

УДК 539.125, 539.171

## ЭКСПЕРИМЕНТ Н1 НА КОЛЛАЙДЕРЕ HERA

*М. Н. Капишин*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Лаборатория физики частиц

Представлены результаты исследований дифракционных процессов в глубоконеупругом  $ep$ -рассеянии и реакциях фоторождения, проводимых на детекторе Н1 в DESY.

The results on diffractive processes in the deep-inelastic  $ep$  scattering and photo-production reactions investigated at the H1 detector (DESY) are presented.

Эксперимент Н1 успешно осуществляется на  $ep$ -коллайдере HERA начиная с 1992 г. По мере увеличения интегральной светимости была развита широкая программа физических исследований, связанных с прецизионными измерениями структуры протона в области малых  $x$ , изучением структуры фотона и проверкой КХД, а также с первым наблюдением взаимодействий при больших  $Q^2$ . Экспериментальная установка Н1 была первоначально оптимизирована для исследований в области больших  $Q^2$ , где легко идентифицировать топологию событий и где наблюдается низкий уровень фона. Для того чтобы установка Н1 максимально соответствовала указанным задачам физических исследований, планомерно ведется ее модернизация. В рамках программы развития установки Н1 сотрудники ЛФЧ ОИЯИ принимают активное участие в модернизации спектрометра лидирующих протонов (FPS), разработке и создании нового «plug»-детектора и новой пропорциональной камеры ВРС.

Так, спектрометр FPS был оборудован новыми горизонтальными детекторами, чувствительными в дифракционной области, и успешно функционировал в рамках эксперимента Н1 в течение 1998–2000 гг. Спектрометр FPS предназначен для измерения энергии и поперечного импульса лидирующих протонов, вылетающих из детектора Н1 без регистрации через камеру ускорителя [1]. В спектрометре FPS используется техника «Roman Pots» для подвода сцинтилляционных фиберных детекторов близко к пучку протонов. Считывание сигналов производится с помощью позиционно-чувствительных многоканальных ФЭУ.

Проведены проектирование, сборка, тест на пучке нового «plug»-детектора. Он предназначен для увеличения акцептанса установки H1 в передней области вокруг пучка протонов и для выработки триггерного сигнала по времени пролета для подавления фона от взаимодействий пучков с остаточным газом в камере ускорителя. «Plug»-детектор состоит из чувствительных слоев радиационно стойких сцинтилляционных пластин. Считывание сигналов производится с использованием смещающих спектры волокон и магнитостойких фотоумножителей.

Кроме того, проведены проектирование и сборка новой пропорциональной камеры ВРС. Камера ВРС предназначена для измерения полярного и азимутального углов рассеяния электронов в глубоконеупругом рассеянии (ГНР) и подавления фоновых процессов фоторождения и состоит из шести координатных плоскостей, повернутых на  $60^\circ$ . Сотрудники ОИЯИ внесли основной вклад в получение перечисленных методических и технических результатов.

Сотрудники ЛФЧ ОИЯИ активно участвуют в физическом анализе дифракционных процессов в глубоконеупругом  $ep$ -рассеянии и фоторождении. Среди наиболее важных физических исследований следует выделить проверку стандартной модели (СМ) в ГНР при больших  $Q^2$ . Были измерены инклюзивные дифференциальные сечения процессов, описываемых нейтральными и

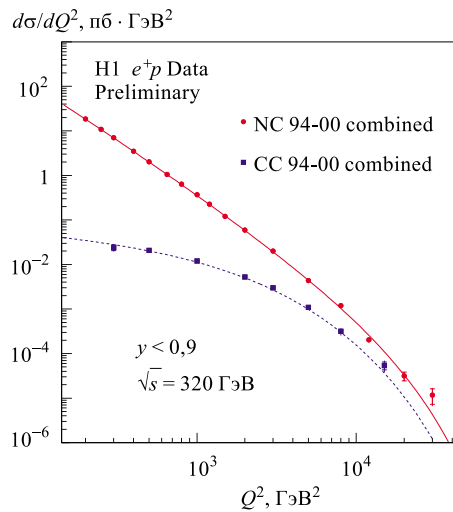


Рис. 1. Сечение процессов, описываемых нейтральными и заряженными токами, в зависимости от  $Q^2$ . Результаты основаны на данных, зарегистрированных в эксперименте H1 в 1994–2000 гг. (● — NC; ■ — CC). Результаты измерений сравниваются с предсказаниями СМ, полученными на основе КХД-фита (сплошная и штриховая кривые)

заряженными токами, в  $e^-p$ - и  $e^+p$ -взаимодействиях в кинематической области  $150 < Q^2 < 30000$  ГэВ<sup>2</sup> и  $0,0032 < x < 0,65$ . Экспериментальные данные были получены в период с 1996 по 2000 г. в реакциях с энергией 320 ГэВ в системе центра масс и соответствуют интегральной светимости  $15,3 \text{ пб}^{-1}$  для  $e^-p$ -взаимодействий и  $45,9 \text{ пб}^{-1}$  для  $e^+p$ -взаимодействий [2,3]. Большая интегральная светимость, набранная в эксперименте Н1, позволила провести измерения при очень высоких  $Q^2 \sim M_Z^2, M_W^2$  и проверить в ГНР предсказания КХД и теории электрослабых взаимодействий.

Измеренное сечение  $d\sigma/dQ^2$  для процессов, описываемых нейтральными токами в  $e^-p$ -взаимодействиях, значительно превышает аналогичное сечение в  $e^+p$ -взаимодействиях при больших  $Q^2$ . Согласно предсказаниям СМ это объясняется вкладом процессов обмена  $Z^0$ -бозоном, нарушающих четность. Для  $e^-p$ -рассеяния процессы  $Z^0$ -обмена увеличивают сечение, тогда как в  $e^+p$ -рассеянии вклад этих процессов приводит к уменьшению сечения. Из измеренных сечений извлечена структурная функция  $xF_3$ , вклад которой приводит к нарушению четности.

Сечение процессов, описываемых заряженными токами в  $e^-p$ -рассеянии, на порядок величины превосходит аналогичное сечение в  $e^+p$ -рассеянии при больших  $Q^2$ . В рамках СМ это объясняется взаимодействием  $W$ -бозона с кварками разных ароматов. Из анализа сечений процессов в  $e^-p$ - и  $e^+p$ -взаимодействиях с использованием результатов фитирования данных в рамках КХД были выделены распределения валентных кварков  $xu_v$  и  $xd_v$  в области больших  $x$ .

В области относительно малых  $Q^2$  сечение процессов, описываемых нейтральными токами, примерно в 1000 раз превосходит сечение процессов, описываемых заряженными токами. В рамках СМ это объясняется вкладом пропагаторного члена, зависящего от  $M_W^2$  (рис. 1). Масса  $W$ -бозона  $M_W = (80,9 \pm 3,7)$  ГэВ, вычисленная из пропагатора в пространственноподобном процессе на основе КХД-фита данных, хорошо согласуется со средним мировым значением массы, измеренной во времениподобных процессах. В области предельно больших  $Q^2 \sim M_Z^2, M_W^2$  сечения процессов, описываемых нейтральными и заряженными токами, становятся близкими по величине, что также предсказывается в рамках СМ (электрослабое объединение).

В эксперименте Н1 были также получены важные физические результаты по проверке КХД в ГНР в области малых  $x$  и измерению  $\alpha_s$ . Измерено инклюзивное сечение глубоконеупругого  $e^+p$ -рассеяния в кинематической области  $1,5 < Q^2 < 150$  ГэВ<sup>2</sup> и  $3 \cdot 10^{-5} < x < 0,2$  [4]. В основном величина сечения  $\sigma$  определяется в данной кинематической области вкладом протонной структурной функции  $F_2(x, Q^2)$ . В области промежуточных  $Q^2$  и больших  $x$  данные эксперимента Н1 подтверждают результаты экспериментов по  $\mu p$ -рассеянию на фиксированных мишенях (рис. 2). Продольная структурная функция  $F_L(x, Q^2)$  была извлечена из данных в

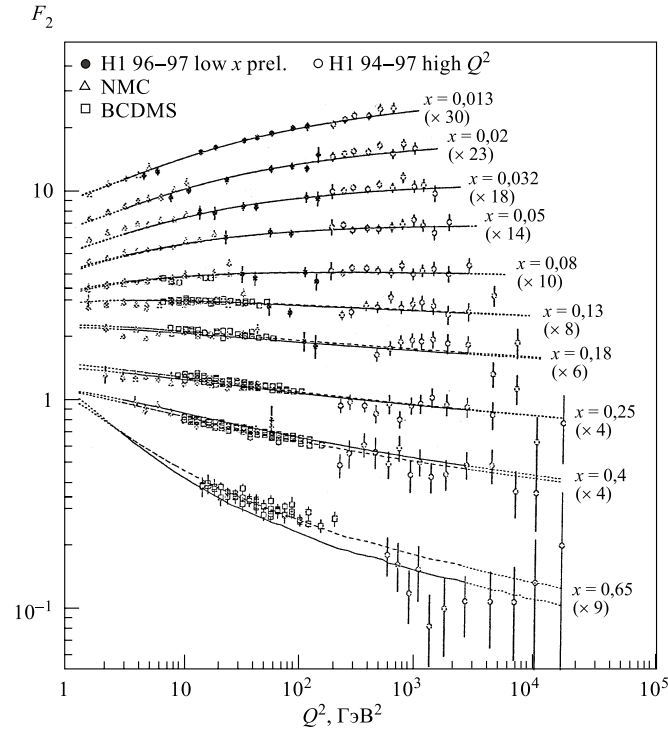


Рис. 2. Структурная функция  $F_2(x, Q^2)$ , измеренная в эксперименте H1 и в экспериментах по мюон-протонному рассеянию на фиксированных мишенях в области промежуточных  $Q^2$  и больших  $x$ . Сплошные линии показывают результаты КХД-фита на основе данных эксперимента H1; штриховые — результаты фита на основе данных экспериментов H1 и BCDMS

области предельно малых  $x$  на основе фитирования в рамках КХД-модели производных функций  $d\sigma/d\ln y$  и  $dF_2/d\ln Q^2$ . Импульсное распределение глюонов в протоне  $xg$  и постоянная сильного взаимодействия  $\alpha_s(M_Z^2) = 0,1150 \pm 0,0017$  (эксп.)  $\pm 0,0012$  (мод.) были одновременно определены в рамках совместного DGLAP КХД-фита сечения  $e^+p$ -рассеяния, измеренного в эксперименте H1, и сечения  $\mu p$ -рассеяния, измеренного в эксперименте BCDMS.

Сотрудники ЛФЧ ОИЯИ внесли большой вклад в исследования глубоко-неупругого  $e^+p$ -рассеяния и фоторождения в процессах с образованием лидирующего бариона (протона или нейтрона) в конечном состоянии, регистриру-

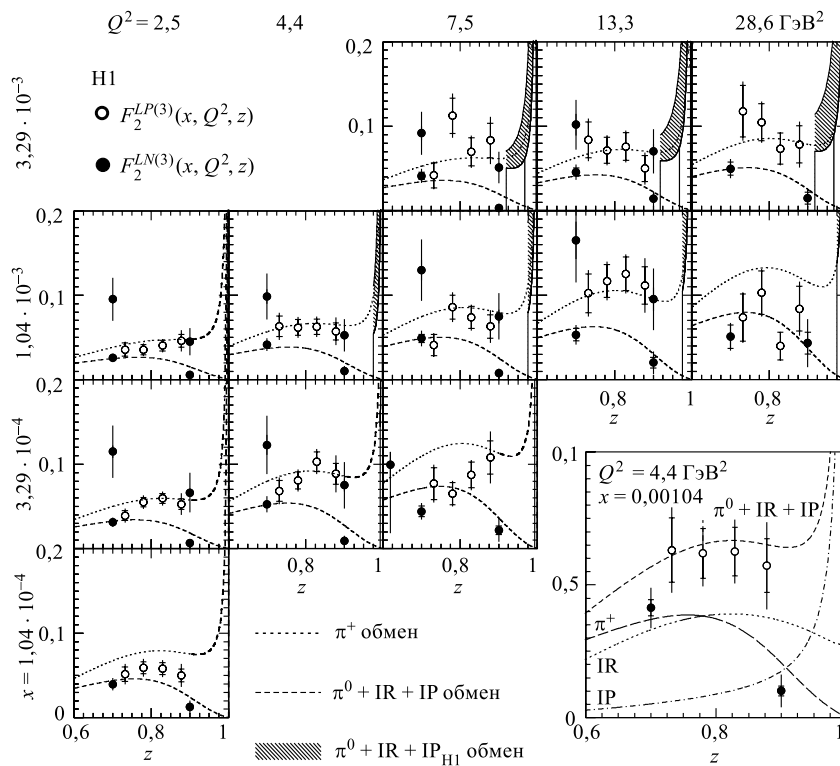


Рис. 3. Структурные функции  $F_2^{LN(3)}$  и  $F_2^{LP(3)}$ , измеренные в области  $0,7 < z < 0,9$ , в сравнении с предсказаниями реджевской модели рождения барионов. Вклад процессов обмена пионом, реджеоном и помероном приведен на отдельном графике

емого с помощью спектрометра FPS. Измерены полуинклюзивные структурные функции  $F_2^{LP(3)}$  и  $F_2^{LN(3)}$  в кинематической области  $2 < Q^2 < 50 \text{ ГэВ}^2$ ,  $6 \cdot 10^{-5} < x < 6 \cdot 10^{-3}$  [5]. Показано, что в рамках реджевской модели рождения лидирующих барионов полуинклюзивные структурные функции описываются процессами обмена пионом, реджеоном и помероном в области  $0,7 < z < 0,9$ , где  $z$  — доля импульса лидирующего протона относительно импульса протона пучка (рис. 3). Рождение лидирующих нейтронов полностью описывается процессами обмена  $\pi^+$ -мезоном, тогда как рождение лидирующих протонов определяется вкладом процессов обмена реджеоном  $f_2$  и  $\pi^0$ -мезоном. Структурная функция пиона была определена в области малых  $x$  из анализа данных по сечению рождения лидирующих нейтронов.

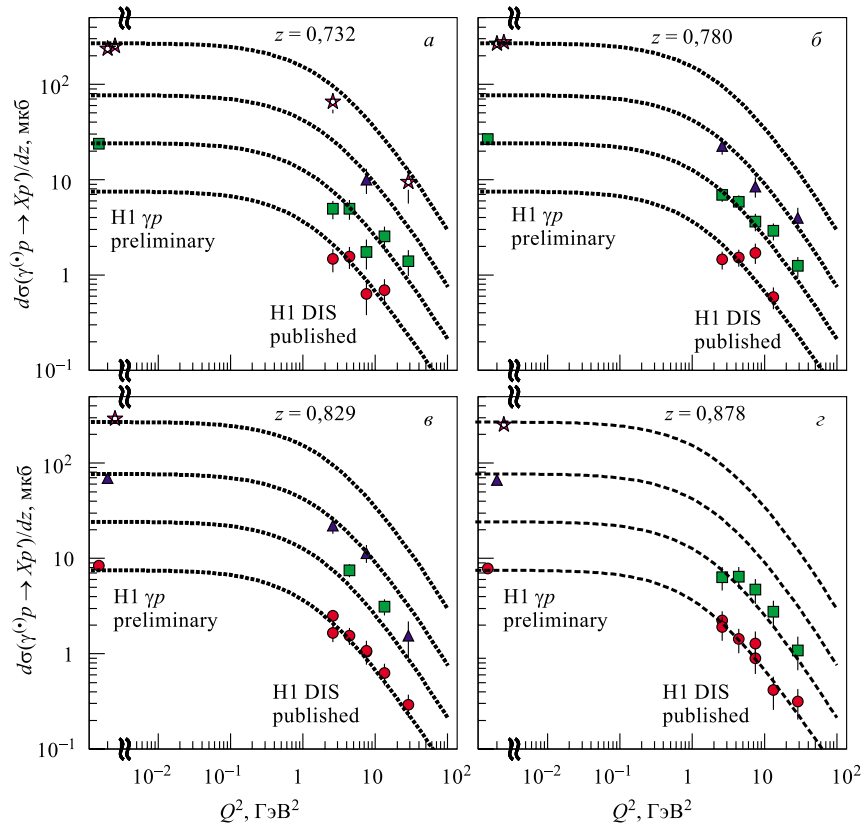


Рис. 4. Полуинклюзивное сечение процессов фоторождения и глубоконеупругого  $e^+p$ -рассеяния, измеренное для четырех интервалов по  $z$  и четырех интервалов по адронной массе  $M_x$  в зависимости от  $Q^2$  (кружки —  $M_x < 40$  ГэВ; квадраты —  $40 < M_x < 60$  ГэВ ( $\times 3$ ); треугольники —  $60 < M_x < 80$  ГэВ ( $\times 9$ ); звездочки —  $80 \text{ ГэВ} < M_x (\times 30)$ ). Кривые линии показывают результаты фита на основе модели насыщения

Кроме того, измерено полное сечение для процессов полуинклюзивного фоторождения с образованием лидирующего протона в конечном состоянии в кинематической области  $0,66 < z < 0,90$ . В данной кинематической области процессы померонного обмена подавлены относительно процессов обмена реджеоном и пионом. Для исследования области перехода от процессов с конечной виртуальностью фотона ( $Q^2 > 0$ ) к процессам фоторождения ( $Q^2 = 0$ ) проведено сравнение измеренного сечения с данными по глубоконеупругому

$e^+p$ -рассеянию с образованием лидирующего протона в конечном состоянии. Для совместного описания процессов фоторождения и глубоконеупругого рассеяния была использована так называемая модель насыщения. В рамках этой модели структура протона определяется двумя компонентами: структурной функцией  $F_2^{\text{VDM}}$ , которая соответствует процессам образования векторных мезонов и доминирует при малых значениях виртуальности фотона, и партонной структурной функцией  $F_2^{\text{QCD}}$ , которая определяет поведение сечения в области  $Q^2 > 1 \text{ ГэВ}^2$  (рис. 4). Показано, что полуинклюзивное сечение фоторождения лидирующих протонов подавлено сильнее относительно инклюзивных процессов по сравнению с полуинклюзивным сечением образования лидирующих протонов в глубоконеупругих процессах.

Увеличение светимости коллайдера HERA почти до  $150 \text{ пб}^{-1}/\text{год}$  (что соответствует интегральной светимости около  $1 \text{ фб}^{-1}$  за период 2001–2006 гг.) позволит провести исследования «жестких» процессов в области  $Q^2 > 2000 \text{ ГэВ}^2$ . Эти исследования важны как для проверки СМ в электрослабом и КХД-секторах, так и для поиска новой физики за пределами СМ. Предусмотренная продольная поляризация пучка  $e^\pm$  также является важным инструментом для достижения максимальной чувствительности измерений. В рамках программы развития установки Н1 в 2001 г. сотрудники ЛФЧ ОИЯИ принимают активное участие как в модернизации установки, так и в разработке программного обеспечения для реконструкции экспериментальных данных с указанных детекторов, а также планируют активно участвовать в физическом анализе процессов глубоконеупругого  $ep$ -рассеяния и фоторождения в эксперименте Н1 после увеличения светимости коллайдера HERA.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *van Esch P. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 446. P. 409.
2. *Aloff C. et al.* Preprint DESY-00-187. Hamburg, 2000.
3. *Aloff C. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2000. V. 13. P. 609.
4. *Aloff C. et al.* Preprint DESY-00-181. Hamburg, 2000;  
*Aloff C. et al.* // Nucl. Phys. B. 1997. V. 497. P. 3;  
*Aloff C. et al.* // Phys. Lett. B. 1997. V. 393. P. 452;  
*Aid S. et al.* // Nucl. Phys. B. 1996. V. 470. P. 3.
5. *Kapishin M.* // Nucl. Phys. B. (Proc. Suppl.). 1999. V. 79. P. 221;  
*Aloff C. et al.* // Eur. Phys. J. C. 1999. V. 6. P. 587.