

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Прохорова Андрея Александровича
на тему «Процессы с образованием тяжелых кваркониев и
калибровочных бозонов при высоких энергиях»
по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер
и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Диссертация А.А. Прохорова посвящена теоретическому описанию в рамках квантовой хромодинамики (КХД) процессов с образованием тяжелых кваркониев в протон-протонных столкновениях на Большом адронном коллайдере (ЛНС). Одним из эффективных и широко распространенных способов анализа состояний, включающих тяжелые кварки, является формализм нерелятивистской КХД. Однако, несмотря на его значительные успехи, остается еще ряд данных, которые не удастся достаточно хорошо интерпретировать. Так, для процессов парного рождения J/ψ мезонов или связанного рождения J/ψ мезонов и калибровочных бозонов теоретические предсказания значительно недооценивают величины, полученные на ЛНС. Возможной причиной могут быть вклады высших порядков теории возмущений, но их учет требует трудоемких вычислений. Поэтому вопросы самосогласованного описания доступных экспериментальных данных для тяжелых кваркониев и учета поправок остаются открытыми.

В связи с этим, диссертация А.А. Прохорова, посвященная изучению процессов парного рождения J/ψ мезонов и связанного рождения $J/\psi + Z/W$, несомненно, представляется достаточно **важной и актуальной**. Помимо этого в диссертации рассматривается механизм двойного партонного рассеяния (ДПР), что также представляет интерес для изучения процессов с участием тяжелых кваркониев.

Целью диссертации является исследование новых механизмов рождения чармониев, понимание которых позволит значительно

улучшить предсказания нерелятивистской КХД для рассматриваемых в диссертации процессов.

Научная новизна представленных результатов состоит в рассмотрении фрагментационных вкладов от множественного излучения глюонов в начальном состоянии. Для его описания были использованы уравнения Катани-Чиафалони-Фиорани-Маркезини (CCFM), определяющие эволюцию зависящих от поперечного импульса глюонных распределений (TMD) в рамках подхода k_T -факторизации. Такие образом были эффективно учтены поправки высших порядков коллинеарной теории возмущений. Впервые проведенные расчеты таких вкладов позволили улучшить согласие между теоретическими предсказаниями нерелятивистской КХД и экспериментальными данными LHC.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается хорошо разработанными методами квантовой теории поля, лежащими в основе теоретических вычислений, а также сравнением получаемых предсказаний с экспериментальными данными и теоретическими результатами других научных групп.

Результаты, включаемые в диссертацию А.А. Прохорова, **апробировались** на российских и международных конференциях и семинарах, а также представлены в 4 статьях, которые были опубликованы в ведущих реферируемых научных журналах, таких как Physical Review D и European Physical Journal C.

Структура диссертации

Диссертации содержит 124 страницы, состоит из введения, 5 глав, заключения и списка цитированной литературы в количестве 152 ссылок. Введение содержит тему исследования и обоснование ее актуальности, формулировку цели, задач и новизны. Представлена апробация работы.

Первая глава посвящена описанию уравнений эволюции, подхода k_T -факторизации и TMD распределений глюонов.

Во второй главе приводится описание формализма нерелятивистской КХД и его применение для фрагментационного механизма рождения кваркониев.

В третьей главе рассмотрены основные механизмы парного рождения J/ψ мезонов, в том числе фрагментационный механизм рождения чармониев как для случая одиночного, так и двойного партонного рассеяния с учетом эффектов множественных глюонных излучений. Представлены результаты сравнения теоретических вычислений с имеющимися экспериментальными данными LHC. Получена оценка эффективного сечения ДПР.

В четвертой главе обсуждается применимость подхода k_T -факторизации для процессов связанного рождения Z бозонов и тяжелых (c,b) -струй. Представлено сравнение расчетов с экспериментальными данными ATLAS, CMS и коллинеарным приближением КХД.

В пятой главе рассматриваются фрагментационные вклады в процессы связанного рождения $J/\psi + Z/W$. Представлено сравнение с экспериментальными данными коллаборации ATLAS и имеющимися предсказаниями нерелятивистской КХД.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Среди результатов диссертации стоит отметить следующее:

1. Проведено вычисление полных и дифференциальных сечений процесса парного рождения J/ψ мезонов в подходе k_T -факторизации в различных кинематических областях. Продемонстрирована важность учета фрагментационных вкладов от множественных глюонных излучений в области центральных быстрот, что соответствует кинематике экспериментов ATLAS и CMS. Учет таких вкладов позволил значительно улучшить согласие теоретических предсказаний в рамках нерелятивистской КХД с экспериментальными данными ATLAS, особенно для областей больших инвариантных масс и разности быстрот между J/ψ мезонами. Показано, что в передней области быстрот такие вклады

пренебрежимо малы.

2. Получена оценка эффективного сечения ДПР ~ 15 мбн из анализа экспериментальных данных ЛНСб. Эта величина хорошо согласуется с оценками, получаемыми из процессов с другими конечными состояниями.

3. Предложен метод включения фрагментационных вкладов в механизм ДПР. Показано значительное влияние таких вкладов на полное и дифференциальные сечения.

4. Проведено вычисление сечений связанного рождения Z бозонов и тяжелых струй. Показано, что в области небольших поперечных импульсов подход k_T -факторизации хорошо согласуется с экспериментальными данными ЛНС и предсказаниями коллинеарной КХД, вычисленными в следующем за лидирующим порядке.

5. Проведены расчеты фрагментационных вкладов в процессы связанного рождения $J/\psi + Z/W$ в подходе k_T -факторизации. Показано, что учет таких вкладов позволяет значительно улучшить согласие предсказаний нерелятивистской КХД и экспериментальных данных ATLAS.

В целом диссертация выполнена на достаточно высоком теоретическом уровне. Тем не менее по ее содержанию возникают несколько вопросов и замечаний.

1. При обсуждении фрагментации в разделе 2.2.1 приведены примеры факторизуемой диаграммы, которая дает вклад во фрагментацию c кварка в чармоний, и нефакторизуемой, которая такого вклада не дает (Рис.9). Вторая диаграмма выглядит как фрагментация антикварка $\bar{c}$, что, очевидно, ведет к удвоению вклада первой из них и учитывается в уравнениях эволюции для функций фрагментации. Однако остается вопрос, следует ли учитывать интерференцию между ними?

2. Почему в выражениях для вклада факторизуемых диаграмм в дифференциальные сечения (формулы (107), (108) и далее) потоковые факторы, например, $\lambda^{1/2}(\hat{s}, p^2, m_c^2)$ оказались в числителе?

3. В разделе 2.2.3 обсуждались уравнения эволюции для

функций фрагментации. Они решались численно на двумерной решетке в пространстве (x, μ^2) . При этом приходилось специально аппроксимировать в функциях расщепления их сингулярные части $1/(1-z)_+$ и $\delta(1-z)$. Возможно проще было бы перейти к меллиновским моментам, в которых уравнения решаются аналитически, и не надо специально заботиться о сингулярных частях, а затем численно проинтегрировать ответ, чтобы вернуться к переменной x .

4. Не совсем ясны особенности расчета фрагментационных вкладов в сечение рождения чармониев. Что означает моделирование событий, отвечающих определенному партонному подпроцессу на первом этапе расчета, и как оно проводилось? Чем обусловлена необходимость обратной ССФМ эволюции на втором этапе, и в чем разница между виртуальным глюоном $g^*(p)$ и глюонами каскада, учитывая, что в формализме k_T -факторизации все они виртуальны и несут поперечный импульс?

5. Рассматривалось два механизма парного рождения кваркониев – в одиночном и двойном партонном рассеянии, для каждого из которых вычислялись соответствующие сечения. Возможна ли интерференция между этими механизмами?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Прохоров Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник Отделения теоретической физики
Федеральное бюджетное государственное учреждение
Петербургский институт ядерной физики имени
Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский
институт»

ШУВАЕВ Андрей Григорьевич



Контактные данные:

тел.: +7(813)7146096, e-mail: shuvaev_ag@pnpi.nrcki.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, мкр. Орлова Роща, д.1,
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
Тел.: +7(813)7146025; e-mail: dir@pnpi.nrcki.ru

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ А.Г. Шуваева
удостоверяю: