

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

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26.06.2019 № 127

О присуждении Карпишкову Антону Витальевичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Парные корреляции в жёстких процессах при высоких энергиях в подходе реджезации партонов» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 17.04.2019 (протокол № 123) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований», 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 **Карпишков Антон Витальевич** 1992 года рождения.

В 2014 году соискатель с отличием окончил специалитет физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по специальности 010701.65 «Физика» с присвоением квалификации «Физик». В настоящее время работает в научно-образовательном центре физики неравновесных открытых систем Самарского национального исследовательского университета им. С.П. Королёва в должности лаборанта-исследователя. Диссертация выполнена на кафедре физики Самарского национального исследовательского университета им. С.П. Королёва.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор,

**Салеев Владимир Анатольевич**, Самарский университет, кафедра физики, профессор.

Официальные оппоненты:

**Котиков Анатолий Васильевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова, ведущий научный сотрудник;

**Галкин Владимир Олегович**, доктор физико-математических наук, Институт кибернетики и образовательной информатики, Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук, г. Черноголовка, в своем положительном заключении, подписанном **Николаевым Николаем Николаевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, ИТФ им. Ландау, главный научный сотрудник) и утвержденным **Колоколовым Игорем Валентиновичем** (доктор физико-математических наук, доцент, в.р.и.о. директора Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау), указала, что *«Успехи пертурбативной Квантовой Хромодинамики (КХД) в количественном описании процессов с большими переданными и поперечными импульсами при высоких энергиях более чем впечатляющие. За более чем 40 лет, прошедших с классических работ Грибова, Липатова, Докшицера, Алтарелли и Паризи, усилиями буквально сотен авторов формализм, основанный на уравнении ДГЛАП для плотностей коллинеарных партонов был доведён до высокой степени совершенства. <...> Основной предмет диссертации – описание одиночного и парного рождения D- и B-мезонов, содержащих тяжёлые кварки, и рождения изолированных фотонов, коррелированных с адронными струями. Помимо развития методических аспектов расчётов процессов в мультiredжевской кинематике, все расчеты*

доведены до сравнения с полученными на Теватроне и Большом Адронном Коллайдере экспериментальными данными. <...> По фактическому изложению полученных А.В. Карпишковым оригинальных результатов в собственно диссертации замечаний как таковых нет кроме того, что при чтении приходится привыкать к сокращениям, не самым привычным даже для знакомых с этой областью физики. Все основные результаты, составившие диссертацию А.В. Карпишкова, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах. Автореферат диссертации адекватно отображает её содержание, но стоило бы кроме списка публикаций автора привести в автореферате ссылки и на обсуждаемые экспериментальные публикации, и на теоретические работы других авторов, которые были использованы автором в его работе. <...> По научному уровню полученных оригинальных результатов и публикаций в ведущих научных журналах диссертационную работу Антона Витальевича Карпишкова «Парные корреляции в жёстких процессах при высоких энергиях в подходе реджезации партонов» безусловно можно квалифицировать как важное научное достижение. Работа полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявленным ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Антон Витальевич Карпишков заслуживает присвоения ученого звания кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 10 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные работы:

1. V. Karpishkov, M. A. Nefedov, V. A. Saleev, A. V. Shipilova. Open charm production in the parton Reggeization approach: Tevatron and the LHC // Phys.Rev. D 2015 Vol. 91 no.5, P. 054009, 2015, (12 стр.).
2. V. Karpishkov, V. A. Saleev, A. V. Shipilova. Large-pT production of D mesons at the LHCb in the parton Reggeization approach // Phys. Rev. D, 2016, Vol. 94, no.11, P. 114012, (17 стр.).

3. V. Karpishkov, M. A. Nefedov, V. A. Saleev, BBbar angular correlations at the LHC in the parton Reggeization approach merged with higher-order matrix elements // Phys. Rev. D, 2017, Vol. 96(9), P. 096019, (16 стр.).

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 151 печатная страница. 10 работ опубликованы в журналах, которые включены в международные системы цитирования Web of Sciences и Scopus и хорошо известны научному сообществу. Все журналы рецензируемые, опубликованные работы прошли серьезную всестороннюю проверку рецензентами – ведущими специалистами в области теоретической физики.

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве А.В. Котикова говорится: *«Хотелось бы отметить только несколько недочетов. Так, в диссертации сокращение НРКХД для нерелятивистской квантовой хромодинамики определено на стр. 51, а используется уже на третьей странице. В автореферате это сокращение вообще не определено. Автором используются странные для русского языка обороты, возникшие по-видимому при переводе статей автора с английского языка, такие как: “мы начинаем различать свидетельства точечноподобных кварков”, “малые конусные компоненты импульсов... не распространяются в жесткий процесс рассеяния”, “используем обычную спектроскопическую нотацию”, “что говорит о релевантности применяемого нами подхода”.* Более того, в автореферате номера формул в тексте сдвинуты на единицу по сравнению с соответствующими номерами в уравнениях. Сделанные замечания, однако, не носят принципиального характера и не снижают научной ценности диссертации, а являются скорее пожеланиями по улучшению представления результатов.» В отзыве В.О. Галкина говорится: *«В качестве замечаний и пожеланий укажем на следующее. Во-первых, в диссертации используется большое число неочевидных сокращений, которые существенно усложняют её чтение. Во-вторых, имеется ряд опечаток, самой*

существенной из которых является несоответствие нумерации формул ссылкам в автореферате – нумерация ссылок сдвинута на 1 вперёд. В-третьих, все процессы рассматриваются в приближении безмассовых кварков, однако ряд вычислений проведён в широкой области импульсов, включая малые, где такое приближение неоправданно. Интересно было бы обсудить возможность выхода за рамки приближения безмассовых кварков. Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной ценности диссертации, а являются скорее пожеланиями по улучшению представления результатов и дальнейшему развитию исследований.»

Соискатель ответил на все замечания.

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

**Диссертационный совет отмечает,** что в рамках проведённых соискателем исследований:

Исследованы процессы одиночного рождения  $D$  и  $B$  мезонов в подходе реджезации партонов при энергиях  $\sqrt{S} = 1.96, 2.76, 7$  и  $14$  ТэВ. Показано, что основной вклад в инклюзивные спектры даёт фрагментационное рождение в процессе  $RR \rightarrow g \rightarrow D(B)$ . Экспериментальные данные на Большом Адронном Коллайдере описываются как в области малых (ATLAS,CMS), так и больших быстрот (LHCb).

Показано, что лидирующий порядок подхода реджезации партонов описывает экспериментальные данные для парного рождения  $D\bar{D}$  и  $DD$  мезонов при энергии  $\sqrt{S} = 7$  ТэВ, а именно: спектр по поперечному импульсу  $D$  мезона  $p_T$ , разнице азимутальных углов между мезонами  $\Delta\phi$ , разнице быстрот  $\Delta y$ , а также

инвариантной массе  $D\bar{D}$  и  $DD$  пар мезонов без привлечения механизма многопартонного рассеяния. Показано, что в рождении пар  $DD$  мезонов доминируют процессы рождения в глюонной фрагментации.

Проведено исследование корреляционных наблюдаемых в процессе парного рождения струй, содержащих  $V$  мезоны, на БАК при энергии  $\sqrt{S} = 7$  ТэВ. Показано, что для описания экспериментальных данных в области малых значений разности азимутальных углов струй и разности радиусов конусов струй необходимо учитывать поправку в следующем за лидирующим порядке, обусловленную процессом с дополнительным глюоном в конечном состоянии.

В подходе реджезации партонов получены амплитуды процессов, дающие основной вклад в совместное рождение  $\Upsilon(1S)$  и  $D$  мезонов при энергии  $\sqrt{S} = 7$  ТэВ:  $RR \rightarrow (b+\bar{b}) \rightarrow [\Upsilon[n]]+g$  и  $RR \rightarrow c+\bar{c}+(b+\bar{b}) \rightarrow [\Upsilon[n]]$ . Рассчитаны амплитуды вышележащих состояний боттомония  $\Upsilon(2S)$  и  $\Upsilon(3S)$  и учтены их каскадные распады в изучаемое на эксперименте состояние  $\Upsilon(1S)$ . Показано, что корреляционные спектры  $\Upsilon(1S)$  и  $D$  мезонов, измеренные коллаборацией LHCb, хорошо описываются в рамках подхода реджезации партонов и модели факторизации нерелятивистской квантовой хромодинамики. Показано также, что в лидирующем порядке подхода реджезации партонов удаётся описать до половины экспериментального сечения.

С помощью файла-модели ReggeQCD для пакета FeynCalc получены аналитические выражения квадратов модулей амплитуд основных древесных процессов квантовой хромодинамики  $2 \rightarrow 3$  с реджезованными глюонами и кварками в начальном состоянии. Показана их калибровочная инвариантность и выполнение коллинеарного предела.

В подходе реджезации партонов рассчитаны спектры фотонов в процессах  $\gamma+jet$  и  $\gamma+2jet$  при энергиях  $\sqrt{S} = 1.96$  и  $7$  ТэВ, а также различные азимутальные корреляции между фотоном, лидирующей струей и сублидирующей струей. При расчётах сечений в событиях  $\gamma+2jet$  учтены вклады всех древесных КХД-подпроцессов  $2 \rightarrow 3$  с фотоном в конечном состоянии. Показано, что как в

процессах  $2 \rightarrow 2$ , так и в процессах  $2 \rightarrow 3$  доминирует вклад «комптоновского» рассеяния реджезованного глюона на реджезованном кварке. При исследовании наблюдаемой, чувствительной к дополнительным излучениям с большими поперечными импульсами, в  $\gamma+2 jet$  событиях рассмотрены два альтернативных подхода к описанию сечения в области малой разницы азимутальных углов. Показано, что в рамках подхода реджезации партонов в предположении о мультиреджевском режиме эволюции партонных функций распределения удаётся описать наблюдаемый в эксперименте эффект декорреляции.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные в подходе реджезации партонов амплитуды процессов  $2 \rightarrow 3$  с реджезованными кварками и глюонами в начальном состоянии могут быть использованы в дальнейших исследованиях жёстких процессов с рождением трёхчастичных конечных состояний, а также для вычислений радиационных поправок для процессов  $2 \rightarrow 2$  в подходе реджезации партонов. Полученные в данном подходе амплитуды процессов совместного рождения кваркониев с тяжёлыми кварками или глюоном, а также фотонов с кварками или глюонами, могут быть использованы для разработки Монте-Карло генераторов событий в модели  $k_T$ -факторизации, широко применяющихся для получения феноменологических предсказаний в физике высоких энергий.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила: Достоверность полученных результатов обеспечивается применением калибровочно-инвариантного подхода при построении квадратов модулей амплитуд партонных процессов в реджевском пределе квантовой хромодинамики. Целостность подхода реджезации партонов обусловлена использованием формулы факторизации и неинтегрированных партонных функций распределения Кимбера-Мартина-Рыскина, построенными в мультиреджевской кинематике, что также находится в согласии с применяемыми матричными элементами в эффективной теории поля Л.Н. Липатова, эквивалентными мультиреджевской асимптотике матричных

элементов квантовой хромодинамики. Амплитуды процессов, рассмотренных в данной работе, удовлетворяют условию калибровочной инвариантности, а также воспроизводят в коллинеарном пределе амплитуды коллинеарной партонной модели.

**Личный вклад** соискателя состоит в том, что все полученные результаты, включенные в диссертацию, получены лично автором или при его определяющем участии. Кроме того, автор в аналитическом виде в рамках подхода реджезации партонов получил амплитуды многих процессов  $2 \rightarrow 3$ , применяемых при описании рождения фотона и струй, а также совместного рождения тяжёлых мезонов. Автором была проверена калибровочная инвариантность этих амплитуд, а также выполнение коллинеарного предела для них.

На заседании № 127 от 26 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Карпишкову А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Быстрицкий Юрий Михайлович

26.06.2019

