



**Дмитрий Викторович Синегрибов**  
 ديمتري فيكتوروفيتش سينغرييوف  
 аспирант ГГУ им. Ф. Скорины,  
 طالب دكتوراه في جامعة  
 فانسيسك اسكارينا الحكومية  
 بغوميل

# МОДЕЛЬНО-НЕЗАВИСИМЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТЯЖЕЛОГО НЕЙТРАЛЬНОГО БОЗОНА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ

**قيود مستقلة عن النموذج على البارامترات الفيزيائية لبوزون محايد ثقيل إضافي في عملية إبادة الإلكترون**



**Виктор Васильевич Андреев**  
 فيكتور فاسيليفيتش أندريف  
 د.ф.м.н, профессор  
 кафедры «Теоретическая физика» ГГУ им. Ф. Скорины,  
 برفسور بقسم الفيزياء النظرية  
 بجامعة فانسيسك اسكارينا الحكومية  
 بغوميل

**Аннотация:** работа посвящена разработке методики получения ограничений на физические параметры дополнительного нейтрального бозона в процессе электрон-позитронной аннигиляции с помощью представления дифференциального сечения рассеяния. В результате применения методики были получены ограничения на массу  $Z'$  и константы связи  $Z'$  с лептонами.

**Ключевые слова:** Стандартная Модель, коллайдеры, дифференциальное сечение, модельно-независимые ограничения, критерий  $\chi^2$ , уровень достоверности

**المخلص:** تم تكريس العمل لتطوير تقنية للحصول على قيود على المعلمات الفيزيائية لبوزون محايد إضافي في عملية إبادة الإلكترون والبوزترون باستخدام تمثيل المقطع العرضي للتشتت التفاضلي. نتيجة لتطبيق هذه التقنية، تم الحصول على قيود على كتلة  $Z'$  وثوابت اقتران  $Z'$  مع الليبتونات.

**الكلمات المفتاحية:** النموذج القياسي، المصادمات، المقطع العرضي التفاضلي، القيود المستقلة على النموذج، معيار  $\chi^2$ ، مستوى الثقة.

## Введение

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).

Современные ограничения на массу  $Z'$  бозона ( $\sim 5$  ТэВ) [1] заметно больше в сравнении с планируемой энергией следующего по запуску  $e^+e^-$  коллайдера – ILC (1 ТэВ). Поэтому, предоставляется возможность исследовать только косвенные эффекты  $Z'$ , проявляющиеся в виде отклонений наблюдаемой от поведения Стандартной Модели (SM). Экспериментальную информацию для такого случая можно представить в виде ограничений на физические параметры  $Z'$  [2]. Полученные ограничения полезны для корректировки  $Z'$  моделей и построения будущей фундаментальной теории.

## Полученные результаты

Для выполнения модельно-независимого анализа необходимо получить дифференциальное сечение, содержащее обобщенные, эффективные  $Z'$  параметры, линейно входящие в сечение. Линейность необходима для возможности получения ограничений при условии, что отклонение от SM не больше одного стандартного отклонения. Для такой цели, полученное выражение дифференциального сечения рассеяния для процесса  $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$  в приближении Борна записывается в виде:

$$\frac{d\sigma^{SM+Z'}}{dz}(P_{e^-}, P_{e^+}) = N_C(1 - P_{e^-}P_{e^+}) \frac{\alpha^2\beta\pi}{8s} \times \left[ (1 - z\beta)^2 q_1^{SM+Z'} + (1 + z\beta)^2 q_2^{SM+Z'} + \eta_f^2 q_3^{SM+Z'} \right] = \frac{d\sigma^{SM}}{dz} + \frac{\Delta d\sigma^{Z'}}{dz} \quad (1)$$

В представлении содержатся вещественные параметры  $q_{1,2,3}^{SM+Z'}$  содержащие физические характеристики  $Z'$  бозона (масса, константы связи и ширина). Разработанная методика позволяет получить ограничения на массу и константы связи  $Z'$ , представленные на рисунке 1 (при условии выполнения лептонной универсальности).

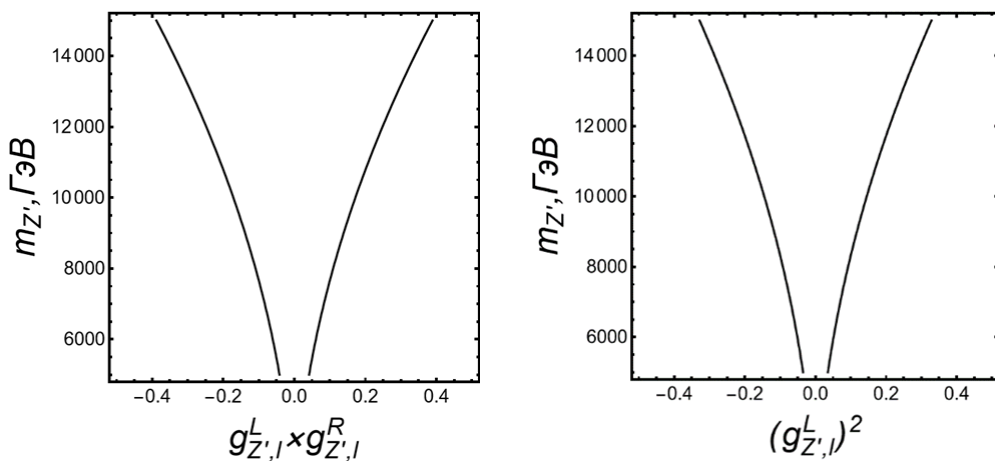


Рисунок 1 – Ограничения на  $m_{Z'}$  и  $g_{Z',l}^{\lambda_e} \times g_{Z',l}^{\lambda_{\tau}}$  для процесса  $e^+e^- \rightarrow \tau\bar{\tau}$  ( $\lambda_e$  и  $\lambda_{\tau}$  – спиральности начального и конечного состояния соответственно)

## Заклучение

Разработана методика нахождения ограничений на физические характеристики  $Z'$  для процесса  $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ . Основой методики является представление дифференциального сечения с тремя вещественными эффективными параметрами, введенными впервые. В качестве примера, получены ограничения на массу и константы связи  $Z'$  для лептонов.

## المقدمة

نظرًا للخلفية المنخفضة والطاقة العالية والقدرة على استقطاب شعاع  $e^+$  و  $e^-$  فإن مصادمات

$e^+e^-$  المستقبلية ILC, CLIC و FCC-ee تجعل من الممكن استكشاف مقاييس وسيناريوهات "جديدة" الفيزياء التي لا يمكن الوصول إليها في مصادم الهادرونات الكبير (LHC).

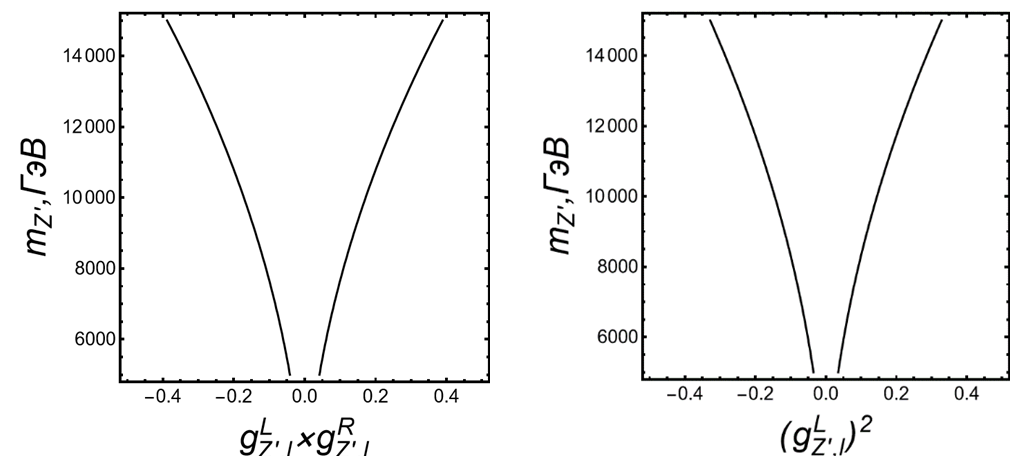
القيود الحديثة على كتلة بوزون  $Z'$  ( $\sim 5$  TeV) [1] أعلى بشكل ملحوظ بالمقارنة مع الطاقة المخططة للمصادم  $e^+e^-$  التالي - ILC (1 TeV). لذلك، من الممكن دراسة التأثيرات غير المباشرة فقط لـ  $Z'$ ، والتي تتجلى في شكل انحرافات في السلوك الملاحظ عن سلوك النموذج القياسي (SM). يمكن تقديم المعلومات التجريبية لمثل هذه الحالة في شكل قيود على المعلمات الفيزيائية  $Z'$  [2]. تعتبر القيود التي تم الحصول عليها مفيدة لتعديل نماذج  $Z'$  وبناء نظرية أساسية مستقبلية.

## النتائج والمناقشة

لإجراء تحليل مستقل عن النموذج، من الضروري الحصول على قسم تفاضلي يحتوي على معلمات  $Z'$  المعممة والفعالة والمضمنة خطيًا في القسم. الخطية ضرورية للتمكن من الحصول على القيود، بشرط ألا يزيد الانحراف عن SM عن انحراف معياري واحد. لهذا الغرض، يتم كتابة التعبير الناتج عن المقطع العرضي للتشتت التفاضلي للعملية  $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$  في تقريب بورن على النحو التالي:

$$\frac{d\sigma^{SM+Z'}}{dz}(P_{e^-}, P_{e^+}) = N_C(1 - P_{e^-}P_{e^+}) \frac{\alpha^2\beta\pi}{8s} \times \left[ (1 - z\beta)^2 q_1^{SM+Z'} + (1 + z\beta)^2 q_2^{SM+Z'} + \eta_f^2 q_3^{SM+Z'} \right] = \frac{d\sigma^{SM}}{dz} + \frac{\Delta d\sigma^{Z'}}{dz} \quad (1)$$

يحتوي التمثيل على معلمات حقيقية  $q_{1,2,3}^{SM+Z'}$  تحتوي على الخصائص الفيزيائية للبوزون  $Z'$  (الكتلة وثوابت الاقتران والعرض). تتيح التقنية المطورة إمكانية الحصول على قيود على ثوابت الكتلة والاقتران  $Z'$ ، الموضحة في الشكل 1 (شريطة استيفاء عالمية الليبتون).



الشكل 1- القيود على  $m_{Z'}$  و  $g_{Z',l}^{\lambda_e} \times g_{Z',l}^{\lambda_{\tau}}$  لعملية  $e^+e^- \rightarrow \tau\bar{\tau}$  - مروحية الحالات الأولية والنهائية، على التوالي)

## الخاتمة

تم تطوير تقنية لإيجاد قيود على الخصائص الفيزيائية لـ  $Z'$  للعملية  $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$  على أساس هذه التقنية هو تمثيل مقطع عرضي تفاضلي بثلاثة معلمات فعالة حقيقية، تم تقديمها لأول مرة. على سبيل المثال، تم الحصول على قيود على الكتلة وثوابت الاقتران  $Z'$  لليبتونات.

## Список литературы

1. Workman, R. L. Review of Particle Physics / R. L. Workman, V. D. Burkert, V. Crede, E. Klempt // Progress of Theoretical and Experimental Physics. – Vol. 2022. – P. 1200.
2. Leike, A. The Phenomenology of extra neutral gauge bosons / A. Leike // Phys. Rept. – 1999. – Vol. 317. – P. 143-250.