ОТЗЫВ

научного руководителя Гаврилова Владимира Борисовича
на диссертацию Степеннова Антона Дмитриевича
“Образование векторных бозонов в сопровождении адронных струй”,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.23 – физика высоких энергий

Диссертация А.Д. Степеннова основана на анализе экспериментальных данных о pp-столкновениях, полученных в эксперименте CMS на Большом адронном коллайдере (LHC), работающем в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева). В установке CMS в области малых углов, по отношению к направлению сталкивающихся протонов, расположены калориметры на основе кварцевых волокон, которые были предложены, спроектированы, изготовлены и откалиброваны при ведущем участии группы физиков ИТЭФ. В этой области образуется наибольшее количество высокоэнергичных вторичных частиц, и, как следствие аппаратура должна работать в условиях больших радиационных доз. Хотя кварцевые волокна, в которых образуется и собирается сигнал в передних калориметрах, способны работать в этих условиях, но проходящие через них большие потоки ионизирующих частиц приводят к частичной потере прозрачности и ослаблению сигнала со временем работы установки.

Для того, чтобы обеспечить стабильность во времени калибровки энергетической шкалы сигналов с передних калориметров, диссертантом была разработана методика мониторирования ослабления сигналов в зависимости от диапазона углов, под которыми расположены ячейки передних калориметров, и от полной светимости протонных столкновений в центре экспериментальной установки.

Результаты этого мониторирования применялись для корректировки калибровки сигналов, вносимой при наборе данных эксперимента CMS. Описанию методики мониторирования ослабления сигналов передних калориметров и обеспечения стабильности калибровки энергетической шкалы посвящена одна из глав диссертации.

В других главах диссертации приводятся результаты измерения сечений некоторых процессов с образованием векторных калибровочных бозонов в сопровождении адронных струй. Одним из них является образование Z-бозонов в сопровождении струй, инициированных очарованным кварком с большим поперечным импульсом. Важность изучения такого процесса обусловлена с одной стороны тем, что такие события приводят к значительным фонам при поиске ряда явлений вне рамок Стандартной Модели, а с другой — тем, что этот процесс чувствителен к распределению очарованных кварков в протоне.

Если методика идентификации Z-бозонов довольно стандартная — требуется пара заряженных лептонов (электронов или мюонов) разного знака с инвариантной массой, соответствующей Z-бозону, то для идентификации струй, инициированных очарованным кварком, в CMS была разработана специальная методика, использующая информацию о наличии в составе струи очарованных частиц, так называемый c-таггер. При этом, среди отобранных с использованием c-таггера струй была значительная часть струй, инициированных глюонами, легкими и прелестными кварками. Поэтому на первом этапе анализа проводилось разделение событий с сигнальными и фоновыми струями. Такое разделение проводилось на основании анализа инвариантной массы совокупности частиц их вторичной вершины, расположенной в струе. Следующим этапом был учет функции отклика экспериментальной установки путем численного решения интегрального уравнения (так называемый анфолдинг). Важным и трудоемким этапом был анализ источников систематических погрешностей и оценка вызванных ими неопределенностей. И, наконец, в завершении анализа было проведено статистическое усреднение результатов, полученных для электронной и мюонной мод распадов Z-бозонов, в котором требовалось учитывать корреляции различных систематических погрешностей.

В результате были получены дифференциальные сечения в зависимости от поперечного импульса Z-бозона и с-струи, а также интегральные сечения в области чувствительности установки CMS. Полученные результаты были сравнены с теоретическими моделями, реализованными в виде МК генераторов MadGraph и Sherpa. Оказалось, что оба этих генератора во втором порядке теории возмущений (NLO) заметно переоценивают измеренное сечение процесса Z+c. Поскольку сечение процесса Z+jet, в котором не анализируется тип инициирующего струю партона, находится в хорошем согласии с этими генераторами, то наблюдаемое различие может указывать на переоценку доли с-кварков в протоне, использованную в этих МК расчетах.

Еще одним анализируемым процессом с участием калибровочных векторных бозонов и адронных струй был процесс элктрослабого рождения векторных бозонов в сопровождении адронных струй. Этот процесс интересен тем, что в нем участвуют трехбозонные взаимодействия и могут быть обнаружены явления за рамками Стандартной модели, характеризуемые аномальными трехбозонными вершинами. На первом этапе надо было разделить вклады электрослабых процессов и тех, в которых адронные струи образуются за счет процессов КХД. Для этого были использованы кинематические переменные, которые наиболее чувствительны к типу процесса, в частности инвариантная масса и разница быстрот струй.

Так как конечные состояния для обоих процессов одинаковые, то надо учитывать интерференцию амплитуд этих процессов. Ранее для оценки интерференции использовали разность между результатами, полученными для совместного расчета обоих процессов и каждого по отдельности. Так как вклад интерференции сравнительно небольшой, то статистическая точность расчетов была ограничена количеством моделированных событий. В последнее время в генераторе MadGraph была включена возможность прямого расчета интерференции для разных процессов. Однако этот метод требовал проверки, которую и выполнил диссертант, а затем произвел расчет интерференции с требуемой точностью. Это позволило выделить кинематическую область, в которой интерференция слабо влияет на получаемые ограничения на аномальные трехбозонные вершины.

Вошедшие в диссертацию результаты актуальны, обладают новизной и

представляют научный и практический интерес. В процессе проведения эксперимента, набора, обработки и анализа данных А.Д. Степеннов проявил инициативу, трудолюбие, высокую квалификацию физика-экспериментатора и умение плодотворно сотрудничать в большом международном коллективе. Получаемые результаты как по анализу ослабления сигналов в передних калориметрах по мере увеличения интегральной светимости, так и по анализу процессов с векторными бозонами и адронными струями, диссертант неоднократно обсуждал на рабочих совещаниях со специалистами CMS, а подготовленные к публикации результаты проходили обсуждение в широком кругу всего сотрудничества CMS.

Результаты исследований опубликованы в научной печати и были доложены диссертантом на международных конференциях и совещаниях. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации. Диссертация Степеннова Антона Дмитриевича соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Научный руководитель,
начальник Лаборатории
экспериментальной ядерной физики высоких
энергий НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ,
Доктор физ.-мат. наук Гаврилов Владимир Борисович

«07» июня 2021

117218 г.Москва, ул.Большая Черемушкинская,25,
тел.+79166969971, электронная почта: Gavrilov@itep.ru

Подпись В.Б.Гаврилова заверяю
Ученый секретарь диссертационного совета
НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ,
Кандидат физ.-мат. наук - Васильев Валерий Васильевич