

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

---

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

на правах рукописи

Коржавина  
Ирина Аркадьевна

Изучение дифракционного фоторождения  
мезонов  $D^{*\pm}(2010)$   
в эксперименте ZEUS  
на электрон-протонном коллайдере HERA

Специальность 01.04.23 - физика высоких энергий

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико - математических наук

Москва 2008

Работа выполнена в отделе экспериментальной физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук  
**Л.К. Гладилин** (НИИЯФ МГУ, г. Москва)

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук  
**С.П. Баранов** (ФИ РАН, г. Москва),

доктор физ.-мат. наук  
**А.А. Ростовцев** (ИТЭФ, г. Москва)

Ведущая организация: **Лаборатория физики высоких энергий  
Объединенного института ядерных  
исследований, г. Дубна**

Защита диссертации состоится “21.”ноября.2008 г. в 15.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 501.001.77 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские Горы, НИИЯФ МГУ, корп. 19, ауд. 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан “07.”октября...2008 г.

Ученый секретарь совета  
доктор физ.-мат. наук, профессор



# 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## 1.1 Актуальность темы исследования

Всесторонняя проверка Стандартной Модели (СМ) является одной из главных задач физики частиц. Измерение характеристик процессов образования тяжелых (в частности, очарованных) кварков можно эффективно использовать для проверки положений квантовой хромодинамики (КХД), одной из составляющих Стандартной Модели. Поэтому исследование образования очарованных кварков при высоких энергиях является актуальной задачей современной физики высоких энергий.

Зависимость сечений рассеяния от структуры сталкивающихся частиц может быть описана с помощью структурных функций, которые для протонов измерены к настоящему моменту с высокой точностью в широкой кинематической области. Прогресс в дальнейшем изучении структурных функций связан с разделением вкладов различных составляющих: кварков (тяжелых кварков в частности) и глюонов. Прямое измерение распределений глюонов, входящих в состав взаимодействующих частиц, возможно в процессах обусловленных взаимодействиями глюонов. Образование очарованных адронов является примером таких процессов. Поэтому измерение сечений образования тяжелых кварков в электрон-протонных столкновениях является важным методом изучения структуры протона и фотона и представляет актуальную экспериментальную задачу.

Величина массы очарованного кварка значительно превышает величину размерной константы КХД, что позволяет использовать методы теории возмущений для расчета сечений. Расчеты сечений инклюзивного образования очарованных адронов в следующем за лидирующим порядке теории возмущений не полностью воспроизводят существующие экспериментальные данные. Неопределенности теоретических вычислений, одним из источников которых является неопределенность в значении массы очарованного кварка, часто превышают экспериментальные погрешности. Это указывает на недостаточное понимание процессов образования тяжелых кварков и на необходимость их дальнейшего изучения.

Дифракционная диссоциация частиц – не новый предмет исследований физики высоких энергий. Описание процессов дифракционной диссоциации адронов в терминах реджеонной теории развивалось достаточно долгое время (прошло более 50 лет с тех пор, когда в 1953 г. И.Я. Померанчук и Е.Л. Фейнберг предсказали существование таких процессов). Реджеонная фено-

менология, возникшая задолго до создания КХД, описала основные свойства мягких взаимодействий адронов с помощью обменов траекториями Редже. При этом адроны рассматривались как элементарные частицы, а их возможная структура не обсуждалась. Траекториям сопоставлялись известные адроны. Померонная траектория, обменом которой описывают дифракционную диссоциацию адронов, составляет исключение: для нее нет соответствия среди известных частиц.

Интерес к процессам дифракционной диссоциации значительно возрос при обнаружении в 1993 г. событий с дифракционной топологией в жестком  $ep$  рассеянии на коллайдере HERA. Это открытие стимулировало попытки понять дифракционную диссоциацию частиц с точки зрения КХД.

Идея о подобии померона адрону и о возможности изучать его структуру в жестких дифракционных процессах привела к созданию моделей, основанных на разнообразных гипотезах о партонной структуре померона (включая гипотезу о его чисто глюонной природе). Хотя модели с обменом помероном, имеющим партонную структуру, не имеют достаточного теоретического обоснования, они хорошо описывают многие свойства дифракционной диссоциации. С померонными моделями связан ряд проблем, среди которых одной из основных является неопределенность в формулировке понятия структурной функции померона. Померон “наблюдается” только как виртуальный объект. Существует проблема непertурбативной связи померона с протонной вершиной, а также не представляется возможным описать единым образом дифракционные процессы в  $ep$  и  $p\bar{p}$  столкновениях. Из этого следует, что пока нет полного понимания природы померона и механизмов его взаимодействия.

В целом, несмотря на значительные достижения в понимании дифракционных процессов, остается еще большое количество нерешенных проблем теоретического описания экспериментальных данных по дифракционной диссоциации при высоких энергиях. Поэтому тема диссертации “Изучение дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}(2010)$  в эксперименте ZEUS на электрон-протонном коллайдере HERA” актуальна и важна для развития представлений и методов КХД, а также для их новых проверок.

## 1.2 Цель диссертационной работы

Целью данной диссертационной работы являлось экспериментальное изучение природы дифракционного обмена и проверка применимости факторизационной теоремы для описания дифракционных процессов фоторождения очарованных кварков в терминах КХД при наибольших доступных энергиях.

Для решения поставленной задачи предполагалось измерить основные характеристики дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$ , содержащих очарованный кварк, с помощью многоцелевой установки ZEUS в  $ep$  столкновениях на коллайдере HERA. Хотя сечения дифракционного образования тяжелых кварков малы, объем имевшихся экспериментальных данных был достаточным для измерений с высокой статистической точностью и при умеренной величине систематических погрешностей.

Центральный трековый детектор установки позволял надежно идентифицировать очарованные мезоны в каналах распада на заряженные частицы. Принципиальной методической задачей являлось включение в анализ данных переднего закрывающего калориметра FPC, который мог быть использован в качестве антитаггера дифракционной диссоциации фотона и мог обеспечить существенное расширение доступной измерениям области псевдобыстрот, повышение эффективности исключения фоновых недифракционных событий и событий двойной дифракционной диссоциации, оптимизацию оценки примеси этих событий.

Предполагалось провести сравнение характеристик дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$  с характеристиками их образования в процессах инклюзивного фоторождения и в процессах дифракционного глубоко-неупругого  $ep$ -рассеяния для выявления общих свойств и отличий.

С целью проверки основных гипотез КХД о факторизуемости сечений партонных процессов и универсальности дифракционных распределений партонов протона, а также с целью эффективной дискриминации между предсказаниями различных теоретических моделей, ставилась задача сопоставления измеренных сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$  в  $ep$ -столкновениях с теоретическими расчетами, выполненными в рамках различных подходов к описанию динамики партонных процессов формирования мезонов  $D^{*\pm}$ .

### 1.3 Основные результаты, полученные в диссертации

На защиту выносятся следующие основные результаты исследования дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}(2010)$  в  $ep$  столкновениях на коллайдере HERA:

- Создание методики идентификации событий дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в  $ep$  взаимодействиях с учетом особенностей эксперимента ZEUS.

- Первое наблюдение сигнала дифракционного фоторождения очарованных кварков. Было показано, что сечение этого процесса при высоких энергиях не столь мало, как предсказывали ранние модели.
- Измерение интегрального и дифференциальных сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  с высокой статистической точностью при энергии в с.ц.м.  $\gamma p$  взаимодействия от 115 до 300 ГэВ и при долевого импульсе померона вплоть до 0.035.
- Первое измерение величины интегрального и дифференциальных вкладов дифракционных событий в инклюзивные сечения фоторождения очарованных кварков. В пределах исследованного интервала энергии  $\gamma p$  столкновений дифракционное фоторождение мезонов  $D^*$  составляет  $\sim 6\%$  от инклюзивного сечения и не проявляет существенной зависимости от энергии  $\gamma p$  взаимодействия и виртуальности фотона.
- Новые экспериментальные свидетельства применимости факторизационной теоремы КХД для описания дифракционных процессов фоторождения очарованных кварков и универсальности дифракционных партонных распределений в  $ep$  столкновениях.
- Демонстрация необходимости учета значительного вклада процессов с участием структурного фотона для описания форм дифференциальных сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в лидирующем порядке теории возмущений КХД.
- Демонстрация необходимости использования жесткого распределения глюонов для описания дифракционного фоторождения очарованных кварков в рамках модели структурного померона.
- Экспериментальное свидетельство недостаточности учета только  $c\bar{c}$  возбуждений виртуального фотона для описания дифракционного фоторождения очарованных кварков в рамках модели двухглюонного обмена при коллайдерных энергиях.

#### 1.4 Научная новизна результатов

Новые результаты по фоторождению очарованных кварков в дифракционных столкновениях электронов и протонов были получены в неизученной ранее кинематической области. До измерений, проведенных на электрон-протонном коллайдере HERA, единственным источником данных о рождении тяжелых

кварков в лептон-нуклонных и фотон-нуклонных столкновениях являлись эксперименты на фиксированной мишени при энергиях в с.ц.м. сталкивающихся частиц на порядок меньших энергий, доступных на коллайдере HERA. Высокая светимость коллайдера позволила не только наблюдать процессы дифракционного образования очарованных адронов, имеющие малые сечения, но и получить данные со статистической точностью, значительно превысившей точность проведенных ранее экспериментов.

Было проведено первое в мире наблюдение сигнала дифракционного фоторождения  $c$ -кварков при энергии  $ep$ -столкновений  $\sqrt{s} \sim 300$  ГэВ.

Интегральное и дифференциальные сечения дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$ , содержащих  $c$ -кварки, были измерены при энергии  $ep$  столкновений  $\sqrt{s} \sim 318$  ГэВ и виртуальности фотона  $Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>. Впервые были измерены интегральный и дифференциальные вклады дифракционных событий в инклюзивные сечения фоторождения очарованных мезонов  $D^*$ . Высокая статистическая точность измерений и широкий спектр измеренных переменных позволили провести сравнения с вычислениями в различных подходах КХД.

Проведенное сравнение измерений с теоретическими расчетами продемонстрировало применимость методов теории возмущений КХД для расчета сечений дифракционного фоторождения очарованных кварков при коллайдерных энергиях. Были получены новые свидетельства справедливости теоремы о факторизуемости партонных сечений и универсальности дифракционных распределений партонов в протоне.

## 1.5 Практическая ценность результатов

Практическое значение работы состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития и уточнения существующих представлений о природе дифракционного обмена и механизмах образования очарованных мезонов. Эти результаты могут быть также использованы в дальнейшем анализе данных детектора ZEUS и при планировании исследований на других экспериментальных установках в других экспериментальных условиях. Анализ измерений стимулировал работы по развитию теоретических моделей.

## 1.6 Достоверность результатов

Основные результаты, представленные в диссертации, являются официальными результатами сотрудничества ZEUS, что гарантирует их достоверность.

Эти результаты многократно докладывались на международных конференциях, совещаниях и были опубликованы в реферируемых научных изданиях.

Достоверность и надежность проведенных измерений и результатов анализа полученных данных также были обеспечены детальным исследованием систематических погрешностей и двойной проверкой. Результаты независимых контрольных измерений (второго анализа), проведенных в эксперименте ZEUS, совпали с результатами данной работы.

Результаты данной работы также находятся в согласии с измерениями эксперимента H1, одновременно работавшего на коллайдере HERA.

## 1.7 Личный вклад диссертанта

Данная работа представляет результаты исследования дифракционного образования очарованных кварков, полученные автором в рамках международного эксперимента ZEUS при изучении процессов  $ep \rightarrow eD^*X$  на коллайдере HERA. Автор участвует в эксперименте с 1992 г. и внес личный вклад в выполнение задач, связанных с проведением эксперимента, измерениями, анализом данных. Определяющий вклад, сделанный автором в получение представленных результатов, включая разработку метода исследования, выполнение самого исследования и подготовку полученных результатов к публикации, заключается в следующем:

- разработка и тестирование триггерной логики отбора событий с образованием очарованных кварков и исключения фоновых событий с учетом особенностей эксперимента ZEUS;
- изучение характеристик и топологии событий дифракционного образования очарованных кварков с целью оптимизации алгоритмов и критериев отбора таких событий, оценки эффективности этих критериев и аксептанса, а также для определения погрешностей измерений и введения соответствующих поправок;
- измерение сечений и анализ характеристик дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$ , сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами КХД;
- подготовка результатов исследования к публикации в журналах и в виде конференционных статей.



## 1.8 Апробация работы и публикации

Результаты, представленные в диссертации, неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах и рабочих совещаниях эксперимента ZEUS, на семинаре лаборатории высоких энергий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ. Представляемые к защите результаты докладывались автором также на российских и международных рабочих совещаниях и конференциях:

- Научная конференция Отделения ядерной физики Российской Академии Наук "Физика фундаментальных взаимодействий", Москва, 2000, 2005 и 2007 г.г.
- Международное рабочее совещание по дифракции в физике высоких энергий (Diffraction 2006), Адамантас, о. Милос, Греция, 2006 г.
- Международное рабочее совещание по физике малых  $x$ , (Low  $x$  2005), Синаия, Румыния, 2005 г.
- IX Международное рабочее совещание по глубоко неупругому рассеянию (DIS2001), Болонья, Италия, 2001 г.
- V Международное рабочее совещание по физике высоких энергий и КХД (DIS1997), Чикаго, США, 1997 г.
- Конференции "Ломоносовские чтения", НИИЯФ МГУ, Москва, 2000-2006 гг.

Основные результаты диссертации были опубликованы в журнальных статьях [1, 2], трудах конференций [3–6], и в препринте НИИЯФ [7].

## 1.9 Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка библиографии. Объем диссертации составляет 167 страниц, включающих 63 рисунка, 14 таблиц и список библиографии из 114 наименований.

# 2 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## 2.1 Введение

Введение содержит краткую характеристику темы исследования, формулировку целей исследования и описание структуры диссертационной работы.

Во введении отмечается актуальность темы диссертации, научная новизна результатов исследования, личный вклад автора в процесс получения экспериментальных данных и результатов физического анализа этих данных.

## 2.2 Дифракция в эксперименте и теории

Первая глава диссертации посвящена основным аспектам экспериментального и теоретического изучения дифракционного образования очарованных кварков в *ep* столкновениях. Описаны кинематика и динамика (основные механизмы) образования очарованных частиц, характерные свойства дифракционных процессов и методы их идентификации в экспериментах на коллайдере HERA. Дано краткое описание моделей дифракционной диссоциации частиц, которые сравнивались с результатами проведенных измерений: модели структурного померона и модели двухглюонного обмена. Обсуждаются различные параметризации дифракционных распределений партонов протона, измеренные разными методами на коллайдере HERA, и различные модели адронизации партонов в наблюдаемые адроны.

## 2.3 Экспериментальные условия

Во второй главе приводится краткое описание коллайдера HERA, основных детекторов универсальной установки ZEUS, триггерной системы и процесса реконструкции геометрии и кинематики регистрируемых событий. Более подробно описаны конструктивные особенности и основные характеристики детекторов, которые были использованы в представленных измерениях: центрального трекового детектора (CTD), компенсирующего уранового калориметра (UCAL), переднего закрывающего калориметра (FPC), монитора светимости (LUMI), системы отбора и реконструкции зарегистрированных взаимодействий, включающей трехуровневый триггер и программный комплекс реконструкции событий.

## 2.4 Теоретические расчеты

В третьей главе дано краткое описание программ и основных параметров, использованных для теоретических расчетов. Моделирование фоторождения мезонов  $D^*$  и процессов их регистрации при помощи существующих Монте Карло (МК) генераторов позволило решить ряд методических задач, связанных с выделением сигнала и измерением сечений детектором ZEUS. В приближении лидирующего порядка (LO) теории возмущений КХД были расчи-

таны предсказания модели структурного померона (с помощью МК генератора RARPAR) и предсказания двухглюонной модели дифракционного обмена. Для расчетов в приближении следующего за лидирующим порядком (NLO) были использованы программы FMNR и HVQDIS. Расчеты были проведены с различными параметризациями дифракционных партонных распределений протона: H1Fit2 LO, H1 2006 Fit A, Fit B, ZEUS LPS+charm Fit, GLP, ACTW Fit B и Fit D.

## 2.5 Отбор событий с мезонами $D^*$

В четвертой главе подробно описана методика реконструкции и отбора событий  $ep$  рассеяния с образованием мезонов  $D^*$  в режиме фоторождения, определившая кинематическую область измерений.

Для измерений были использованы события, зарегистрированные детектором ZEUS в сеансах работы коллайдера 1996–1997 ( $\sqrt{s} = 300$  ГэВ) и 1998–2000 г.г ( $\sqrt{s} = 318$  ГэВ) в количестве, соответствующем интегральной светимости  $\mathcal{L} = 38.0 \pm 1.8$  пкбн $^{-1}$  и  $\mathcal{L} = 78.6 \pm 1.8$  пкбн $^{-1}$ , соответственно.

За события  $ep$  столкновений в режиме *фоторождения* принимались события, для которых в калориметре не удалось идентифицировать рассеянный лептон. После учета всех необходимых поправок были отобраны события с энергией  $W$  в с.ц.м.  $\gamma^*p$  взаимодействия в интервале  $130 < W < 300$  ГэВ ( $0.17 < y < 0.89$ ) и квадратом переданного импульса в лептонной вершине  $Q^2 < 1$  ГэВ $^2$ .

Заряженные мезоны  $D^*$  идентифицировались методом разности масс в каскадном распаде  $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_s^+ \rightarrow (K^- \pi^+) \pi_s^+ + cc$ , вероятность которого составляет 2.57%. Критерии отбора, мотивированные МК моделированием и требованием минимизации комбинаторного фона, позволяли отбирать мезоны  $D^*$  с поперечным импульсом, превышавшем 1.9 ГэВ, и псевдобыстротой в интервале  $|\eta(D^*)| < 1.6$ .

Т.к. рассеянный протон в настоящей работе не регистрировался, то *дифракционные события* были идентифицированы по наличию большого пустого промежутка (зазора) между псевдобыстротами адронов системы  $X$ , образовавшейся при диссоциации фотона, и границей доступных наблюдению псевдобыстрот, задаваемой геометрией установки. Критерии отбора таких событий были сформулированы на основе сравнения экспериментального распределения по псевдобыстроте  $\eta_{\max}$  частицы, принадлежащей системе  $X$  и летящей вперед под наименьшим углом, с суммой распределений дифракционных событий, сгенерированных МК генератором RARPAR и заполняющих

область плато, и недифракционных событий, сгенерированных МК генератором RUTNIA и заполняющих область колоколообразного пика в распределении по  $\eta_{\max}$  (Рис. 1а).

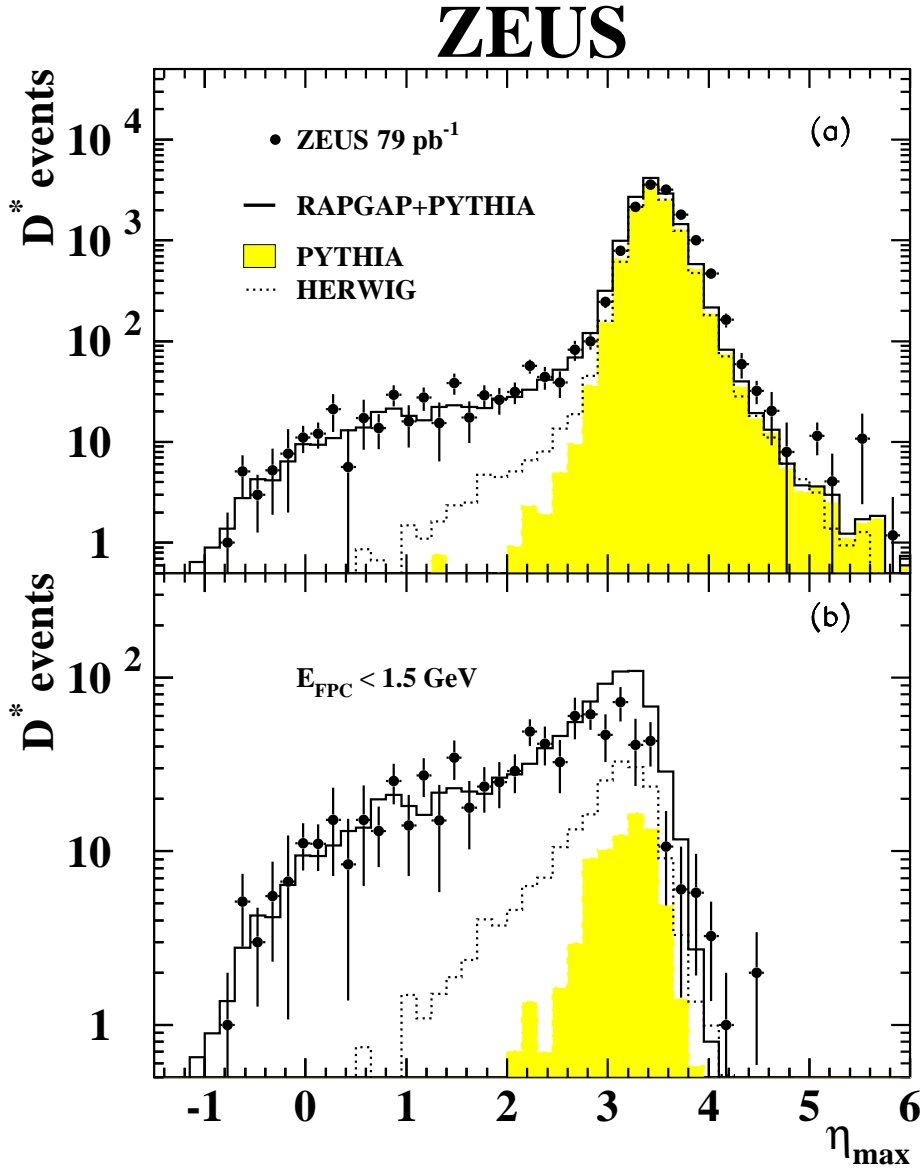


Рис. 1: Сравнение измеренного (точки) распределения по  $\eta_{\max}$  с суммой (сплошная гистограмма, отнормированная на измерения) взвешенных дифракционных (RAPGAP, гистограмма не показана) и недифракционных (PYTHIA, закрашенная гистограмма) МК распределений для инклюзивных событий фоторождения мезонов  $D^*$  : (а) всех событий и (b) событий с  $E_{FPC} < 1.5 \text{ GeV}$ . Мезоны  $D^*$  с  $p_T(D^*) > 1.9 \text{ GeV}$  и  $|\eta(D^*)| < 1.6$  были реконструированы в событиях с  $Q^2 < 1 \text{ GeV}^2$  и  $130 < W < 300 \text{ GeV}$ . Распределения для недифракционных событий, сгенерированных МК генератором HERWIG, показаны пунктирными гистограммами.

Условия эксперимента не позволяли провести однозначную идентифика-

цию типа каждого события (event-by-event). Задача разделения событий дифракционного сигнала и недифракционного фона решалась простым ограничением сверху величины  $\eta_{\max} < 1.75$  для данных 1996–1997 г.г., а для данных 1998–2000 г.г. – требованием отсутствия сигнала в переднем закрывающем калориметре FPC и ограничением  $\eta_{\max} < 3$  (Рис. 1b). Считалось, что сигнал в калориметре FPC отсутствует, если величина энерговыделения в нем ниже уровня возможного энерговыделения, обусловленного только источниками “шума”:  $E_{\text{FPC}} < 1.5$  ГэВ. По оценке, проведенной статистически, остаточная примесь недифракционных событий ( $f_{\text{nd}}$ ) в области  $x_p < 0.035$  составила 3.3%, а в области  $x_p < 0.01$  – вчетверо меньше (0.8%). Оценка величины этой примеси, полученная без применения критерия  $E_{\text{FPC}} < 1.5$  ГэВ, для  $x_p < 0.035$  примерно в  $\sim 5$  раз больше приведенной выше, что показывает высокую эффективность использования данных калориметра FPC для исключения фона недифракционных событий.

Все измеренные распределения были поправлены на недифракционный фон побинно с помощью факторов  $(1 - f_{\text{nd}})$ .

Впервые сигнал дифракционного фоторождения очарованных кварков в  $ep$  столкновениях [5] наблюдался при энергии  $\sqrt{s} = 300$  ГэВ в данных эксперимента ZEUS 1996-1997 г.г., полученных до установки переднего закрывающего калориметра FPC. В событиях с  $130 < W < 280$  ГэВ и  $Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>, отобранных в соответствии с критериями  $\eta_{\max} < 1.75$  и  $0.001 < x_p < 0.018$ , сигнал составили  $56 \pm 10$  мезонов  $D^*$  с  $p_T(D^*) > 2$  ГэВ и  $|\eta(D^*)| < 1.5$  (Рис. 2).

В данных сеансов 1998-2000 г.г. при энергии  $\sqrt{s} = 318$  ГэВ для событий с  $130 < W < 300$  ГэВ и  $Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>, удовлетворявших критериям  $E_{\text{FPC}} < 1.5$  ГэВ,  $\eta_{\max} < 3$  и  $x_p < 0.035$ , в распределении по  $\Delta M$  наблюдался сигнал (Рис. 3), соответствующий дифракционному фоторождению  $458 \pm 30$  мезонов  $D^*$  с поперечным импульсом  $p_T(D^*) > 1.9$  ГэВ и псевдобыстротой  $|\eta(D^*)| < 1.6$ .

В области  $x_p < 0.01$ , где вклады реджеонного обмена и недифракционного фона сильно подавлены, наблюдается сигнал дифракционного фоторождения  $204 \pm 20$  мезонов  $D^*$ .

Отметим, что, хотя в 1998-2000 г.г. светимость коллайдера была увеличена всего вдвое по сравнению со светимостью 1996-1997 г.г., число событий в наблюдаемом сигнале увеличилось почти на порядок в основном<sup>1</sup> благодаря более эффективному разделению дифракционных и недифракционных собы-

<sup>1</sup>Сигнал в данных 1998-2000 г.г., выделенный в кинематической области 1996-1997 г.г. (см. выше), оказался примерно вчетверо больше сигнала 1996-1997 г.г., показав существенное улучшение эффективности регистрации событий триггером. (Увеличение сигнала за счет увеличения импульса протона до 920 ГэВ составило  $\sim 5 - 10\%$ ).

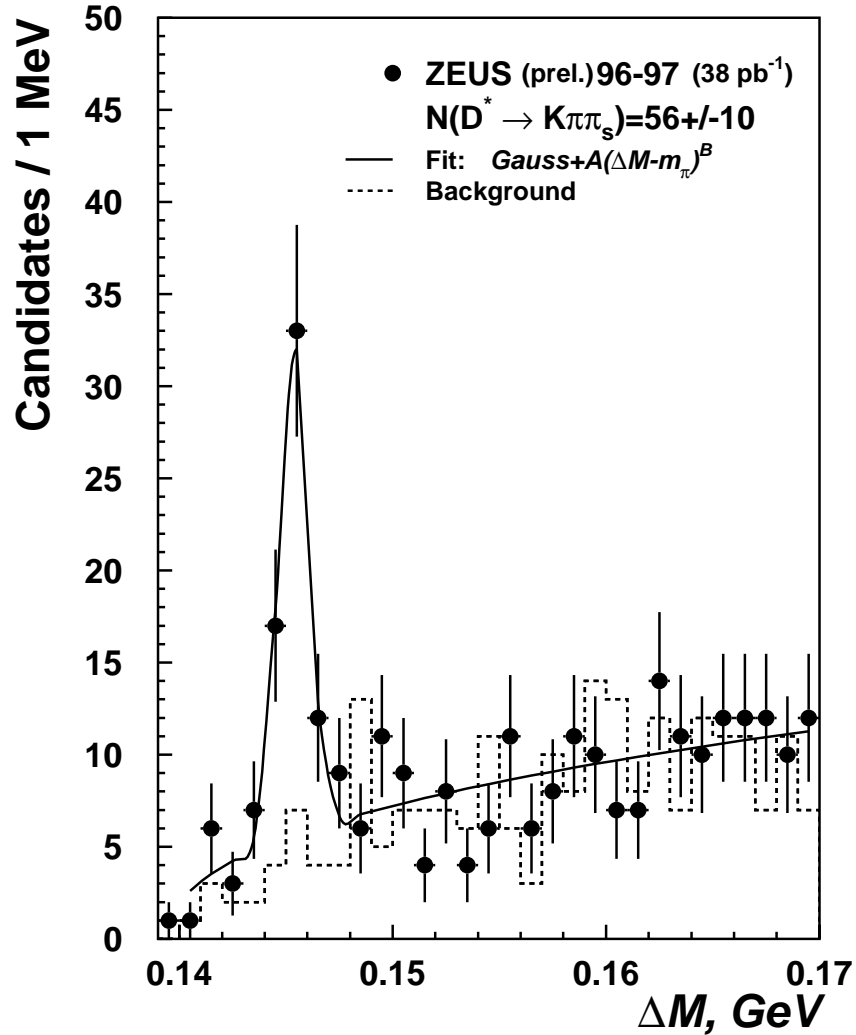


Рис. 2: Сигнал (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в спектре  $\Delta M = M(K\pi\pi_s) - M(K\pi)$ . Кандидаты в мезон  $D^*$  с  $p_T(D^*) > 2$  ГэВ и  $|\eta(D^*)| < 1.5$  были реконструированы в событиях с  $Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>,  $130 < W < 280$  ГэВ и  $0.001 < x_F < 0.018$ . Распределение комбинаторного фона, моделируемого спектром комбинаций неправильно-зарядового состава ("wrong charge"), показано гистограммой.

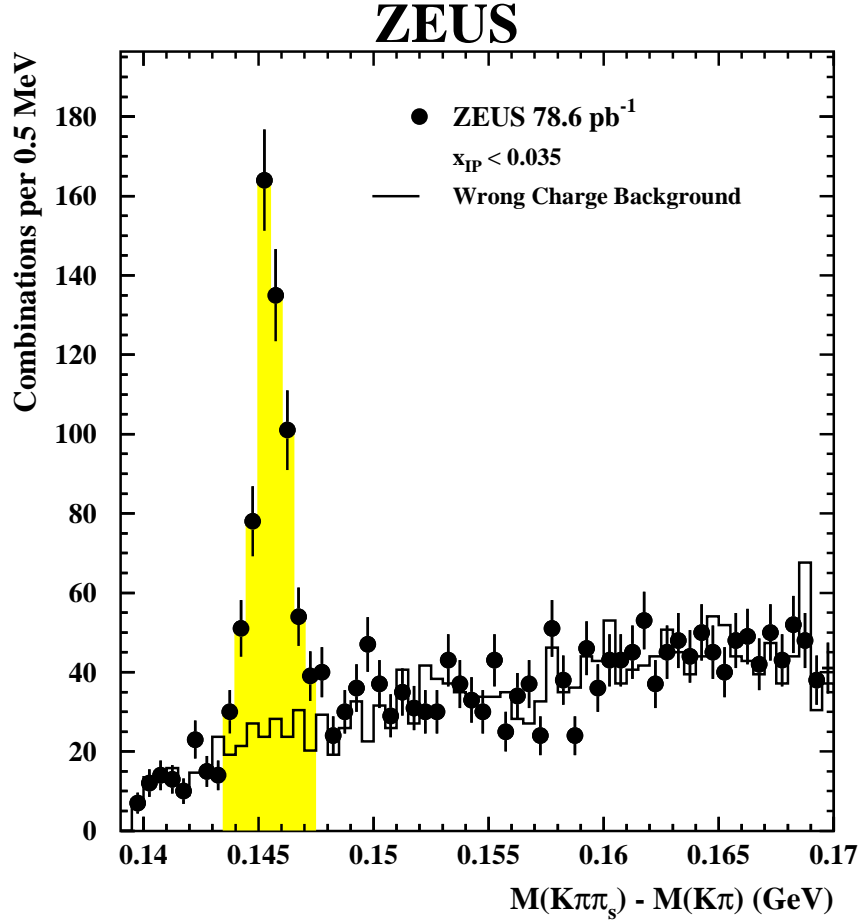


Рис. 3: Сигнал (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в спектре  $\Delta M = M(K\pi\pi_s) - M(K\pi)$ . Кандидаты в мезон  $D^*$  с  $p_T(D^*) > 1.9$  ГэВ и  $|\eta(D^*)| < 1.6$  были реконструированы в событиях с  $Q^2 < 1$  ГэВ<sup>2</sup>,  $130 < W < 300$  ГэВ и  $x_F < 0.035$ . Распределение комбинаторного фона, моделируемого спектром комбинаций неправильного зарядового состава (“wrong charge”), показано гистограммой. Окрашенная полоса показывает сигнальную область, где вычитался комбинаторный фон.

тий, позволившему существенно расширить доступную измерениям область: вдвое по  $\eta_{\max}$  и в 1.7 раза по  $M_X$ . При этом величина остаточной примеси недифракционных событий осталась на прежнем уровне.

После поправок на недифракционный фон, была сделана также оценка величины примеси неидентифицированных событий двойной дифракции с диссоциацией протона. Величина этой оценки, полученная путем сравнения измеренного распределения по  $E_{\text{FPC}}$  с распределением МК событий, аналогично сравнению распределений по  $\eta_{\max}$ , составила  $f_{pd} = 16\%$ . Все измеренные распределения были поправлены побинно с помощью факторов  $(1 - f_{pd})$ .

## 2.6 Измерения

В пятой главе обсуждаются детали методики измерений, которые были проведены в соответствии с возможностями ускорителя и экспериментальной установки ZEUS. Подробно описаны алгоритмы оценки и введения поправок на смещающие факторы измерений, разбиения кинематической области на интервалы со значимой статистикой, расчета аксептансов и определения систематики измерений. Все методические алгоритмы были отлажены МК моделированием  $ep$  столкновений и процессов их регистрации установкой.

Для настройки отдельных процедур расчета сечений необходимо, чтобы МК расчеты описали измерения на уровне реконструкции событий. Расхождения между расчетами и измерениями по некоторым переменным были минимизированы путем перевзвешивания МК событий по этим переменным.

Кинематические переменные для  $ep$ -событий, в которых рассеянный лептон не мог быть детектирован, восстанавливались методом Жаке-Блонделя. Получаемые таким методом оценки искомым величин систематически смещены относительно истинных значений вследствие потерь энергии частицами конечного состояния при прохождении неактивных элементов, расположенных между детекторами установки, и потерь самих частиц в зазорах установки, таких как пучковая трубка, технологические зазоры между частями уранового калориметра и др. Восстановление “истинных” значений измеряемых величин было проведено фитированием “профильных” гистограмм линейной зависимостью среднего измеренного значения от сгенерированного. Измерения проводились в области с приемлемой величиной аксептанса, которая разбивалась на интервалы с учетом разрешения и требований минимизации систематических миграций и статистических флуктуаций. Дополнительно требовалось, чтобы число и размеры интервалов по возможности совпадали с соответствующими величинами, используемыми в эксперименте



ZEUS при измерении сечений инклюзивного фоторождения мезонов  $D^*$ .

При оценке систематических погрешностей измерения сечений, инклюзивных и дифракционных, учитывались неопределенности МК моделирования и ограниченность точности оценки характеристик детектора, от которых зависит процесс и результат измерений. Наибольший вклад в систематику измерений внесла неопределенность оценки недифракционного фона.

## 2.7 Сравнение измерений с расчетами

В шестой главе приведены результаты изучения дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$  в  $ep$  столкновениях.

Измерения интегрированных и дифференциальных сечений дифракционного ( $ep \rightarrow eD^*X'p$ ) и инклюзивного ( $ep \rightarrow eD^*Y$ ) фоторождения мезонов  $D^*$ , а также их отношения, были проведены в кинематической области

$$Q^2 < 1 \text{ ГэВ}^2, 130 < W < 300 \text{ ГэВ} (0.17 < y < 0.89), \\ p_T(D^*) > 1.9 \text{ ГэВ}, |\eta(D^*)| < 1.6.$$

Кинематическая область измерения дифракционных сечений дополнительно была ограничена по переменной  $x_P$ :  $x_P < 0.035$  или  $x_P < 0.010$ . Никакого ограничения на величину квадрата переданного импульса  $t$  в протонной вершине не накладывалось.

Дифференциальные сечения по переменным  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X^2$ ,  $x_P$ , и  $W$ , измеренные в интервалах  $x_P < 0.035$  и  $x_P < 0.01$ , были представлены в виде таблиц и рисунков.

Сечение дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в указанной выше кинематической области при  $x_P < 0.035$  составило

$$\sigma_{ep \rightarrow eD^*X'p}(x_P < 0.035) = 1.49 \pm 0.11(\text{stat.})_{-0.19}^{+0.11}(\text{syst.}) \pm 0.07(\text{p.d.}) \text{ нбн.}$$

Последней указана погрешность, обусловленная неопределенностью в оценке и вычитании вклада фоновых процессов с диссоциацией протона.

В области  $x_P < 0.01$ , где примесь недифракционных событий составляет менее 1%, а реджеонный вклад предсказывается пренебрежимо малым, сечение дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  оказалось примерно в двое меньше

$$\sigma_{ep \rightarrow eD^*X'p}(x_P < 0.01) = 0.63 \pm 0.07(\text{stat.})_{-0.06}^{+0.04}(\text{syst.}) \pm 0.03(\text{p.d.}) \text{ нбн.}$$

Впервые измеренное в данных эксперимента ZEUS 1996-1997 г.г. [4] сечение дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  с  $p_T(D^*) > 2 \text{ ГэВ}$  и  $|\eta(D^*)| < 1.5$  при  $Q^2 < 1.0 \text{ ГэВ}^2$ ,  $130 < W < 280 \text{ ГэВ}$  и  $0.001 < x_P < 0.018$  составило

$$\sigma_{ep \rightarrow eD^*X'p}(x_P < 0.018) = 0.74 \pm 0.21(\text{stat.})_{-0.18}^{+0.27}(\text{syst.}) \pm 0.16(\text{p.d.}) \text{ нбн.}$$

Это значение согласуется в пределах одного статистического отклонения с оценкой сечения в этой же области по данным 1998-2000 г.г.

Модель структурного померона (МК RARGAR) с параметризацией плотности партонов померона H1Fit2 LO и лундовской моделью адронизации партонов в области измерений предсказывает сечение дифракционного фоторождения примерно *втрое больше* измеренного сечения (4.3 нбн). Поэтому для сравнения дифференциальных распределений с данными только по форме МК расчеты домножались на нормировочный коэффициент 0.34. Расчеты хорошо воспроизводят формы измеренных дифференциальных распределений при относительном вкладе процессов с участием структурного фотона примерно  $\sim 35\%$  (Рис. 4). Моделью предсказывается увеличение доли процессов на структурном фотоне с ростом  $\eta(D^*)$  и  $M_X$ , и ее убывание при увеличении  $z(D^*)$ .

В рамках рекомбинационной модели БКЛ расчет сечений дифракционного образования мезонов  $D^*$  был проведен для двух моделей структурного померона, основанных на гипотезе о его чисто глюонной природе. Модель померона с мягким распределением глюонов, предсказывает сечение, величина которого на  $\sim 30\%$  превышает измеренное (Рис. 5). Расчетное распределение по  $x_p$  имеет куполообразную почти симметричную форму с вершиной в окрестности  $x_p \sim 0.02$  и не воспроизводит форму экспериментального распределения, монотонно убывающего при возрастании  $x_p$ . Предсказывается и более быстрое убывание сечения с ростом  $p_T(D^*)$  и  $\eta(D^*)$ , а также образование систем с большими  $M_X$  (с максимумом распределения при  $M_X > 20$  ГэВ), чем наблюдается в эксперименте (Рис. 5). Напротив, модель померона, в структуре которого преобладают *жесткие глюоны*, согласуется с данными в абсолютной нормировке, воспроизводя формы дифференциальных распределений: убывающий спектр по  $x_p$ , максимум распределения по  $M_X$  при  $M_X \sim 15$  ГэВ, распределения по  $p_T(D^*)$  и  $\eta(D^*)$ .

Расчеты сечений в приближении следующего за лидирующим порядка теории возмущений КХД были проведены с параметризациями дифракционных распределений партонов протона H1 2006 Fit A, Fit B, ZEUS LPS+charm Fit и GLP (программа FMNR). В пределах относительно больших погрешностей измерений ( $\sim 20\%$ ) центральные значения вычисленных сечений согласуются с измерениями, за исключением сечений, вычисленных с параметризацией GLP, которые примерно в *четыре раза меньше* экспериментальных значений.

Дифференциальные сечения, рассчитанные с параметризациями H1 2006 Fit A, Fit B и ZEUS LPS+charm Fit, находятся в хорошем согласии друг с другом. Неопределенности предсказаний значительно превышают погрешности измерений в большинстве интервалов (Рис. 6, 7 и 8).

# ZEUS

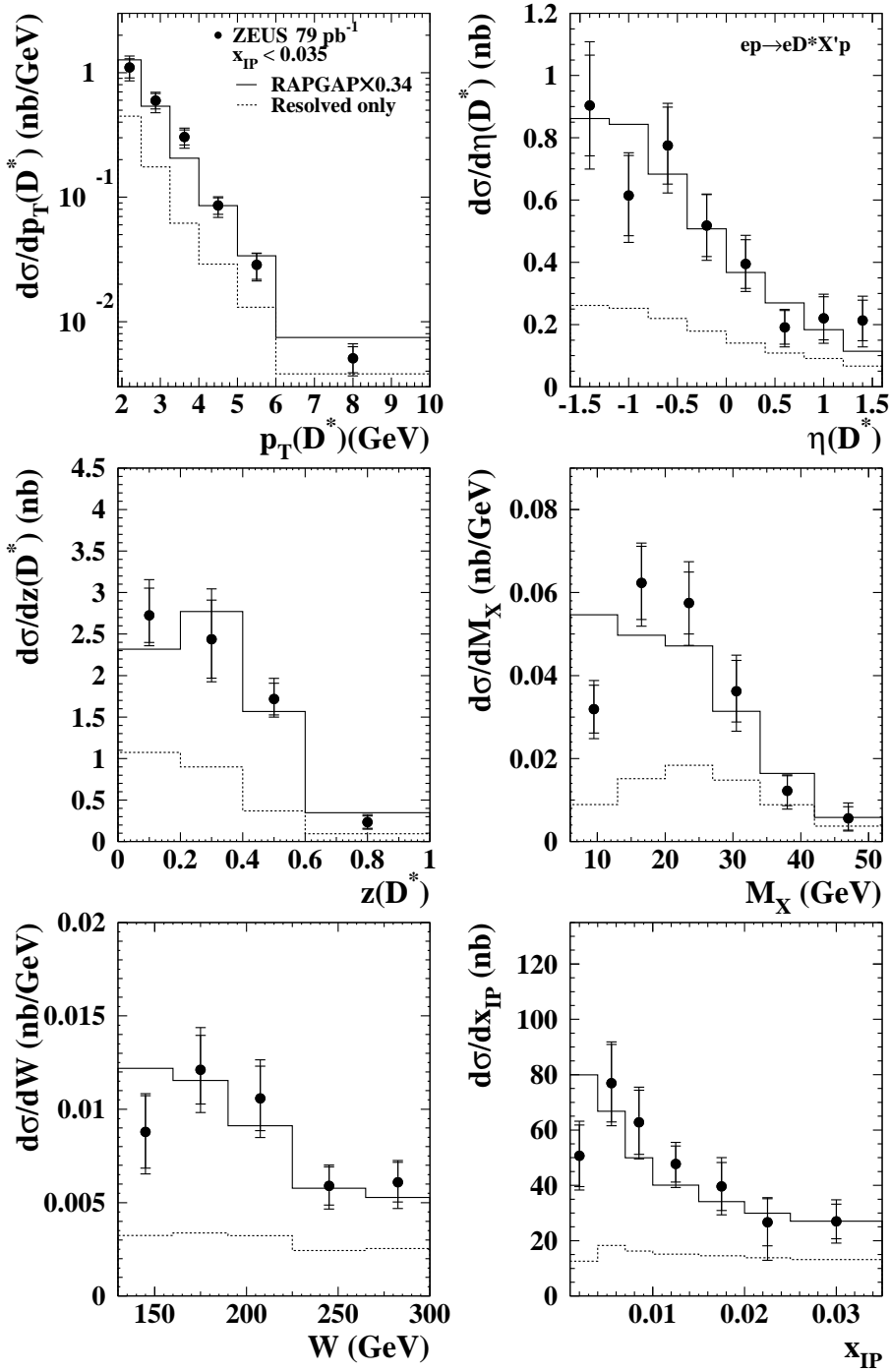


Рис. 4: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$ ,  $W$ ,  $x_P$ , измеренные в интервале  $x_P < 0.035$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической ошибки, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Предсказания модели структурного померона (RAGAP, сплошные гистограммы) с параметризацией дифракционных распределений партонов протона N1Fit2 LO нормированы на данные. Вклад процессов на структурном фотоне ( $\sim 35\%$ ) показан пунктирными гистограммами.

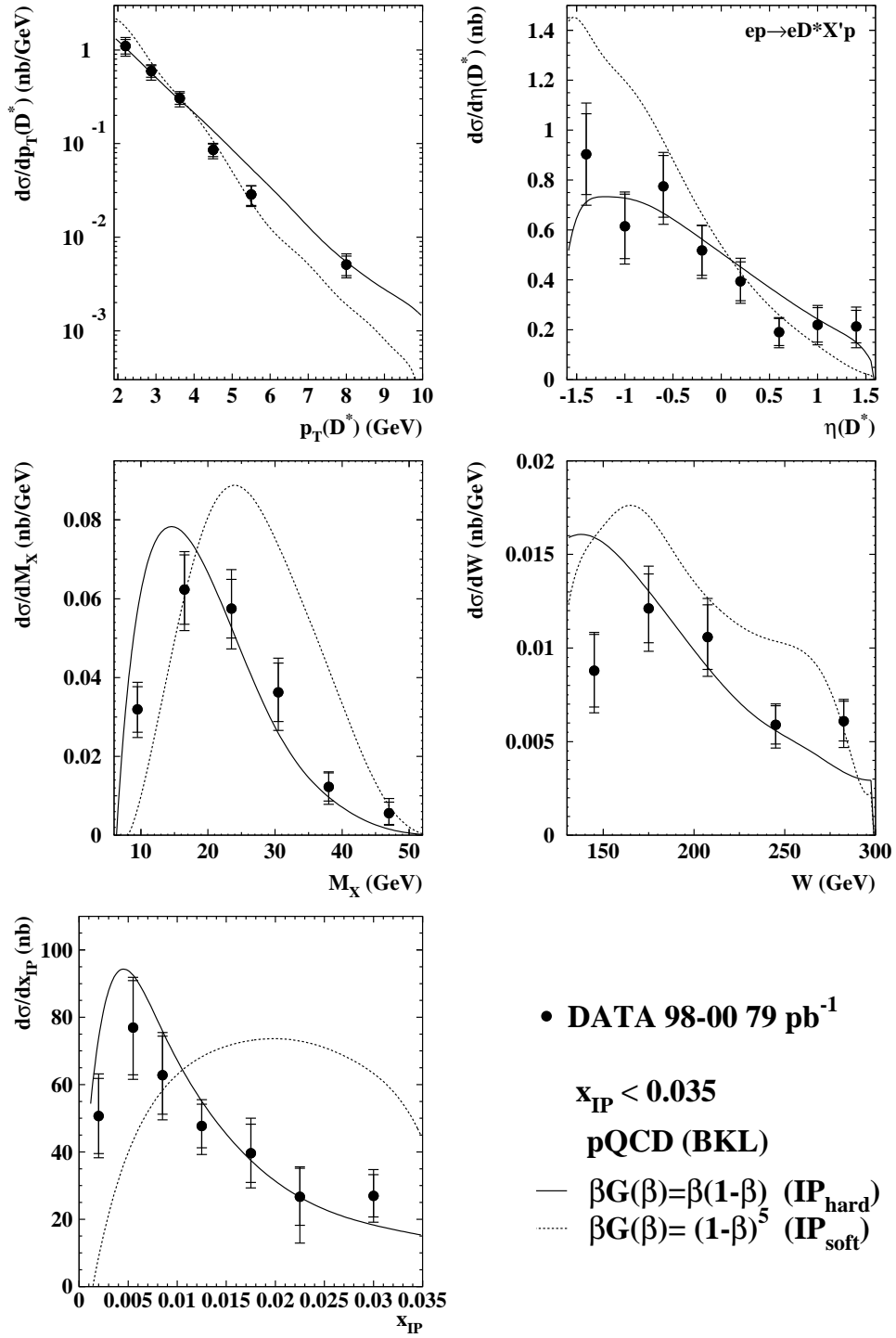


Рис. 5: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$ ,  $W$  и  $x_{IP}$ , измеренные в интервале  $x_{IP} < 0.035$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Предсказания модели БКЛ (кривые) для “жесткой” (сплошная) и “мягкой” (пунктирная) параметризаций глюонных распределений померона показаны в абсолютной нормировке.

	FMNR					HVQDIS		
	DPDF				PDF	DPDF		DATA
Coll.	H1 2006		ZEUS		CTEQ	ACTW		
Fit scaled by	Fit A	Fit B	LPS Fit	GLP Fit	5M	Fit B	Fit D	1.0
	0.81		1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	
$\max(x_F)$	$\sigma_{\text{FMNR}}(\text{nb})$					$\sigma_{\text{ACTW}}(\text{nb})$		$\sigma_{\text{ZEUS}}(\text{nb})$
0.035	1.18	1.12	1.14	0.41	-	0.70	1.48	1.49
0.010	0.56	0.46	0.58	0.13	-	-	-	0.63
1.0	-	-	-	-	19.17	-	-	25.88
	$\sigma_{\text{ZEUS}}/\sigma_{\text{NLO}}$							-
0.035	1.25	1.33	1.31	3.63	-	2.13	1.01	-
0.010	1.13	1.37	1.09	4.85	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	1.35	-	-	-
	$\mathcal{R}_D = \sigma_D/\sigma_{\text{incl}} (\%)$							
0.035	6.5	5.8	5.9	2.1	-	-	-	5.7

Таблица 1: Сравнение измеренных сечений с расчетами пКХД (FMNR и HVQDIS) в порядке, следующем за лидирующим (NLO). Расчеты выполнены для известных параметризаций дифракционных партонных распределений протона: H1 2006 Fit A, Fit B, ZEUS LPS+charm Fit, GLP, ACTW Fit B, Fit D.

Убывающее дифференциальное сечение по  $x_F$  воспроизводится расчетами в абсолютной нормировке (Рис. 6). Согласие между расчетами и данными наблюдается и для распределений по переменным  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $M_X$  и  $W$  в обоих интервалах  $x_F < 0.035$  и  $x_F < 0.01$  (Рис. 7 и 8).

Формы дифференциальных распределений по  $z(D^*)$  недостаточно хорошо воспроизводятся расчетами, которые при малых  $z(D^*)$  предсказывают сечение заметно меньшее измеряемого. Расчеты в лидирующем порядке теории возмущений КХД с помощью МК генератора RAPGAP в рамках модели структурного померона лучше описывают форму этих распределений (Рис. 4). При настоящих погрешностях измерений и неопределенностях предсказаний теории возмущений КХД в следующем за лидирующим порядке, согласие между измерениями и расчетами поддерживает гипотезу КХД о факторизуемости партонных сечений для дифракционных процессов образования очарованных кварков. Однако, из-за больших неопределенностей теоретических предсказаний и малой величины ожидаемого сечения процессов на адроподобном фотоне в NLO расчетах, нельзя исключить подавление вклада таких процессов. Согласие измеренных сечений дифракционного образования очарованных кварков с расчетами, основанными на распределении

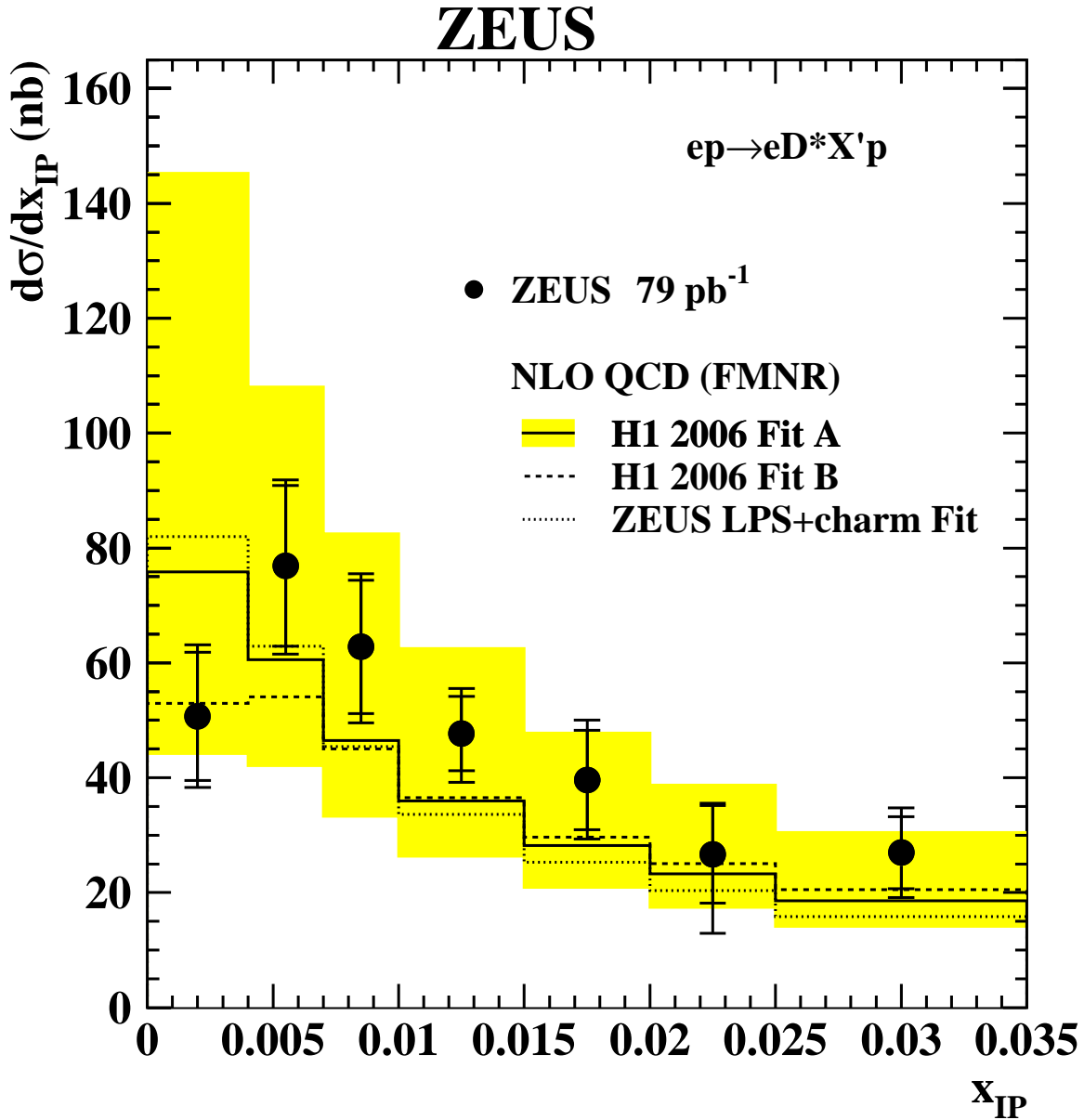


Рис. 6: Дифференциальное сечение (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $x_p$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической ошибки, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Расчеты пКХД (гистограммы) в следующем за лидирующим порядке с параметризациями дифракционных распределений партонов протона H1 2006 Fit A (сплошная), Fit B (пунктирная), ZEUS LPS+charm Fit (точечная) показаны в абсолютной нормировке. Окрашенная полоса показывает оценку неопределенности расчетов, полученную путем вариации массы  $s$ -кварка и масштабных параметров факторизации сечения и перенормировки расходимостей.

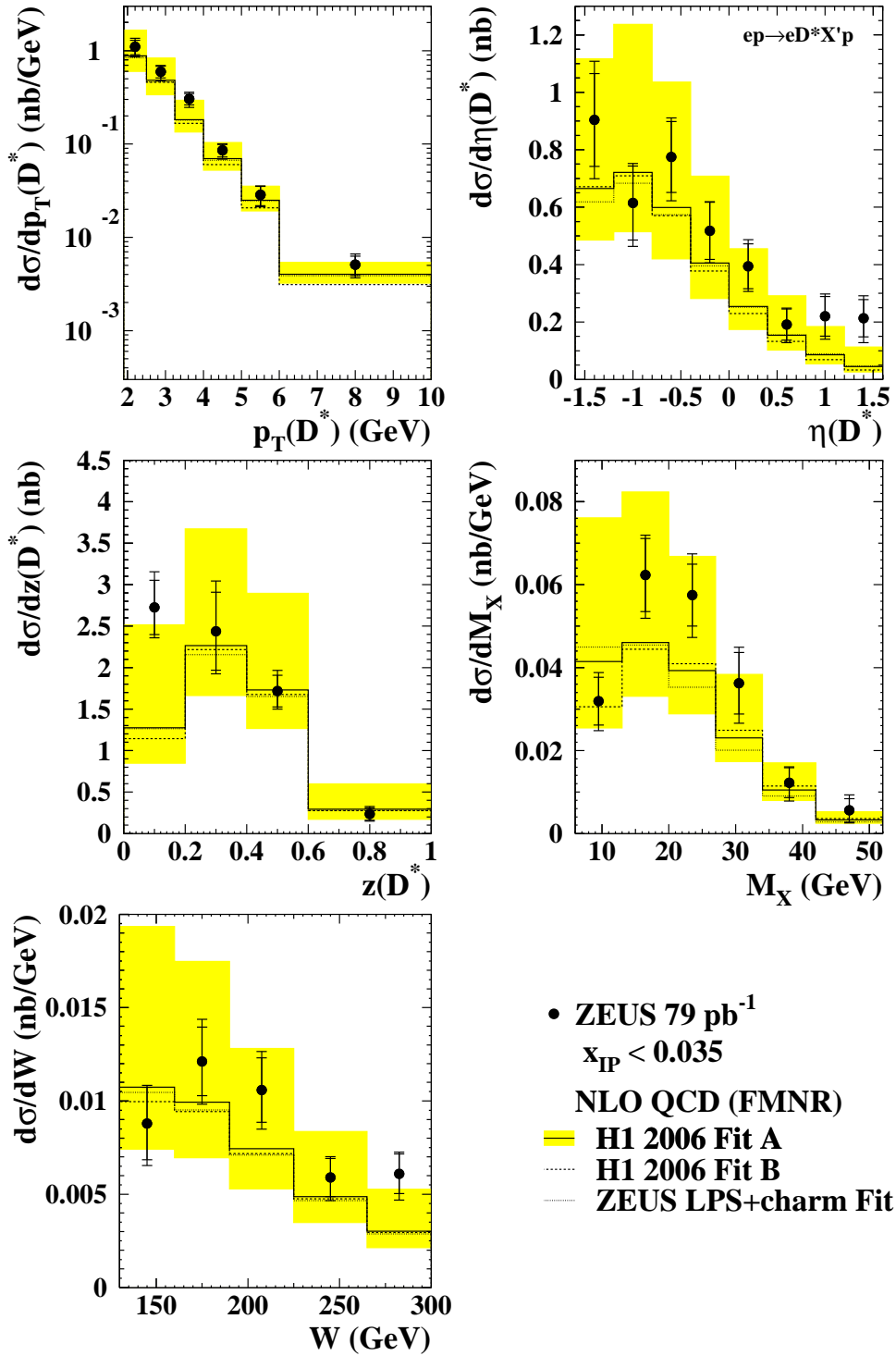


Рис. 7: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$  и  $W$ , измеренные в интервале  $x_{IP} < 0.035$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Расчеты в приближении следующего за лидирующим порядком теории возмущений КХД (гистограммы) с параметризациями дифракционных распределений партонных в протоне H1 2006 Fit A (сплошная), Fit B (пунктирная) и ZEUS LPS+charm Fit (точечная) показаны в абсолютной нормировке. Окрашенная полоса показывает оценку неопределенности расчетов, полученную путем вариации массы с кварка и масштабных параметров факторизации партонных сечений и перенормировки расходимостей.

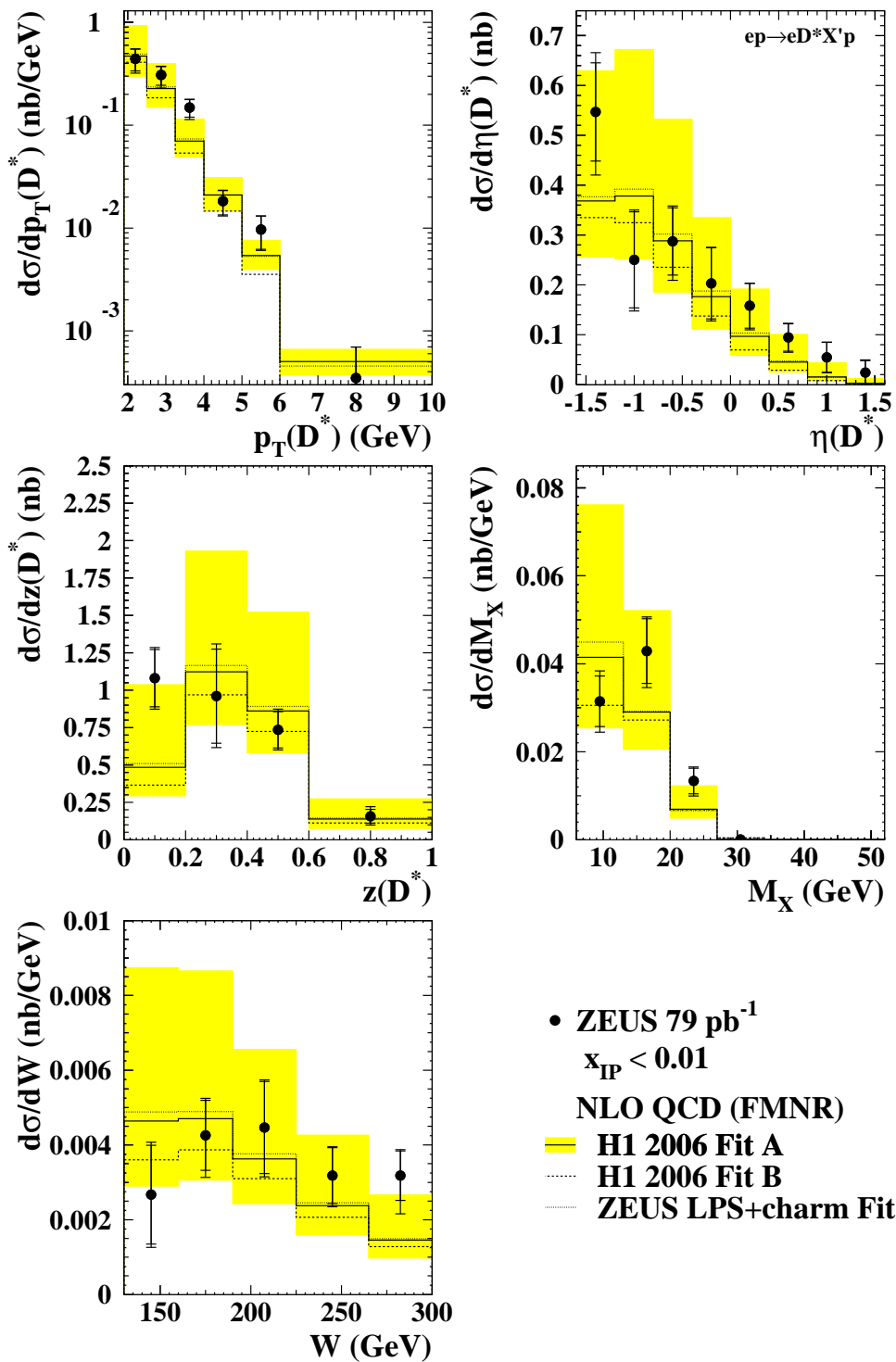


Рис. 8: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$  и  $W$ , измеренные в интервале  $x_{IP} < 0.01$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Расчеты в приближении следующего за лидирующим порядком КХД (гистограммы) с параметризациями дифракционных распределений партонов H1 2006 Fit A (сплошная), Fit B (пунктирная) и ZEUS LPS+charm Fit (точечная) показаны в абсолютной нормировке. Окрашенная полоса показывает оценку неопределенности расчетов, полученную путем вариации массы с кварка и масштабных параметров факторизации партонных сечений и перенормировки расходимостей.



ях партонов, определенных в инклюзивном дифракционном глубоко неупругом рассеянии, является дополнительным свидетельством универсальности дифракционных распределений партонов в  $ep$  рассеянии.

Сечение инклюзивного фоторождения мезонов  $D^*$  было измерено с целью оценить долю дифракционного образования мезонов  $D^*$ . Его величина составляет  $\sigma_{ep \rightarrow e'D^*Y} = 25.88 \pm 0.51(stat)_{-0.58}^{+0.99}(syst)$  нбн. и находится в согласии с прежними измерениями сотрудничества ZEUS. Было проведено сравнение отношения дифракционных сечений к инклюзивным в теории и эксперименте. При расчете отношения сечений некоторые теоретические неопределенности компенсируются, значительно уменьшая результирующую неопределенность вычислений, которая становится сравнимой с экспериментальной погрешностью.

В рассматриваемой кинематической области доля дифракционных событий с  $x_F < 0.035$  составляет  $\mathcal{R}_D = 5.7 \pm 0.5(stat.)_{-0.7}^{+0.4}(syst.) \pm 0.3(p.d.)\%$  от инклюзивного сечения фоторождения мезонов  $D^*$ .

Это значение  $\mathcal{R}_D$  согласуется с измеренными экспериментами H1 и ZEUS в близких кинематических областях для дифракционного образования мезонов  $D^*$  в глубоко неупругом рассеянии на коллайдере HERA (Рис. 9). Величина  $\mathcal{R}_D$  практически не зависит от виртуальности обмениваемого фотона в интервале  $Q^2 < 400$  ГэВ<sup>2</sup>. Независимость  $\mathcal{R}_D$  от  $Q^2$  наблюдается также в инклюзивных дифракционных процессах с образованием адронных систем с большой инвариантной массой ( $M_X > 8$  ГэВ) в интервале  $2.7 < Q^2 < 55$  ГэВ<sup>2</sup>.

Дифференциальные распределения доли  $\mathcal{R}_D$  дифракционных событий с  $x_F < 0.035$  в сечении инклюзивного фоторождения мезонов  $D^*$  по переменным  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$  и  $W$  приведены на Рис. 10.

В приближении следующего за лидирующим порядком теории возмущений КХД расчеты, основанные на параметризациях H1 2006 Fit A, Fit B или ZEUS LPS+charm Fit, хорошо воспроизводят нормировку и формы наблюдаемых зависимостей  $\mathcal{R}_D$  от кинематических переменных. Согласие расчетов с измерениями является новым свидетельством применимости факторизационной теоремы КХД для описания дифракционных процессов в  $ep$  столкновениях. Так же как и в глубоко неупругом рассеянии, доля дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$   $\mathcal{R}_D$  убывает с ростом  $p_T(D^*)$  и  $\eta(D^*)$  и не имеет заметной зависимости от  $W$  или  $z(D^*)$ . Отсутствие зависимости  $\mathcal{R}_D$  от  $W$  и  $z(D^*)$  показывает, что дифракционное и инклюзивное сечения характеризуются одинаковой зависимостью от этих переменных.

Расчеты сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в рамках

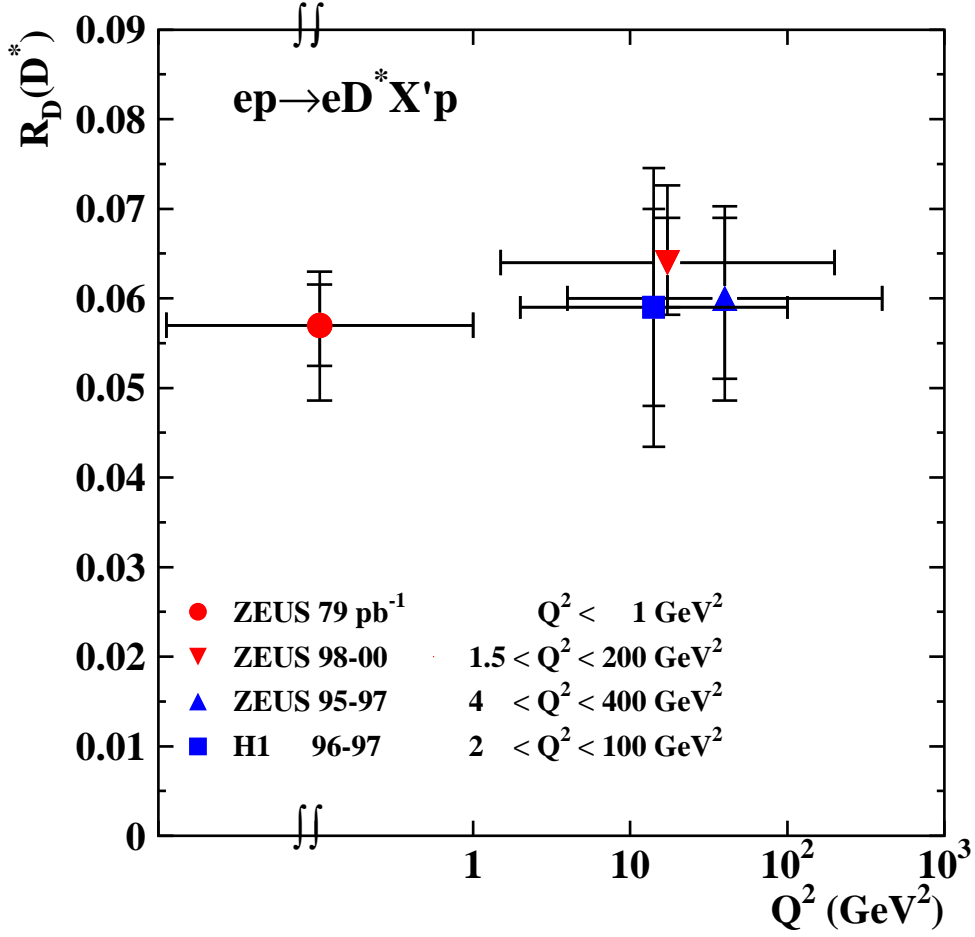


Рис. 9: Доля  $\mathcal{R}_D$  дифракционного образования мезонов  $D^*$  на коллайдере HERA в режимах глубоко неупругого рассеяния и фоторождения (данное измерение). Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической ошибки, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах.

# ZEUS

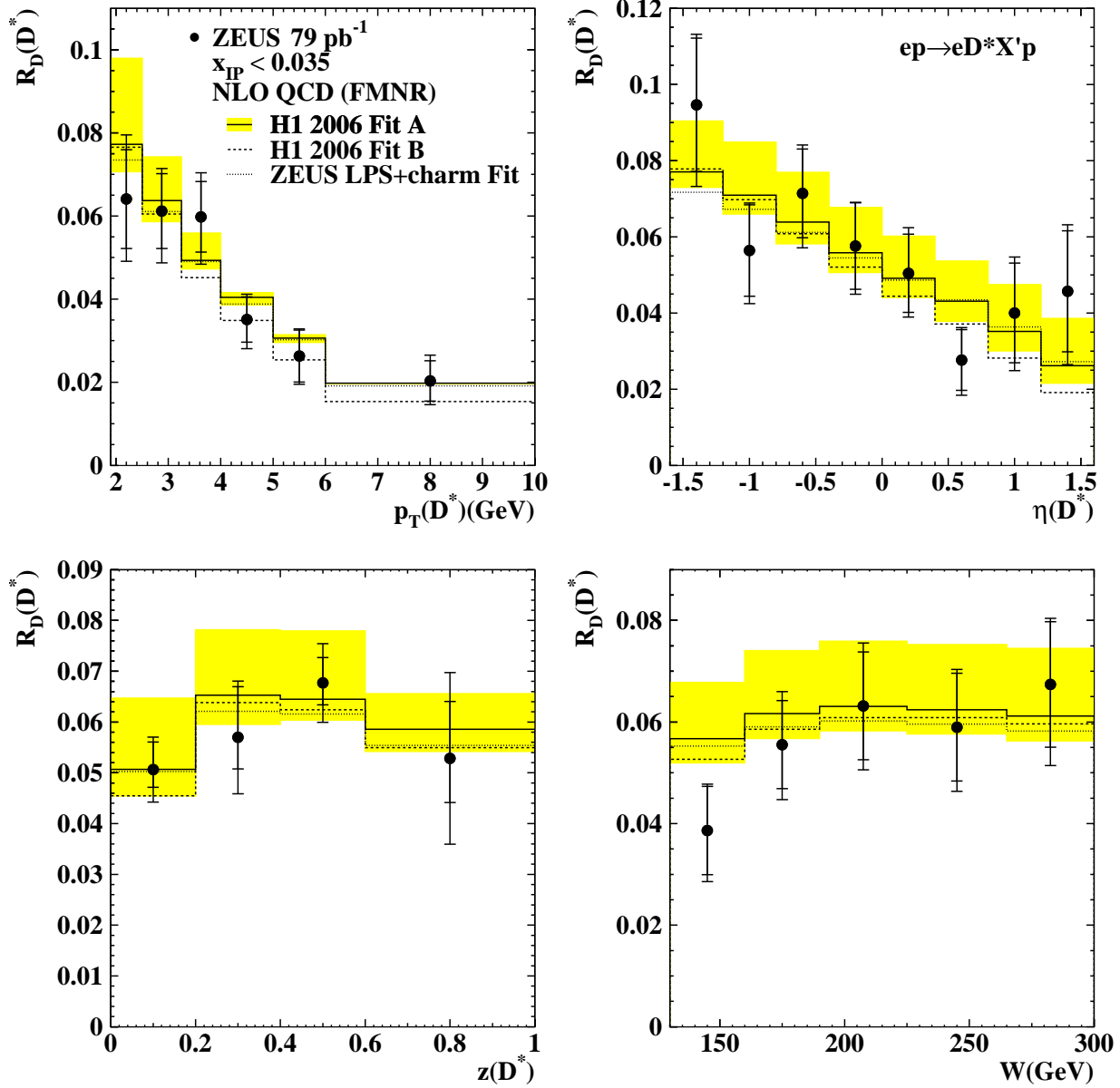


Рис. 10: Доля дифракционных событий  $\mathcal{R}_D$  (точки) в сечении фоторождения мезонов  $D^*$  в зависимости от  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$  и  $W$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Расчеты в приближении следующего за лидирующим порядком КХД (гистограммы, FMNR) с параметризациями дифракционных партонных распределений протона H1 2006 Fit A (сплошная), Fit B (пунктирная) и ZEUS LPS+charm Fit (точечная) показаны в абсолютной нормировке. Окрашенная полоса показывает оценку неопределенности расчетов, полученную путем вариации массы с-кварка и масштабных параметров факторизации партонных сечений и перенормировки расходимостей.

модели двухглюонного обмена были выполнены с учетом как мнимой, так и реальной части амплитуды образования пары очарованных кварков в процессах  $ep$  рассеяния с возбуждением виртуального фотона только в  $c\bar{c}$  состоянии. Как и в процессах с обменом фотонами большой виртуальности, механизм глюонных обменов имеет место при  $x_p < 0.01$  (Рис. 11), где вкладами вторичных реджеонов можно пренебречь. Расчетное сечение дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  оказалось почти *вдвое меньше* измеренного (Рис. 12). Расчеты не воспроизводят и формы экспериментальных распределений. Моделью предсказывается образование систем  $X$  со значительно меньшими инвариантными массами (вблизи порога образования  $c\bar{c}$ -пары), чем в эксперименте. Форма распределений по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$  также недостаточно хорошо воспроизводится расчетами, которые предсказывают большую вероятность больших  $p_T(D^*)$  и меньшие вероятности малых  $\eta(D^*)$  и  $z(D^*)$ . Вклад реальной части амплитуды рассеяния составляет  $\sim 0.25$  от предсказываемого сечения. Ее дифференциальные вклады возрастают с увеличением  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $M_X$  и  $x_p$  и по краям спектров по  $z(D^*)$  и  $W$ .

Измерения сечений дифракционного образования мезонов  $D^*$  в глубоко неупругом рассеянии были хорошо описаны при одновременном учете  $c\bar{c}$  и  $c\bar{c}g$  возбуждений виртуального фотона. Это указывает на то, что для описания образования мезонов  $D^*$  при дифракционной диссоциации фотонов в режиме фоторождения также необходимо учитывать дополнительные возбуждения фотона в  $c\bar{c}g$  состоянии и непертурбативные возбуждения фотона, описываемые моделью векторной доминантности

Сравнения измеренных сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$  в  $ep$ -столкновениях с теоретическими расчетами, выполненными в рамках различных подходов к динамике партонных процессов формирования мезонов  $D^{*\pm}$ , позволяют сделать заключение, что основные свойства дифракционного образования очарованных кварков могут быть качественно описаны на основе факторизационной теоремы КХД. Для описания дифракционного фоторождения очарованных кварков в рамках модели структурного померона необходимо использовать жесткое распределение глюонов в протоне. Количественное описание сечений этих процессов характеризуется большими неопределенностями.

## 2.8 Заключение

В заключении приведена сводка основных результатов исследования, представленных к защите.

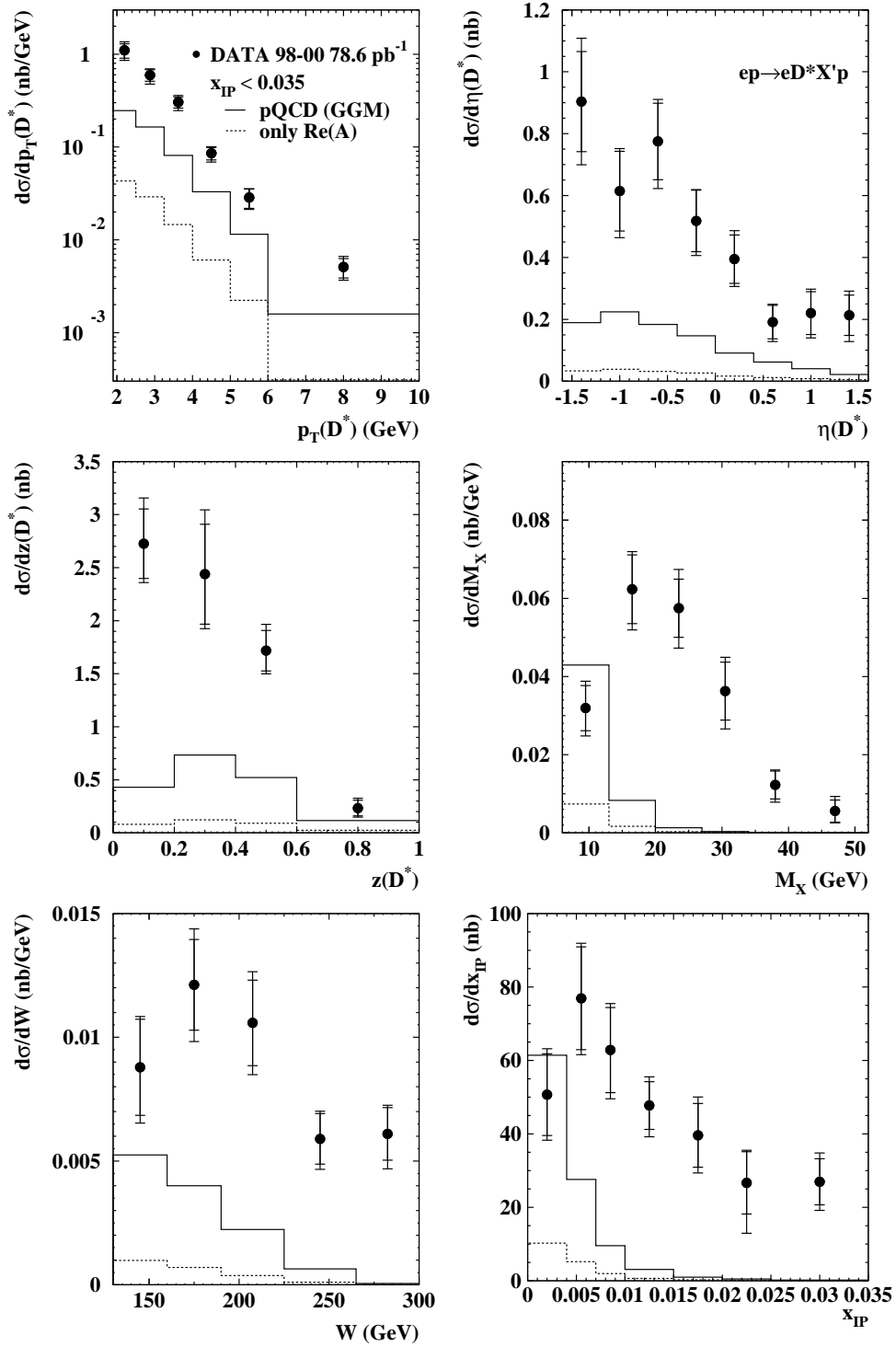


Рис. 11: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$ ,  $W$  и  $x_P$  при  $x_P < 0.035$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Предсказания модели двухглюонного обмена (сплошные гистограммы) показаны в абсолютной нормировке. Штриховые гистограммы показывают вклад реальной части ( $Re(A)$ ) амплитуды образования  $c\bar{c}$  пары.

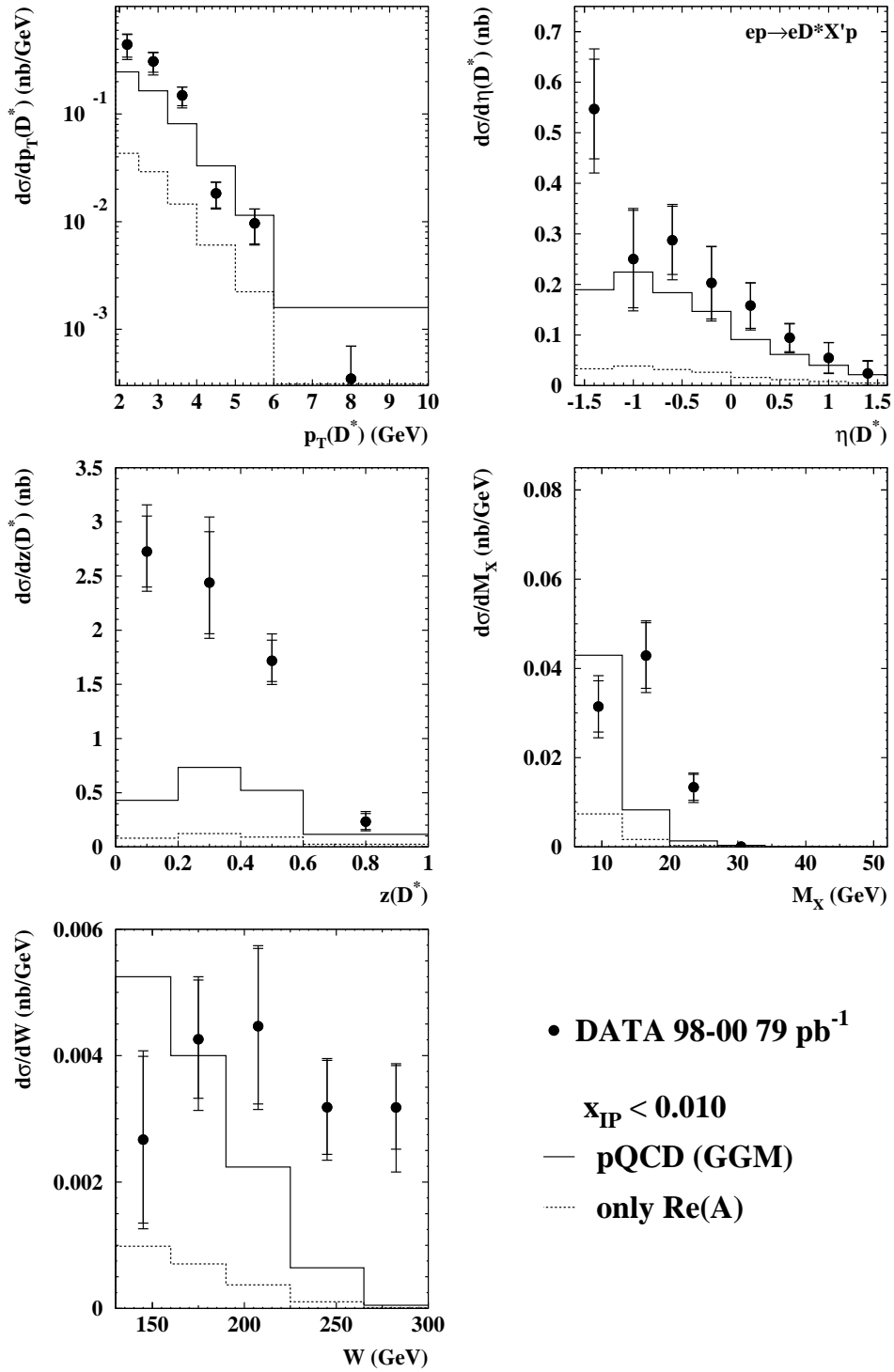


Рис. 12: Дифференциальные сечения (точки) дифракционного фоторождения  $D^*$  мезонов по  $p_T(D^*)$ ,  $\eta(D^*)$ ,  $z(D^*)$ ,  $M_X$ ,  $W$  и  $x_{IP}$  при  $x_{IP} < 0.01$ . Погрешности измерений изображены вертикальными отрезками. Длина внутреннего отрезка соответствует величине статистической погрешности, а длина внешнего отрезка – сумме статистической и систематической погрешностей в квадратурах. Предсказания модели двухглюонного обмена (гистограммы) показаны в абсолютной нормировке. Штриховые гистограммы показывают вклад реальной части ( $Re(A)$ ) амплитуды образования  $c\bar{c}$  пары.

Впервые был выделен сигнал дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  на основе созданной методики идентификации таких событий. Полные и дифференциальные сечения дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  были измерены с высокой статистической точностью при энергии в системе ц.м.  $\gamma p$  взаимодействий от 115 до 300 ГэВ. Впервые были определены полные и дифференциальные вклады дифракционных событий в инклюзивные сечения фоторождения мезонов  $D^*$ . Получены новые экспериментальные свидетельства применимости факторизационной теоремы КХД для описания дифракционных процессов фоторождения очарованных кварков и универсальности дифракционных партонных распределений в  $ep$  столкновениях. Продемонстрирована необходимость учета значительного вклада процессов с участием структурного фотона для описания форм дифференциальных сечений дифракционного фоторождения мезонов  $D^*$  в лидирующем порядке теории возмущений КХД. Показана необходимость использования жесткого распределения глюонов в рамках модели структурного померона для описания дифракционного фоторождения очарованных кварков. Получено экспериментальное свидетельство недостаточности учета только  $c\bar{c}$  возбуждений виртуального фотона для описания дифракционного фоторождения очарованных кварков в рамках модели двухглюонного обмена при коллайдерных энергиях.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- [1] ZEUS Collaboration, S. Chekanov, ... I.A. Korzhavina, et al.<sup>2</sup>, Eur. Phys. J. C **51**, 301 (2007), preprints DESY-07-039 and hep-ex/0703046.
- [2] A.V. Berezhnoy, V.V. Kiselev, I.A. Korzhavina and A.K. Likhoded, Phys. Atom. Nucl. **65**, 1487 (2002); Yad. Fiz. **65**, 1523 (2002); preprint hep-ph/0109164.
- [3] I.A. Korzhavina (On behalf of the ZEUS collaboration), *D\*(2010) and dijet diffractive cross sections from the ZEUS experiment at HERA*, Proceedings of the *International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics, Diffraction 2006*, Adamantas, Milos Island, Greece, 5 - 10 September 2006, PoS(DIFF2006)007, Proceedings of Science, 2006, [http://pos.sissa.it/archive/conferences/035/007/DIFF2006\\_007.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/035/007/DIFF2006_007.pdf).

---

<sup>2</sup>ZEUS Collaboration – международное сотрудничество физиков из 52 институтов 15 стран. Участники сотрудничества из России: А. Антонов, Л.К. Гладиллин, Д. Гладков, Ю.А. Голубков, Р.К. Дементьев, В.А. Долгошеин, П.Ф. Ермолов, Д.С. Зоткин, С.А. Зоткин, Н.П. Зотов, И.А. Коржавина, В.А. Кузьмин, Б.Б. Левченко, О.Ю. Лукина, А.С. Проскуряков, В. Сосновцев, А. Стифуткин, С. Сухов, Л.А. Хейн, Л.М. Щеглова

- [4] I.A. Korzhavina (On behalf of the ZEUS collaboration), *Study of  $D^{*\pm}$  meson production in diffractive ep Scattering HERA*, Proceedings of the *9th International Workshop on Deep Inelastic Scattering, DIS2001*, Bologna, Italy, 27 April - 1 May, G. Bruni, G. Iacobucci and R. Nania (eds.), p. 836, the Science and Culture Series-Physics, World Scientific, 2001.
- [5] И.А. Коржавина (от имени сотрудничества ZEUS), *Измерение сечений дифракционного фоторождения  $D^{*\pm}$  мезонов на коллайдере HERA*, Труды Научной конференции Отделения ядерной физики Российской Академии Наук “Физика фундаментальных взаимодействий”, Москва, декабрь 2000, *ЯФ* **65**(2), 274 (2002); *Phys. Atomic Nucl.* **65**(2), 249 (2002); preprint hep-ex/0103003.
- [6] I.A. Korzhavina (On behalf of the ZEUS collaboration),  *$D^{*\pm}$  and  $J/\Psi$  inelastic photoproduction at HERA*, Proceedings of the *5th International Workshop on Deep Inelastic Scattering and QCD, DIS 97*, Chicago, IL, USA, April 1997, J. Repond and D. Krakauer (eds.), p. 776, American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings 407, Woodbury, New York, 1997.
- [7] И.А. Коржавина и Н.П. Зотов, *Монте Карло генератор HSMPYT для процессов дифракционной диссоциации в модели жесткого рассеяния*, препринт НИИЯФ МГУ № 94-17/339, 1994.





Коржавина Ирина Аркадьевна

Изучение дифракционного фоторождения мезонов  $D^{*\pm}$  (2010) в эксперименте ZEUS на электрон-протонном коллайдере HERA.

Специальность 01.04.23 - физика высоких энергий

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико - математических наук

Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «КДУ»

Тел./факс (095) 939-57-32

E-mail: [press@kdu.ru](mailto:press@kdu.ru)