

На правах рукописи

Шипилова Александра Викторовна

ИНКЛЮЗИВНОЕ И АССОЦИАТИВНОЕ РОЖДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ КВАРКОВ
В РЕДЖЕВСКОМ ПРЕДЕЛЕ КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКИ

01.04.16

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук

Самара – 2010

Работа выполнена на кафедре общей и теоретической физики в ГОУ ВПО «Самарский государственный университет»

Научный руководитель

доктор физико–математических наук, профессор,
Салеев Владимир Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор физико–математических наук, профессор
Кураев Эдуард Алексеевич

доктор физико–математических наук, профессор
Фадин Виктор Сергеевич

Ведущая организация

Петербургский Институт Ядерной Физики
им. Б.П. Константинова

Защита диссертации состоится «____» _____ 2011 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 720.001.01 при Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан «____» _____

Ученый секретарь

диссертационного совета Арбузов Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена исследованию процессов инклюзивного и ассоциативного рождения тяжелых кварков при высоких энергиях в подходе квазимультиреджевской кинематики (КМРК). В рамках гипотезы реджезации глюонов и кварков изучается инклюзивное и парное рождение b -струй, ассоциативное рождение $b\gamma$ - и $c\gamma$ -струй, инклюзивное фоторождение и адророждение D -мезонов. С использованием формализма нерелятивистской квантовой хромодинамики (НРКХД) рассматриваются процессы инклюзивного фоторождения J/ψ -мезонов.

В основе диссертации лежат результаты работ, выполненных автором в период с 2007 по 2010 годы в Самарском государственном университете, а также во время стажировки по Российско-Германской программе научных обменов «Михаил Ломоносов» во II-м Институте теоретической физики Гамбургского университета, г. Гамбург, Германия.

Исследования выполнялись в рамках реализации проекта П-1338 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (мероприятия № 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук»), а также при поддержке некоммерческого фонда «Династия».

Актуальность темы.

Исследуемые в диссертации процессы инклюзивного и ассоциативного рождения тяжелых кварков с большими поперечными импульсами на коллайдерах высоких энергий, прежде всего таких как Tevatron и ЛНС, представляют значительный интерес для проверки пертурбативной квантовой хромодинамики (КХД) и КХД-мотивированных моделей, описывающих процессы адронизации тяжелых кварков, а также дают информацию о партонных распределениях в протоне. Эти процессы относятся к так называемым жестким процессам, то есть процессам с большой передачей импульса μ , для которых $\mu^2 \gg \Lambda_{\text{КХД}}^2$, где $\Lambda_{\text{КХД}}$ — асимптотический масштабный параметр КХД. Они изучаются в терминах кварковых и глюонных полей, то есть непосредственно с помощью лагранжиана КХД и построенной на его основе теории возмущений по малой на масштабе μ константе сильного взаимодействия $\alpha_s(\mu)$. В роли характерного масштаба μ жесткого процесса, в результате которого рождается тяжелый кварк с массой m_q и поперечным импульсом \mathbf{p}_T ,

обычно выбирается поперечная масса кварка $m_T = \sqrt{m_q^2 + \mathbf{p}_T^2}$. Таким образом, наличие достаточно тяжелого кварка ($m_T \gg \Lambda_{\text{КХД}}$) гарантирует, что передачи импульса в партонном подпроцессе велики, даже в процессах рождения тяжелых кварков с малыми поперечными импульсами, и константа сильного взаимодействия на масштабах больших, чем масса тяжелого кварка, достаточно мала для расчетов по теории возмущений $\alpha_s(m_T) \leq 0.2$.

Теоретической основой моделей, претендующих на описание существующих экспериментальных данных по различным спектрам рождения тяжелых кварков и кваркониев на коллайдерах высоких энергий, является гипотеза факторизации мягких и жестких взаимодействий, которая позволяет учесть непертурбативные эффекты путем введения коллинеарных или неколлинеарных функций распределения партонов в протоне, а также функций фрагментации партонов в конечные адроны. В феноменологии сильных взаимодействий при высоких энергиях необходимо описывать КХД-эволюцию функций распределения партонов в сталкивающихся адронах начиная с некоторого масштаба μ_0 , который отвечает за их непертурбативное поведение, до некоторого характерного энергетического масштаба жесткого процесса рассеяния μ . Эти функции подчиняются уравнениям Докшицера-Грибова-Липатова-Алтарелли-Паризи (ДГЛАП), которые позволяют суммировать члены, усиленные в каждом порядке теории возмущений степенями «больших логарифмов» $\ln(\mu/\Lambda_{\text{КХД}})$. В области очень высоких энергий, в так называемом реджевском пределе, характерное значение $x = \mu/\sqrt{S}$ становится очень малым $x \ll 1$. Это приводит к большим вкладам логарифмов типа $\ln(1/x)$ в процедуру суммирования ряда теории возмущений по константе сильного взаимодействия, которая описывается уравнением эволюции Балицкого-Фадина-Кураева-Липатова (БФКЛ) или другими уравнениями подобного типа для неинтегрированных по поперечному импульсу глюонных и кварковых функций распределения $\Phi_a(x, \mathbf{q}_T^2, \mu^2)$, $a = q, g$.

В этом высокоэнергетическом пределе партонные подпроцессы с обменами партонами (кварками или глюонами) в t -канале дают основной вклад в сечения взаимодействия адронов, и мы имеем дело с мультiredжевской или квазимультiredжевской кинематикой процессов рождения. В мультiredжевской кинематике частицы в конечном состоянии разделены на струи с конечными (не растущими с S) инвариантными массами; при этом инвариантные

массы любой пары струй растут с S . Иначе говоря, поперечные к оси столкновения импульсы рожденных частиц конечны, а продольные импульсы имеют один порядок величины в каждой из струй; при этом отношение характерных продольных импульсов в разных струях сильно отличается от единицы, и это отличие растет с S . Квазимультиреджевская кинематика (КМРК) включает струи частиц с инвариантной массой порядка характерного поперечного импульса, то есть все частицы, за исключением одной пары, имеют большие инвариантные массы и фиксированные поперечные импульсы, а инвариантная масса упомянутой пары частиц сравнима с их поперечными импульсами.

В рассматриваемой области уже нельзя пренебрегать поперечными импульсами партонов и их немассовыми свойствами, как это предполагается в стандартной партонной модели. Теоретической основой такой реджевской феноменологии является подход квазимультиреджевской кинематики, основанный на неабелевой калибровочно-инвариантной квантовой теории поля, предложенной Л. Н. Липатовым в 1995 г. Эффективное действие этой теории содержит поля реджезованных глюонов и реджезованных кварков, наряду с полями обычных кварков и Янг-Миллсовских глюонов. Реджезация элементарной частицы со спином j означает тот факт, что при больших энергиях \sqrt{S} сталкивающихся частиц и фиксированных переданных импульсах $\sqrt{-t}$ амплитуды процессов с обменом этой частицей с учетом радиационных поправок имеют тот же вид, что и в борновском приближении, но со спином, отличным от j и зависящим от передачи импульса. Подход КМРК позволяет эффективно учесть главные вклады в амплитуды процессов в реджевском пределе, просуммированные во всех порядках теории возмущений КХД по константе сильного взаимодействия, что представляет высокую практическую ценность, так как расчеты в фиксированном порядке по α_s в коллинеарном приближении не описывают многочисленные данные, полученные на коллайдере Tevatron. Также, развитие подхода КМРК представляется актуальным потому, что проверка Стандартной Модели и поиск эффектов новой физики, лежащей за ее пределами, на современных ускорителях высоких энергий требует максимально точного описания процессов рождения уже известных и гипотетических частиц в рамках КХД.

Научная новизна и практическая ценность работы. В работе впервые, наряду с известным эффектом реджезации глюонов, исследован эффект реджезации кварков в процессах инклюзивного и ассоциативного рождения тяжелых кварков при высоких энергиях. Показана важность учета борновских процессов $2 \rightarrow 1$ в подходе КМРК при описании инклюзивных спектров частиц по поперечному импульсу. Для партонных подпроцессов $2 \rightarrow 2$ с участием реджезованных t -канальных глюонов и кварков в подходе КМРК впервые получен ряд неизвестных ранее аналитических выражений для квадратов модулей амплитуд рождения тяжелых кварков, фотонов и глюонов. Эти результаты могут быть использованы в генераторах Монте-Карло, которые получили широкое распространение для моделирования реальных экспериментов на ускорителях высоких энергий.

Впервые в подходе КМРК единым образом описаны данные по спектрам инклюзивного рождения с участием тяжелых кварков (c и b): D - и J/ψ -мезонов, собственно b -струй, корреляции между b и \bar{b} струями, спектры фотонов по поперечному импульсу в процессах ассоциативного рождения $b\gamma$ - и $c\gamma$ -пар. Сделаны предсказания для спектров ассоциативного рождения $b\gamma$ - и $c\gamma$ -пар по инвариантной массе пары и азимутальному углу между поперечными импульсами фотона и тяжелого кварка.

Успешное применение подхода КМРК для описания приведенных выше экспериментальных данных открывает возможность как для изучения других процессов, происходящих при условиях (квази)мультiredжевской кинематики, в рамках этого подхода, так и для дальнейшего теоретического развития высокоэнергетической КХД.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием точных аналитических выражений для квадратов модулей амплитуд процессов рождения, совпадением их в коллинеарном пределе с результатами, полученными ранее в коллинеарной партонной модели, использованием неоднократно апробированных методов при численных расчетах и согласованностью результатов, полученных для наблюдаемых в различных процессах рождения частиц.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Получены впервые аналитические формулы для квадратов модулей амплитуд процессов $2 \rightarrow 2$ с участием реджезованных кварков и глюонов: $Q_r \bar{Q}_r \rightarrow q_f \bar{q}_f$, $Q_f \bar{Q}_f \rightarrow q_f \bar{q}_f$, $Q_r Q_f \rightarrow q_r q_f$, $Q_f Q_f \rightarrow q_f q_f$, $Q\mathcal{R} \rightarrow q\gamma$, $Q\bar{Q} \rightarrow g\gamma$, $Q\gamma \rightarrow qg$. Показано, что в коллинеарном пределе полученные выражения совпадают с известными в КХД результатами.

2. Показана нетривиальная роль партонных подпроцессов $2 \rightarrow 1$ с участием реджезованных кварков в подходе КМРК, при описании процессов инклюзивного рождения тяжелых кварков с большими поперечными импульсами. С учетом таких процессов, получено хорошее описание данных по спектрам D -мезонов на коллайдерах HERA и Tevatron, а также b -кварковых струй на коллайдере Tevatron.

3. Выполнен расчет различных корреляционных спектров в парном рождении $b\bar{b}$ -струй на коллайдере Tevatron в подходе КМРК. Результаты расчетов, полученные с учетом вкладов подпроцессов $\mathcal{R}\mathcal{R} \rightarrow b\bar{b}$ и $Q\bar{Q} \rightarrow b\bar{b}$, хорошо описывают экспериментальные данные.

4. Показано, что данные по ассоциативному рождению тяжелых кварков (b или c) и фотонов с большими поперечными импульсами на коллайдере Tevatron хорошо описываются в борновском приближении подхода КМРК, где основной вклад дает партонный подпроцесс рассеяния реджезованного кварка на реджезованном глюоне $Q_{b,c}\mathcal{R} \rightarrow b(c)\gamma$.

5. Исследована относительная роль механизмов фрагментации и слияния в процессах фоторождения J/ψ -мезонов в подходе КМРК и НКХД. Показано, что при рождении J/ψ -мезонов механизм слияния доминирует над механизмом фрагментации для значений поперечных импульсов вплоть до $p_T = 20$ ГэВ в подходе КМРК, в то время как в коллинеарной партонной модели вклад механизма фрагментации начинает превышать вклад механизма слияния при значительно более высоком значении поперечного импульса $p_T = 40$ ГэВ.

Апробация результатов.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных форумах: Международной Школе «Вычисления для современных и будущих коллайдеров» (ОИЯИ, Дубна, 2006); Научной Сессии Отделения ядерной физики РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (ИТЭФ, Москва, 2007 и 2009); конференции «Структура адронов и КХД: от низких до высоких энергий», (ПИЯФ, Гатчина, 2008, 2010); рабочем семинаре II-го Института теоретической физики (DESY, Гамбург, 2008); конференции Института Густава Штрессмана (Бонн, 2008); рабочего семинара DESY (DESY, Гамбург, 2009); методологической школе-конференции «Математическая физика и нанотехнологии» (Самара, 2009); международной конференции «Photon 2009» (DESY, Гамбург, 2009); международной конференции «Physics at the LHC 2010» (DESY, Гамбург, 2010); международной конференции «Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects» (Флоренция, 2010); международной конференции «Quarks-2010» (ИЯИ, Москва); Второй международной конференции «Математическая физика и ее приложения» (Самара, 2010); Международном совещании «Боголюбовские чтения» (ОИЯИ, Дубна, 2010), а также на регулярных научно-практических конференциях и научных семинарах в Самарском государственном университете.

Публикации.

По теме диссертационной работы опубликовано 13 работ, в том числе: в журналах из списка рекомендуемых ВАК — 5; в иностранных журналах — 3; в сборниках трудов международных симпозиумов и конференций — 4; в других изданиях — 4.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографии из 96 наименований. Она содержит 19 рисунков. Общий объем диссертации составляет 97 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткую характеристику темы исследования, формулировку целей работы и описание структуры диссертации. В конце введения отмечается личный вклад автора в полученные результаты и апробация работы.

Первая глава. Теоретические модели. В первой главе дан краткий обзор основным существующим теоретическим моделям, которые используются для описания процессов с участием тяжелых кварков, рождения струй и тяжелых кваркониев при высоких энергиях, это подход КМРК, НРКХД и модель фрагментации.

Первый параграф посвящен подходу КМРК, который основан на эффективной квантово-полевой теории с неабелевым калибровочным действием, являющейся высокоэнергетическим пределом КХД. В подходе КМРК начальные t -канальные глюоны и кварки рассматриваются как Реджеоны, или реджезованные глюоны (\mathcal{R}) и реджезованные кварки (\mathcal{Q}). Реджеоны находятся вне массовой поверхности и переносят конечный двумерный поперечный импульс \mathbf{q}_T , относительно адронов, из которых они были испущены.

Реджеоны взаимодействуют с обычными Янг-Миллсовскими глюонами и кварками особым образом, и для вычисления амплитуд процессов с их участием в низшем порядке по α_s используются эффективные правила Фейнмана, полученные ранее в работах Л.Н.Липатова и М.И.Вязовского (2001) и Е.Н.Антонова, Л.Н.Липатова, Е.А. Кураева и И.О.Чередникова (2005), для индуцированных и некоторых важных эффективных вершин. Реджезация амплитуд это прием, который дает возможность эффективно учесть большие радиационные поправки к процессам в реджевском пределе высоких энергий, вне рамок коллинеарного приближения.

В рамках гипотезы факторизации жестких процессов при высоких энергиях адронное сечение рождения кваркония H в процессе $p + p \rightarrow H + X$ связано с сечением рождения в подпроцессе с участием Реджеонов (a и b) $a + b \rightarrow H + X'$ следующим образом

$$\begin{aligned} d\sigma(p + \bar{p} \rightarrow H + X) &= \int \frac{dx_1}{x_1} \int \frac{d^2q_{1T}}{\pi} \int \frac{dx_2}{x_2} \int \frac{d^2q_{2T}}{\pi} \times \\ & \left[\Phi_a^p(x_1, t_1, \mu^2) \Phi_b^{\bar{p}}(x_2, t_2, \mu^2) + \Phi_b^p(x_1, t_1, \mu^2) \Phi_a^{\bar{p}}(x_2, t_2, \mu^2) \right] \times \\ & d\hat{\sigma}(a + b \rightarrow H + X'), \end{aligned} \tag{1}$$

где q_1 и q_2 — 4-импульсы Реджеонов a и b , соответственно, $t_{1,2} = -q_{1,2}^2$, $x_{1,2}$ — доли импульса адронов, уносимые Реджеонами, $\mu \sim M_T = \sqrt{m_H^2 + |\mathbf{p}_T|^2}$ — характерный масштаб жесткого процесса. Неинтегрированные функции распределения $\Phi_a^h(x, t, \mu^2)$ связаны с коллинеарными $F_a^h(x, \mu^2)$ условием нормировки

$$xF_a^h(x, \mu^2) = \int^{\mu^2} dt \Phi_a^h(x, t, \mu^2), \quad (2)$$

обеспечивающим правильный переход от формул подхода КМРК к коллинеарной партонной модели, в которой поперечными импульсами партонів пренебрегают. На стадии численных расчетов мы используем предписание Кимбера, Мартина и Рыскина (КМР) для неинтегрированных кварковых и глюонных функций распределения, используя протонные коллинеарные функции Мартина-Робертса-Стирлинга-Торна в качестве затравочных. Следует заметить, что поход КМР для получения неинтегрированных функций распределения кварков и глюонов по существу близок к методу нахождения эффективных вершин в подходе КМРК.

Во втором параграфе рассматривается НРКХД. В рамках подхода НРКХД сечение рождения тяжелого кваркония H в партон-партонном взаимодействии $\hat{\sigma}(a + b \rightarrow H + X)$ может быть представлено как сумма членов, в которых факторизуются коэффициенты, определяемые физикой жесткого взаимодействия, и матричные элементы, описывающие эффекты физики больших расстояний:

$$d\hat{\sigma}(H) = \sum_n d\hat{\sigma}(Q\bar{Q}[n]) \langle \mathcal{O}^H[n] \rangle. \quad (3)$$

Здесь n обозначает набор цветовых, спиновых и орбитальных квантовых чисел $Q\bar{Q}$ -пары, сечение рождения которой $\hat{\sigma}(Q\bar{Q}[n])$. Непертурбативный переход $Q\bar{Q}$ -пары в конечный кварконий H описывается матричным элементом $\langle \mathcal{O}^H[n] \rangle$, который может быть рассчитан в рамках непертурбативных методов КХД или извлечен из экспериментальных данных.

В третьем параграфе обсуждается механизм фрагментации. Анализ процессов рождения тяжелых мезонов и тяжелых кваркониев в рамках коллинеарной партонной модели показывает, что в области $p_T^2 \gg m_H^2$ реализуются условия фрагментационного приближения, при котором имеет место факторизация процесса рождения тяжелого кварка и его превращения в конечный мезон. В этой области сечение рождения тяжелого мезона или квар-

кония H может быть представлено в виде

$$d\sigma(p + \bar{p} \rightarrow H + X) = \sum_i \int d\xi D_{i \rightarrow H}(\xi, \mu^2) d\hat{\sigma}(p + \bar{p} \rightarrow i), \quad (4)$$

где сумма берется по всем типам партонов $i = q, g$.

Вторая глава. Амплитуды процессов с участием реджезованных глюонов и кварков в подходе КМРК. Вторая глава посвящена выводу аналитических выражений для квадратов модулей амплитуд процессов рождения с участием Реджеонов в начальном состоянии. Все процессы исследуются в низшем порядке по константе сильного взаимодействия α_s . Отдельно рассмотрены процессы рождения тяжелых кварков и глюонов $2 \rightarrow 1$ (вершины Реджеон-Реджеон-частица: $\mathcal{R}\mathcal{R} \rightarrow g, \mathcal{R}\mathcal{Q} \rightarrow q, \mathcal{Q}\bar{\mathcal{Q}} \rightarrow g, \mathcal{Q}\mathcal{Q} \rightarrow \gamma$; вершины Реджеон-частица-частица: $\mathcal{Q}g \rightarrow q, \mathcal{R}\mathcal{Q} \rightarrow q, \mathcal{Q}\gamma \rightarrow q$) и $2 \rightarrow 2$ ($\mathcal{Q}_r\bar{\mathcal{Q}}_r \rightarrow q_f\bar{q}_f, \mathcal{Q}_f\bar{\mathcal{Q}}_f \rightarrow q_f\bar{q}_f, \mathcal{Q}_r\mathcal{Q}_f \rightarrow q_rq_f, \mathcal{Q}_f\mathcal{Q}_f \rightarrow q_fq_f, \mathcal{Q}\mathcal{R} \rightarrow q\gamma, \mathcal{Q}\bar{\mathcal{Q}} \rightarrow g\gamma, \mathcal{Q}\gamma \rightarrow qg$.)

Для всех квадратов модулей амплитуд процессов рождения с участием реджезованных глюонов и кварков проверено совпадение коллинеарного предела и квадрата модуля амплитуды соответствующего процесса в партонной модели.

Следует отметить, что большинство приведенных в настоящей работе аналитических выражений для квадратов модулей амплитуд процессов рождения с участием реджезованных глюонов и кварков получены и опубликованы впервые

Третья, четвертая и пятая главы содержат результаты численных расчетов, использующих аналитические формулы, представленные во второй главе. Все полученные численные результаты сравниваются с имеющимися экспериментальными данными.

Третья глава. Инклюзивное и ассоциативное рождение тяжелых кварков. В третьей главе в рамках гипотезы реджезации кварков подхода КМРК мы изучаем рождение струй тяжелых кварков на коллайдере Tevatron.

В первом параграфе мы изучаем инклюзивное рождение b -кварковой струи в протон-антипротонных взаимодействиях в рамках подхода КМРК. Был проведен расчет спектров по поперечному импульсу b -кварковых струй и сравнение их с предварительными результатами Коллаборации CDF, полученными на коллайдере Tevatron. Показано, что в рамках гипотезы реджеза-

ции кварков учет основного вклада в лидирующем порядке по α_s , вносимого подпроцессом $Q_b + \mathcal{R} \rightarrow b$, позволяет хорошо описать экспериментальные данные на всем интервале поперечных импульсов b -кварковой струи. Также продемонстрировано, что в центральной области по быстроте рождение пары $b\bar{b}$ -кварковых струй в подпроцессе слияния реджезованных глюонов $\mathcal{R} + \mathcal{R} \rightarrow b + \bar{b}$ происходит значительно реже, чем вышеупомянутое одиночное.

Во втором параграфе исследуется ассоциативное рождение $b\bar{b}$ -кварковых пар, для которого в лидирующем порядке по α_s подхода КМРК мы имеем 2 подпроцесса: слияния реджезованных глюонов $\mathcal{R} + \mathcal{R} \rightarrow b + \bar{b}$ и аннигиляции реджезованных кварка и антикварка $Q_q + \bar{Q}_q \rightarrow b + \bar{b}$, где $q = u, d, s, c$. Рассчитаны спектры по поперечной энергии b -кварков, инвариантной массе $b\bar{b}$ -пары и азимутальному углу между b - и \bar{b} -струями, после чего проведено сравнение теоретических расчетов с предварительными экспериментальными данными Коллаборации CDF, в результате которого получено хорошее согласие.

В третьем параграфе рассматривается ассоциативное адророждение b - и c -кварковых струй совместно с прямыми фотонами на коллайдере Tevatron. Мы изучаем как прямое рождение фотонов в подпроцессе $Q_{b(c)} + \mathcal{R} \rightarrow b(c) + \gamma$, так и фрагментационное, в котором конечный фотон рождается в результате фрагментации кварка. Мы сравниваем результаты наших расчетов с экспериментальными данными Коллаборации D0 по $k_{\gamma T}$ -спектрам ассоциативного рождения $b(c)\gamma$ -пар. Для $b\gamma$ -пар получена высокая степень согласия теоретических кривых с экспериментальными, а для $c\gamma$ -пар — удовлетворительная. Установлено, что для обоих видов пар вклад прямого рождения фотонов доминирует для всех значений поперечного импульса фотона и практически обеспечивает суммарный результат от всех вкладов. Мы также приводим предсказания, выполненные в подходе КМРК для спектров по инвариантной массе $b(c)\gamma$ -струй и по азимутальному углу между струями при энергиях коллайдера Tevatron.

Четвертая глава. Инклюзивное рождение D -мезонов. В четвертой главе в рамках гипотезы реджезации кварков рассмотрено фрагментационное фоторождение и адророждение D -мезонов в лидирующем порядке по константе α_s подхода КМРК.

В первом параграфе были рассчитаны p_T -спектры фрагментационного

адророждения D^0 -, D^\pm -, $D^{*\pm}$ -, и D_s^\pm -мезонов на коллайдере Tevatron и проведено их сравнение с экспериментальными данными Коллаборации CDF, которое показывает хорошее согласие. Однако, теоретическое предсказание имеет тенденцию к превышению экспериментальных данных при больших p_T и к недооценке — при малых. Проведение расчетов в более высоких порядках по α_s подхода КМПК предоставляет возможность для устранения этих расхождений.

Во втором параграфе для случая фоторождения $D^{*\pm}$ - и D_s^\pm -мезонов в $e p$ -взаимодействиях на коллайдере HERA рассчитаны p_T -спектры с учетом процессов как прямого рождения D -мезонов, так и с участием кварк-глюонной компоненты фотона. Мы показываем, что в области больших поперечных импульсов ($p_T > 4$ ГэВ) доминирует вклад прямого фоторождения, в то время как вклад, обусловленный взаимодействием фотона через свою кварк-глюонную компоненту, характерен для малых p_T . Полученные результаты обнаруживают высокую степень согласия с экспериментальными данными Коллаборации ZEUS на всем интервале поперечных импульсов D -мезонов.

Таким образом, в данной главе единым образом выполнено теоретическое описание экспериментальных данных по адророждению D -мезонов на коллайдере Tevatron и фоторождению D -мезонов на коллайдере HERA, хорошо согласующееся с экспериментальными данными.

Пятая глава. Относительная роль фрагментации и слияния в фоторождении J/ψ -мезонов. В данной главе исследованы экспериментальные данные Коллабораций ZEUS и H1 на коллайдере HERA по рождению J/ψ -мезонов.

В первом параграфе рассчитана КХД-эволюция функций фрагментации c -кварков и глюонов в $c\bar{c}$ -кварконии, подчиняющаяся системе уравнений эволюции ДГЛАП с учетом недиагональных переходов между c -кварками и глюонами. Данные функции были использованы для нахождения спектров рождения J/ψ -мезонов.

Во втором и третьем параграфе в подходе КМПК в рамках механизма слияния в модели цветового синглета получено хорошее согласие с экспериментальными данными с коллайдера HERA для всех имеющихся значений поперечного импульса J/ψ -мезонов. В КПИМ учтен вклад октетных по

цвету промежуточных состояний $c\bar{c}$ -пары, что позволило также описать экспериментальные данные с коллайдера HERA в рамках механизма слияния и получить увеличение вклада механизма фрагментации. В работе предсказывается, что при рождении J/ψ -мезонов механизм слияния доминирует над механизмом фрагментации для значений поперечного импульса вплоть до $p_T = 20$ ГэВ в подходе КМРК, в то время как в коллинеарной партонной модели вклад механизма фрагментации начинает превышать вклад механизма слияния при значительно более высоком значении $p_T = 40$ ГэВ.

Заключение. В заключении сформулированы основные результаты, представленные в диссертации.

ПУБЛИКАЦИИ

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Saleev V.A., Shipilova A.V. Relative contributions of fusion and fragmentation mechanisms in J/ψ photoproduction at high energy // Phys. Rev. D. – 2007. – V. 75. – P. 034012-1 – 034012-7.
2. Салеев В. А., Шипилова А. В. Фрагментационное фоторождение J/ψ мезонов в подходе квази-мульти-реджевской кинематики // Вестник Самарского государственного университета. – 2007. – No 6. – Т. 56. – С. 354–369.
3. Салеев В. А., Шипилова А. В. Глубоконеупругое рассеяние электронов на протонах и гипотеза реджезации кварков // Вестник Самарского государственного университета. – 2008. – No 8/1(67). – С. 598–610.
4. Kniehl B. A., Saleev V. A., Shipilova A. V. Open charm production at high energy within the framework of the quark Reggeization hypothesis // Phys. Rev. D. – 2009. – V. 79. – P. 034007-1 – 024007-7.
5. Kniehl B. A., Saleev V. A., Shipilova A. V. Inclusive b and $b\bar{b}$ production with quasi-multi-Regge kinematics at the Tevatron // Phys. Rev. D. 2010. – V. 81. – P. 094010-1–094010-13.
6. Шипилова А. В. Рождение b -кварковых струй на коллайдере Tevatron в квази-мульти-реджевской кинематике // Труды методологической школы-конференции «Математическая физика и нанотехнологии», Самара, 2010, С. 120–124.
7. Saleev V.A., Shipilova A.V. D meson production at Tevatron and HERA in QMRK // Тезисы конференции «Hadron structure and QCD: from low to high energies», Гатчина, Санкт-Петербург, ПИЯФ, 2008. P. 177–181.
8. Saleev V. A., Shipilova A. V. Quasi-Multi-Regge-Kinematics Approach, Quark Reggeization and Applications // Труды Международной конференции по структуре и взаимодействиям фотона Photon09, DESY, 2009, С. 241–246.

9. Салеев В.А., Шипилова А.В. Ассоциативное рождение кварков в квази-мультимедийной кинематике на коллайдерах высоких энергий // Тезисы Второй международной конференции «Математическая физика и ее приложения», Самара, изд-во «Книга», 2010.
10. Шипилова А. Длиннодействующие спиновые силы и свойства тяжелых кваркониев // Тезисы XXXVII научной конференции студентов, Самара, СамГУ, 2007, С. 53.
11. Шипилова А. Фрагментационное рождение связанных состояний тяжелых кварков при высоких энергиях // Тезисы XXXVIII научной конференции студентов, Самара, СамГУ, 2007, С. 32.
12. Saleev V.A., Shipilova A.V., Yatsenko E. V. Inclusive jet production at Tevatron in the Regge limit of QCD // arXiv:1011.3131v1 [hep-ph].
13. Saleev V.A., Shipilova A.V. Inclusive and Associated b-jet Production at the Tevatron in the Regge Limit of QCD // arXiv:1011.4590v1 [hep-ph].
14. Салеев В. А., Шипилова А. В. Рождение b -кварков на коллайдере Tevatron в реджевском пределе квантовой хромодинамики // ЯФ. – 2011. – Т.74. – №1. – С.151–157. Принята в печать.