

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Степеннова Антона Дмитриевича
“Образование векторных бозонов в сопровождении
адронных струй”,
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.23 –
физика высоких энергий.

Диссертация Антона Дмитриевича Степеннова посвящена экспериментальному изучению образования векторных бозонов в сопровождении адронных струй в протон-протонных столкновениях при энергии 13 ТэВ. Результаты диссертации были получены на детекторе CMS, установленном на коллайдере БАК (LHC) в ЦЕРНе. Представленные в диссертации результаты исследования образования векторных бозонов при высоких энергиях позволяют получить ценную информацию об электрослабых процессах, что, с одной стороны является важной проверкой Стандартной модели, а с другой стороны позволяет провести уточнение значений ряда важных параметров в рамках Стандартной модели. Важность, актуальность и новизна исследований, включённых в диссертацию, не вызывают никаких сомнений. Не вызывает сомнения и большой вклад автора диссертации в получение этих результатов.

Диссертация А.Д. Степеннова состоит из трех основных частей. Первая часть имеет методический характер, детально описан процесс измерения ослабления сигнала в переднем калориметре детектора CMS. Передний калориметр позволяет достичь высокой точности реконструкции струй, вылетающих под малыми углами, что особенно важно в измерениях, где требуется строгое ограничение на недостающий поперечный импульс. Во второй и третьей частях представлены результаты исследований рождения векторных бозонов в специфических процессах в сопровождении адронных струй. Выполненные измерения являются важной частью физической программы исследований на детекторе CMS коллайдера LHC.

После краткого введения, во второй главе представлены основные параметры Большого Адронного Коллайдера и детектора CMS. Кратко рассмотрены особенности работы БАК. Детально описаны технические характеристики подсистем детектора CMS.

В третьей главе подробно описан процесс измерения ослабления сигнала в переднем калориметре детектора CMS, вызванного радиационными повреждениями кварцевых волокон. Подробно описан метод измерения и получены коэффициенты ослабления сигнала в 2016, 2017 и 2018 годах. В этой части очень детально описаны все этапы работ.

Эти измерения являются важным и существенным вкладом диссертанта в методическую поддержку работы детектора CMS.

В четвёртой главе представлены результаты физического исследования рождения Z-бозона в сопровождении струи, образованной с-кварком при полной энергии 13 ТэВ. Были измерены полное и дифференциальные сечения этого процесса. Выполнено детальное изучение эффективности реконструкции событий, функции отклика детектора, проведена оценка систематических погрешностей. Полученные экспериментальные значения сечений примерно на 20% меньше, чем теоретические оценки, полученные в рамках NLO (next-to-leading order) вычислений, выполненных на Монте-Карло генераторах.

В пятой главе изложены результаты измерения сечений электрослабого рождения W- и Z-бозонов в сопровождении двух струй при полной энергии 13 ТэВ. Детально описан метод реконструкции данных событий. Существенной проблемой в данном исследовании является оценка интерференции амплитуд электрослабого и сильного процессов при образовании конечного состояния. Была выполнена оценка вклада интерференции и измерены сечения для электрослабого рождения W- и Z-бозонов в сопровождении двух струй. Результаты экспериментальных измерений хорошо согласуются с теоретическими оценками. На основе выполненных измерений получены ограничения на параметры аномального трёхбозонного взаимодействия.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации и выводы.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Автором выполнен большой объём работ, как в методическом плане, так и по физическому анализу экспериментальных данных. Очень хорошее впечатление производит точность и логичность изложения материала. Все выводы исследований подкреплены конкретными фактами. В диссертации приведено большое количество измерений и рисунков. Текст хорошо и понятно написан.

А.Д. Степеннов демонстрирует в данной работе глубокое понимание как методических, так и экспериментальных вопросов. Необходимо отметить, что получение результатов, представленных в диссертации, очень сложная задача. Это потребовало от диссертанта больших усилий, а также глубоких знаний в области экспериментальной физики и обработки данных. Хотелось бы особо отметить сложность и точность работы по измерению ослабления сигнала в переднем калориметре установки CMS, а также по оценке корректирующих коэффициентов при определении сечений.

Тем не менее, в диссертации имеются некоторые недостатки. Имеется очень небольшое количество опечаток. Например, в диссертации на стр. 7 вверху написано: “Отбор событий с Z-бозоном и измерены их распределения по поперечному импульсу ...”. На стр. 37 внизу пропало слово “которая”. На некоторых рисунках надписи очень маленькие и практически не видны. Например, на рис. 49 (стр. 80) не видно осей, а на рис. 60 (стр. 99) не видно текста. В таблице 5 (стр. 48) число событий дано с точностью 6 знаков, что выглядит избыточным. Хотелось бы видеть более детальное обсуждение возможных причин различия значений сечения рождения Z-бозона и с-струи, полученных экспериментально и теоретически.

Из общих замечаний, в первую очередь хотелось бы видеть больше сравнений с другими или подобными измерениями. Хотелось бы видеть, были ли подобные измерения при полной энергии 8 ТэВ, а также в эксперименте ATLAS. Было бы правильно указать, были ли измерения рождения векторных бозонов с b-струями, а если были, то какие результаты были получены. Это же замечание относится к стр. 9, разделу "Достоверность полученных результатов". В данном разделе в большей степени необходимо указать на сравнение с имеющимися измерениями и теоретическими моделями, чем на обсуждение в рамках коллаборации CMS, что не является строгим критерием достоверности.

Отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации. Диссертация Степеннова является законченным научным исследованием мирового уровня. Диссертация основана на пяти работах, опубликованных в реферируемых высокорейтинговых журналах из списка ВАК. Основные результаты диссертации докладывались автором на международных конференциях, семинарах и рабочих совещаниях. Выводы диссертации полностью соответствуют поставленным задачам, обоснованы, и логично следуют из проведенной работы. Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем или значительном вкладе автора.

Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию.

Диссертация А.Д. Степеннова безусловно отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор А.Д. Степеннов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Друцкой Алексей Георгиевич
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории ЛТКЛ,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)
119991 г. Москва, Ленинский проспект, д.53
Телефон: 8(499)135-42-64
Адрес электронной почты: Drutskoy@lebedev.ru

А.Г. Друцкой

Подпись А.Г. Друцкого заверяю:
Учёный секретарь ФИАН,
Кандидат физико-математических наук



А.В. Колобов

14 сентября 2021 года