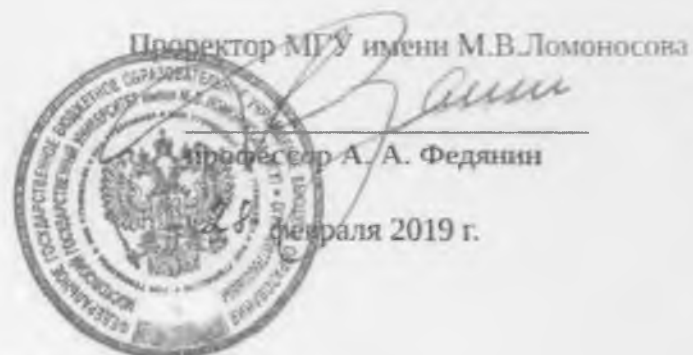


"УТВЕРЖДАЮ"



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" на диссертацию Рютина Романа Анатольевича "Дифракционные процессы эксклюзивного центрального рождения, диссоциации и перезарядки в Редже-эйкональном подходе", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – "теоретическая физика"

Диссертационная работа является результатом теоретических исследований дифракционных процессов и посвящена отдельным их аспектам, которые могут быть использованы в высокоточных измерениях как инструмент для получения фундаментальных свойств адронной материи и сильных взаимодействий. В экспериментах на Большом адронном коллайдере (БАК): CMS, TOTEM, ATLAS, LHCb, ALICE, были получены сечения различных дифракционных процессов: упругое рассеяние, одиночная и двойная дифракционная диссоциация, эксклюзивное рождение векторных мезонов (ЭРВМ), эксклюзивное двойное центральное рождение (ЭДЦР). Это послужило толчком к пересмотру некоторых основ теоретических моделей. В эксперименте LHCf недавно были получены сечения перезарядки с лидирующими нейтронами, которые были использованы для получения пион-протонных сечений при энергиях в несколько ТэВ. В настоящий момент проводится анализ новейших уникальных данных из совместного эксперимента CT-PPS. Основываясь на данных прошлых экспериментов (HERA, CDF, STAR), сделаны предсказания для процессов ЭДЦР и ЭРВМ на БАК. Подробно рассмотрен ряд методологических вопросов, связанных со спиновыми эффектами в процессах диссоциации и центрального рождения. Даны предсказания для азимутальных распределений процессов ЭДЦР при рождении резонансов с малыми и большими массами. Основываясь на фундаментальных теоретических положениях, выведены формулы для сечений процессов диссоциации. Исходя из этих формул проанализированы разные возможности поведения Померон-протонных сечений и извлечения их из экспериментальных данных. В теоретическом анализе экспериментальных данных диссертационной работы используется подход, направленный на получение реальных физических наблюдаемых, таких как адронные сечения, размеры и форма области взаимодействия и самих адронов, спиновая структура взаимодействующих частиц. Четко прописана их взаимосвязь и физическая значимость для дальнейшего развития исследований дифракции. В работе рассмотрены также программы для численного моделирования процессов ЭДЦР и перезарядки.

Дифракция является настолько удобным инструментом, что большинство экспериментов при высоких энергиях включают ее в свои физические программы. В ЦЕРНе на базе специальной физической программы идет активный анализ данных экспериментальных измерений сечений дифракционных процессов рождения фундаментальных состояний. Как в рамках эксперимента CMS, так и в рамках совместных измерений CMS/TOTEM, планируется дальнейшее

совершенствование детекторов в рамках проектов CT-PPS, HPS, FSC. В данной области исследований имеется несколько групп, специализирующихся в предсказаниях построенных этими группами моделей и подходов сечений дифракционных процессов для энергий и условий БАК. Основной проблемой, общей для всех групп, является недостаточная ясность зависимости предсказаний от общих принципов КХД и от дополнительных упрощающих предположений. В этом смысле одна из главных целей данной диссертационной работы – найти по возможности более прямую физическую интерпретацию результатов сравнения данных эксперимента и теоретических предсказаний в терминах свойств и параметров фундаментальной теории сильных взаимодействий, КХД. Это отвечает задачам имеющегося мирового уровня в данной области исследований и определяет актуальность представленных в диссертации результатов.

Диссертационная работа представляет несомненную **практическую ценность** как с точки зрения развития теории, так и для развития технологий, имеющих и будущих экспериментах. Безусловно, представленные в работе опубликованные результаты будут востребованы при построении моделей взаимодействия элементарных частиц и при уточнении параметризаций адронных сечений. Детальная разработка схемы расчета процессов ЭРВМ и ЭДЦР проведена с общей точки зрения, без привязки к определенной модели. И только потом применена в Редже-эйкональном подходе. Это дало возможность рассмотреть фундаментальные вещи, которые относятся не к конкретной модели, а к свойствам исследуемых процессов и составляющих их структур. Цель исследований – максимально отделить модельные предположения от получаемых экспериментальных результатов, что является в физике высоких энергий одной из самых сложных задач. До этого авторы проводили исследования только в рамках какого-то одного, узкого подхода, что лишало их возможности проследить модельную зависимость предсказаний. Получено несколько **новых важных результатов**: сечений пион-протонного рассеяния при энергиях в несколько ТэВ, амплитуд для различных спиновых состояний, предсказаний для многочисленных процессов, которые измерены и будут измеряться на БАК.

Достоверность полученных результатов несомненна — результаты прошли экспертизу в рамках коллаборации CMS, подтверждены данными HERA, CDF, WA102, LHCb, и других коллабораций, представленных в работе, докладывались на конференциях и опубликованы ведущими научными изданиями.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, девяти приложений, а также списка принятых сокращений и обозначений. Диссертация содержит 229 страниц, в том числе 116 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 280 ссылок.

Введение диссертационной работы исчерпывающе описывает основные задачи современной дифракционной физики, в частности: разработку адекватной модели дифракционных процессов, извлечении конкретных наблюдаемых величин, имеющих прозрачную физическую интерпретацию, уменьшение модельной зависимости при данных процедурах извлечения. Рассмотрены примеры физических величин, используемых в дифракции, и их интерпретации. Обсуждается ситуация присутствия различных пространственно-временных масштабов в процессах. Представлены также возможности, которые предоставляются для исследований процессы эксклюзивного рождения векторных мезонов (ЭРВМ) и эксклюзивного двойного центрального рождения (ЭДЦР). Кратко обсуждаются вопросы извлечения адронных сечений из экспериментальных данных.

Первая глава представляет историческое введение в дифракцию адронов и современные представления о ней, включая различные теоретические подходы. Объясняются ключевые моменты и свойства для определения дифракционных процессов. Представлены основные принципы выделения таких процессов. Продемонстрированы методы применения этих принципов к конкретным дифракционным процессам. Все эти свойства используются в данной

работе одновременно в применении к конкретным дифракционным процессам и с конкретными численными оценками. Также в этой главе обсуждаются три основных процесса, представленные в данной диссертации: процессы эксклюзивного двойного центрального рождения (ЭДЦР), перезарядки и дифракционной диссоциации. Для них рассмотрены основные свойства, существующие теоретические подходы и представления амплитуд и сечений.

Содержание второй главы полностью сосредоточено на полном описании кинематики, динамики, измеряемых величин, проблематики, экспериментов и предсказаний для ЭДЦР. ЭДЦР является процессом типа $h+h \Rightarrow h^*+M+h^*$, где процесс $h \Rightarrow h^*$ является квазидифракционным, M - частица или система частиц, рождаемая в центре, и "+" означает большой промежуток по быстрой. Если взять в качестве M отдельную частицу, то это первый "подлинно" неупругий процесс, который не только сохраняет много особенностей упругого рассеяния (дифракционную картину), но также ясно показывает, как начальная энергия превращается во вторичные частицы. ЭДЦР дает нам уникальные экспериментальные возможности для поиска частиц и исследования собственно дифракции. Это связано с несколькими преимуществами данного процесса: четкой сигнатурой, использованием метода недостающих масс, подавлением фонов, возможностью очень точных измерений. В диссертации рассмотрены все режимы данного процесса и методики вычисления амплитуд. Детально представлены математические расчеты и дальнейшая нормировка модели на данные HERA, и предсказания как для существующих данных (которые подтверждают применимость модели), так и для предстоящих в будущем данных ускорительных экспериментов. Большую ценность для демонстрации применимости подхода автора представляют результаты по центральному рождению двух фотонов и резонансов J/ψ , Υ_c в сравнении с данными CDF и БАК. Разработанная методика также вполне удовлетворительно описывает данные по рождению бозона Хиггса на БАК. Отметим, что представлены также предсказания по поиску рождения радиона и гравитонов в модели Рэндалл-Сундрум в связи с обсуждением возможных эффектов выхода за рамки Стандартной Модели.

Третья глава содержит полное описание кинематики, динамики, измеряемых величин, проблематики, экспериментов и предсказаний для пион-протонных и пион-пионных сечений в рамках измерений процессов перезарядки, методология извлечения сечений из экспериментальных данных. Следует отметить достоинства разработанного метода извлечения пион-протонных и пион-пионных сечений для энергий вплоть до нескольких ТэВ из данных по процессам с перезарядкой при экстраполяции данных по переменной t к малым ее значениям. Разработанная методика позволяет оценивать применимость различных моделей к описанию данных при сверхвысоких энергиях.

Четвертая глава дает полное описание кинематики, динамики, измеряемых величин, проблематики, экспериментов и предсказаний для процессов диссоциации, с оценкой протон-померонных сечений, в рамках ковариантного Реджевского подхода с учетом унитарных поправок. Большой интерес представляют также результаты по оценкам померон-померонных и померон-протонных сечений, которые применены к детальному анализу проблемы с учетом вклада трехпомеронной вершины.

В пятой главе приведены описания разработанных на основе модели программ симуляции дифракционных процессов. В диссертации представлена информация по разработанным автором генераторам EDDE, MonChER и ExDiff, которые применяются для моделирования событий на БАК, в том числе с рождением резонансов. Следует отметить несомненную практическую ценность результатов применения этих генераторов для успешного проведения исследований на БАК, в том числе и тех, которые представлены в настоящей диссертации.

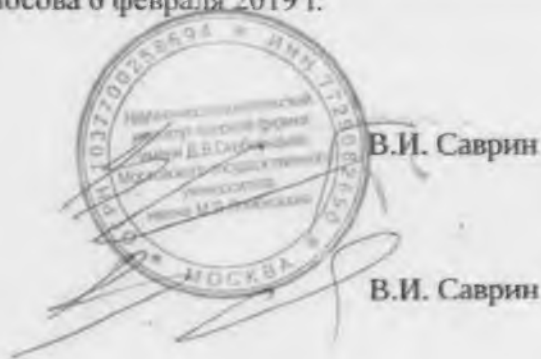
Заключение диссертационной работы суммирует основные результаты диссертации.

Изложение результатов диссертации проведено, в целом, последовательно и с необходимой степенью подробности. Однако, можно отметить, что в ряде случаев имеются и недостатки в изложении. Например, на стр. 61 слишком кратко приведен результат по дифракционному рождению частицы Хиггса на БАК. Не приведена ссылка на источник и отсутствуют комментарии по поводу того, без сомнений, важного процесса, который, кстати, включен в перечень основных результатов диссертации. В качестве более мелкого замечания, отметим, что фамилию автора работы [16] на стр. 84 следовало бы писать Гёбель. Высказанные замечания не снижают общей высокой оценки представленной диссертации.

Оценивая диссертацию Рютина Р.А. "Дифракционные процессы эксклюзивного центрального рождения, диссоциации и перезарядки в Редже-эйкональном подходе" в целом, можно с уверенностью заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработаны новые теоретические подходы к исследованию дифракционных процессов и получены результаты, которые могут быть эффективно использованы в анализе экспериментальных данных, в том числе получаемых на БАК. Результаты диссертации опубликованы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Рютин Роман Анатольевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Материалы диссертационной работы Рютина Р.А. обсуждались на семинаре НИИЯФ МГУ, и отзыв был утвержден на заседании Совета отдела теоретической физики высоких энергий (ОТФВЭ) НИИЯФ МГУ имени М.В.Ломоносова 6 февраля 2019 г.

И.о. директора НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук, профессор




В.И. Саврин

Заведующий ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук, профессор

В.И. Саврин

Отзыв составил:
Ведущий научный сотрудник ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук, профессор



Б.А. Арбузов

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова",
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2
тел. +7 495 9392578
e-mail: arbuzov@theory.sinp.msu.ru