

## О Т З Ы В

официального оппонента о диссертации Карпишкова Антона Витальевича «Парные корреляции в жёстких процессах при высоких энергиях в подходе реджезации партонов», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Современный анализ жестких процессов при высоких энергиях основан на факторизации эффектов физики больших и малых расстояний или больших и малых передач импульса. Стандартная коллинеарная партонная модель хорошо описывает жесткие процессы с одним большим масштабом, соизмеримым с энергией столкновения. Эволюция партонных распределений, зависящих от переменной Бьеркена  $x$  и масштаба факторизации, при этом описывается уравнениями Докшитцера-Грибова-Липатова-Алтарелли-Паризи (ДГЛАП) для коллинеарных, т.е. находящихся на массовой поверхности, партонов. В области очень высоких энергий, когда энергии столкновения много больше жесткого масштаба, т.е. при  $x \ll 1$ , реализуется другой динамический режим, при котором партонные функции распределения подчиняются уравнению Балицкого-Фадина-Кураева-Липатова (БФКЛ). В этом случае имеет место реджезация начальных партонов, которые несут поперечный импульс и находятся вне массовой поверхности.

Как показывает сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными, при энергиях современных коллайдеров, Тэватрон или БАК, режим БФКЛ динамики еще не наблюдается для таких величин, как полные или дифференциальные сечения. Однако для

многомасштабных процессов, в частности для процессов множественного рождения струй с большими поперечными импульсами, оказывается важным наличие больших поперечных импульсов, приобретенных партонами до жесткого столкновения. Для учета таких эффектов был предложен подход Kt-факторизации, в котором начальные партоны рассматриваются, как виртуальные, имеющие определенное распределение по поперечному импульсу. В традиционной форме подход Kt-факторизации реализуется только в ведущем порядке теории возмущений по константе сильного взаимодействия, для расчета жестких амплитуд используются обычные правила Фейнмана КХД, но с определенным предписанием для векторов поляризации начальных немассовых глюонов.

Такой полуэмпирический подход имеет ряд существенных недостатков: нарушение калибровочной инвариантности амплитуд, невозможность рассчитать поправки более высокого порядка, трудности с введением начальных немассовых кварков. Однако, в так называемом реджевском пределе, открывается возможность для построения эффективной теории (так-называемой эффективной теории Липатова), в рамках которой начальные партоны представляют собой калибровочно-инвариантные степени свободы – реджезованные кварки и глюоны. Использование амплитуд с реджезованными партонами в Kt-факторизации позволяет разработать самосогласованный подход для изучения многомасштабных процессов, развитию и применению которого и посвящена диссертационная работа Карпишкова А. В.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит сформулированные цели и задачи исследования, обоснование актуальности, научной новизны и практической значимости работы. Здесь перечислены также основные положения, выносимые на защиту, и отмечен личный вклад автора.

В первой главе кратко описан формализм коллинеарной партонной модели, обсуждается возможность ее применения для исследования жёстких многомасштабных процессов в области высоких энергий и сформулированы основные положения так-называемого подхода реджезации партонов (ПРП). Этот подход лежит в основе всех результатов, полученных в диссертации. Он позволяет воспроизвести как коллинеарный, так и мультiredжевский пределы КХД. В нём партонные функции распределения, являющиеся основой коллинеарной модели, естественным образом заменяются на неинтегрированные партонные функции распределения, учитывающие наличие поперечного импульса и виртуальности у начальных партонов.

Вторая глава диссертации содержит применение введенного ранее метода, т. е. ПРП, к описанию одиночного и парного рождения тяжёлых  $D$  и  $B$  мезонов в ведущем порядке теории возмущений. Рождение тяжёлых мезонов при этом описывается в рамках подхода коллинеарной фрагментации. Продемонстрировано хорошее согласие предсказаний ПРП с экспериментальными данными. Показано также, что это согласие может быть достигнуто без привлечения механизма двойного партонного рассеяния. Рассчитана радиационная поправка в рамках ПРП, которая привела к лучшему согласию с данными коллаборации CMS в области малых значений разности азимутальных углов  $B$  мезонов.

Третья глава диссертации посвящена описанию феноменологии совместного рождения боттомония и  $D$  мезонов в ведущем порядке ПРП. В ней кратко изложен также формализм нерелятивистской КХД, позволяющий описывать процессы рождения и распада тяжёлых кваркониев на основе теории возмущений. Заметим, что матричные элементы рассматриваемых процессов в рамках ПРП были получены впервые. Показана возможность описания большинства наблюдаемых экспериментальных данных в ведущем порядке ПРП.

В четвертой главе представлены результаты расчётов корреляций в совместном рождении фотона с одной и двумя адронными струями в протон-антипротонных столкновениях на ускорителе Тэватрон в ведущем порядке ПРП. Особенно важный результат был получен при исследовании корреляций в рождении фотона совместно с двумя адронными струями, которые являются очень чувствительными к возможному вкладу двойного партонного рассеяния. В диссертации показано необходимость учета механизма двойного партонного рассеяния. Предложено, однако, и альтернативное решение на основе подхода ПРП, учитывающего наличие у начальных партонов, поперечного импульса, большего, чем масштаб жёсткого процесса.

В заключении перечислены основные результаты работы, а также сформулированы следующие из них выводы.

Диссертация и автореферат написаны очень хорошо и понятно и почти без опечаток. 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.

Диссертация Карпишкова Антона Витальевича является законченным научным исследованием, содержащим новое решение актуальной научной задачи – изучение парных корреляций в жестких процессах при высоких энергиях. Полученные результаты имеют важное значение для развития КХД при высоких энергиях. Они могут быть использованы для анализа данных, полученных на современных ускорителях, а также при планировании новых экспериментов.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, докладывались на международных и российских конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Карпишков Антон Витальевич, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

«07» июня 2019 г.

Ведущий научный сотрудник  
Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований  
Доктор физ.-мат. наук

А.В. Котиков

Адрес: 141980, Дубна, Московская область, ЛТФ, ОИЯИ

Тел.: +7 (49621) 63339

e-mail: kotikov@theor.jinr.ru

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешённым способом.

Подпись А.В. Котикова заверяю:

Учёный секретарь  
Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований

Кандидат физ.-мат. наук



А.В. Андреев