

# ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Научная деятельность ЛФЧ в 2004 г. была сконцентрирована на проведении текущих и подготовке новых экспериментов в области физики элементар-

ных частиц, а также на разработке и исследовании детекторов частиц и различных ускорительных систем.

## ТЕКУЩИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Цикл экспериментов **NA-48** посвящен точному измерению отношения  $\epsilon'/\epsilon$  в распадах  $K \rightarrow 2\pi$ , изучению редких распадов каонов и гиперонов, а также измерению  $CP$ -асимметрии в распадах заряженных каонов. Полученные результаты должны дать ответ на вопросы, связанные с существованием прямого  $CP$ -нарушения, предсказываемого стандартной моделью (СМ), и внести ценный вклад в изучение распадных характеристик нейтральных и заряженных каонов.

После достижения основной цели эксперимента в ходе анализа данных NA-48 были получены ниже следующие результаты. Распад  $K_L \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^\mp \nu(\bar{\nu})$  был исследован [1] с использованием пучка долгоживущих каонов. Измерена относительная вероятность  $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^\mp \nu(\bar{\nu})) = (5,21 \pm 0,07(\text{стат.}) \pm 0,09(\text{сист.})) \cdot 10^{-5}$  на основе анализа 5464 событий распада при 62 фоновых событиях. Полученные формфакторы  $\bar{f}_s$ ,  $\bar{f}_p$ ,  $\lambda_g$  и  $\bar{h}$  находятся в согласии с ранее выполненными измерениями, но имеют более высокую точность. На основе этих данных была получена константа связи кирального лагранжиана  $L_3 = (-4,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ .

В данных, набранных в 1999 г., было найдено 730 кандидатов на слабый радиационный распад гиперона  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \gamma$  при оценке фона в  $58 \pm 8$  событий [2]. На основе анализа этих событий определена асимметрия распада  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \gamma$ :  $\alpha(\Xi^0 \rightarrow \Lambda \gamma) = -0,78 \pm 0,18(\text{стат.}) \pm 0,06(\text{сист.})$ , что является первым свидетельством асимметрии в реакции  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \gamma$ . Измерена относительная вероятность этого распада  $\text{Br}(\Xi^0 \rightarrow \Lambda \gamma) = (1,16 \pm 0,05(\text{стат.}) \pm 0,06(\text{сист.})) \cdot 10^{-3}$ .

Впервые наблюдался распад  $K_S \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$  [3] при анализе данных, набранных в 2000 г.: 31 событие было отобрано при уровне фона  $13,7 \pm 3,2$  событий, что ведет к оценке относительной вероятности распада  $\text{Br}(K_S \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma) = (4,9 \pm 1,6(\text{стат.}) \pm 0,9(\text{сист.})) \cdot 10^{-8}$ , находящейся в согласии с результатами киральной пертурбативной теории.

Следующие результаты были получены в рамках физической программы проекта **NA-48/1**. Наблюдалась новая мода распада  $K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$  (6 событий над фоном 0,22), была измерена ее относительная вероятность (предварительно) [4]:

$$\text{Br}(K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-) = (2,8_{-1,2}^{+1,5}(\text{стат.}) \pm 0,3(\text{сист.}) \pm 0,8(\text{теор.})) \cdot 10^{-9}.$$

Относительная вероятность распада  $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \nu$  и значение матричного элемента  $V_{us}$  матрицы Кабиббо–Кобаяши–Маскавы (ККМ) были предварительно оценены [5]:

$$\text{Br}(\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \nu) = (2,51 \pm 0,03(\text{стат.}) \pm 0,11(\text{сист.})) \cdot 10^{-4},$$

$$|V_{us}| = 0,214 \pm 0,006_{-0,025}^{+0,030}.$$

Наблюдался четкий сигнал (около 100 событий) распада  $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \nu$  (и  $\Sigma^+ \rightarrow p \pi^0$ ) [6].

Для выполнения физической программы **NA-48/2** экспериментальный сеанс длительностью 60 дней был подготовлен и осуществлен на пучковой линии заряженных каонов на SPS (ЦЕРН). Было набрано более  $2,15 \cdot 10^9$  событий — кандидатов в

$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  и более  $1,30 \cdot 10^8$  кандидатов в  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$ . Всего в течение двух лет сбора данных в эксперименте NA-48/2 было записано более 4 млрд событий  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  и 200 млн  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$ .

Участие ОИЯИ в проведении экспериментальных сеансов включает:

- поддержание и доработку изготовленной в ОИЯИ электроники считывания данных координатного детектора пучка заряженных каонов — KAVES, работающего в высокоинтенсивном пучке заряженных частиц;
- сопровождение в течение сеанса новой электроники считывания мюонного детектора;
- сопровождение и доработку, а также обеспечение непрерывной работы системы контроля записи данных.

Группа ЛФЧ несет полную ответственность за разработку программного обеспечения для моделирования детекторов, а также за реконструкцию данных, полученных с применением новой системы считывания мюонного детектора, фильтрацию данных и мониторинг физических характеристик в ходе сеанса.

На основе данных, полученных в 2003 г., были оценены ошибки асимметрии распадов  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  и  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$  [6], которые на порядок величины меньше, чем в других экспериментах.

Выполнено предварительное измерение относительной вероятности распада  $K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu$  [4]:

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu) = (5,163 \pm 0,021(\text{стат.}) \pm 0,056(\text{сист.})) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{Br}(K^- \rightarrow \pi^0 e^- \nu) = (5,093 \pm 0,028(\text{стат.}) \pm 0,056(\text{сист.})) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{Br}(K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu) = (5,14 \pm 0,02(\text{стат.}) \pm 0,06(\text{сист.})) \cdot 10^{-2},$$

что позволяет определить значение матричного элемента матрицы СКМ:

$$|V_{us}| = 0,2241 \pm 0,0013(\text{эксп.}) \pm 0,0023(\text{теор.}).$$

Это значение находится в хорошем согласии с результатами эксперимента E865 в BNL и предсказаниями СМ, что подтверждает унитарность матрицы ККМ.

Группа сотрудников ЛФЧ принимает участие в анализе данных эксперимента HERMES, набранных в 2002–2003 гг., и осуществляет техническое обеспечение минидрейфовых вершинных камер.

Обнаружено указание на узкое барионное состояние в квазиреальном фоторождении на дейтериевой мишени через канал распада  $pK_S \rightarrow p\pi^+\pi^-$ . Пик наблюдался в спектре инвариантной массы  $pK_S$

при  $(1528 \pm 2,6(\text{стат.}) \pm 2,1(\text{сист.}))$  МэВ/ $c^2$  [7]. В зависимости от фоновой модели простое статистическое значение пика составляет 4–6 стандартных отклонений, и его ширина может быть немного больше, чем экспериментальное разрешение  $\sigma = 4,3\text{--}6,2$  МэВ. Это состояние может быть интерпретировано как предсказание  $S = +1$   $\Theta^+(1540)$ -бариона-пентакварка. Никакого пика не наблюдалось для гипотетического  $\Theta^{++}$ -бариона в  $pK^+$ -распределении инвариантной массы. Отсутствие такого пика указывает на то, что изотензор  $\Theta$  исключен и изовектор  $\Theta$  вряд ли существует. На рис. 1 показаны спектры инвариантной массы  $pK_S$ .

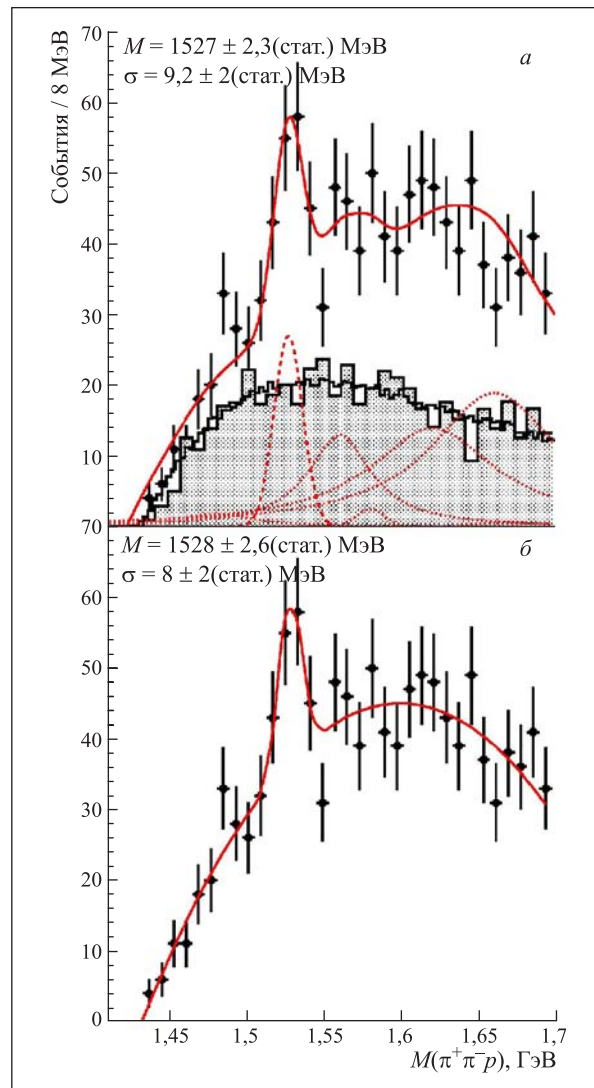


Рис. 1. Распределение инвариантной массы системы  $p\pi^+\pi^-$  для разнообразных описаний этой системы, приведенных в тексте. Экспериментальные данные представлены кружками с линией статистической ошибки, фитированные сплошные кривые показывают место и ширину пика. а) Расчеты Монте-Карло с Pythia6 — диаграмма, заштрихованная серым цветом; модель смешанных событий, нормализованная к расчетам Pythia6, показана на детальной гистограмме, а фитированная кривая описывается в тексте. б) Фит для данных — гауссовское распределение плюс полином третьего порядка

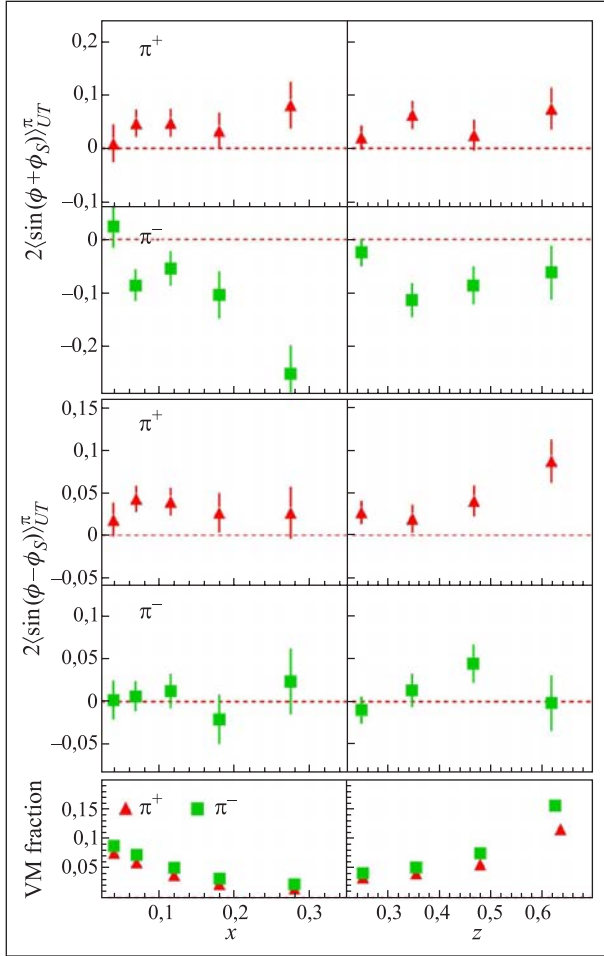


Рис. 2. Моменты структурных функций Коллинза (Сиверса) в реакциях рождения заряженных пионов через виртуальный фотон, обозначение на верхних (средних) графиках показывает  $x$ - и  $z$ -зависимости этих моментов, умноженные на 2, чтобы иметь возможный диапазон  $\pm 1$ . Линии ошибок представляют статистические неопределенности. Нижний график показывает относительный вклад в эти результаты от эксклюзивного рождения векторных мезонов (VM fraction), полученного из моделирования этих процессов

Одним из наиболее интересных исследований в эксперименте HERMES является измерение распределенной поперечности в нуклоне. Асимметрии с неполяризованным пучком позитронов для полуинклюзивного (SIDIS) рождения электронов заряженных пионов в ГНР (DIS) позитронов были измерены впервые на поперечно-поляризованной мишени [8]. Асимметрия зависит от комбинации азимутальных углов пионов ( $\phi$ ) к направлению спина мишени и к направлению виртуального фотона ( $\phi_S$ ), относительно плоскости рассеяния лептонов. Выделенный компонент Фурье  $\langle \sin(\phi + \phi_S) \rangle_{UT}^\pi$  является указанием на существование поперечных кварковых распределений, ранее не измеренных, которые опреде-

ляют так называемую функцию фрагментации Коллинза, также пока не измеренную. Компонент симметрии Фурье  $\langle \sin(\phi - \phi_S) \rangle_{UT}^\pi$  появляется из корреляции между поперечной поляризацией нуклона мишени и внутренним поперечным импульсом кварков, определяемым также не измеренной функцией распределения Сиверса. Индекс  $UT$  обозначает неполяризованный пучок ( $U$ ) и поперечно-поляризованную мишень ( $T$ ). Наблюдались указания на оба этих сигнала, но на асимметрию Сиверса может влиять эксклюзивное рождение векторных мезонов. Результаты измерения данных асимметрий представлены на рис. 2.

Получение поляризованных SIDIS-асимметрий и поляризованных распределений кварков является главной целью HERMES. Поляризованные данные ГНР по продольно-поляризованной водородной и дейтериевой мишеням были использованы для определения асимметрии с поляризованным пучком позитронов [9, 10]. Инклюзивные и полуинклюзивные асимметрии для рождения положительных и отрицательных пионов с использованием поляризованной водородной мишени были получены в повторном анализе данных, опубликованных ранее. Инклюзивные и полуинклюзивные асимметрии для рождения отрицательных и положительных пионов и каонов были измерены на поляризованной дейтериевой мишени. Поляризованные кварковые распределения для «up» и «down» и «anti-up», «anti-down», а также странных морских кварков просчитаны из этих асимметрий в «лидирующем порядке» разложения КХД. Поляризация «up»-кварка положительная, а у «down»-кварка — отрицательная. Все выделенные поляризации морских кварков близки к нулю, а спиральные плотности легких кварков являются симметричными в рамках экспериментальных неопределенностей. Первый и второй моменты выделенных спиральных плотностей кварков в измеренном диапазоне находятся в согласии с фитами инклюзивных данных. Полученные данные представлены на рис. 3.

ЛФЧ участвует в модернизации детектора **H1**, предназначенного для исследования процессов ГНР на  $ep$ -коллайдере HERA (DESY), прежде всего, в модернизации, монтаже, запуске, а также поддержке программного обеспечения трех наиболее важных детекторов: спектрометра летящих вперед протонов, пропорциональных камер для частиц, летящих назад, и «plug»-детектора. В 2004 г. коллайдер HERA продолжал работать после улучшения светимости, которая достигла значения  $80 \text{ пб}^{-1}$ . Впервые были получены данные по  $ep$ -столкновениям с помощью продольно-поляризованных позитронов. Поляризация пучка лептонов позволила исследовать детальнее партонные плотности протона через измерение асимметрий и изучение вклада от электрослабой части СМ.

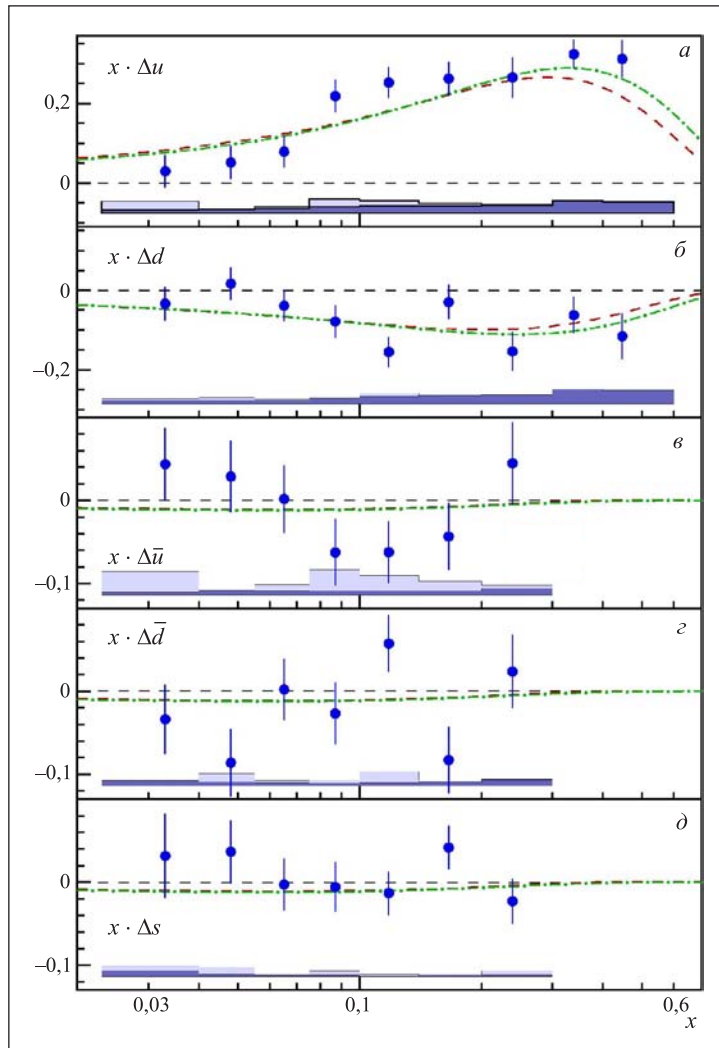


Рис. 3. Кварковые спинзависимые распределения  $x\Delta q(x, Q_0^2)$  как функция  $x$ , приведенные к величине  $Q_0^2 = 2,5 \text{ ГэВ}^2$ . Штриховой линией представлена параметризация GRSV2000 (LO, валентный сценарий), с масштабом  $1/(1+R)$ , штрихпунктирная линия показывает параметризацию Блюмляйна–Боттгера (BB) (LO, сценарий 1)

Новые данные, полученные на детекторе H1 с использованием продольно-поляризованных позитронов для двух («левого» и «правого») состояний поляризации пучка в столкновениях с неполяризованными протонами на HERA, использованы для измерения общего сечения заряженного тока для  $Q^2 > 400 \text{ ГэВ}^2$  [11]. Зависимость поляризации общего СС-сечения показана на рис.4 в сравнении с предсказаниями СМ, которая предсказывает, что СС-сечение должно иметь линейную зависимость от поляризации и, более того, сечение для полных «левосторонних» позитронов должно быть равно нулю (как и для «правосторонних» электронов). Это следует из СМ, в рамках которой «правосторонние» токи не существуют. Данные по H1 и ZEUS используются для получения экстраполированного общего сечения заряженных токов для полного «левостороннего» пучка позитронов:  $\sigma = (0,2 \pm 1,8(\text{стат.}) \pm 1,6(\text{сист.})) \text{ пб}$ . Обнаружено, что эта экстраполяция находится в со-

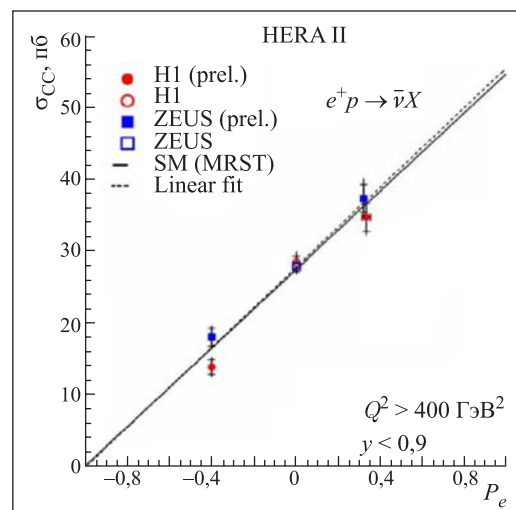


Рис. 4. Зависимость  $e^+p$  СС-сечения для поляризованного пучка лептонов  $P_e$ , измеренная в экспериментах H1 и ZEUS. Данные сравниваются с предсказаниями СМ. Пунктирная линия — результат линейного фита к данным

ответствии с предсказаниями СМ, что показано на рис. 1.

Группа ЛФЧ, участвующая в эксперименте Н1, сделала главный вклад в измерения дифракционной структурной функции  $F_2^D$  в процессах ГНР с лидирующим протоном, зарегистрированным в детекторе FPS установки Н1 [12, 13]. Сравнение структурной функции с лидирующим протоном в FPS с аналогичными измерениями, полученными в эксперименте ZEUS, и  $F_2^D$ , полученной в Н1 из данных с зазором больших быстрот в центральном детекторе, показало

хорошее согласие между этими двумя экспериментами и методами (см. рис. 5). Результат подтверждает малый вклад в диссоциацию протона в данных с зазором больших быстрот. Дифракционные партонные распределения (PDFs) были выделены из уравнений DGLAP в следующем к лидирующему разложению КХД-фитов к данным с большими быстротами. Предсказания КХД, основанные на дифракционных плотностях PDF, описывают новые данные Н1 для заряженного тока при высоком  $Q^2$  и дифракционного нейтрального тока [14, 15].

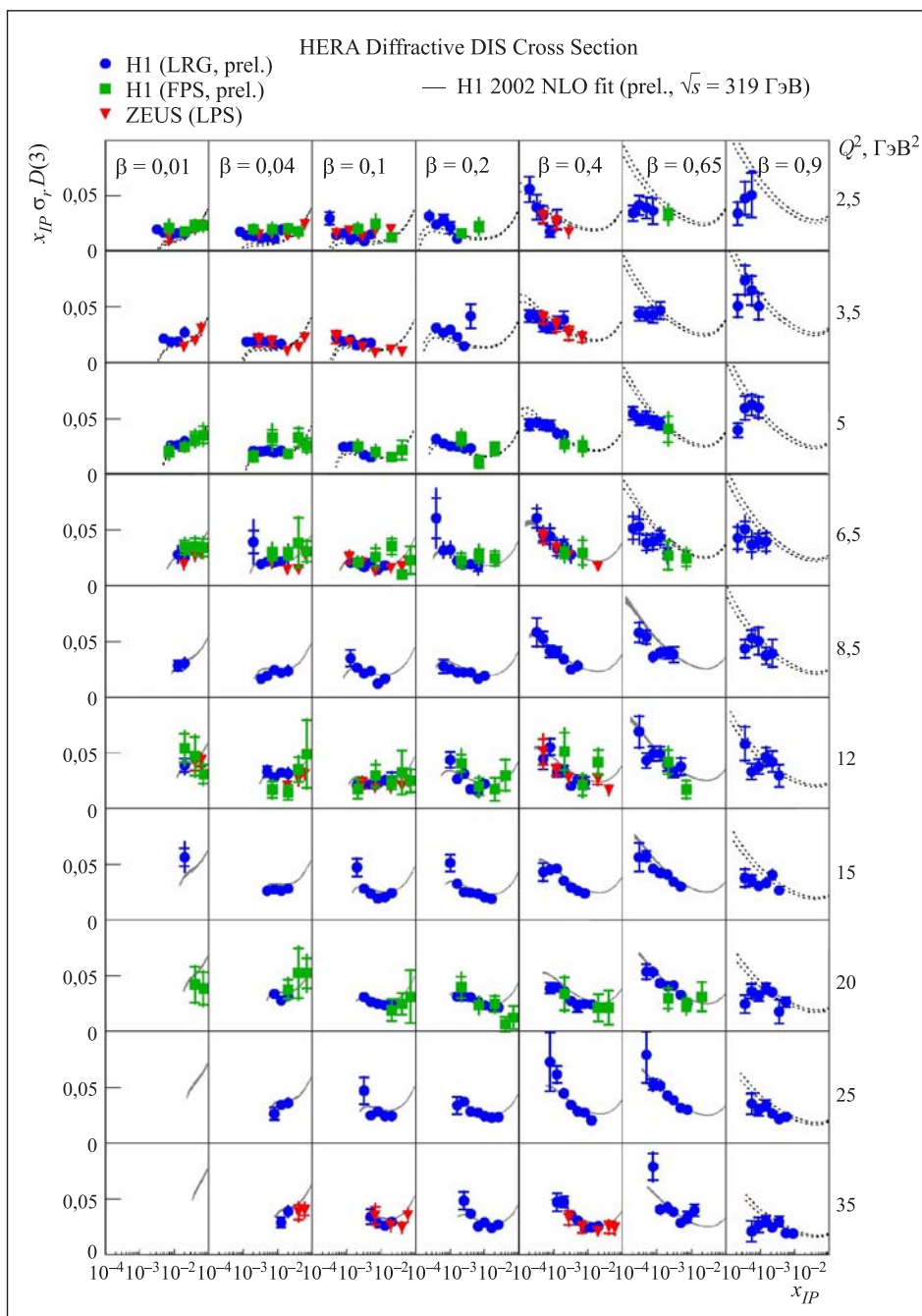


Рис. 5. Дифракционная структурная функция  $x_{IP} F_2^{D3}$ , измеренная в процессах ГНР с лидирующим протоном в конечном состоянии (Н1 и ZEUS) и в процессах с большими быстротами (Large Rapidity Gap) (Н1). Показан теоретический фит к данным (см. текст)

В соответствии с обязательствами ОИЯИ ЛФЧ участвует во вводе в эксплуатацию внешнего трека на детекторе **HERA-B**, который является крупноапертурным спектрометром, построенным для изучения столкновений протонов с энергией 920 ГэВ с ядрами на мишенях проволоках, расположенных в «гало» пучка протонов на HERA. Набор данных на детекторе HERA-B был закончен в 2003 г., и физики из Дубны сконцентрировали свои усилия на физическом анализе.

ЛФЧ участвует в исследованиях  $A$ -зависимости  $J/\psi$ -рождения через канал распада  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ , которые являются задачей первого приоритета в программе анализа данных на HERA-B. Различные алгоритмы для построения спектров инвариантной массы  $e^+e^-$ , а также фитирование сигнала  $J/\psi$  и его поведение для различных сеансов и мишеней (углеродных и из олова) изучались в различных интервалах переменной Фейнмана  $x_F$ . Группа из Дубны внесла значительный вклад в проверку процедуры моделирования Монте-Карло триггера установки. Специальные исследования были посвящены отбору событий  $\chi_c \rightarrow J/\psi \gamma$  из фона [16].

С использованием  $5 \cdot 10^7$  событий, зарегистрированных при помощи димюонного триггера, был исследован спектр массы димюона в поиске распада  $D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  через нейтральный ток [17]. Не было получено никаких подтверждений таких распадов. С учетом сечения рождения  $D^0$  и  $J/\psi$ , опубликованного в литературе, был установлен верхний предел по фракции ответвления  $\text{Br}(D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-) < 2,0 \cdot 10^{-6}$  на 90 %-м уровне достоверности.

Поиск  $\Theta^+(1540)$  и  $\Xi^{--}(1540)$  кандидатов в пентакварки проводился на  $pp$ -реакциях на углеродной, титановой, оловянной мишенях при средних скоростях ( $y_{\text{cm}} \approx 0$ ) и  $\sqrt{s} = 41,6$  ГэВ [18]. В  $2 \cdot 10^8$  неупругих событиях не было обнаружено никакого указания на узкие ( $\sigma \approx 5$  МэВ/ $c^2$ ) сигналы в каналах  $\Theta^+ \rightarrow pK_S \rightarrow p\pi^+\pi^-$  и  $\Xi^{--} \rightarrow \Xi^-\pi \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^-$ . С 95 %-й достоверностью были установлены верхние пределы для сечения инклюзивного рождения, умноженные на брэнчинг канала распада  $\text{Br} d\sigma/dy|_{y \approx 0}$ : они составляют 3,7 и 2,5 мкб/ $N$ . Верхний предел соотношения выхода  $\Theta^+/\Lambda(1520) < 2,7\%$ , что существенно ниже модельных предсказаний. Верхний предел  $\text{Br}\Xi^{--}/\Xi(1530)^0 < 4\%$  находится в противоречии с результатами, которые обеспечили первое указание на существование  $\Xi^{--}$ .

Эксперимент **ЭКСЧАРМ** нацелен на исследование характеристик рождения очарованных и странных частиц и на поиск узких барионных состояний в нейтрон-нуклонных взаимодействиях на Серпуховском ускорителе.

Получены новые данные по интерференционным корреляциям для отрицательно заряженных каонов [19]. В рамках параметризации Гольдхабера получены оценки размеров области рождения  $R$  для пар тождественных каонов. Поведение  $R$

свидетельствует об уменьшении размеров области генерации с ростом массы образующихся частиц. Определен параметр когерентности:  $\lambda = 1,70 \pm 0,01$ . Получены предварительные данные по измерению параметра  $\alpha$  в выражении для степенной зависимости сечений  $\sigma$  инклюзивного рождения  $\bar{\Lambda}^0$ -гиперонов от атомной массы ядра мишени ( $\sigma = \sigma_0 \cdot A^\alpha$ ) [20]. Результат, полученный с использованием С и Cu,  $\alpha = 0,72 \pm 0,07$ , находится в хорошем согласии с теоретическим предсказанием  $\alpha = 2/3$ .

Опубликованы окончательные результаты по измерению характеристик ассоциативного рождения  $\phi$ -мезона с  $\Lambda^0$ -гипероном [21]. Продолжаются работы по изучению характеристик рождения очарованного бариона  $\Lambda_c^+$ , распадающегося на  $K^0$ . Получено указание на наличие сигнала в области табличного значения массы  $\Lambda_c^+$  в спектре масс конечного состояния  $K^0p$ .

Исследован спектр эффективных масс  $K^0p$  в области массы 1540–1550 МэВ/ $c^2$ . При массе 1548 МэВ/ $c^2$  имеется указание (на уровне трех стандартных отклонений) на резонанс, который может быть интерпретирован как распад пятикваркового состояния  $\Theta^+$ .

Сотрудники ЛФЧ принимают участие в международном проекте **BOREXINO** по прецизионному и прямому измерению потока солнечных нейтрино, образованных в реакциях с  ${}^7\text{Be}$  на Солнце, и исследованию явления осцилляций нейтрино в низкоэнергетическом спектре солнечных нейтрино с помощью низкофонового калориметрического детектора BOREXINO с жидким сцинтиллятором. Детектор BOREXINO расположен в подземной лаборатории Гран-Сассо в Италии. Выполненная программа исследований на прототипе детектора STF обеспечила убедительные доказательства в достижении беспрецедентного уровня чистоты по радиоактивности жидкого сцинтиллятора и открыла пути реализации основных задач эксперимента. Группа сотрудников из ОИЯИ выполнила монтаж и очистку ФЭУ, провела тестовые испытания электроники в системе VME, а также приняла участие в производстве блоков аналоговой электроники. Была предложена программа по модернизации прототипа детектора STF с возможностью изучения спектра  $pp$ -нейтрино. В результате анализа данных получены новые физические результаты. На детекторе STF получен предел на поток антинейтрино от Солнца в области малых энергий нейтрино с использованием реакции обратного бета-процесса на протоне. Получен также новый экспериментальный предел на нарушение принципа Паули в ядерных процессах и проведен поиск слабозадействующей псевдоскалярной частицы, испущенной в  $M1$ -переходе возбужденного ядра  ${}^7\text{Li}$ .

Спектрометр общего назначения **COMPASS (NA-58)** предназначен для проведения серии экс-

периментов в ЦЕРН на SPS, включая изучение структуры спина нуклона, с помощью продольно-поляризованного пучка мюонов и поляризованных мишеней, а также изучение спектроскопии нуклона на высокоэнергичных пучках адронов и различных мишенях. Спектрометр COMPASS, включая детекторы, за которые полностью несет ответственность ОИЯИ, работает очень надежно с момента его введения в эксплуатацию в мае 2004 г. Участники эксперимента от ОИЯИ сделали большой вклад в подготовку адронного сеанса. Коллаборация COMPASS продолжает анализ данных, набранных в 2002 и 2003 гг. [22].

Предварительные данные по асимметрии  $A_1^d(x)$  в рассеянии виртуальных фотонов на продольно-поляризованных дейтронах как функции переменной Бьёркена  $x$  были получены из данных 2002 г. Эта асимметрия связана с поляризованной структурной функцией  $g_1^d(x)$ . Ожидается, что общая статистика за 2002–2004 гг. будет в четыре раза больше. Это требуется для КХД-анализа функции  $g_1$  и вычисления партонных распределений, а также поляризации глюонов  $\Delta G$ . Реконструкция  $D^{*+}$ - и  $D^0$ -мезонов, полученных в глубоконеупругом рассеянии мюонов на продольно-поляризованных дейтронах, была выполнена для определения вклада глюона в спин нуклона. Ожидаемая статистика за 2002–2004 гг. позволит определить  $\Delta G/G$  из распадов  $D$ -мезонов с точностью примерно  $\sigma(\Delta G/G) \sim 0,25$ . Впервые были выделены так называемые азимутальные асимметрии адронов Коллинза, полученных в глубоконеупругом рассеянии мюонов на поперечно-поляризованных дейтронах, как функция  $x$  и парциальной энергии адронов. Также получен перенос (transfer) спина от продольно-поляризованных мюонов к  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$ , продуцированный в ГНР мюонов на дейтронах.

ЛФЧ участвует в экспериментах на детекторе STAR с 4 $\pi$ -геометрией, расположенном на коллайдере RHIC в Брукхейвене (BNL). Научная деятельность группы ЛФЧ основывается на вкладе ОИЯИ в создание первой половины центрального электромагнитного калориметра и развитие связанных с ним подсистем и программного обеспечения.

Группа STAR из ЛФЧ завершила изготовление в WSU (Детройт) всех 120 модулей ВЕМС, а также установку этих модулей на магните STAR. Проведены методические исследования работы детекторов SMD, а также интеграция этих детекторов в систему набора данных STAR.

Дубненская группа участвует в оценках инклюзивного выхода прямых фотонов, а также электронных и позитронных спектров в столкновениях Au–Au при энергии 200 ГэВ.

Измерены инклюзивные спектры электронов в реакциях на золоте при энергии 200 ГэВ. Изуча-

лась геометрия адронизации зависимо от заряда числа автокорреляций по аксиальному импульсному пространству [23], а также корреляции с поперечным импульсом и министруйная диссипация [24] в столкновениях на золоте при  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ. Изучалась также азимутальная анизотропия, корреляции с поперечным импульсом [25] и рождение  $\phi$ -мезонов в  $pp$ - и Au–Au-столкновениях при  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ [26].

Общее сечение рождения  $c\bar{c}$ - и  $b\bar{b}$ -состояний было определено с помощью этих данных. Коллаборация Дубны и Нанта (Франция) провела исследование корреляций  $p\bar{p}$ - $\Lambda(\bar{\Lambda})$  в столкновениях на золоте при энергии 200 ГэВ. На основе известной длины рассеяния  $p$ - $\Lambda$ , был найден средний размер источников  $p$  и  $\Lambda$ , равный 3 фм, что близко к размерам протона, определенного из функции корреляции протон-протон. Для систем  $p$ - $\Lambda$  и  $\bar{p}$ - $\bar{\Lambda}$  впервые были измерены функции корреляций и измерена длина усредненного рассеяния соответствующего спина, показывающая положительную мнимую часть сечения (значительный вклад в аннигиляционные каналы) и/или реальную отрицательную часть. Этот результат открывает новые возможности — изучение корреляций рассеяния частиц в системах, которые едва ли можно исследовать с помощью других средств.

Обзор результатов корреляционной фемтоскопии из STAR и других экспериментов был опубликован в [27]. Оказывается, что с увеличением энергии столкновений тяжелых ионов из AGS и SPS до самых высоких энергий на RHIC данные по корреляциям пионов показывают довольно слабую энергетическую зависимость и указывают на кинетическую температуру вымерзания несколько ниже массы пиона, а также на сильный поперечный поток (со средней скоростью поперечного потока на RHIC, превышающей 0,5 скорости света), короткое время эволюции 8–10 фм/с и очень короткую протяженность эмиссии — примерно 2 фм/с. Короткая эволюция и протяженность эмиссии на RHIC подкрепляются корреляционным анализом в соответствии с плоскостью реакции. Малые временные масштабы на RHIC не были предусмотрены в транспортировочных и гидродинамических моделях и могут указывать на взрывной характер рождения частиц. Довольно прямое указание на сильный поперечный поток в столкновениях тяжелых ионов на RHIC исходит также из асимметрии пион-каонных корреляций. Специальная техника анализа асимметрии частичных корреляций была разработана коллаборацией Дубны и Нанта [28]. Являясь очень чувствительной к относительным временным задержкам и коллективным потокам, она может оказаться особенно полезной при изучении эффектов фазового перехода кварк-глюонной плазмы.

## ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В соответствии с обязательствами ОИЯИ по эксперименту ATLAS, который находится в стадии подготовки в ЦЕРН, ЛФЧ участвует в создании жидкоаргонного адронного торцевого («end-cap») калориметра (LArHEC) и детектора переходного излучения (TRT).

В 2004 г. были выполнены обязательства ОИЯИ, определенные в меморандуме взаимопонимания по созданию детектора ATLAS в области жидкоаргонной калориметрии. Изготовлено примерно 200 каналов электронных схем «прешейперов», которые были смонтированы на передних панелях LArHEC. Жидкоаргонные «end-cap»-калориметры внесены в криостаты, и холодные испытания всех систем (криостат и калориметр) были завершены к концу года. Комбинированный тест «end-cap»-калориметров был выполнен на пучке SPS. Продолжается изучение различных физических задач для коллайдера LHC (в частности физика топ-кварка), а также анализ данных, полученных на испытательном пучке в 2002 и 2004 гг.

Выполнение обязательств ОИЯИ по монтажу детекторов установки ATLAS продолжается. В 2004 г. восемь четырехслойных колес были полностью смонтированы и испытаны в ОИЯИ, еще три восьмислойных колеса были смонтированы и два из них уже доставлены в ЦЕРН. Разработана автоматическая система контроля качества «straw»-трубок для детектора TRT [29]. Налажено и проверено оборудование для изготовления кабелей для баррельной части и внутреннего детектора. Пробный образец кабеля был изготовлен и доставлен в ЦЕРН.

Главные усилия ОИЯИ по проекту CMS были сконцентрированы на техническом проекте и создании «end-cap»-детекторов, за которые ОИЯИ несет полную ответственность в рамках RDMS CMS-коллаборации: «end-cap»-адронная калориметрия и первая передняя мюонная станция (ME1/1). ОИЯИ также участвует в работе по «end-cap»-предливневому (preshower) детектору (ES), разработке физической программы, компьютеринга и основных программных пакетов.

Проект NIS имеет целью поиск эффектов поляризованной скрытой странности нуклонов, а именно — поиск нарушения правила ОЦИ в реакциях рождения  $\phi$ - и  $\omega$ -мезонов вблизи порогов их образования в  $pp$ - и  $np$ -взаимодействиях в интервале энергий над порогом ( $\varepsilon$ ) от 30 до 100 МэВ. В 2004 г. было подготовлено дополнение к проекту по поиску рождения  $\Theta^+$ -пентакварка в  $pp$ -взаимодействиях вблизи порога. В эксперименте участвуют сотрудники ЛФЧ, ЛВЭ, ЛЯП, ЛТФ, ЛИТ ОИЯИ, а также физики из Польши, Германии и Украины.

В 2004 г. была продолжена проверка пропорциональных камер из эксперимента ЭКСЧАРМ  $2 \times 1$  м с их электроникой регистрации на стенде от  $\beta$ -источника. Разработка конструкторской документации для подставок к детекторам и их изготовление были закончены в этом году. Фермы для крепления С-детекторов изготовлены в мастерских ЛФЧ. Для тестирования полученных из ЦЕРН RPC-счетчиков и электроники регистрации к ним создан и оборудован стенд, упрощенная система газового питания и приобретены необходимые газы. С прототипом регистрирующей электроники проведены испытания нескольких счетчиков. Практически закончена подготовка конструкторской документации для изготовления передней мини-дрейфовой камеры (МДК). Модифицирована программа моделирования Монте-Карло. Проведены измерения карты магнитного поля в половине объема зазора анализирующего магнита. Результаты измерений анализируются; имеется неплохое согласие с расчетной картой поля. Разработаны и проверены прототипы основных модулей системы регистрации времяпролетной информации от RPC и времядрейфовой информации от МДК; они готовы к тиражированию. Ведется разработка прототипа модуля регистрации амплитудной информации от RPC; проведена подготовительная работа по модулю триггерной логики и изготовлению его прототипа. Начато изготовление элементов жидководородной мишени. Проведены «пилотные» расчеты канала транспортировки пучка от фокуса Ф5 до мишени NIS.

В 2003 г. на серпуховском ускорителе был начат новый проект «Термализация» с целью изучения многочастичного рождения в  $pp$ -взаимодействиях высокой множественности при энергии 70 ГэВ. Работа в данном проекте продолжается с модифицированной системой электронных модулей и вершинным трекером на дрейфовых трубках, создана водородная мишень и триггерная система с использованием полупроводниковых детекторов и сцинтилляционных счетчиков для выделения событий с высокой множественностью. Экспериментальные данные установки СВД-2 по протон-ядерным взаимодействиям, набранные при энергии пучка 70 ГэВ/с на ускорительном комплексе ИФВЭ, были проанализированы на предмет поиска пентакварка ( $uudd\bar{s}$ )  $\Theta^+$ -бариона в канале распада на  $pK^0$ . Спектр инвариантных масс системы  $pK^0$  показал наличие резонанса для значения массы 1526 МэВ/с<sup>2</sup> со статистической достоверностью 5,6 стандартных отклонений. Значения массы и ширины этого экзотического барионного состояния сравнимы с теоретическими предсказаниями и недавно опубликованными результатами других



экспериментов. Разработана модель глюонной доминантности для описания распределений множественности в  $pp$ -взаимодействиях. В области энергий от 70 до 800 ГэВ/с модель предсказывает, что протон остается лидирующей частицей, и процесс множественного рождения частиц происходит через так

называемые активные глюоны, характеризующиеся теми же самыми параметрами адронизации, что и для  $e^+e^-$ -аннигиляции. Для оценки размера области адронизации был предложен метод, основанный на данных с «мягкими» фотонами. Результаты приведены в [30–32].

## УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Специалисты ЛФЧ участвуют в создании системы подавления поперечных колебаний пучка для ЛНС. В 2004 г. создание дефлекторов и мощных широкополосных усилителей для системы подавления поперечных колебаний пучка было главным направлением в работе ускорительного подразделения. В ЦЕРН проведены успешные вакуумные испытания пробных вакуумных камер, изготовленных в сотрудничестве с предприятием «Электрохимприбор» (г.Лесной) и Уральским техническим университетом (Екатеринбург). Проверка оборудования высоковольтного стенда и его частичная модернизация ведутся в ЛФЧ. Два усилителя уже были инсталлированы, проведены их испытания. Оборудование электронного ускорителя для Китая передано в эксплуатацию. Ведутся испытания сканирующей системы для пучка мюонов циклотрона IC-100 в ЛЯР; началась работа по сканеру для DC-72 и DC-60. Изготавливаются системы стабилизации для ЛИУ-3000 (ЛФЧ ОИЯИ).

Модернизирован катодный модуль линейного ускорителя ЛИУ-3000. В результате магнитуды тока электронов на выходе линейного ускорителя и FEM-осциллятора были увеличены на 25–30%. Эта работа является существенным шагом вперед для увеличения уровня мощности RF и высокой рекурсии рабочих режимов линейного ускорителя. Помимо этого, чтобы получить требуемую стабильность пучка, осевая центровка пучка должна быть улучшена в несколько раз. С этой целью были разработаны специальные неструктивные мониторы для позиционирования пучка. Микроволновое устройство, которое продолжают разрабатывать в ЛФЧ, предназначено для экспериментального определения времени жизни ускоряющих структур для электрон-позитронного коллайдера с импульсным циклическим нагревом при частоте 30 ГГц — рабочей частоте коллайдера CLIC в ЦЕРН.

Новая система лазерного выравнивания RF-линии трансмиссии была использована в холодных измерениях совместно с сотрудниками ИПФ РАН (Нижний Новгород). Это позволило значительно уменьшить радиационные потери внутри этой линии и получить

параметры холодных измерений, близкие к проектным. Модернизация RF-линии была предложена и сделана для того, чтобы значительно увеличить величину амплитуды  $W$  мощности RF, умноженную на протяженность RF-импульса  $\tau$ , ограниченную в рамках электрического спада. Благодаря этой модернизации стало возможным приблизиться к проектным значениям мощности и длительности RF-импульса в экспериментах на пучке.

Были изготовлены два источника тока для мощных фокусирующих магнитных линз и проведена их настройка. Питание преинжектора и модуляторов находится в процессе наладки. Стабилизация систем питания является задачей особой важности для обеспечения высокой рекурсивности амплитуды и длительности тока пучка и RF-импульсов. Это должно сэкономить время работы в стадии наладки установки, а также является очень важным для набора статистики.

Разработана и создана система «on-line»-контроля линейного ускорителя и выходных параметров FEM. Она обеспечит контроль и измерение импульсов тока пучка и RF-сигналов в каждом рабочем цикле. Начато выравнивание системы. Разработана и изготовлена (вместо традиционной воздушной охлаждающей системы) система водяного охлаждения виглера, которая необходима для обеспечения работы с частотой повторения больше 0,5 Гц. Проводятся испытания новой системы.

Основной вклад Лаборатории физики частиц в проект TESLA сделан в работах по лазеру на свободных электронах (FEL),  $\gamma\gamma$ -коллайдеру, а также по ускорительному комплексу и FEL-экспериментам на TESLA Test Facility (TTF) в DESY. В 2004 г. были изготовлены в ОИЯИ и доставлены в DESY блок для диагностики фотонов, оборудование для пучка, зеркальные камеры для экспериментов по проверке насосной системы TTF FEL, Phase II. Завершена разработка конструкции виглера для накопительного кольца PETRA, а также изучены характеристики пучка и физики для первой фазы (Phase I) проекта TTF FEL. Подтвердилось, что TTF FEL может обеспечивать электронные «банчи» до тока 3 кА в пике. Формирование пучка строго зависит от

эффектов пространственного распределения заряда [27]. Эксперты из ОИЯИ также приняли участие в теоретических и конструкторских работах по диагностическим приборам для FIR (Far Infra Red — «далекая» инфракрасная область) когерентного индуктора [28]. Рассмотрены перспективы развития проекта TTF FEL: «двухцветный» FEL-усилитель и удвоитель эффективной частоты [29].

В рамках проведенных исследований по проекту IREN был изготовлен проект монтажа модулятора МК1 первой ускоряющей секции ускорителя ЛУЭ-200. Выполнены расчетно-теоретические ис-

следования по оптимизации рабочих мод ускоряющей и фокусирующей систем линейного ускорителя. Сделано примерно 70% катушек фокусирующего соленоида первой ускоряющей секции. Завершена установка базовых текущих конструкций линейного ускорителя. В сотрудничестве с ЛНФ начата установка оборудования модулятора МК1. Проведена контрольная сборка источника электронов — электронной пушки с импульсным питанием на 200 кВ. Источник проходит стендовые испытания. Проведено тестирование ускоряющих узлов и секций СВЧ-фидера на полномасштабном СВЧ-стенде.

## РАЗВИТИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью проекта является создание информационно-вычислительного кластера с параметрами, превосходящими существующие, по крайней мере, в пять раз, интегрированного в распределенную компьютерную инфраструктуру ОИЯИ, который рассматривается в качестве основы для обеспечения в ЛФЧ исследований по физике частиц и ядерной физике. Пользователи кластера будут обеспечены при этом средствами эффективного и быстрого доступа к компьютерным ресурсам с проблемно-ориентированных сопровождаемых рабочих мест.

В результате развития компьютерной фермы ЛФЧ-ЛВЭ за счет внебюджетных средств число используемых в ней персональных компьютеров возросло с 20 до 29, более чем втрое — до 28,5К SI95 — повышена суммарная производительность их процессоров, в том числе с 0,7 до 2,4К SI95 — для «batch»-компьютеров; более чем вдвое — с 3 до 6,5 Тбайт — увеличена емкость дисковой памяти, доступной для пользователей. Высвобожденные двухпроцессорные компьютеры низкой производительности (с частотой процессоров 400 МГц) переданы для использования в лаборатории на рабочих местах. Осуществлен перевод локальной компьютерной сети лаборатории на использование оборудования Gigabit Ethernet. Организованы четыре локальные подсети лаборатории. Увеличено количество конечных пользователей, получивших выход в Интернет через локальные подсети ЛФЧ.

Установлено и протестировано оборудование, обеспечивающее беспроводной выход мобильных пользователей в локальную сеть ОИЯИ. Установлены проекторы и система беспроводного выхода в Интернет в залах для проведения видеоконференций и семинаров. На компьютерах вычислительной фермы ЛФЧ-ЛВЭ установлена специальная система для работы с большими объемами данных CASTOR.

Предложен способ и проведено тестирование системы как средства интеграции вычислительных ресурсов ОИЯИ при решении задач обработки и анализа экспериментальных данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Batley J.R. *et al.* // Phys. Lett. B. 2004. V. 595. P. 75.
2. Lai A. *et al.* // Ibid. V. 584. P. 251.
3. Lai A. *et al.* // Ibid. V. 578. P. 276.
4. Litov L. (*on behalf of the NA48 Collab.*) Talk at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004.
5. Jeitler M. (*on behalf of the NA48 Collab.*) Talk at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004.
6. Kekelidze V. (*on behalf of the NA48/2 Collab.*) Talk at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004.
7. Airapetian A. *et al.* // Phys. Lett. B. 2004. V. 585. P. 213.
8. Airapetian A. *et al.* Preprint DESY 04-141; hep-ex/0408013.
9. Airapetian A. *et al.* Preprint DESY 04-107; hep-ex/0407032.
10. Airapetian A. *et al.* // Phys. Rev. Lett. 2004. V. 92. P. 012005.
11. H1 collab. // Papers presented at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004. Abstr. 756, 758.
12. Kapishin M. Talk at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004.
13. Kapishin M. Talk at the 12th Intern. Workshop on Deep Inelastic Scattering (DIS-2004), Strbske Pleso, Slovakia, April 14–18, 2004.
14. H1 collab. // Papers presented at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004. Abstr. 175.
15. H1 collab. // Ibid. Abstr. 821.

16. *Lanyov A.* HERA-B Note 04-013. Hamburg, 2004.
17. *Abt I. et al.* // Phys. Lett. B. 2004. V. 596. P. 173.
18. *Abt I. et al.* Preprint DESY 04-148. Hamburg, 2004.
19. *Faizrakhmanov M. A.* // Proc. of the Second Conf. «Fundamental Investigations of the Matter in Extreme State». M., 2004. P. 75.
20. *Shkarovskiy S. N.* // Ibid. P. 31.
21. *Aleev A. N. et al.* // Phys. At. Nucl. 2004. V. 67. P. 1513.
22. *Savin I.* Talk at the 32nd Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP-2004), Beijing, China, Aug. 16–22, 2004.
23. *Adams J. et al.* nucl-ex/0406035.
24. *Adams J. et al.* nucl-ex/0408012.
25. *Adams J. et al.* nucl-ex/0407007.
26. *Adams J. et al.* nucl-ex/0406003.
27. *Lednický R.* // Phys. At. Nucl. 2004. V. 67. P. 72; *Yad. Fiz.* 2004. V. 67. P. 73.
28. *Lednický R. et al.* // Phys. Lett. B. 1996. V. 373. P. 30.
29. *Golunov A. O. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 524. P. 142.
30. *Ermolov P. F. et al.* // *Yad. Fiz.* 2004. V. 67. P. 108.
31. *Aleev A. et al.* Preprint NPI MSU 2004-4/743; hep-exp/0401024.
32. *Kokoulina E.* // *Acta Phys. Polon.* 2004. V. 35. P. 295; hep-ph/0401223.