

ОТЗЫВ
официального оппонента. кандидата физико-математических наук Алексея Вячеславовича Гуськова на диссертацию Дмитрия Васильевича Краснопевцева “Рождение $Z\gamma\gamma$ с последующим распадом Z на нейтрино и антинейтрино в эксперименте ATLAS и аномальные вершины взаимодействия четырех нейтральных бозонов”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий».

Актуальность исследования

Стандартная модель в настоящее время является общепринятой теорией, описывающей свойства и взаимодействия элементарных частиц. Несмотря на то, что предсказания Стандартной модели с высокой точностью были проверены во многих экспериментах, эта модель, по видимому, не является окончательной. Она с одной стороны содержит слишком большое число свободных параметров, а с другой стороны, такие явления, как гравитация и тёмная материя, остаются за кадром. Кроме этого, Стандартная модель не отвечает на ряд важных фундаментальных вопросов, касающихся иерархии масс элементарных частиц, барионной асимметрии Вселенной, природы бегущих констант и т. д. Несмотря на то, что существует некоторая неудовлетворённость Стандартной моделью, на сегодняшний день она в полной мере описывает все известные процессы физики элементарных частиц в доступной для исследования области энергий.

В настоящее время поиск отклонений от предсказаний Стандартной модели и физики за её пределами активно ведётся и планируется сразу в нескольких направлениях: в экспериментах на БАК с максимально доступной энергией пучков (ATLAS, CMS), в экспериментах максимальной светимостью (NA64, SHIP), а также в низкофоновых экспериментах.

Диссертационная работа Д. В. Краснопевцева посвящена измерению сечения процесса ассоциированного рождения Z -бозона с его последующим распадом на нейтрино и антинейтрино и двух фотонов в протон-протонных столкновениях с энергией 8 ТэВ в системе центра масс. Кроме того, был произведён поиск аномальных, то есть запрещённых в Стандартной Модели вершин взаимодействия вида $Z\gamma\gamma$ и $ZZ\gamma\gamma$. Отдельное внимание в работе уделено изучению основных характеристик трекового детектора переходного излучения (ТДПИ) с использованием экспериментальных данных и данных Монте-Карло моделирования. Детальное знание этих характеристик позволило успешно использовать ТДПИ не только в данном физическом анализе, но и для получения новых физических результатов другими группами.

Основные результаты работы были неоднократно представлены автором на сессиях-конференциях секции ядерной физики ОФН РАН, а также международных конференциях и симпозиумах.

Достоверность исследования

Полученные значения для сечений рождения конечного состояния $Z\gamma\gamma$ находятся в

согласии с предсказаниями Стандартной модели на уровне 1.5σ . Установленные пределы на константы взаимодействия четырех нейтральных калибровочных бозонов в аномальных вершинах находятся в согласии с теоретическими расчётами, причем ограничение на константу f_T^0 сравнимо с результатом коллаборации CMS, который основан на исследовании процессов ассоциированного рождения W -бозонов.

Установленные в работе экспериментальные значения характеристик ТДПИ также находятся в согласии с результатами моделирования в пределах статистической погрешности 1-2%.

Также о **достоверности** исследования и высокой **степени обоснованности** научных результатов, сформулированных в диссертации свидетельствует подробное описание проведенных измерений и публикация результатов в ведущих рецензируемых научных журналах.

Научная новизна работы

Автором работы впервые в адронных столкновениях были измерены сечения процесса ассоциированного рождения Z -бозона с его последующим распадом на нейтрино и антинейтрино и двух фотонов в протон-протонных столкновениях с энергией 8 ТэВ в системе центра масс для случаев с ограничением на наличие адронных струй в событиях и без этого ограничения. Был впервые произведён поиск аномальных, то есть запрещённых в Стандартной Модели вершин взаимодействия вида $Z\gamma\gamma$ и $ZZ\gamma\gamma$. Полученные результаты будут использованы для уточнения области применимости теоретических построений, выходящих за рамки Стандартной модели.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** описывается актуальность работы и формулируется тема исследования, а также новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** даётся краткое введение в Стандартную модель.

Вторая глава даёт обзор Большого адронного коллайдера и детектора ATLAS - одной из четырёх основных экспериментальных установок БАК.

В **третьей главе** представлен принцип работы ТДПИ. Трековые и идентификационные характеристики ТДПИ рассматриваются в контексте их вклада в физический анализ рождения мульти- бозонных состояний. Особое внимание уделяется исследованию работы ТДПИ в условиях высокой загрузки и разработанным калибровкам для программного обеспечения ТДПИ, направленным на повышение эффективности регистрации частиц, в частности конверсионных фотонов.

В **четвертой главе** подробно описан физический анализ процесса рождения Z бозона с двумя ассоциированными фотонами и последующим распадом бозона в нейтринную пару при энергии 8 ТэВ. Здесь приведены как разработанные методы выделения сигнальных событий, а также численные оценки фона. Во второй части главы рассмотрена процедура расчета сечения ассоциированного рождения трех бозонов и представлено сравнение экспериментальных результатов с теоретическими предсказаниями.

Пятая глава описывает теоретический аппарат, используемый для поиска и исследования аномальных вершин взаимодействия четырех нейтральных калибровочных

бозонов вида $Z\gamma\gamma$ или $ZZ\gamma\gamma$. Тут представлены расчеты верхних пределов на константы взаимодействия при данных аномальных вершинах и проведено сравнение полученных ограничений с результатами других измерений.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертации.

Замеченные недостатки.

Представленная диссертация не лишена некоторых недостатков. Текст диссертации не достаточно хорошо выверен. Он содержит изрядное количество опечаток, в том числе и в формулах (например, формулы 1.7, 3.2). не всегда даются пояснения для всех величин, используемых в формулах (например, n в 5.6). Можно было бы избежать неоправданно частого употребления жаргонизмов и английских терминов, вроде «фитирование», «pile up». Встречается небрежность в формулировках, например: «погрешности, распределенные по нормальной вероятности» (стр. 94) или «партоновая функция распределения $CT10$ » (стр. 76).

Формула 4.4 для вероятности ошибочно идентифицировать электрон как фотон приведена для частного случая, когда эта вероятность много меньше единицы, о чём не сказано в тексте диссертации.

Лишь косвенно упомянут вклад мультипартоновых столкновений, в результате которой могут рождаться конечные состояния с Z -бозоном и требуемым числом фотонов, где эти частицы происходят из разных жёстких соударений партонов. Который, впрочем, невелик.

На рисунке 5.3 не стоило показывать величину систематической ошибки точек. В итоге она привела к аномально маленькому значению χ^2 аппроксимации, что сбивает с толку.

Кажется несколько легкомысленным утверждение, сделанное на стр. 50: «моделирование недооценивает данные на 10 мкм». На самом деле, квадратичная разница между 110 мкм и 120 мкм означает, что не учтено нечто, вносящее вклад на уровне ~ 50 мкм, что составляет достаточно большую величину. Хотя, в диссертации описан ряд явлений, которые скорее всего привели к такому расхождению.

Тем не менее, указанные выше замечания не вносят принципиальных изменений в выносимые автором на защиту положения и выводы.

Автореферат диссертации оформлен в полном соответствии с требованиями ВАК, полностью отражает содержание диссертации и содержит необходимые формулировки цели и задач исследований, выносимых на защиту.

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что диссертация Д. В. Краснопецева представляет собой законченное научное исследование – научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, важных для методики физического эксперимента в области физики высоких энергий.

Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, соответствующих списку ВАК РФ и докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляет ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Дмитрий Васильевич Краснопецев заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий».

Официальный оппонент, к. ф.-м. н. начальник сектора 2 научно-исследовательского отдела встречных пучков Лаборатории ядерных проблем Объединённого института ядерных исследований

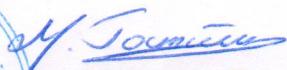
Алексей Вячеславович Гуськов

 1.11.2017

Адрес: 141980, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6
Тел.: (+7-49621) 65-059 Факс: (+7-495) 632-78-80
e-mail: avg@jinr.ru

Подпись А.В. Гуськова заверяю
Зам. учёного секретаря ЛЯП ОИЯИ
Кандидат физ.-мат. наук



 1.11.2017
Михаил Иванович Госткин

Список основных работ Гуськова А. В. по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

- 1) Xiao-Yun Wang, A. Guskov, Photoproduction of $a_2(1320)$ in a Regge model, Phys.Rev. D93 (2016) 7, 074016.
- 2) Xiao-Yun Wang, Xu-Rong Chen, A. Guskov., Photoproduction of the charged charmoniumlike $Z_c^+(4200)$, Phys.Rev. D92 (2015) 9, 094017.
- 3) A. Anfimov et. al., Tests of the Module Array of the ECAL0 Electromagnetic Calorimeter for the COMPASS Experiment with the Electron Beam at the ELSA, Physics of Particles and Nuclei Lett. 12(4) 566-569 (2015)
- 4) C. Adolph et al., Observation of a New Narrow Axial-Vector Meson $a_1(1420)$, Phys.Rev.Lett. 115 (2015) no.8, 082001.
- 5) P. Abbon et al., The COMPASS Setup for Physics with Hadron Beams, Nucl.Instrum.Meth. A779 (2015) 69-115.
- 6) C. Adolph et al., Measurement of the charged-pion polarizability, Phys.Rev.Lett. 114 (2015) 062002.
- 7) C. Adolph et al., Search for exclusive photoproduction of $Z_c^\pm(3900)$ at COMPASS, Phys.Lett. B742 (2015) 330.
- 8) C. Adolph et al., Measurement of radiative widths of $a_2(1320)$ and $\pi_2(1670)$, Eur.Phys.J. A50 (2014) 79.
- 9) C. Adolph et al., A high-statistics measurement of transverse spin effects in dihadron production from muon-proton semi-inclusive deep-inelastic scattering, Phys.Lett. B736 (2014) 124-131.
- 10) C. Adolph et al., Measurement of azimuthal hadron asymmetries in semi-inclusive deep inelastic scattering off unpolarised nucleons, Nucl.Phys. B886 (2014) 1046-1077.

Гуськов А. В.


1.11.2017