

ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Научная деятельность ЛФЧ в 2005 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

Спектрометр **COMPASS (NA58)** был предложен для проведения серии экспериментов на высокоэнергетичных пучках адронов и мюонов в ЦЕРН для изучения инклюзивного и полуинклюзивного глубоконеупругого рассеяния мюонов на поляризованных мишенях, поиска эффектов поляризации странных морских нуклонов при рождении Λ -гиперонов и определения вклада кварков и глюонов в спин нуклона. В 2005 г. в эксперименте COMPASS был проведен анализ данных, набранных в 2002–2004 гг.

Измерена спинзависимая структурная функция дейтрона из данных, набранных в 2002–2003 гг. [1] (рис. 1), проведено сравнение с измерениями, ранее полученными в эксперименте SMC в той же области. Улучшение точности очевидно. КХД-анализ перечисленного выше и данных, полученных в других экспериментах, показал, что для новых данных, полученных в эксперименте COMPASS, ошибка в значении $\Delta\Sigma$ (вклада в спин нуклона от валентных кварков) уменьшается вдвое.

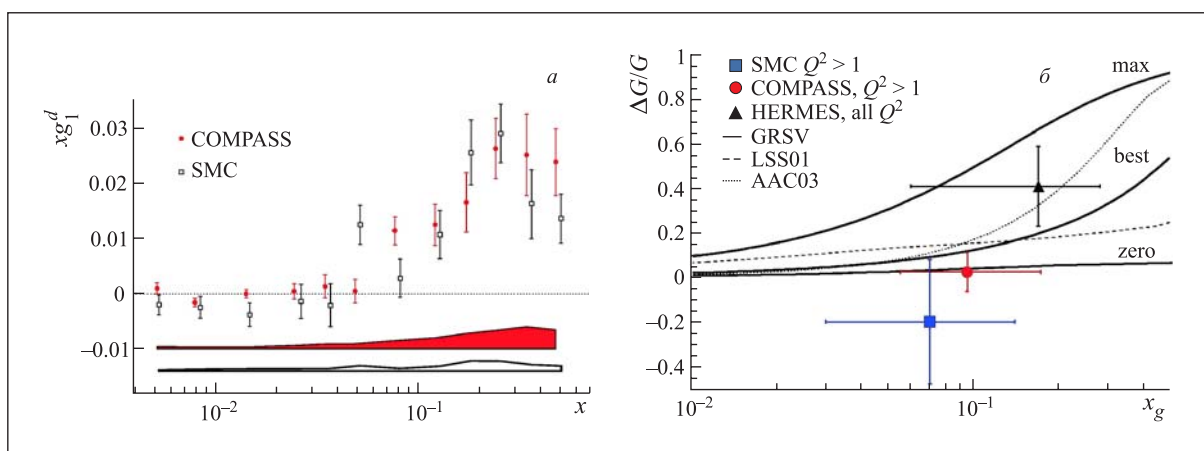


Рис. 1. Спинзависимая структурная функция xg_1 в зависимости от x (а) и отношение $\Delta G/G$ как функция x_g (б), измеренные в эксперименте COMPASS

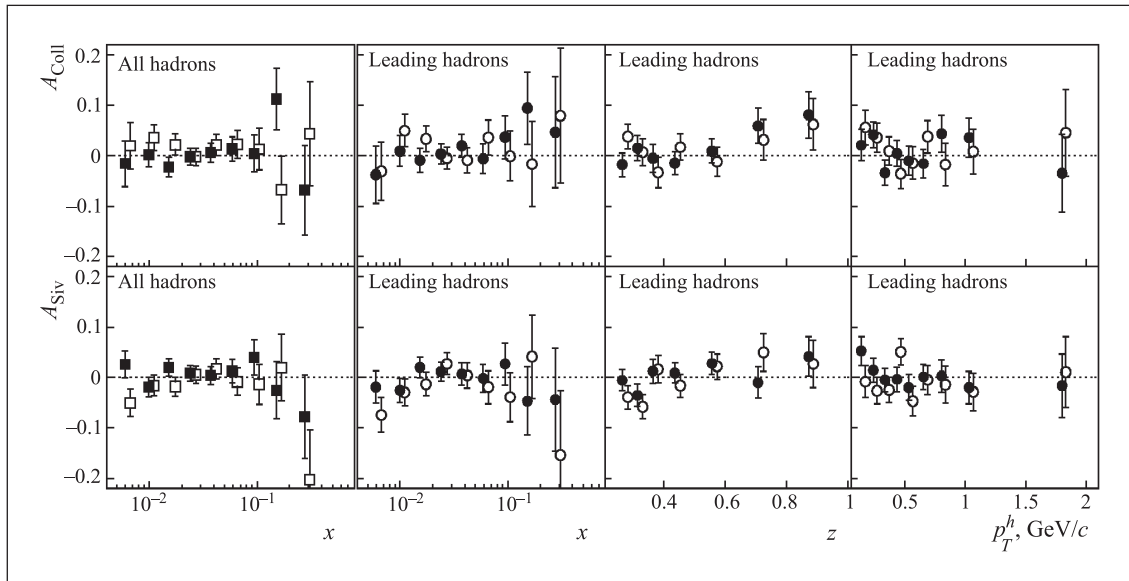


Рис. 2. Поперечные спиновые асимметрии дейтрона в полуинклюзивном ГНР как функция p_T (поперечного импульса адрона) из данных эксперимента COMPASS

Впервые были измерены поперечные асимметрии спина дейтрона в полуинклюзивном глубоконеупругом рассеянии [2]. С использованием данных 2002 г. коллаборацией COMPASS были получены так называемые «азимутальные асимметрии Коллинза и Сиверса» (рис. 2). Все асимметрии согласуются с нулевым значением. Эти результаты были недавно подтверждены теоретическими расчетами и указывают на то, что поперечные эффекты в протонах и нейтронах компенсируют друг друга.

Также в эксперименте COMPASS был выполнен поиск пентакварка $\Theta(1860)$ [3] (рис. 3). Не было найдено никаких экзотических узких резонансов в системах $\Xi^-\pi^\pm$ и $\Xi^+\pi^\pm$, тогда как ясно наблюдались состояния $\Xi(1530)^0$ и $\Xi(1530)^-$. Ожидаемое количество событий в COMPASS, в предположении, что соотношение $(1860)/\Xi(1320)^-$ остается таким же, как и в NA49, почти в 10 раз превышает наблюдаемый верхний предел.

Была измерена поляризация глюонов ($\Delta G/G$) в нуклоне, полученная из процессов квазиреального

фоторождения адронных пар с высокими p_T (поперечным импульсом) [4] (рис. 1). Для этого были проанализированы данные, полученные в эксперименте COMPASS в 2002–2003 гг., проведена оценка $\Delta G/G$ на основе монте-карло-генератора PYTHIA с вычислением доли событий из фотон-глюонного (PGF) процесса слияния высоких p_T , напрямую связанного с $\Delta G/G$, а также из других фоновых процессов. В COMPASS эта доля составила $R_{\text{PGF}} = 0,313$. Таким образом, результаты по $\Delta G/G$ являются модельно-зависимыми:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta G}{G}(x_g = 0,095) &= \\ &= 0,024 \pm 0,089 (\text{стат.}) \pm 0,057 (\text{сист.}), \end{aligned}$$

где систематическая ошибка включает также теоретические неопределенности. Результаты, полученные в COMPASS, указывают на то, что большое значение ΔG , необходимое для разрешения так называемого «кризиса спина», маловероятно.

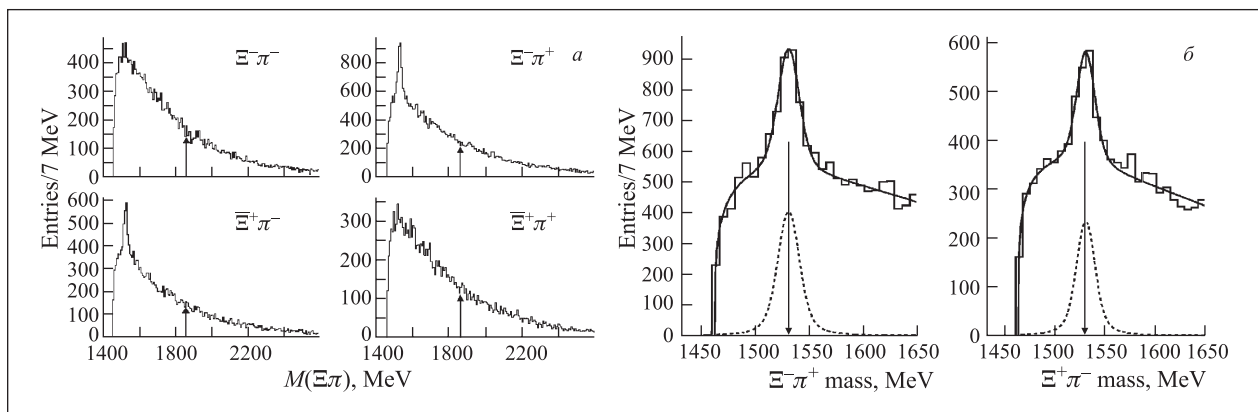


Рис. 3. а) Инвариантные массы системы $\Xi\pi^\pm$, стрелки указывают на состояние с массой 1860 МэВ; б) инвариантные массы $t\Xi(1530)^0$ и $\Xi(1530)^0$

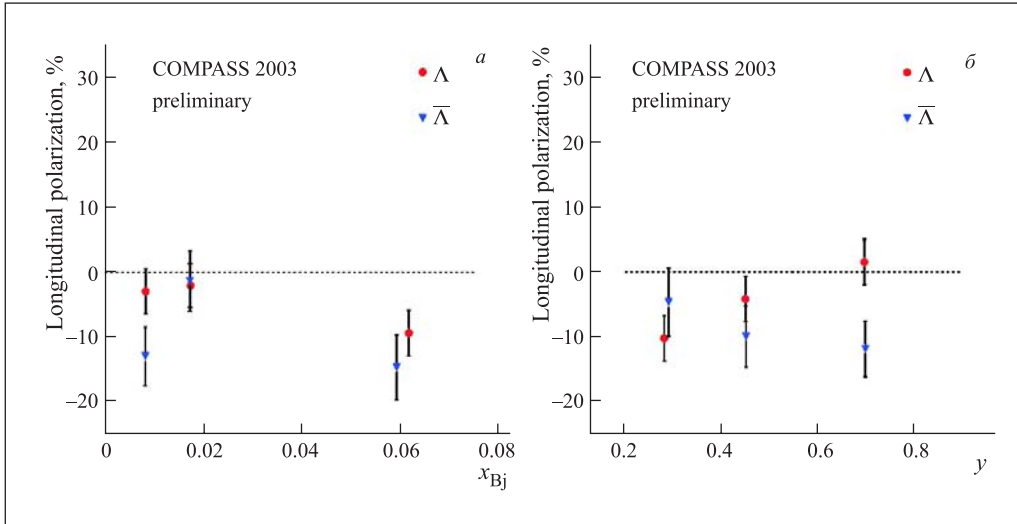


Рис. 4. Поляризации Λ и анти- Λ как функции бьеркеновской переменной x_{Bj} (a) и y (б), измеренные в эксперименте COMPASS

Продольные поляризации Λ и $\bar{\Lambda}$ в глубоконеупругом рассеянии также были измерены в эксперименте COMPASS [5] (рис. 4). Для этого анализа количество данных только за 2003 г. превышает мировую статистику, особенно для $\bar{\Lambda}$. Предварительные данные за 2003 г. показывают, что поляризации Λ и $\bar{\Lambda}$ равны в пределах ошибок, несмотря на различные механизмы их рождения.

Цикл экспериментов **NA48** посвящен точному измерению отношения ε'/ε в распадах $K \rightarrow 2\pi$, изучению редких распадов каонов и гиперонов, а также измерению CP -нарушающих асимметрий в распадах заряженных каонов.

Исследованы следующие распады каонов и гиперонов.

- Измерено отношение парциальных вероятностей распадов $K_L \rightarrow \pi e \nu \gamma$ ($K_{e3}\gamma$) к $K_L \rightarrow \pi e \nu$ (γ) ($K_{e3} + K_{e3}\gamma$) [6]. Эта величина равна $\text{Br}(K_{e3}\gamma, E\gamma^* > 30 \text{ МэВ}, \theta(e, \gamma)^* > 20^\circ) / \text{Br}(K_{e3}) = (0,964 \pm 0,008^{+0,011}_{-0,009})\%$. Полученный результат согласуется с теоретическими предсказаниями, но отличается от ранее опубликованных.

- Проведен поиск CP -нарушающего распада $K_S \rightarrow 3\pi^0$ [7]. Из результатов фитирования распределения времени жизни приблизительно для 4,9 млн реконструированных распадов $K^0/\bar{K}^0 \rightarrow 3\pi^0$ получена CP -нарушающая амплитуда $\eta_{000} = A(K_S \rightarrow 3\pi^0)/A(K_S \rightarrow 3\pi^0)$: $\text{Re}(\eta_{000}) = -0,002 \pm 0,011 \pm 0,015$ и $\text{Im}(\eta_{000}) = -0,003 \pm 0,013 \pm 0,017$. Это соответствует верхней границе относительной вероятности распада $\text{Br}(K_S \rightarrow 3\pi^0) < 7,4 \cdot 10^{-7}$ на 90%-м уровне достоверности.

- Измерена амплитуда CP -сохраняющей компоненты распада $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ по отношению к аналогичной в распаде $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ [8]. Для характеристического параметра λ получены значения $\text{Re}(\lambda) = 0,038 \pm 0,010$ и $\text{Im}(\lambda) = -0,013 \pm 0,007$.

Результаты согласуются как с более ранними измерениями, так и с предсказаниями киральной пертурбативной теории.

- Измерена относительная вероятность распада $K_S \rightarrow \pi^0 e \nu$: $\text{Br}(K_S \rightarrow \pi^0 e \nu) = (6,8 \pm 0,2(\text{стат.}) \pm 0,2(\text{сист.})) \cdot 10^{-4}$. Эта величина согласуется со значением PDG и позволяет уменьшить ее неопределенность.

- Измерена относительная вероятность распада $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$: $\text{Br}(K_S \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = (4,7^{+2,2}_{-1,7}(\text{стат.})^{+1,7}_{-1,5}(\text{сист.})) \cdot 10^{-7}$. Этот результат согласуется с предсказаниями киральной пертурбативной теории и двумя другими результатами, имеющими сопоставимые неопределенности.

- Получено значение относительной вероятности распада $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \nu_e^-$: $\text{Br}(\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \nu_e^-) = (2,51 \pm 0,03(\text{стат.}) \pm 0,09(\text{сист.})) \cdot 10^{-4}$. С учетом зависимости формфакторов от продольного импульса и радиационных коррекций была получена следующая величина V_{us} : $V_{us} = 0,208 \pm 0,006^{+0,030}_{-0,025} g_1/f_1$.

- Определена относительная вероятность распада $\Xi^0 \rightarrow \bar{\Sigma}^+ e^- \nu_e$: $\text{Br}(\Xi^0 \rightarrow \bar{\Sigma}^+ e^- \nu_e) = (2,57 \pm 0,12(\text{стат.})^{+0,10}_{-0,09}(\text{сист.})) \cdot 10^{-4}$.

- Определена вероятность распада $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \nu_\mu^-$: $\text{Br}(\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \nu_\mu^-) = (2,2 \pm 0,3(\text{стат.}) \pm 0,2(\text{сист.})) \cdot 10^{-6}$. При анализе использован самый большой набор данных с информацией о распадах Ξ^0 с мюоном в конечном состоянии, накопленный до настоящего времени.

- Получен предварительный результат по измерению асимметрии в распадах $K^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm$: $A_g^c = (0,5 \pm 2,4(\text{стат.}) \pm 2,1(\text{стат. (тригг.)) \pm 2,1(\text{сист.})) \times 10^{-4} = (0,5 \pm 3,8) \cdot 10^{-4}$ (рис. 5). Этот результат согласуется со стандартной моделью (СМ) и имеет на порядок лучшую точность, чем предыдущие измерения.

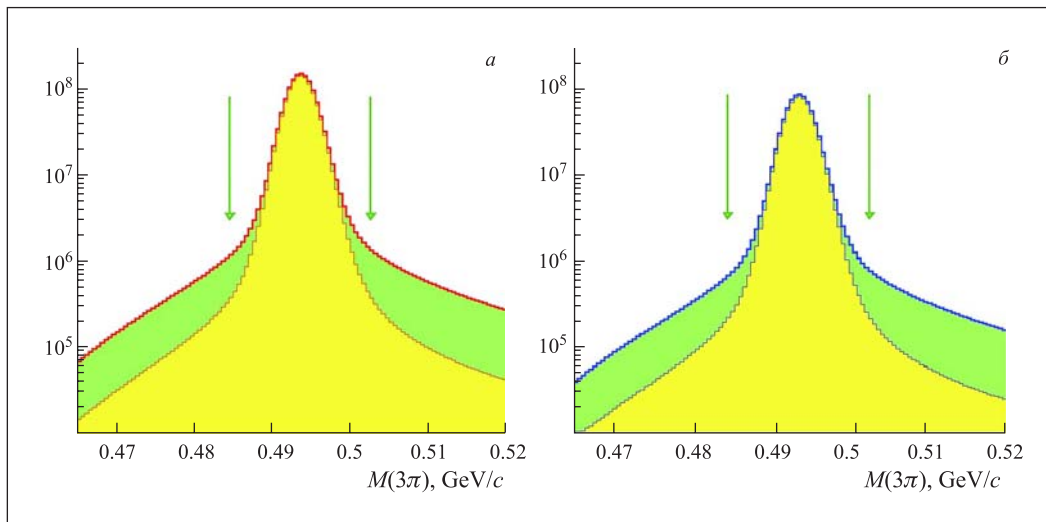


Рис. 5. Спектры масс для извлечения зарядовых асимметрий, измеренные в эксперименте NA48/2

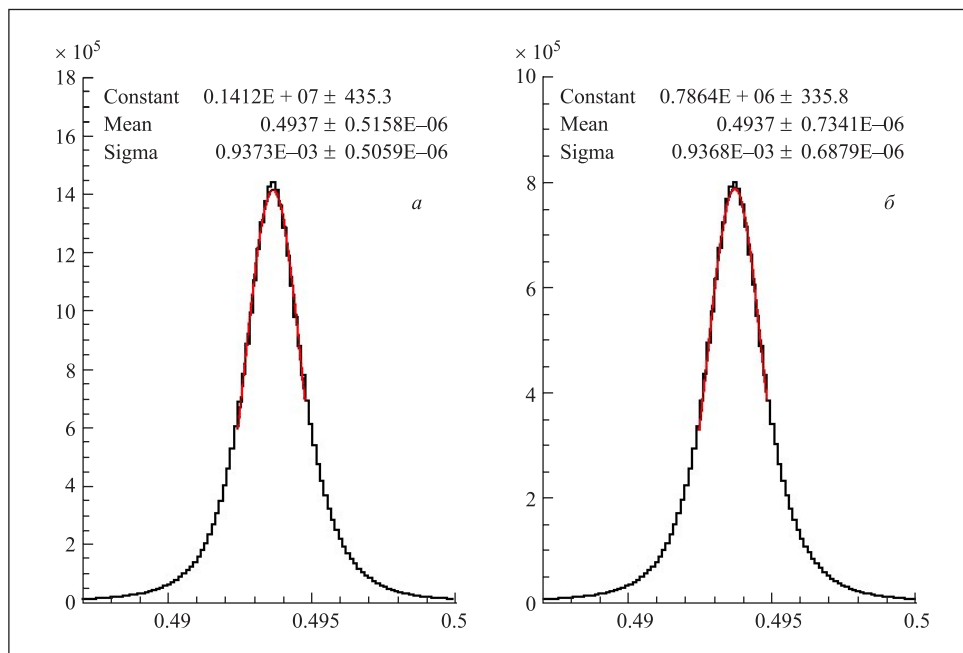


Рис. 6. Спектры масс для извлечения зарядовых асимметрий с аппроксимацией распределением Гаусса по данным эксперимента NA48/2

- Получен предварительный результат измерения асимметрии в распадах $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$: $A_g^0 = (1,7 \pm 1,7(\text{стат.}) \pm 1,7(\text{сист.}) \pm 0,2(\text{внеш.})) \times 10^{-4}$. Этот результат не дает указания на нарушение CP -симметрии на уровне его точности $3 \cdot 10^{-4}$, которая на порядок превышает точность предшествующих измерений. Более точный результат будет получен с использованием большей статистики, накопленной в 2004 г. (рис. 6).

- Обнаружена новая структура (эффект «острия») в инвариантном массовом спектре подсистемы $\pi^0 \pi^0 (M_{00})$ из распада $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$ (рис. 7). Обнаруженный эффект позволяет измерить с высокой точностью параметры длины

$\pi\pi$ -рассеяния, которая ограничена 5%-й теоретической неопределенностью: $(a_0 - a_2)m_+ = 0,268 \pm 0,010(\text{стат.}) \pm 0,004(\text{сист.})$ и $a_2 m_+ = -0,041 \pm 0,021(\text{стат.}) \pm 0,014(\text{сист.})$. Эти значения находятся в хорошем согласии с результатами, полученными в экспериментах E865 (BNL) и DIRAC.

- Наибольшая статистика распадов заряженных каонов, набранная в 2003–2004 гг., позволяет изучать широкий спектр их редких распадов. В большинстве случаев эта статистика превосходит статистики предшествующих экспериментов на порядок или несколько порядков. Например, для накопленной статистики распадов K_{e4} статистическая точность извлекаемого параметра a_0^0 оценивается в $\pm 0,01$.

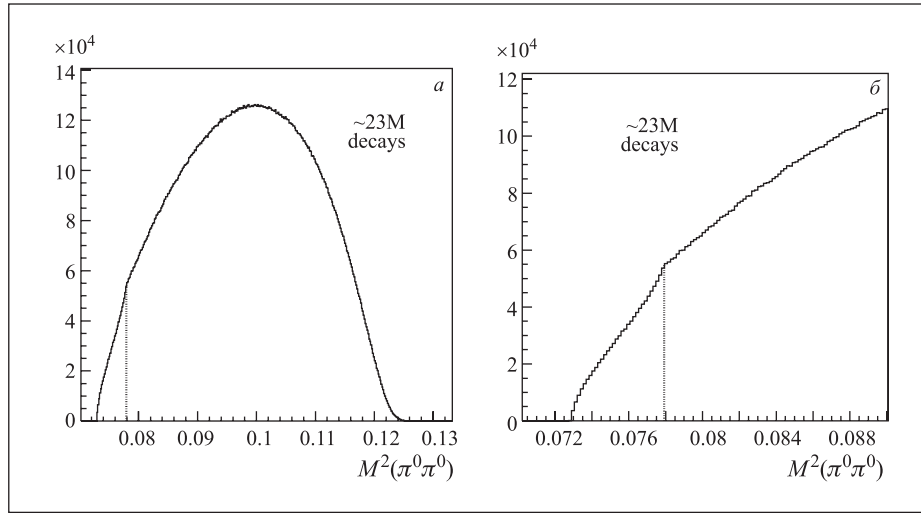


Рис. 7. Спектр квадрата инвариантной массы двух пионов, демонстрирующий эффект «острия», обнаруженный в эксперименте NA48/2

• Выполнено новое измерение параметров полу-лептонных распадов $K^\pm \rightarrow \pi^0 \mu^\pm \nu$ ($K_{\mu 3}$) и $K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu$ ($K_{e 3}$). Основная цель такого исследования — извлечение ширины распадов, так как они вносят вклад в определение параметра V_{us} матрицы смешивания кварков Кабиббо–Кобаяши–Маскавы (ККМ), а также измерение отношения ширины ($K_{\mu 3}$)/ $\Gamma(K_{e 3})$, которое является уникальной функцией параметров наклона формфакторов. Это отношение обеспечивает проведение последовательной проверки между измерениями, сделанными из формфакторов, и парциальными ширинами распадов. Были измерены следующие отношения:

$$R_{K_{e 3}/K_{2\pi}} = \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu) / \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^\pm) = 0,2505 \pm 0,0009(\text{стат.}) \pm 0,0012(\text{сист.}),$$

$$R_{K_{\mu 3}/K_{2\pi}} = \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 \mu^\pm \nu) / \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^\pm) = 0,1646 \pm 0,0006(\text{стат.}) \pm 0,0011(\text{сист.}),$$

$$R_{K_{\mu 3}/K_{e 3}} = \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 \mu^\pm \nu) / \Gamma(K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu) = 0,657 \pm 0,003(\text{стат.}) \pm 0,003(\text{сист.}).$$

Последняя величина является наиболее точным измерением указанного отношения.

ЛФЧ участвует в эксперименте **H1**, который изучает процессы ГНР на ep -коллайдере HERA, DESY. В 2005 г. впервые были получены данные по ep -столкновениям с использованием пучка продольно-поляризованных лептонов. Высокая степень поляризации пучка лептонов позволила исследовать детальнее партонные плотности протона через измерения асимметрий и изучение вклада от электрослабой части СМ (рис. 8).

В 2005 г. были выполнены измерения полного сечения процессов с заряженными токами в зависимости от поляризации позитронов и электронов [9, 10] (рис. 9). В эксперименте H1 получены новые данные по полному сечению процессов с заряженными токами во взаимодействиях продольно-поляризованных позитронов и электронов с неполяризованными про-

тонами при $Q^2 > 400 \text{ ГэВ}^2$. Приведено сравнение зависимости сечения заряженных токов от поляризации с предсказаниями стандартной модели. Стандартная модель предсказывает линейную зависимость сечения заряженных токов от поляризации и полное отсутствие взаимодействия с левополяризованными позитронами (а также с правополяризованными электронами). Путем экстраполяции результатов двух экспериментов H1 и ZEUS было получено полное сечение процессов с 100% левополяризованными позитронами: $\sigma = (0,2 \pm 1,8(\text{стат.}) \pm 1,6(\text{сист.})) \text{ пб}$, которое согласуется с предсказаниями стандартной модели.

В 2005 г. группа физиков из ЛФЧ ОИЯИ, возглавляемая В. Г. Кривохижиным, принимала участие в анализе данных эксперимента **HERMES** и обеспечивала техническое обслуживание системы минидрейфовых камер (DVC). В течение всего периода набора данных в 2005 г. (приблизительно 10 месяцев) DVC работали очень устойчиво. В ноябре 2005 г. работа коллайдера HERA была остановлена приблизительно на 4 месяца. В течение этого периода DVC были удалены из передней части спектрометра HERMES и после ремонта и проверки установлены снова. Также были сделаны специальные измерения положения камер в спектрометре, чтобы уточнить геометрическое положение DVC в передней части спектрометра HERMES. В 2005 г. была продолжена работа с целью извлечь поляризованные валентные распределения и их моменты в следующем за лидирующим порядке разложения КХД. Анализ базируется на методе, разработанном О. Ю. Шевченко, О. Н. Ивановым и А. Н. Сисакином [11, 12]. Эта процедура позволяет получить моменты поляризованных валентных распределений, разницу моментов легких морских кварков и поляризованных распределений в следующем за лидирующим порядке КХД из полуин-

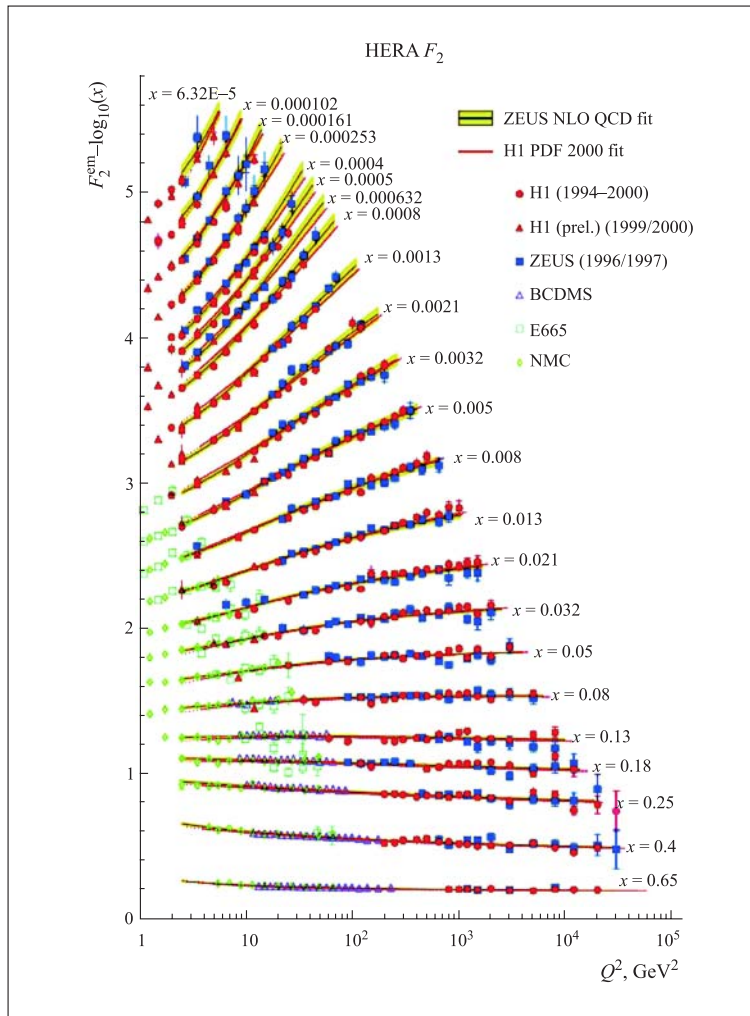


Рис. 8. Мировые данные по структурной функции протона F_2 в зависимости от Q^2 и x с «фитами» в следующем за лидирующим порядке КХД, которые выполнены в экспериментах ZEUS и H1

клизивных (SIDIS) данных. Правильность работы процедуры подтверждена соответствующими моделированиями. Также показано, что данная процедура может быть применена к поляризованным экспериментальным данным эксперимента HERMES. Об этой процедуре было рассказано на семинаре коллаборации HERMES (3 доклада) [13–15]. С использованием этого метода были получены предварительные результаты и доложены в коллаборации HERMES на совещании в апреле 2005 г. (2 доклада) [16, 17]. Для развития вышеописанного метода была предложена процедура, основанная на модифицированных полиномах Якоби (МЖЕМ), т. е. на применении «обрезанных» моментов распределений вместо полных. Эта процедура позволяет восстанавливать с высокой точностью локальные кварковые поляризованные распределения даже для узкого интервала измерений по бьеркеновской переменной x , используя вклад только четырех первых моментов, извлеченных из экспериментальных данных [17]. На основе этого метода и процедуры МЖЕМ анализ экспериментальных данных, набранных в 1995–2000 гг., про-

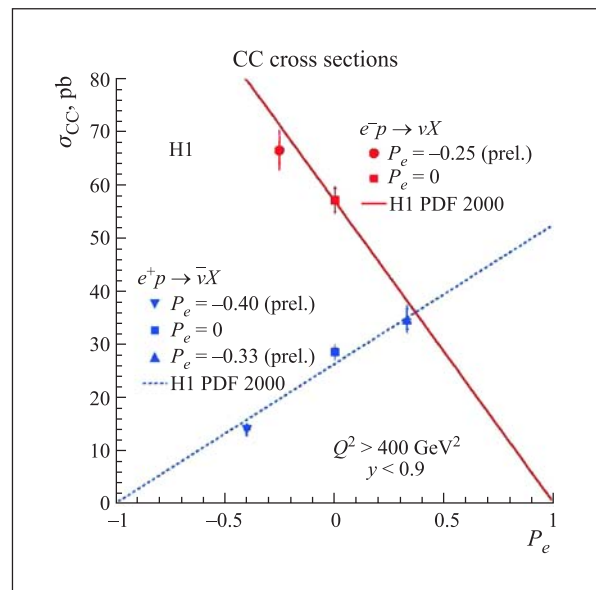


Рис. 9. Сечение рассеяния ep СС в зависимости от степени поляризации электронного (позитронного) пучка, измеренное в эксперименте H1

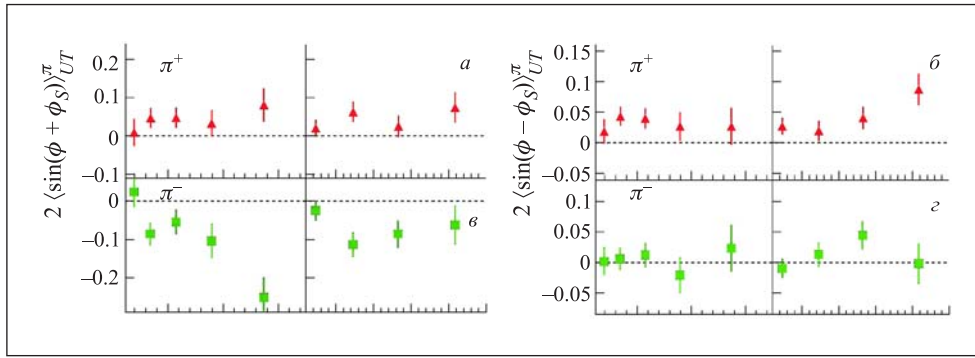


Рис. 10. Пионные азимутальные асимметрии, взвешенные с $\langle \sin(\phi + \phi_S) \rangle$ (коллинз-эффект, *a*, *b*) и с $\langle \sin(\phi - \phi_S) \rangle$ (структурная функция Сиверса, *c*, *d*), измеренные в эксперименте HERMES

должается с целью получения результатов по пионным и каонным разностным асимметриям и вычисления поляризованных валентных распределений и их моментов в следующем за лидирующим порядке разложения КХД. Также продолжается анализ данных, полученных в 2003–2005 гг. на поперечно-поляризованной водородной мишени, чтобы извлечь Q^2 -зависимость интеграла Герасимова–Дрелла–Херна.

Один из самых интересных результатов коллаборации HERMES — это измерение поперечных распределений в нуклоне. Анализ данных был закончен в 2005 г., и конечные результаты были опубликованы. Односпиновые асимметрии полуконклюзивного «электророждения» заряженных пионов в процессах глубоконеупругого рассеяния позитронов измерены впервые на поперечной поляризованной мишени [18] (рис. 10). Асимметрия зависит от азимутальных углов пиона (ϕ) и направления спина мишени (ϕ_S) вокруг направления виртуального фотона и относительно плоскости рассеяния лептона. Извлеченный фурье-компонент $\langle \sin(\phi + \phi_S) \rangle_{UT}^{\pi}$ является сигналом от еще не измеренного кваркового поперечного распределения, сопряженного с так называемой функцией фрагментации Коллинза, также еще пока неизвестной. Фурье-компонент $\langle \sin(\phi - \phi_S) \rangle_{UT}^{\pi}$ асимметрии является результатом корреляции между поперечной поляризацией нуклона мишени и «внутренним» поперечным импульсом кварка, определяемой еще не измеренной функцией распределения Сиверса. Доказательство существования ненулевых «сигналов» для обеих функций получено, но асимметрия для функции Сиверса может быть связана и с векторными мезонами.

В 2005 г. коллаборация HERMES закончила изучение тензорной спиновой структуры дейтрона [19]. Эти исследования основаны на использовании уникальной дейтронной газовой мишени, что позволило выполнить первые измерения тензорной асимметрии A_{zz}^d и тензорной структурной функции b_1^d при средних значениях переменной Бьеркена $0,01 < x < 0,45$ и значениях квадрата переданного четырехмомента $0,5 < Q^2 < 5 \text{ ГэВ}^2$ (рис. 11). Значения A_{zz}^d и b_1^d по-

лучены отличными от нуля. Рост b_1^d при уменьшении x может быть следствием того же самого механизма, который ведет к ядерному «затенению» в неполяризованном глубоконеупругом рассеянии.

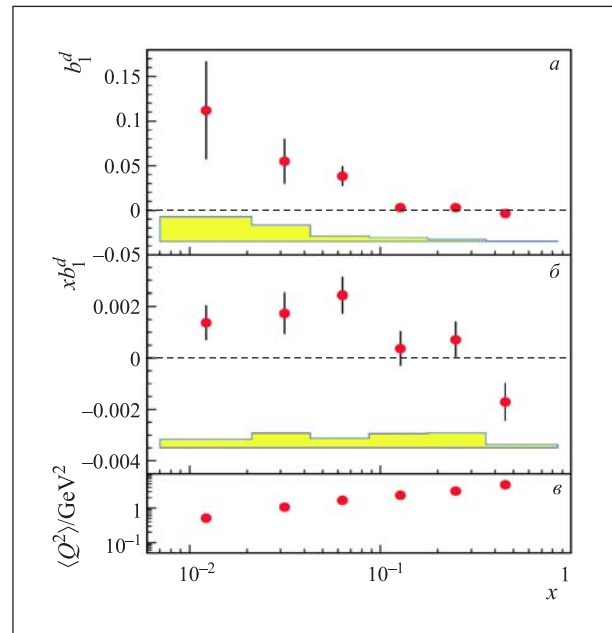


Рис. 11. Тензорная структурная функция дейтрона b_1 , измеренная в эксперименте HERMES

В соответствии с обязательствами ОИЯИ группа ЛФЧ принимала участие в изготовлении и запуске внешнего трекера (OTR) на детекторе HERA-B, который является крупноапертурным спектрометром, предназначенным для изучения взаимодействий протонов с энергией 920 ГэВ на ядерной мишени из тонких проволок, расположенных в гало пучка протонов HERA. OTR представляет собой большую систему плоских дрейфовых камер, которые состоят из 113000 «каналов» считывания (самый большой в мире трекер с сотовыми камерами) [20–23]. Его внутренняя часть была сделана специально для облучения потока частиц до $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}$, что соответствует условиям, схожим с теми, которые ожидаются

в экспериментах на будущих коллайдерах. 13 суперслоев, каждый из которых состоит из двух отдельных камер, были собраны и смонтированы для этого эксперимента.

Стереослои внутри каждой камеры были собраны из покалоновых С-сотовых дрейфовых трубок — модулей с ячейками диаметром 5 и 10 мм. Чтобы предотвратить изнашивание камеры, их покрыли катодной фольгой с тонким слоем меди и золота, причем была тщательно отобрана газовая смесь $Ag/CF_4/CO_2$. Сегментация поперечной проволоки использовалась для ограничения загрузки в наиболее облучаемых частях детектора до 20%. Изготовление 978 модулей было распределено между шестью различными лабораториями и заняло 15 месяцев (в ЛФЧ было сделано примерно 40% всех модулей). Успешная работа OTR показала, что большой трекер можно быстро построить и безопасно эксплуатировать в условиях большой радиационной нагрузки на адронном коллайдере. OTR обеспечил эффективную реконструкцию треков заряженных частиц на расстоянии 20 см от пучка протонов HERA до предела внешнего акцептанса эксперимента, а также обработку быстрых сигналов триггера для триггера первого уровня. Группа физиков ЛФЧ также внесла основной вклад в подготовку и монтаж суперслоев OTR, в устранение мелких неполадок и мониторинг установки, в наладку порогов электроники для достижения оптимальной работы треков и триггеров.

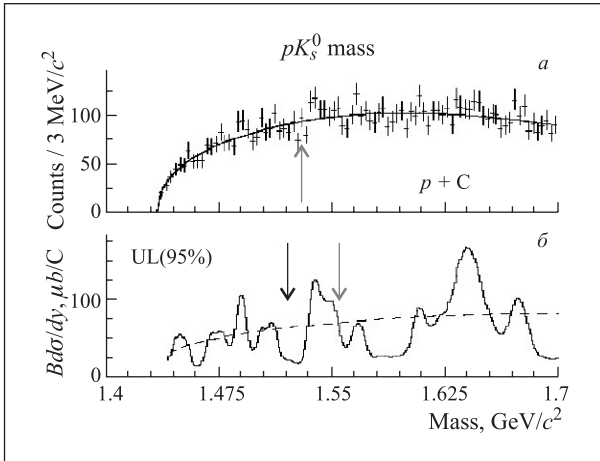


Рис. 12. Спектр инвариантных масс pK_s^0 , который указывает на отсутствие пентакварковых состояний из данных эксперимента HERA-B

Был осуществлен поиск кандидатов на пентакварковые состояния $\Theta^+(1540)$ и $\Xi^{--}(1540)$ в протон-индуцированных реакциях на углеродной, титановой и вольфрамовой мишенях при средней скорости ($y_{cm} \sim 0$) и $\sqrt{s} = 41,6$ ГэВ [24] (рис. 12, 13). В $2 \cdot 10^8$ неупругих событиях не было найдено указаний на узкие резонансы в каналах $\Theta^+ \rightarrow pK_s \rightarrow p\pi^+$ и $\Xi^{--} \rightarrow \Xi^-\pi^- \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^-$. Верхние пределы значения сечений инклюзивного ро-

ждения, умноженного на относительную вероятность $Br d\sigma/dy|_{y \approx 0}$, дают 3,7 и 2,5 мкб/нуклон для 95%-го уровня достоверности. Верхний предел отношения выхода $\Theta^+/\Lambda(1520) < 2,7\%$ находится значительно ниже модельных предсказаний. Верхний предел $Br \Xi^-/\Xi(1530)^0 < 4\%$ противоречит результатам, которые обеспечили первое указание для сигнала Ξ^{--} .

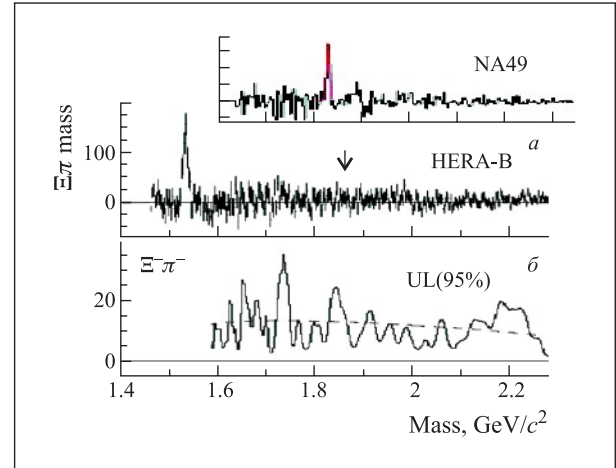


Рис. 13. Спектр инвариантных масс $\Xi\pi$, который указывает на наличие пентакваркового состояния с массой 1520 МэВ по данным эксперимента HERA-B, данные эксперимента NA49 также показаны

Эксперимент ЭКСЧАРМ посвящен изучению свойств очарованных и странных частиц и поиску узких барионных резонансов в нейтрон-нуклонных взаимодействиях на серпуховском ускорителе. В 2005 г. исследования по поиску пентакварковых состояний были завершены и результаты опубликованы. Поиск пятикварковых состояний осуществлялся в спектрах эффективных масс следующих конечных состояний их распадов: $\Xi(1860)^0 \rightarrow \Xi^-\pi^+$, $\Xi(1860)^{--} \rightarrow \Xi^-\pi^-$, где Ξ^- идентифицировался по его распаду на $\Lambda^0\pi^-$, а Λ^0 — по его распаду на $p\pi^-$ [25] (рис. 14, 15). В полученном спектре виден четкий сигнал от распада Λ^0 на $p\pi^-$. Фон обусловлен в основном комбинациями реконструированных заряженных частиц, рожденных в мишени ($\approx 53\%$) и в воздухе ($\approx 43\%$). Фон, обусловленный распадами $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, в которых положительный пион неправильно идентифицирован как протон, составляет около 4%. Отобрано более 3 млн событий, содержащих кандидаты в распад $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$, и около 150 тыс. комбинаций, содержащих хотя бы один кандидат в распад Ξ^- . Для окончательного анализа было отобрано 37 тыс. кандидатов в распад $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0\pi^-$. При этом уровень фона составил около 14,6 тыс. комбинаций. В результате анализа было отобрано 17379 кандидатов на $\Xi(1860)^0$ и 7215 кандидатов на $\Xi(1860)^{--}$. В спектре инвариантных масс ($\Xi^-\pi^+$) наблюдался четкий сигнал от

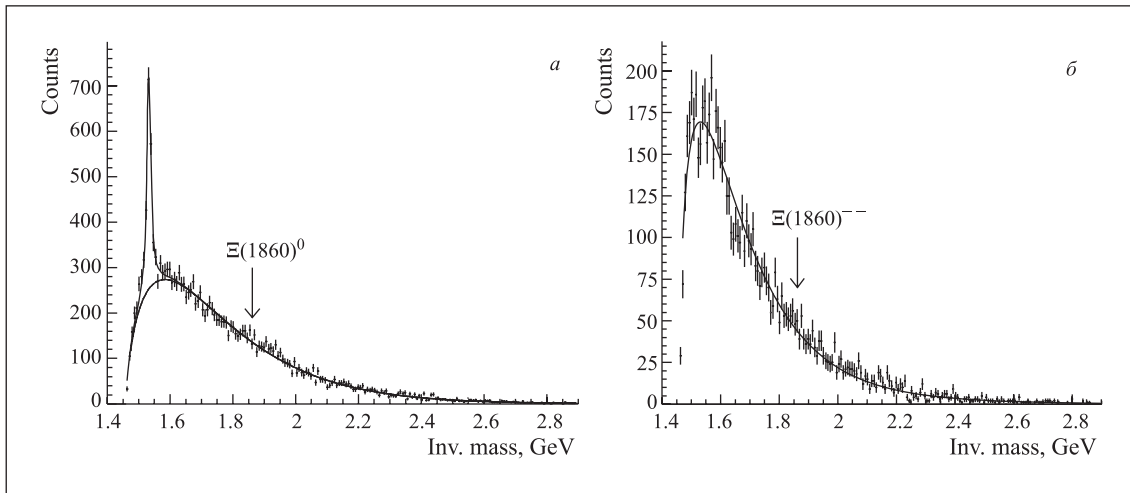


Рис. 14. Спектры эффективных масс системы $\Xi^- \pi^+$ (а) и системы $\Xi^- \pi^-$ (б), измеренные по данным эксперимента ЭКСЧАРМ

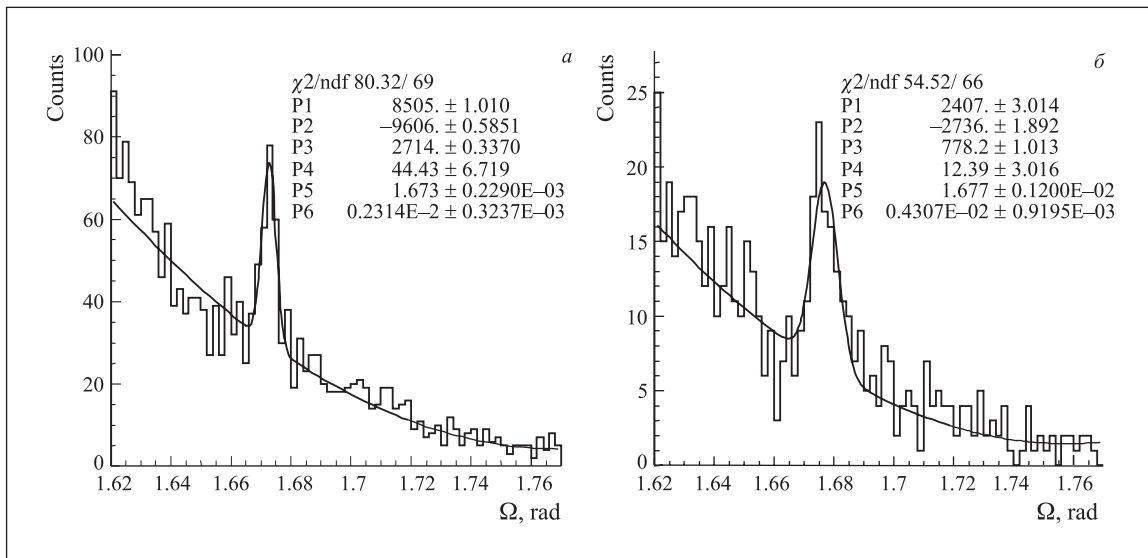


Рис. 15. Спектры эффективных масс системы $\Lambda^0 \pi^+$ (а) и системы $K_S^0 p$ (б), измеренные в эксперименте ЭКСЧАРМ

распада $\Xi(1530)^0$. Полученное в результате аппроксимации значение массы $M_0 = (1532,9 \pm 0,4)$ МэВ близко к табличному, а ширина с учетом экспериментального разрешения $\Gamma = (10,0 \pm 1,7)$ МэВ совпадает с табличной. Разрешение по эффективной массе $\Xi^- \pi^+$ в области 1530 МэВ, определенное методом Монте-Карло, составляет 3,7 МэВ. Количество зарегистрированных распадов определялось интегрированием функции, аппроксимирующей сигнал, по всему спектру эффективных масс и составило (1492 ± 93) МэВ.

Ни в области больших значений масс, ни в области массы искомого сигнала (1862 МэВ) статистически значимых пиков не наблюдается. В спектре инвариантных масс ($\Xi^- \pi^-$) статистически обеспеченных сигналов также не наблюдается во всей рассматриваемой области. Величина разрешения по эффективной массе для $\Xi^- \pi^\pm$, определенная мето-

дом Монте-Карло, в области искомого сигнала составляет 6,5 МэВ.

Проект «Термализация» стартовал в 2003 г. с целью изучения коллективного поведения вторичных частиц, образованных в многочастичном pp -взаимодействии при энергии пучка протонов $E_{\text{lab}} = 70$ ГэВ. Предлагается исследовать область высокой множественности $n = 35-40$ у кинематического порога реакции $pN \rightarrow n\pi + 2Nn \rightarrow n_{\text{lim}}$, где все частицы получают малый относительный импульс. В термализованном плотном и холодном адронном газе вследствие многобозонной интерференции может возникнуть ряд коллективных эффектов в поведении вторичных частиц:

- ожидается увеличение парциального сечения $\sigma(n)$ рождения n тождественных частиц по сравнению с общепринятыми экстраполяциями;

- возможно формирование струй, состоящих из тождественных частиц;

- возможно появление больших флуктуаций заряженной и нейтральной компонент (события «кентавры» и «антикентавры»);

- ожидается увеличение выхода прямых фотонов в результате тормозного излучения в партонном каскаде и аннигиляции $\pi^+ + \pi^- \rightarrow n\gamma$ в плотном и холодном пионном газе;

- возможно образование холодной кварк-глюонной плазмы в области очень большой множественности, когда основная доля энергии сталкивающихся протонов превращается в адронные системы с высокой плотностью.

Эксперимент выполняется на установке с вершинным детектором СВД-2 на выведенном пучке протонов ускорителя ИФВЭ У-70. В последнем сеансе облучения (ноябрь 2005 г.) установка состояла из сцинтилляционного триггерного годоскопа, вершинного детектора на базе полосковых кремниевых счетчиков, магнитного спектрометра из пропорциональных камер, жидководородной мишени, системы дрейфовых трубок и порогового черенковского счетчика. Этот сеанс показал, что необходимо провести некоторые изменения для улучшения работы элементов установки: для устранения перерасхода гелия должна быть улучшена система его подачи для охлаждения водорода; необходимо устранить неполадки в работе электроники триггерной системы; необходимо научиться проводить оптимально тестирование и устранение неполадок в работе дрейфовых камер; следует дополнить силиконовые детекторы 128-канальными круговыми «викингами», которые значительно увеличат возможность восстановления вершины взаимодействия, и должна быть разработана значительная часть он-лайн и оф-лайн программного обеспечения.

За отчетный период были выполнены следующие работы [26–30]: изготовлены сцинтилляционный годоскоп для регистрации событий с большой множественностью, жидководородная мишень, трекер на дрейфовых трубках; выполнен анализ экспериментальных данных с целью поиска экзотического барионного состояния Θ^+ — бариона, распадающегося в pK_s^0 (рис. 16); созданы программные пакеты для проведения юстировки установки. Продолжается математическое моделирование и разработка программного обеспечения для обработки полученной экспериментальной информации.

ЛФЧ принимает участие в экспериментах на 4 π -детекторе STAR коллайдера RHIC в Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL). Группа физиков ЛФЧ и рабочая группа Государственного университета Вейна (Детройт, США) завершили создание барреля электромагнитного калориметра (ВЕМС) детектора STAR в RHIC, BNL. Последний, 120-й ВЕМС-модуль был изготовлен и установлен на магните установки STAR в январе 2005 г.

Также было продолжено исследование нефотонных спектров электрона с высоким p_T в Au + Au-столкновениях с энергией 200 ГэВ на NN -пару. Было обнаружено подавление «heavy flavor» мезонов (главным образом D -частицы) относительно бинарного скейлинга и указано на его увеличение от периферийных до центральных Au + Au-событий. Кроме того, были получены первые предварительные результаты на «мягких» спектрах тепловых фотонов, испускаемых в $d + Au$ - и Au + Au-столкновениях с энергией 200 ГэВ на NN -пару (рис. 17). Полный анализ этих явлений находится в процессе завершения.

Были исследованы протон-лямбда- и нейтральные корреляции каона в Au + Au-столкновениях с энергией 200 ГэВ на NN -пару. Полученные значе-

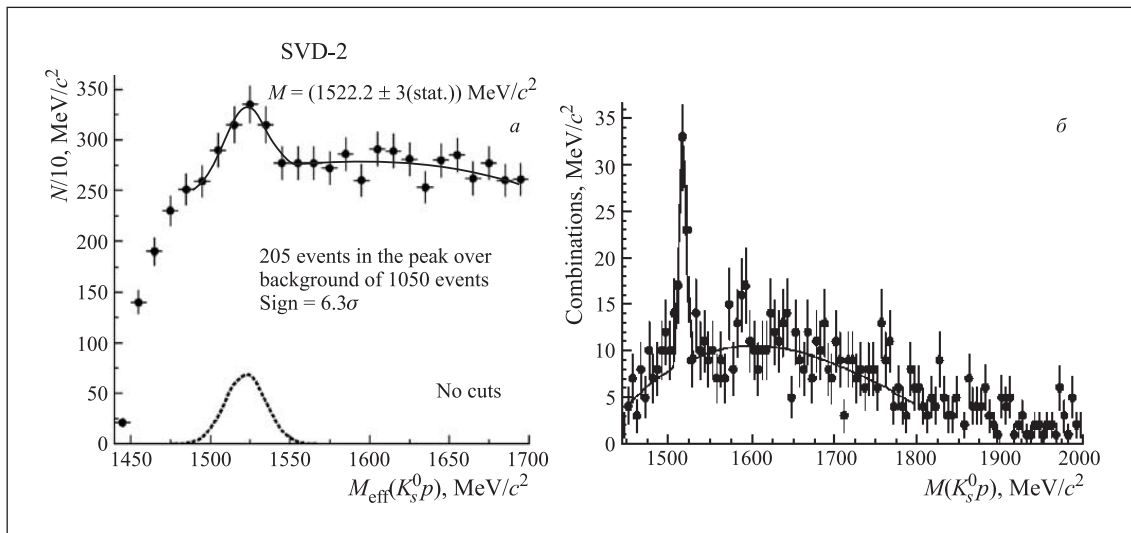


Рис. 16. Резонансные структуры в системе $K_s^0 p$, интерпретируемые как пентакварк Θ^+ , наблюдавшиеся в эксперименте «Термализация»

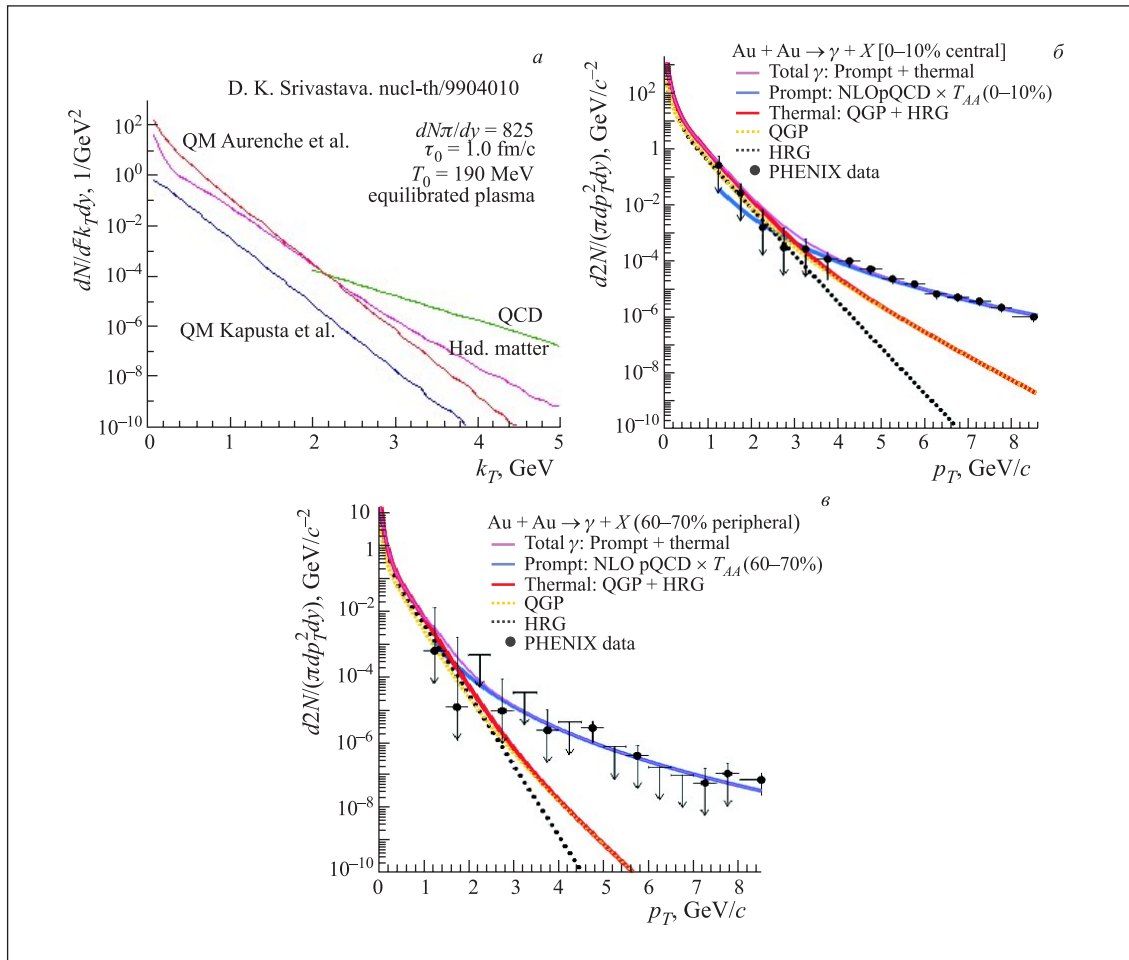


Рис. 17. Спектры прямых «мягких» фотонов в pp -, $d + \text{Au}$ - и $\text{Au} + \text{Au}$ -столкновениях при энергии с 200 ГэВ, измеренные в эксперименте STAR на ускорительном комплексе RHIC, BNL

ния взвешенных радиусов каона, протона и источников лямбды дают указание на универсальный коллективный поток («universal collective flow»). Впервые была получена оценка на усредненное по всем спиновым состояниям значение длины протон-антилямбда-рассеяния для « s -wave»-состояния [31]. По этим результатам были представлены доклады на пленарных и секционных заседаниях 18-й Международной конференции по ультрарелятивистским столкновениям ядра [32] и на симпозиуме по корреляциям частиц и фемтоскопии [33].

Сотрудники ЛФЧ принимают активное участие в международном проекте **BOREXINO**, целью ко-

торого является прямое прецизионное измерение потока солнечных нейтрино, образованных в электронном захвате ${}^7\text{Be}$ на Солнце, и исследование явления осцилляций нейтрино. Низкоэнергетический спектр солнечных нейтрино измеряется с помощью низкофонового калориметрического детектора BOREXINO, наполненного жидким сцинтиллятором и расположенного в подземной лаборатории Гран-Сассо в Италии (СТФ).

В 2005 г. продолжалась подготовка детектора для получения экспериментальных данных [34–40]. Как ожидается, набор данных начнется в 2006 г.

ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Главные усилия ОИЯИ по проекту CMS были сфокусированы на техническом проекте и создании «end-cap»-детекторов, за которые ОИЯИ не-

сет полную ответственность в рамках RDMS CMS-коллаборации: «end-cap»-адронная калориметрия и первая передняя мюонная станция (ME1/1). Основ-

ное обязательство ОИЯИ по созданию торцевых адронных калориметров выполнено. В кооперации с ИФВЭ (Протвино), НЦ ФВЭЧ (Минск), ЦВТТ НИКИЭТ (Москва), МЗОР (Минск), ИМК и ННЦ ХФТИ (Харьков) оба калориметра изготовлены, доставлены и смонтированы в ЦЕРН. Промышленные предприятия России и стран-участниц ОИЯИ, такие как «Красный Выборжец» в Санкт-Петербурге, «Завод им. Октябрьской Революции» в Минске, «Монокристалл» в Харькове и др., были вовлечены в создание торцевых адронных калориметров. В частности, технология изготовления высокопрочной латуни для поглотителей калориметров из гильз артиллерийских снарядов была разработана НИКИЭТ (Москва) в сотрудничестве с Санкт-Петербургскими предприятиями. Оборудование обоих калориметров регистрирующей электроникой, фотодетекторами, системами контроля на основе лазера и передвижного радиоактивного источника завершено в 2005 г. Ведется калибровка калориметров с помощью лазера и радиоактивного источника с целью завершения этих работ до начала комплексного «магнитного» теста. Обязательства ОИЯИ по созданию пропорциональных камер передней мюонной станции ME1/1 также успешно выполнены. Все шестислойные пропорциональные камеры с катодным считыванием информации доставлены в ЦЕРН. Монтаж и проверка состояния мюонных станций завершены в 2005 г. Серийное изготовление радиационно стойких кремниевых детекторов размером 63×63 мм в сотрудничестве с НИИМВ (Зеленоград) ведется в соответствии с графиком. До конца 2005 г. было изготовлено 1865 из 1975 детекторов. Часть детекторов исследована на радиационную стойкость на ректоре ИБР-2 ОИЯИ. Базы данных кремниевых детекторов и результатов их тестирования разработаны в ОИЯИ и установлены в ЦЕРН. В течение 2005 г. продолжались работы по созданию физической программы коллаборации CMS в рамках специального проекта CPT (Computing, Physics, Triggering). Сотрудники ОИЯИ принимали активное участие в работах групп физического анализа (физика стандартной модели, суперсимметрия и за пределами SM, физика тяжелых ионов) и «детекторных» групп, нацеленных на развитие программного обеспечения для реконструкции и анализа, а также для методических работ, связанных с различными детекторными подсистемами. Основные результаты, полученные физиками ОИЯИ за 2005 г., основанные на теоретических расчетах и полном моделировании детекторных систем, сигналов в них и физических процессов, были включены в «Computing TDR» и «Physics TDR» коллаборации CMS (V. I). Продолжено развитие программного обеспечения для реконструкции мюонов. Были оценены возможности мюонной системы CMS по детектированию пар мюонов с инвариантными массами порядка ТэВ. Было показано, что ожидаемое разрешение около 4% для процессов Дрелла–Яна с ин-

вариантными массами пар мюонов более 1 ТэВ и эффективностью реконструкции 98%. Продолжена оптимизация триггерной системы CMS. Было показано, что критерий на изоляцию трека в калориметре должен быть исключен из триггерного решения для мюонов с большими p . Специальное исследование триггерной системы показало, что эффективность отбора событий в пределах акцептанса мюонной системы CMS ($|\eta| \leq 2,4$) около 85%, а полная эффективность триггера первого и высокого уровня около 90%. Завершена обработка результатов комбинированного теста $EE + HE + ME1/1$ на пучках мюонов и пионов. Продемонстрировано хорошее согласие результатов эксперимента и моделирования на основе GEANT4. Измерено пространственное разрешение торцевого калориметра CMS.

Установлено, что предсказания стандартной модели для процессов Дрелла–Яна могут быть проверены на CMS вплоть до инвариантных масс 3 ТэВ за время набора статистики 300 fb^{-1} (три года работы ЛНС в режиме высокой светимости). Вычислены и проанализированы систематические ошибки измерения поперечного сечения, связанные с неопределенностями юстировки, «размазкой» сигнала в детекторе, неточностью реконструкции и т. д. Их величина не превышает 5%, в то время как теоретические систематические ошибки (СФ-, КХД- и электрослабые поправки высших) более 8–9%. Оценен массовый масштаб для установки CMS, на которой могут быть открыты новые явления. Новые тяжелые резонансы, предсказываемые расширенными калибровочными моделями, могут быть обнаружены экспериментально в канале распада на два мюона вплоть до масс 1,6–3,5 ТэВ в зависимости от модельных параметров. В случае нерезонансных сигналов, таких как непрямые поиски фундаментального энергетического масштаба дополнительных измерений и поиски многомерной гравитации в сценарии ADD, изучение спектра димюонов позволит достичь значений эффективного планковского масштаба до 7 ТэВ. Для разделения моделей, предсказывающих новые резонансы в конечном состоянии, были использованы различные методы анализа спиновой структуры резонансов и асимметрий вылета мюона. Показано, что угловые распределения мюонов в конечном состоянии позволяют разделить резонансные состояния со спином 1 и 2 по крайней мере до масс масштаба 2,3 ТэВ. Различные модели Z' могут быть разделены (вплоть до масс 2,5 ТэВ) с помощью анализа асимметрии «вперед-назад». На примере моделирования с большой статистикой изучены возможности алгоритмов по реконструкции струй и методы калибровки программного обеспечения CMS. Изучены систематические эффекты калибровки энергии струи с помощью событий «гамма + струя». Завершена разработка пакета анализа событий распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi (\rightarrow \mu^+ \mu^-) \varphi (\rightarrow K^+ K^-)$. Результаты группы ЛФЧ были опубликованы в 14 статьях и докладах [41–54].

Выполняя обязательства ОИЯИ по эксперименту ATLAS, ЛФЧ принимает участие в создании жидкоаргонного адронного «end-cap»-калориметра (LArHEC) и трекера переходного излучения (TRT).

На экспериментальной площадке, где располагаются «end-cap»-криостаты ATLAS, испытывались два криостата (криостат «С» и криостат «А»). Каждый криостат имеет три калориметра: электромагнитный, адронный и передний. Оба криостата успешно прошли испытания. Испытания показали, что относительное число элементов подсистем, которые не совсем удовлетворительно функционировали, было всегда меньше 1%. В 2005 г. планировалось опустить криостат «С» в каверну ATLAS, а второй криостат будет перемещен из сборочного зала в шахту ATLAS. Началась работа по окончательной сборке передних печатных панелей, которые будут служить для считывания сигналов с жидкоаргонного адронного «end-cap»-калориметра. Параллельно ведутся общие испытания панелей. Общее число этих печатных панелей составляет 1500. Программное обеспечение общего назначения ATHENA для ATLAS было инсталлировано на компьютерной ферме ЛФЧ и ЛИТ, что позволяет работать в широком диапазоне задач, начиная с анализа экспериментальных данных, полученных на пучке, до моделирования различных физических процессов, которые могут появиться в pp -столкновениях на LHC и могут быть зарегистрированы детектором ATLAS. С помощью этого программного обеспечения были начаты исследования реконструкции треков отдельных частиц (пионов, электронов и мюонов), которые прошли через детектор ATLAS в диапазоне от 10 до 1000 ГэВ для углового диапазона, который перекрывает пограничную область между калориметрами, бочковыми и «end-cap»-частями детектора.

Эксперимент NIS на нуклотроне ОИЯИ будет проводить поиск эффектов скрытой поляризованной странности нуклонов. Самым удивительным из этих эффектов является сильное нарушение правила Окубо–Цвейга–Иизуки (ОЦИ). Для выполнения такого поиска планируется провести измерения сечений рождения ϕ - и ω -мезонов в pp - и np -рассеянии в реакциях: $p + p \rightarrow p + p + \phi$, $p + p \rightarrow p + p + \omega$ и $d + p \rightarrow n + p + \phi + p_s$ при энергиях 83, 100 и 120 МэВ выше порогов рождения вышеуказанных частиц. Общее время, необходимое для таких измерений в трех энергетических точках, — 100 дней. Сечение рождения ϕ и ω было измерено в эксперименте DISTO [55] на SATURNE-II. Результаты измерений рождения ϕ были получены в экспериментах SPES-III [56] и COSY-TOF [57]. Наблюдалось указание на нарушение правила ОЦИ. Следует подчеркнуть, что обнаружение нарушения правила ОЦИ в протон-протонных взаимодействиях является исключительно важным для самого понятия поляризованной скрытой странности нуклона. Это нарушение было найдено в антипротон-протонном взаимодей-

ствии, и очень важно увидеть, существует ли этот эффект в нуклон-нуклонной системе. Аналогичные исследования проводятся также на ускорительном комплексе ANKE [58].

Кроме того, предполагается провести поиск экзотических барионов с положительной странностью в pp -рассеянии и изучить их свойства. Это предложение мотивировано самыми последними утверждениями о возможном открытии экзотического узкого барионного резонанса, который не может формироваться из трех кварков. Ожидается, что можно будет получить не менее 1000 событий с рождением Θ (вышеуказанный резонанс) для 40-дневного набора данных при сечении рождения Θ -резонанса, равном 0,07 мкб. В качестве побочного продукта поиска Θ -бариона можно будет измерить дополнительную точку по сечению pp - и $pp\phi$ -реакций при энергии около 316 МэВ над порогом рождения ϕ -мезона. Возможен также поиск других «членов барионной семьи», которые предсказываются в теоретических работах [59]. Особый интерес вызывает поиск членов мультиплетов с множественным электрическим зарядом.

Экспериментальная установка в первой фазе будет состоять из трековой системы, основанной на многопроволочных пропорциональных камерах (MWPC) большой площади, взятых из экспериментальной установки ЭКСЧАРМ, и новых дрейфовых камерах (MDC), расположенных в зазоре анализирующего магнита. Будет также использоваться система распознавания типа частицы, основанная на измерении времени пролета (TOF) и импульса. В настоящее время установка NIS в стадии сборки. Часть основных детекторов (MWPC, TOF — на базе RPC) уже смонтирована. Ведутся методические исследования (испытания детекторов и физического фона) на пучке нуклотрона и на испытательных стендах. Изготавливается жидководородная мишень. Почти завершено создание первой MDC, близка к завершению работа по подготовке первого запуска детектора, сделанного из сцинтилляционных фибров. Первый измеритель профиля пучка уже изготовлен, прошел испытание и готов к работе; элементы других двух измерителей профиля изготавливаются. Испытания многоканальных TDC- и QDC-модулей в VME-стандарте уже завершены, началось их массовое производство. Завершены испытания высоковольтных блоков для RPC и MDC, массовое производство блоков и модулей управления уже начато. Изготавливаются прототипы для передних предусилителей MDC- и SciFi-детекторов. Модули логики триггера находятся в стадии разработки, изготавливаются их прототипы. Разрабатывается программное обеспечение: программы для он-лайн набора данных и сбора данных на стендах; монте-карло-программы и программы для реконструкции событий. Главные компоненты установки NIS успешно прошли испытания на выведенном пучке нуклотрона.

В 2006 г. планируется проведение калибровочных измерений на пучке нуклотрона с последующим набором данных в соответствии с физической программой проекта.

Установка для эксперимента NIS может быть также использована для других задач. Некоторые из них, связанные с изучением реакций с образованием «странных» частиц, были указаны выше.

УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Специалисты ЛФЧ участвуют в создании системы подавления поперечных колебаний пучка для ЛНС (**LNS Damper**). В 2005 г. создание дефлекторов и мощных широкополосных усилителей для системы подавления поперечных колебаний пучка было главным направлением в работе ускорительного подразделения ЛФЧ. Также одной из главных задач было серийное производство 20 дефлекторов и 4 мощных широкополосных усилителей. Проектирование этих устройств было осуществлено в ЛФЧ ОИЯИ.

На уральских заводах изготовлены 19 (из 20) вакуумных камер. Для обеспечения высокого вакуума была использована уникальная технология сварки с толщиной шва не менее 1,5 мм. Для обеспечения требуемой цилиндричности внутренней поверхности камер была разработана и успешно применена технология обработки резанием с помощью специально изготовленного алмазного инструмента. Достигнута точность обработки, при которой отклонение оси камеры не превосходит $\pm 0,25$ мм на длине 3,2 м (внутренний диаметр камеры 100 мм), что соответствует спецификациям ЛНС. Изготовленные вакуумные камеры были успешно испытаны на стенде ЛФЧ. Вакуумная камера № 1 сертифицирована ЦЕРН. В настоящее время ведутся работы по сертификации остальных камер. В ОП ОИЯИ и ООЭП ЛФЧ были изготовлены 20 электродных узлов для дефлекторов, система для их сборки и установки в вакуумную камеру, а также 10 суппортов для дефлекторов. Предварительные метрологические измерения в ЦЕРН показали, что точность изготовления этих узлов соответствует спецификациям ЛНС. Изготовлены и успешно испытаны мощные широкополосные усилители № 1 и № 2 на полное напряжение $\pm 7,5$ кВ на специализированном стенде в ЛФЧ ОИЯИ и на половинное напряжение на новом стенде ЦЕРН (сотрудники ЛФЧ ОИЯИ принимали участие в создании этого стенда в 2005 г.). Осуществлен монтаж усилителей № 3 и № 4. Изготовленные четыре усилителя уже находятся в ЦЕРН, где будет осуществлена их приемка после необходимого тестирования. 16 вакуумных камер и 20 электродных узлов также доставлены в ЦЕРН. 3 вакуумные камеры и 10 суппортов подго-

следует заметить, что в большинстве случаев такие эксперименты можно проводить с использованием поляризованных пучков протонов и дейтронов на нуклотроне, дополняя мировые данные важнейшей, уникальной информацией по спинзависимым экспериментально наблюдаемым величинам. Физическая программа вышеперечисленных экспериментов представлена в [60–63].

товлены к транспортировке в ЦЕРН. В настоящее время сотрудниками ЛФЧ ОИЯИ совместно со специалистами ЦЕРН ведутся работы по завершающей вакуумной очистке дефлекторов, окончательной их сборке и подготовке к установке в тоннель ЛНС.

В рамках проекта **CLIC** группа ЛФЧ участвует в разработке микроволнового устройства, предназначенного для экспериментального определения времени жизни ускоряющих структур электрон-позитронного коллайдера с импульсным циклическим нагревом при частоте 30 ГГц. В ЛФЧ ОИЯИ создан СВЧ-стенд для экспериментального определения ресурса работы ускоряющих структур линейного электрон-позитронного коллайдера по отношению к импульсному циклическому нагреву на частоте 30 ГГц — рабочей частоте коллайдера CLIC. При увеличении рабочей частоты ускоряющих структур до десятков ГГц импульсные нагрузки в них оказываются близкими к пределу текучести материала структур и микроскопические изменения в материале будут инициировать повреждения. Такие повреждения известны как усталость при циклической нагрузке. Их возникновение обусловлено появлением разрывов в кристаллической решетке. Нагрузки или напряжения, необходимые для причинения повреждения из-за циклической усталости, намного меньше тех, которые требуются для аналогичных повреждений металла при статической деформации. В 2005 г. были выполнены следующие научно-методические работы [64–67].

- Удалось устранить СВЧ-пробои в тестовом резонаторе и на вакуумном окне мазера на свободных электронах (МСЭ) при параметрах, близких к проектным. Для устранения пробоев в блоке тестового резонатора в ЛФЧ был изготовлен новый тестовый резонатор с улучшенной чистотой рабочих поверхностей электродов и с устранением некоторых технологических недоделок в предыдущей конструкции. С целью ликвидации пробоев на вакуумном окне МСЭ-генератора проведена комплексная оптимизация (расчеты, холодные измерения и пучковые эксперименты) длины выходного волновода МСЭ и положения вакуумного окна МСЭ-генератора.

- После устранения пробоев на вакуумном окне МСЭ-генератора на уровне выходной мощности 12–17 МВт был обнаружен пробой воздушного канала после выхода СВЧ-пучка из МСЭ. Выбор оптимального решения для устранения указанного пробоя в настоящее время согласовывается с коллегами из ИПФ РАН. Проведение экспериментов с целью устранения воздушного канала запланировано на время между вторым и третьим этапами контракта.

- Устранена мощная паразитная генерация МСЭ на частоте 34,35 ГГц.

- Отлажена система обработки СВЧ-сигналов, получаемых с различных участков стенда, и сигналов с датчиков тока электронного пучка в каждом рабочем импульсе установки. В настоящее время завершается наладка системы регистрации и обработки сигналов с датчиков СВЧ-мощности, спектра и др.

- Изготовлен прецизионный калориметр и проведена его калибровка. Это позволяет с высокой точностью измерять энергию СВЧ-излучения в каждом импульсе в разных участках стенда.

- Созданы системы стабилизации (с точностью около 0,2 %) высоковольтных элементов ускорителя: электронной пушки и модуляторов. В настоящее время заканчивается их отладка в рабочем режиме.

Ожидаемые результаты в 2006 г.

1. Будет проведен анализ работы стенда по набору статистики в 10^5 импульсов и корректировка конструкции тестового резонатора.

2. Будут проведены исследования с целью уменьшения децентровки электронного пучка ускорителя.

3. Будут продолжены работы по внедрению стабилизированных источников питания магнитных систем ускорителя.

4. Будет введена в эксплуатацию система контроля параметров ускорителя и выходных параметров МСЭ в режиме он-лайн.

По мере завершения этих работ начнется работа по набору статистики на уровне 10^6 импульсов, предусмотренная Соглашением ЦЕРН–ОИЯИ К723/PS.

В рамках *инновационной деятельности* по теме «Разработка ускорителей для радиационных технологий» была разработана серия очень простых, компактных и дешевых ускорителей для радиационных технологий на базе холодных катодов с пороговыми эмиссионными характеристиками, с использованием низкочастотных (100 Гц) коаксиальных резонаторов и транзисторного конвертера с электрической мощностью от 50 до 100 кГц. Экспериментальные проверки масштабных моделей и прототипов ускорителей, а также предварительные тесты ускорителей в Японии и Китае подтвердили высокую эффективность передачи мощности от электрических сетей в электронный пучок. Основные направления работы в 2006 г.: приспособление ускорителей для конкретных технологических процессов; модернизация ускорительных систем для уменьшения стоимости эксплуатации и упрощения работы с ускорителями, а также понижение мощности и энергии электронных пучков до 100 кВт и 500–700 МэВ соответственно.

РАЗВИТИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью проекта является создание информационно-вычислительной инфраструктуры для обеспечения в ЛФЧ исследований по физике частиц и ядерной физике. Основные результаты, полученные в 2005 г.

- Производительность компьютерной фермы ЛФЧ–ЛВЭ была увеличена более чем в два раза по сравнению с 2004 г. и в четыре раза — по сравнению с состоянием на момент начала реализации проекта. Общее число CPU — 66 (34 компьютера), CPU для пакетной работы — 36 (18 компьютеров).

- Дисковое пространство, доступное пользователям фермы, увеличилось по сравнению с 2004 г. в 2,5 раза и составило 14,3 Тбайт.

- В число экспериментов, активно использующих возможности компьютерной фермы ЛФЧ–ЛВЭ, вошел ATLAS.

- Увеличено число рабочих мест, подключенных различными способами к локальным подсетям лаборатории.

- Расширилась зона работы беспроводных средств связи.

- Ведется работа по эффективному подключению домашних компьютеров сотрудников ЛФЧ к компьютерной сети ОИЯИ.

- Развитие компьютерной инфраструктуры лаборатории во многом способствовало тому, что ЛФЧ впервые вышла на первое место в ОИЯИ по использованию внешнего канала связи.

- Проведено полное оборудование компьютерами конференц-зала ЛФЧ и зала для проведения видеоконференций.

- Начата работа по централизованному использованию в ЛФЧ IP-телефонии.

Основные полученные результаты опубликованы в [68, 69].

Ожидаемые результаты в 2006 г.

1. Будет увеличена мощность компьютерной фермы ЛФЧ–ЛВЭ не менее чем на 20 % за счет за-

купки и установки современного компьютерного и коммуникационного оборудования.

2. Будут выполнены работы по переходу на новую версию ОС Linux на машинах компьютерной фермы.

3. Будут расширены возможности использования беспроводных средств связи для подключения к локальным подсетям ЛФЧ.

4. Будут протестированы новые возможности GRID-технологий для текущих экспериментов лаборатории.

5. Будет продолжено развитие централизованного использования IP-телефонии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ageev E. S. et al. (COMPASS Collab.) // Phys. Lett. B. 2005. V. 612. P. 154.
2. Alexakhin V. Yu. et al. (COMPASS Collab.) // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 94. P. 202002.
3. Ageev E. S. et al. (COMPASS Collab.) // Eur. Phys. J. C. 2005. V. 41. P. 469.
4. Ageev E. S. et al. (COMPASS Collab.). CERN-PH-EP/2005-049; Phys. Lett. B (submitted).
5. Sapozhnikov M. G. (on behalf of the COMPASS Collab.). Talk at the Intern. Symp. SPIN-05, Dubna, Sept. 2005.
6. Lai A. et al. Measurement of the radiative $K(e3)$ branching ratio // Phys. Lett. B. 2005. V. 605. P. 247–255.
7. Lai A. et al. Search for CP violation in $K^0 \rightarrow 3\pi^0$ decays // Phys. Lett. B. 2005. V. 610. P. 165–176.
8. Batley J. R. et al. A measurement of the CP -conservation component of the decay $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^0$ // Ibid. V. 630. P. 31–39.
9. H1 Collab. Measurement of the polarisation dependence of the total $e + p$ charged current cross section. Paper presented at the Intern. Europhys. Conf. on High-Energy Physics (HEP-2005), Lisbon, Aug. 21–27, 2005.
10. H1 Collab. Measurement of the polarisation dependence of the total $e - p$ charged current cross section. Ibid.
11. Sissakian A. N., Shevchenko O. Yu., Ivanov O. N. hep-ph/0312084.
12. Sissakian A. N., Shevchenko O. Yu., Ivanov O. N. // Phys. Rev. D. 2003. V. 68. P. 031502; hep-ph/0307189.
13. Shevchenko O. Yu. NLO QCD procedure of SIDIS data analysis. Talk presented at HERMES Workshop, Dec. 2004.
14. Ivanov O. N. Numerical tests of the proposed NLO QCD procedure. Ibid.
15. Nagaytsev A. P. Remarks on the NLO QCD procedure of SIDIS data analysis. Ibid.
16. Shevchenko O. Yu. Extraction of helicity distributions in NLO QCD with modified Jacobi polynomial extension method. Talk presented at HERMES Collab. Meeting, April 2005.
17. Nagaytsev A. P. The first moments Δu_V and Δd_V from difference asymmetries. Ibid.
18. Sissakian A. N., Shevchenko O. Yu., Ivanov O. N. // Pis'ma v ZhETF. 2005. V. 82. P. 57; Airapetian A. et al. // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 94. P. 01200231.
19. Airapetian A. et al. // Phys. Rev. Lett. (in press); hep-ex/0506018; DESY-05-077.
20. Albrecht H. et al. Aging studies for the large honeycomb drift tube system of the outer tracker of HERA-B // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 515. P. 155–165.
21. Albrecht H. et al. (HERA-B Outer Tracker Collab.). The outer tracker detector of the HERA-B experiment. Part I: Detector. Preprint DESY 05-99. Hamburg, 2005; physics/0507048; Nucl. Instr. Meth. (submitted).
22. Albrecht H. et al. The outer tracker detector of the HERA-B experiment. Part II: Front-End Electronics // Nucl. Instr. Meth. A. 2005. V. 541. P. 610–629.
23. Abt I. et al. Limits for the central production of and pentaquarks in 920 GeV pA collisions // Phys. Rev. Lett. 2004. V. 93. P. 212003.
24. Алеев А. Н. и др. Препринт ОИЯИ P1-2005-62. Дубна, 2005; ЯФ (направлено).
25. Avdeichikov V. V. et al. JINR, P1-2004-190. Dubna, 2005.
26. Ermolov P. F. et al. // Proc. of the 17th Intern. Baldin Seminar on High Energy Physics Problems «Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics» (ISHEPP 2004), Dubna, Sept. 27 – Oct. 1, 2004. Dubna, 2005. V. I. P. 327.
27. Kokouline E. S. et al. // Proc. of the 8th Intern. Workshop on Relativistic Nuclear Physics «From Hundreds MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 272.
28. Kokouline E. S. et al. // Proc. of the 35th Intern. Symp. on Multiparticle Dynamics (ISMD 05), Kromeriz, Czech Republic, Aug. 9–15, 2005 (submitted).
29. Aleev A. N. et al. Preprint-NPI-MSU-2005-22-788. 2005. 7 p.
30. Ghetti R. et al. Light cluster production in $E/A = 61$ -MeV Ar-36 + Sn-112, Sn-124 reactions // Phys. Rev. C (submitted); nucl-ex/0507029.
31. Adams J. et al. (STAR Collab.). nucl-ex/0511003.
32. Lednicky R. Correlation femtoscopy. nucl-th/0510020; Proc. of the 18th Intern. Conf. on Ultra-Relativistic Nucleus–Nucleus Collisions «Quark Matter 2005», Budapest, Aug. 4–9, 2005 (submitted).
33. Lednicky R. Femtoscopy in heavy ion collisions: Theory // Proc. of the Workshop on Particle Correlations and Femtoscopy, Kromeriz, Czech Republic, Aug. 15–17, 2005 (submitted).
34. Brigatti A. et al. The photomultiplier testing facility for the borexino experiment at Gran Sasso // Nucl. Instr. Meth. A. 2005. V. 537. P. 521–536.
35. Ianni A. et al. // Ibid. P. 683–697.
36. Derbin A. V., Smirnov O. Yu., Zaimidoroga O. A. // Part. Nucl. 2005. V. 36, No. 3. P. 314–319; Fiz. Elem. Chast. At. Yadra. 2005. V. 36, No. 3. P. 604–649.
37. Derbin A. V., Ianni A., Smirnov O. Physics outside the standard model with the prototype of borexino detector // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.). 2005. V. 143. P. 568.
38. Derbin A. V., Ianni A., Smirnov O. // Ibid. P. 547.
39. Zaimidoroga O. A. Detection of events in borexino using laser effects // Nucl. Phys. (submitted).
40. Protsenko I., Uskov A., Zaimidoroga O. Dipole nanolaser // Phys. Rev. A. 2005. V. 71. P. 063812.
41. Golutvin I., Savina M., Shmatov S. Extra dimensions and $\mu^+\mu^-$ production at the LHC // J. Phys. G (submitted).
42. Голутвин И. А. и др. Поиск новых нейтральных калибровочных бозонов на большом адронном коллайдере. Препринт ОИЯИ P2-2005-78. Дубна, 2005; ЯФ (направлено).

43. *Golutvin I. et al.* LHC ADD extra dimensional gravity and di-muon production at LHC // Proc. of the XVIII Intern. Workshop «High Energy Physics and Quantum Field Theory», St.Petersburg, June 17–23, 2004; hep-ph/0502126.
44. *Golutvin I. et al.* Search for new heavy resonances at the LHC // Ibid; hep-ph/0502009.
45. *Shulga S.* BTOVVANA: The package for analysis of $B^{*0}(S) \rightarrow J/\Psi\Phi$ and $B^{*0}(S) \rightarrow J/\Psi K^*$ decays // Comp. Phys. Commun. (submitted); hep-ph/0501207.
46. CMS Computing TDR. CERN-LHCC-2005-023. 2005.
47. *Golutvin I. et al.* Study of the CSC anode self-trigger ability with P3 ME1/1 prototype // EPAN, 2005 (submitted).
48. *Erchov Yu.V. et al.* Cathode strip chamber for CMS ME1/1 endcap muon station // Ibid.
49. *Savin I.A., Sissakian A.N., Zaroubin A.V.* Development of electronic experimental methods in particle physics // Ibid. P. 55–130.
50. *Zamyatin N.I., Kozlov Yu.F.* Silicon planar detectors in Russia // Ibid. P. 141–156.
51. *Shumeyko N.M.* Years of collaboration and communication // Ibid. P. 157–174.
52. *Zaroubin A.V.* Collaboration CMS, Russia and JINR member-states (RDMS) // Ibid. P. 217–252.
53. *Savina M.V., Shmatov S.V.* Physics of additional measurements at LHC // Ibid. P. 269–314.
54. *Balestra F. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. P. 4572; *Balestra F. et al.* // Nucl. Instr. Meth. 1999. V. 426. P. 385.
55. *Hibou F. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1999. V. 83. P. 492.
56. *Abd El-Samad S. et al.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 522. P. 16; *Boehm A. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 443. P. 238.
57. ANKE COSY proposal No. 104. 2001.
58. *Hartmann M.* // Proc. of «Baryons 2004» Conf., Paleseau, 2004; IKP/COSY Annual report 2004. P. 12.
59. *Barmin V.V. et al.* (The DIANA Collab.). hep-ex/0304040; reported as a talk at the Session of Nucl. Division of the Russian Acad. of Sci., Dec. 3, 2002; Phys. At. Nucl. 2003; *Nakano T. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 91. P. 012002; *Stepanyan S. et al.* (The CLAS Collab.). hep-ex/0307018.
60. *Avramenko S.A. et al.* // Nucl. Phys. A. 1995. V. 585. P. 91c.
61. *Lukstins J.* // Proc. of the 7th Conf. «Mesons and Light Nuclei'98», Prague–Pruhonice, Czech Republic, 1998. Singapore, 1999. P. 198.
62. *Lukstins J.* // Proc. of the III Workshop «Physics and detectors for DAFNE», Frascati, 1999. Frascati, 1999. P. 719.
63. *Afanasiev S.V. et al.* JINR Rapid Commun. 1995. No. 1[69]. P. 47.
64. *Елжов А. В. и др.* Стенд для исследования ресурса имитатора ускоряющей структуры коллайдера CLIC при воздействии мощного импульсного излучения на частоте 30 ГГц // Письма в ЭЧАЯ. 2005. Т. 2, № 3. С. 102.
65. *Kaminsky A.K.* (on behalf of the JINR–IAP–CLIC Collab.). Status report of CLIC–JINR–IAP experiment on copper cavity heating // 6th Intern. Workshop «Strong Microwaves in Plasmas», Nizhny Novgorod, Russia, July 25 – Aug. 1, 2005.
66. *Elzhov A.V.* (on behalf of the JINR FEL team). Status report of CLIC–JINR–IAP experiment on copper cavity heating // XIX International Workshop on Charged Particle Accelerators, Alushta, Ukraine, Sept. 12–17, 2005.
67. *Kaminsky A.K.* (on behalf of the JINR–IAP–CLIC Collab.) // 6th Intern. Seminar on the Problems of Accelerating Techniques dedicated to the memory of Professor V.P. Sarantsev, Alushta, Ukraine, Sept. 8–11, 2005.
68. *Белослудцев Д. А. и др.* Компьютинг для действующих экспериментов по физике частиц в ЛФЧ ОИЯИ // Письма в ЭЧАЯ. 2006. Т. 3, № 4(133). С. 17.
69. *Потребеников Ю. К., Щинов Б. Г.* Новые возможности компьютерной инфраструктуры Лаборатории физики частиц // Новости ОИЯИ. 2005. № 2. С. 21–24.