

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Московского
государственного университета
имени М.В. Ломоносова
доктор физ.-мат. наук, профессор
А.А. Федянин



О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию Годизова Антона Александровича «Изучение дифракционного взаимодействия адронов при высоких энергиях в эйкональном подходе с нелинейными траекториями Редже», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика».

Диссертационная работа Годизова А.А. посвящена теоретическому исследованию мягких дифракционных процессов адронной физики высоких энергий в терминах общего редже-эйконального подхода. К мягким дифракционным процессам, в первую очередь, относится упругое рассеяние лёгких адронов, а также такие реакции как одиночная диссоциация нуклона, эксклюзивное центральное рождение скалярных и тензорных мезонов, фоторождение лёгких векторных мезонов на протонах. Особенностью применяемого в исследовании метода, отличающей его от альтернативных подходов, является использование существенно нелинейных приближений к траекториям Редже лидирующих реджеонов – эффективных переносчиков сильного взаимодействия в дифракционном кинематическом режиме.

В ходе исследования был получен ряд новых и важных с практической точки зрения научных результатов. В частности, путём теоретического моделирования экспериментальных угловых распределений упругого рассеяния нуклонов при энергиях столкновения от 10 ГэВ до 13 ТэВ было определено качественное поведение основных характеристик таких переносчиков сильного взаимодействия при высоких энергиях как мягкий померон и f-реджеон. К таким характеристикам относятся траектории Редже и вершинные функции, определяющие связь этих реджеонов с нуклонами. Далее, полученные приближения были использованы при теоретическом моделировании реакций одиночной дифракционной диссоциации протона в столкновениях нуклонов и эксклюзивного рождения лёгких мезонов в протон-протонных и лептон-протонных столкновениях. Также, была получена оценка эффективного поперечного радиуса нуклона

в дифракционном кинематическом режиме. В ходе феноменологического анализа данных по глубоко неупругому рассеянию лептонов на протонах была получена оценка интересента траектории Редже жёсткого померона – важная характеристика, определяющая рост сечений адрон-адронного рассеяния при сверхвысоких энергиях. В терминах подхода БФКЛ объяснено слабое влияние этого реджеона на поведение сечений при доступных энергиях. По результатам моделирования угловых распределений эксклюзивного фоторождения лёгких векторных мезонов на протонах и анализа данных коллаборации BELLE установлен основной кандидат на роль лёгкого тензорного глюбола – резонанс $f_2(2010)$. Путём решения уравнения Бёте-Солпитера для 4-фермионной функции Грина квантовой хромодинамики (КХД) в лестничном приближении найдена серия интересептов вторичных траекторий Редже, связанных с пионами и b -мезонами.

Мягкие дифракционные процессы относятся к непертурбативному сектору адронной физики высоких энергий. В последние годы интерес к изучению таких процессов со стороны научного сообщества значительно возрос. Исследования дифракционных процессов проводятся крупнейшими коллаборациями, работающими на Большом адронном коллайдере (БАК), такими как CMS, ATLAS, ALICE и LHCb. Изучение дифракционных процессов на коллайдере RHIC составляет часть физической программы коллаборации STAR. Популярность дифракционных исследований связана, в первую очередь, с огромной долей дифракционных событий в полном числе событий, имеющих место в столкновениях адронов при высоких энергиях (более 30% на БАК). Поэтому тема диссертации Годизова А.А. является весьма актуальной, а полученные соискателем результаты представляют несомненную практическую ценность и востребованы научным сообществом.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, четырёх приложений и списка литературы из 216-ти источников. Общий объём составляет 183 страницы, включая 10 таблиц и 50 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и методология исследования, определены новизна и практическая ценность полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе даётся историческая справка и приводится краткий обзор современного положения дел в мягкой адронной физике.

Во второй главе излагается используемый редже-эйкональный формализм, устанавливается реджеонная структура эйконала (борновской амплитуды), обосновывается необходимость использования нелинейных приближений к траекториям Редже лидирующих реджеонов, и проводится сравнение с альтернативными подходами к описанию упругого рассеяния нуклонов.

В третьей главе в терминах одно-, двух- и трёхреджеонного приближений к борновской амплитуде моделируются угловые распределения упругого нуклон-нуклонного рассеяния при энергиях столкновения от 10 ГэВ до 13 ТэВ и значениях переданного поперечного импульса до 2 ГэВ, включая область кулон-ядерной интерференции.

В четвёртой главе полученные в предыдущей главе приближения к лидирующим траекториям Редже и соответствующим реджеонным форм-факторам нуклона используются для моделирования дифференциальных сечений одиночной дифракционной диссоциации нуклона и эксклюзивного центрального рождения лёгких скалярных и тензорных мезонов.

В пятой главе моделируются угловые распределения упругого рассеяния заряженных каонов на протонах и эксклюзивного фоторождения лёгких векторных мезонов, определяются константы связи мягкого померона с каонами и реальными фотонами, а также, с помощью данных коллаборации BELLE определяется наиболее вероятный

кандидат на роль лёгкого тензорного глюбола, лежащего на траектории Редже мягкого поперона.

В **шестой главе** путём решения уравнения Бёте-Солпитера для 4-фермионной функции Грина осуществляется поиск ренорм-инвариантных сингулярностей этой функции, соответствующих интерсептам мезонных траекторий Редже.

В **заключении** перечисляются основные результаты.

Диссертационная работа Годизова А.А. обладает несомненной **научной новизной**. Применяемая в диссертационной работе методология основана на использовании существенно нелинейных приближений к траекториям Редже, учитывающих их асимптотическое поведение в области применимости пертурбативной КХД. Этот подход позволяет рассматривать различные процессы мягкой адронной физики высоких энергий с единых позиций. Простота и жёсткость используемых приближений позволяет на каждом этапе верифицировать предсказательную значимость рассмотренных моделей, что, в свою очередь, подтверждает надёжность этих моделей и высокую **практическую значимость** полученных результатов.

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, представлены в 11-ти статьях, опубликованных в рецензируемых журналах из списка ВАК, и одном электронном препринте. Также, эти результаты обсуждались на многочисленных российских и международных конференциях и семинарах, что дополнительно подчёркивает их **обоснованность и достоверность**.

Несмотря на общее положительное впечатление, производимое диссертацией, в изложении имеется ряд недостатков. В частности, из-за большого количества формул использование сквозной нумерации несколько замедляет поиск необходимой формулы после её упоминания в тексте. Было бы удобнее, если бы нумерация была не сквозная, а по главам. Также следует отметить громоздкость некоторых формулировок и определённую нехватку поясняющих рисунков диаграммного типа.

Вышеупомянутые недостатки не снижают общей высокой оценки представленной диссертации, её научной и практической значимости. Автореферат диссертации соответствует её тексту и в полном объёме отражает выносимые на защиту научные результаты. Работа выполнена на высоком теоретическом уровне. Тема диссертации выделяется актуальностью, а результаты отличаются научной новизной и практической ценностью, обоснованностью и достоверностью. Следует отдельно отметить тот факт, что все результаты, представленные в диссертации и выносимые на защиту, получены соискателем самостоятельно. Диссертационная работа Годизова А.А. соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.3.3. – «теоретическая физика» отрасли «физико-математические науки»: п.1. «Классическая и квантовая теория поля. Теория фундаментальных взаимодействий. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Объединённые модели фундаментальных взаимодействий. Разработка математических методов теории поля. Супергравитация и теория суперструн, модели с дополнительными измерениями, AdS/CFT соответствие, голографические модели»; п.6. «Общие вопросы квантовой теории: основы, теория измерений, теория рассеяния, теория открытых квантовых систем. Теория многих взаимодействующих частиц. Квантовая теория физических явлений в ядрах, атомах и молекулах»; п.7. «Квантовая хромодинамика. Разработка методов описания адронного вещества и кварк-глюонной плазмы, в том числе в приложениях к процессам в столкновениях адронов, ядер, тяжёлых ионов в компактных астрофизических объектах, в ранней Вселенной и в других системах».

Доклад Годизова А.А. по материалам диссертации был заслушан, обсуждён и одобрен на заседании семинара Отдела теоретической физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В.Ломоносова 25 октября 2023 г.

Диссертация Годизова А.А. «Изучение дифракционного взаимодействия адронов при высоких энергиях в эйкональном подходе с нелинейными траекториями Редже» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, установленным в «Положении о порядке присуждения учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 в его современной редакции, а соискатель Годизов Антон Александрович, безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. — теоретическая физика.

Отзыв составил

главный научный сотрудник ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физ.-мат. наук, профессор



В.И. Саврин

Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на заседании семинара ОТФВЭ НИИЯФ МГУ 25 октября 2023 г.

Заведующий ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физ.-мат. наук, профессор



В.И. Саврин

Директор НИИЯФ МГУ
доктор физ.-мат. наук, профессор,
член-корреспондент РАН



Э.Э. Боос