

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.10.2016 № 86

О присуждении Нефедову Максиму Александровичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Жесткие процессы в подходе реджезации партонов» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 15.06.2016 г. (протокол № 82) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе Объединенного института ядерных исследований, международная межправительственная организация, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6, приказ Рособнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Нефедов Максим Александрович** 1990 года рождения.

В 2012 году окончил физический факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по специальности 03.03.02 - «Физика» с присвоением квалификации «Физик», освоил программу подготовки в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» (Самарский университет, министерство образования и науки РФ), в период с 2012 по 2016 годы работал в должности инженера-исследователя научной группы кафедры общей и теоретической физики Самарского университета. Диссертация выполнена на кафедре общей и теоретической физики федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» (Самарский университет, министерство образования и науки РФ).

Научный руководитель – **Салеев Владимир Анатольевич**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей и теоретической физики физического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» (Самарский университет).

Официальные оппоненты:

Теряев Олег Валерианович, доктор физико-математических наук, без звания, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, начальник сектора;

Ким Виктор Тимофеевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, НИЦ “Курчатовский институт” Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, заместитель руководителя отделения Физики высоких энергий

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, в своем положительном заключении, подписанном **Фадиным Виктором Сергеевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, Теоретический отдел, главный научный сотрудник), **Бондарем Александром Евгеньевичем** (доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, дирекция, заместитель директора института) и утвержденным **Логачевым Павлом Владимировичем** (доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, директор института) указала что *«Исследование процессов с большими передачами импульса (жестких процессов) – одна из основных задач современных лептон-адронных и адрон-*

адронных коллайдеров. <...> По этому актуальность темы диссертации несомненна. <...> В диссертации развивается сравнительно новый подход, называемый подходом реджезации партонов (ПРП), в котором наряду с глюонными используются так же неинтегрированные кварковые распределения. Использование в качестве партонов реджезованных глюонов и кварков позволяет определять сечения жестких партонных подпроцессов калибровочно-инвариантным образом, с помощью предложенной Л. Н. Липатовым эффективной теории поля для КХД-амплитуд в мульти-реджевской кинематике. <...> Впервые были вычислены амплитуды ряда древесных подпроцессов $2 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$ с реджезованными партонами в начальном состоянии, а так же однопетлевых диаграмм типа «ящик» с одним и двумя реджезованными глюонами в начальном состоянии. <...> В работах по рождению дифотонов и совместному рождению фотона и струи впервые в ПРП был учтен вклад реальных радиационных поправок следующего порядка малости по константе сильного взаимодействия и разработана схема вычитания двойного счета, связанного с разделением по скорости в жестком процессе и партонном каскаде. <...> В третьей главе диссертации был проведен расчет P_T спектров тяжелых кваркониев. <...> Специально исследовались поляризационные эффекты и роль фрагментационного механизма рождения тяжелых кваркониев при больших поперечных импульсах. Показано, что спектры чармониев и боттомониев хорошо описываются в ПРП, получено удовлетворительное описание зависимости поляризации боттомониев от поперечного импульса. <...> В целом работа выполнена на высоком теоретическом и математическом уровне. Безусловно, она не могла быть проделана без высокой квалификации автора. Результаты диссертации представляют несомненный научный интерес и имеют значимую практическую ценность. Они полностью отражены в публикациях автора, большинство из которых – в ведущих физических журналах <...> Диссертация Максима Александровича Нефедова является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Полученные автором результаты

достоверны, выводы и заключения обоснованы. Диссертация безусловно удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Её автор несомненно заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.»

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ, из которых 8 опубликованы в рецензируемых научных изданиях рекомендованных ВАК. Основные работы:

1. Nefedov M. A., Saleev V. A., Shipilova A. V. Prompt J/ψ production in the Regge limit of QCD: From Tevatron to LHC // Phys. Rev. — 2012. — Vol. D85. — P. 074013 (9 pages).
2. Nefedov M. A., Saleev V. A., Shipilova A. V. Dijet azimuthal decorrelations at the LHC in the parton Reggeization approach // Phys. Rev. — 2013. — Vol. D87. — P. 094030 (11 pages).
3. Nefedov M. A., Nikolaev N. N., Saleev V. A. Drell-Yan lepton pair production at high energies in the Parton Reggeization Approach // Phys. Rev. — 2013. — Vol. D87. — P. 014022 (10 pages).
4. Kniehl B. A., Nefedov M. A., Saleev V. A. Prompt-photon plus jet associated photoproduction at HERA in the parton Reggeization approach // Phys. Rev. — 2014. — Vol. D89. — P. 114016 (17 pages).
5. Nefedov M. A., Saleev V. A. Diphoton production at the Tevatron and the LHC in the NLO approximation of the parton Reggeization approach // Phys. Rev. — 2015. — Vol. D92. — P. 094033 (16 pages).

Все работы выполнены в нераздельном соавторстве. Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 93 печатные страницы. Все перечисленные выше работы опубликованы в журналах, которые включены в международную систему цитирования Web of Science и хорошо известны научному сообществу. Все журналы рецензируемые, опубликованные работы прошли серьезную всестороннюю проверку рецензентами – ведущими специалистами в области теоретической физики и феноменологии в физике

высоких энергий.

На диссертацию и автореферат дополнительные отзывы не поступали. Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве В.Т. Кима говорится *«Диссертация написана в кратком но ясном стиле. Небольшим недостатком диссертации можно считать употребление сленга и некритичное использование переведенных терминов («скрипт-описание», «модел-файл», «регион» и. т. п.). Не смотря на довольно тщательное оформление имеются опечатки <...> Также пропущена одна из важных ссылок в списке литературы на работу Липатова, Кураева и др. (2005) по Фейнмановским правилам для эффективного действия <...> Но эти отмеченные недостатки не меняют общей высокой положительной оценки диссертации.»*, в отзыве О.В. Теряева говорится *«Следует отметить большой объем работы, выполненный соискателем на высоком уровне. <...> Диссертация написана ясно и весьма подробно, число опечаток невелико. <...> Её материалы своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, докладывались на Российских и Международных конференциях.»*. В отзыве ведущей организации сказано: *«Следует отметить, что некоторые части теоретического обзора в первой главе диссертации (такие как описание «регионов», обсуждение следующих за лидирующим приближений в подходе БФКЛ) можно было бы опустить без всякого вреда (а скорее с пользой) для диссертации, так что весь обзор можно было бы заметно сократить. С имеющимся в обзоре утверждением, что «последний шаг эволюции можно включить в жесткий процесс» (стр. 39) нельзя согласиться, поскольку эволюция означает переход от меньшего масштаба виртуальности к большему, а в жестком процессе виртуальность фиксирована. К сожалению, остается неясным, насколько согласованным является использование неинтегрированных партонных распределений Кимбера-Мартина-Рыскина с реджеонами в качестве партонов. Имеются в диссертации грамматические и стилистические погрешности. <...> В списке литературы встречается «смесь*

французского с нижегородским» (как в [92] Atwall J. и др.). Но подобные погрешности практически неизбежны в работе большого объема. В диссертации их число невелико и не мешает восприятию текста. В целом можно сказать, что диссертация написана хорошим грамотным языком. Сделанные выше замечания не умаляют общей высокой оценки диссертации.».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оба оппонента являются видными специалистами как в области теоретической физики так и в области феноменологии физики высоких энергий, а ведущая организация – одним из лидирующих научно-исследовательских институтов в области экспериментальной физики высоких энергий и теоретической физики. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК и индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также высоким индексом цитируемости их работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Показано, что в рамках ЛП ПРП и гипотезы НРКХД-факторизации могут быть описаны все все данные Теватрона и ЛНС по инклюзивным спектрам чармониев и боттомониев, рождающихся в адронных столкновениях при высоких энергиях. Продемонстрирована важность фрагментационного механизма рождения для описания имеющихся данных в области больших P_T и показано наличие проблемы описания поляризации чармониев в рамках ЛП ПРП, аналогичной той, что возникает и в СЛП КПМ.

- Впервые получены выражения для для квадратов модуля амплитуд всех основных древесных КХД процессов $2 \rightarrow 2$ с реджезованными кварками и глюонами в начальном состоянии. Впервые показано, что данные выражения в сочетании с ЛП нПФР Кимбера-Мартина-Рыскина (КМР) позволяют описать нормированные спектры пар струй по азимутальному углу между поперечными импульсами струй $\Delta\phi$ вплоть до $\Delta\phi \approx \pi/2$.

- Разработан скрипт-описание модели ReggeQCD для пакета FeynArts, позволяющий получать калибровочно-инвариантные амплитуды древесных КХД

процессов с реджезованными кварками и глюонами в начальном состоянии и множественностью вплоть до трех кварков, глюонов или фотонов в конечном состоянии.

- Показано, что в рамках ЛП ПРП удастся описать q_T -спектры Дрелл-Яновских лептонных пар с массами $Q < M_Z$ а так же зависимость угловых распределений лептонов в системе покоя пары от q_T -пары. Обнаружен эффект нарушения соотношений Лама-Тунга для коэффициентов углового распределения в области малых x .

- Показано, что в рамках ЛП ПРП может быть получено удовлетворительное описание всех имеющихся данных по процессу совместного фоторождения фотона и струи. Впервые получены точные аналитические выражения для спиральных амплитуд однопетлевого подпроцесса $\gamma R(t_1) \rightarrow \gamma g$, учитывающие зависимость амплитуды от виртуальности реджезованного глюона t_1 и продемонстрировано выполнение коллинеарного предела.

- Введено неполное следующее за лидирующим приближение (СЛП) в рамках ПРП для процесса инклюзивного рождения изолированных пар фотонов в неупругих pp и $p\bar{p}$ -столкновениях, учитывающее реальные СЛП поправки. Разработана техника вычитания двойного счета при расчете реальных СЛП поправок в ПРП. Показано, что в области $p_{TW} > M_W$, где ЛП ПРП лучше всего описывает эксперимент, СЛП поправка подавлена, что демонстрирует самосогласованность подхода. Так же впервые выведены точные аналитические выражения для спиральных амплитуд однопетлевого подпроцесса $RR \rightarrow \gamma\gamma$ с учетом зависимости от виртуальностей реджезованных глюонов $t_{1,2}$. Показано выполнение коллинеарного предела и исследован вклад этого подпроцесса в сечение.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказана высокая эффективность ПРП уже в ЛП при описании различных наблюдаемых (азимутальных декорреляций, поляризационных наблюдаемых, p_T -спектров и. т. п.) связанных с жесткими процессами в неупругих адронных и

лептон-адронных столкновениях и чувствительных к многократному излучению дополнительных жестких партонов. Применительно к проблематике диссертации результативно применена эффективная квантовая теория поля для реджевского предела КХД, предложенная Л. Н. Липатовым. Раскрыты трудности формализма НКХД-факторизации, возникающие при описании поляризации чармониев при больших P_T , и связанные, по видимому с грубостью нерелятивистского приближения при описании адронизации для этих систем. Изучена возможность построения неполного СЛП в рамках ПРП, для ряда процессов, путем включения реальных СЛП поправок. Доказана необходимость введения соответствующей процедуры вычитания двойного счета СЛП-вкладов и предложен её вариант.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что: создана библиотека квадратов-модуля амплитуд древесных КХД процессов $2 \rightarrow 2$ с реджезованными партонами в начальном состоянии, а так же однопетлевых амплитуд с реджезованными партонами в начальном состоянии, которая может быть использована для численных расчетов сечений различных жестких процессов. Кроме того, создан скрипт-описание модели для пакета FeynArts работающего в среде компьютерной алгебры Mathematica, который позволяет генерировать КХД-амплитуды $2 \rightarrow 3$ с реджезованными партонами в начальном состоянии и вычислять их квадраты модуля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: теория использованная в работе основана на хорошо зарекомендовавшем себя в многочисленных феноменологических приложениях методе Кимбера-Мартина-Рыскина для построения неинтегрированных партонных функций распределения и калибровочно-инвариантной эффективной теории поля Л.Н. Липатова для реджевского предела КХД, гарантирующей калибровочную инвариантность и выполнение коллинеарного предела для получаемых матричных элементов. Установлено совпадение коллинеарного предела для получаемых в работе амплитуд с реджезованными партонами в начальном состоянии с соответствующими амплитудами КПМ. Для выполнения численных расчетов в работе используются современные методы адаптивного Монте-Карло

интегрирования, реализованные в хорошо зарекомендовавшей и широко используемой в расчетах в теоретической физике высоких энергий библиотеке CUBA [T. Hahn, 2005, 2015].

Личный вклад соискателя в решение рассматриваемых в диссертации задач является определяющим. Аналитические результаты, на которых основаны работы [3–5], получены автором. В работах [1; 2] автор проводил независимую проверку аналитических формул. Численные результаты, на которых основаны работы [2–5], получены автором. В работе [1] автор проводил независимую численную перепроверку получаемых результатов. Постановка задач и анализ результатов, а также написание научных работ проводились совместно с научным руководителем и соавторами.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 12 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секретарь
диссертационного

Арбузов Андрей Борисович