. Синегрибов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,  
г. Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь

*В работе на основе модельно-зависимого анализа получены нижние границы на массу  $Z'$ -бозона для планируемого эксперимента на Международном линейном коллайдере. Ограничения получены в результате традиционного критерия  $\chi^2$  для процесса электрон-позитронной аннигиляции в пару мюонов.*

Наиболее простые теории, описывающие физику за пределами Стандартной Модели (СМ), основываются на добавлении дополнительной  $U(1)$  калибровочной симметрии. Обусловленные  $U(1)$ , дополнительные нейтральные  $Z'$ -бозоны [1] предсказываются многими теориями (теории великого объединения, суперсимметричные и суперструнные теории, сценарии калибровочно-хиггсовского объединения). В данной работе исследуется модель на основе калибровочной группы  $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \times U(1)_X$ . Структурой  $U(1)_X$  (параметрами  $x_H$  и  $x_\Phi$ ) определяются особенности взаимодействия между  $Z'$ -бозонами и фермионами СМ [2]. Важно отметить, что задача установления ограничений на характеристики  $Z'$ -бозона содержится в программе исследований Международного линейного коллайдера (ILC) [3].

Ключевая роль отводится представлению дифференциального сечения рассеяния в приближении Борна для процесса  $e^+e^- \rightarrow \gamma, Z, Z' \rightarrow \mu^+\mu^-$ , которое приведено и детально рассмотрено в работе [4]. Очевидно, что достижение порога рождения новой частицы ограничено максимальной энергией коллайдера. Значительно более широкие масштабы можно исследовать на основе косвенного анализа. В работе рассматривается сценарий, когда предполагаемая масса  $Z'$ -бозона значительно больше энергии коллайдера. При построении критерия  $\chi^2$ , СМ рассматривается в качестве фона. Выдвигается гипотеза, согласно которой все экспериментальные данные согласуются СМ в пределах одного стандартного отклонения. В качестве наблюдаемой характеристики процесса используется число событий, которое записывается стандартно.

Полученные нижние границы на массу  $Z'$ -бозона для вариаций расширений  $U(1)_X$  (таблица 1) представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Влияние параметра  $x_H$  на взаимодействия  $Z'$ -бозона при значении  $x_\Phi = 1$

$x_H$	Особенность 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

Таблица 2 – Рассчитанные нижние границы на массу  $Z'$ - бозона для расширений  $U(1)_X$  на уровне  $1\sigma$  при отсутствии поляризации на ИЛС

$x_H$	Значения $M_{Z'}$ для стадии ИЛС с энергией 500 ГэВ	Значения $M_{Z'}$ для стадии ИЛС с энергией 1000 ГэВ
-2	7720	14866
-1	3104	5993
1	6244	12002
2	10879	20913

Таким образом, получены нижние границы на массу дополнительного  $Z'$ - бозона для неполяризованного эксперимента на ИЛС на основе расширений  $U(1)_X$ , которые представлены в Таблице 2. Как видно из Таблицы 2, сечения становятся более чувствительными при росте энергии столкновений. Полученная информация является ключевой для проверки и построения 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. – P. 030001.
2. Das, A. 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. – P. 115030.
3. The International Linear Collider: Report to Snowmass 2021 / A. Aryshev [et al.] // FERMILAB-FN-1171-PPD-QIS-SCD-TD. – 2021. – 356 p.
4. Sinегрибов, D. V. Model-Independent Analysis of the Indirect Effects of Additional an  $Z'$ -boson at CLIC / D. V. Sinегрибов, V. V. Andreev, I. A. Serenkova // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – Vol. 28, № 1. – 2025. – P. 68–78.

УДК 544.032.65

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ИК-ДИАПАЗОНА НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ

**И. Ю. Славинский, В. Э. Анискевич**

Институт физики НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

*Исследовано воздействие излучения импульсного волоконного лазера ИК-диапазона при различных параметрах на монокристаллический кремний. Выявлены режимы образования структурных дефектов, а также оксидов кремния на поверхности образца. Результаты важны для оптимизации параметров лазерной обработки кремния.*

Возможности использования лазерного излучения для обработки кремния широко исследуются [1–3]. Коэффициент поглощения кремния для лазерного излучения ультрафиолетового (УФ) диапазона в несколько раз выше, чем для инфракрасного (ИК), поэтому для обработки кремниевых пластин зачастую применяют лазерные системы с преобразованием частоты излучения во вторую и третью гармоники. Недавние исследования показали, что эффективность процесса можно повысить с помощью бихроматического