

# ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Научная деятельность Лаборатории физики частиц в 2003 г. была сконцентрирована на участии в текущих экспериментах в области физики элемен-

тарных частиц и подготовке новых экспериментов, 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.

В эксперименте NA-48 проведено детальное исследование распадов  $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$  и  $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$  [1]. Из данных, набранных в течение 1998 и 1999 гг., выделено 1162 кандидата на распад  $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$  при ожидаемом фоне на уровне 36,9 события, что позволило измерить парциальную вероятность  $BR(K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-) = (3,08 \pm 0,20) \cdot 10^{-7}$ . В распределении событий по переменной  $\sin\phi\cos\phi$ , где  $\phi$  — угол между плоскостями разлета пар  $\pi^+\pi^-$  и  $e^+e^-$  в системе покоя каона, наблюдается большая  $CP$ -нарушающая асимметрия:  $A_\phi = (14,2 \pm 3,6)\%$ . Для распада  $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$  из данных 1999 г. выделен 621 кандидат при оценке ожидаемого фона на уровне 0,7 события, чему соответствует парциальная вероятность  $BR(K_S \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-) = (4,71 \pm 0,32) \cdot 10^{-5}$ . Объединив этот результат с результатом, опубликованным в 1998 г., получим  $BR(K_S \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-) = (4,69 \pm 0,30) \cdot 10^{-5}$ , причем в данном канале распада

никакой асимметрии не наблюдается. Эти результаты хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями на основе феноменологического описания радиационных распадов каонов. Из полученных данных также были извлечены параметры  $a_1/a_2$  и  $\tilde{g}_{M1}$ , описывающие формфакторы процесса прямого излучения в распаде  $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$ , и величина зарядового радиуса  $K^0$ -мезона.

В результате обработки данных 2000 г. был впервые обнаружен распад  $K_S \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$  [2]. Наблюдение 31 события этого распада при уровне фона  $13,7 \pm 3,2$  события приводит к оценке  $BR(K_S \rightarrow \pi^0\gamma\gamma) = (4,9 \pm 1,6(\text{стат.}) \pm 0,9(\text{сист.})) \cdot 10^{-8}$ . Этот результат согласуется с предсказаниями киральной теории возмущений (КТВ) и более ранней экспериментальной оценкой [3] на основе данных 1999 г., из которых также была извлечена оценка для вероятности распада  $K_S \rightarrow \gamma\gamma$  [4]. Значение  $BR(K_S \rightarrow \gamma\gamma) = (2,78 \pm 0,06(\text{стат.}) \pm 0,04(\text{сист.})) \cdot 10^{-6}$ , полученное на основе наблюдения  $7461 \pm 172$  события распада  $K_S \rightarrow \gamma\gamma$ , оказалось существенно выше значения, предсказываемого КТВ в  $p^4$ -порядке. Данные, набранные в пучке  $K_L$ -мезонов, позволили измерить отношение  $BR(K_S \rightarrow \gamma\gamma)/BR(K_L \rightarrow 3\pi^0) = (2,81 \pm 0,01(\text{стат.}) \pm 0,02(\text{сист.})) \cdot 10^{-3}$ .

На основе анализа  $4,2 \cdot 10^{10}$  распадов  $K_S$ -мезонов, зарегистрированных в 2002 г., в эксперименте **NA-48/1** впервые наблюдался распад  $K_S \rightarrow \pi^0e^+e^-$ : 7 событий в области  $m_{ee} > 0,165$  ГэВ при фоне,

составлявшем только 0,15 события [5]. Была вычислена соответствующая парциальная вероятность:

$$\text{BR}(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-, m_{ee} > 0,165 \text{ ГэВ}) = (3,0_{-1,2}^{+1,5}(\text{стат.}) \pm 0,2(\text{сист.})) \cdot 10^{-9}.$$

Данный результат может быть экстраполирован на полный фазовый объем с помощью векторного матричного элемента с постоянными формфакторами:

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

Это позволяет извлечь параметр  $|a_s| = 1,06_{-0,21}^{+0,26}(\text{стат.}) \pm 0,07(\text{сист.})$ , используя феноменологическое выражение для описания интерференции прямой и непрямой  $CP$ -нарушающих компонент распада  $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ :

$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{\text{CPV}} = 1 \cdot 10^{-12} \left( 15,3 a_s^2 \pm 6,8 \frac{\text{Im}(\lambda_t)}{10^{-4}} + 2,8 \left( \frac{\text{Im}(\lambda_t)}{10^{-4}} \right)^2 \right).$$

С помощью измеренного значения  $|a_s|$  и глобального фитирования по  $\text{Im}(\lambda_t)$  можно оценить  $CP$ -нарушающую компоненту:

$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{\text{CPV}} \approx (17,2_{\text{indir}} \pm 9,4_{\text{interfer}} + 4,7_{\text{dir}}) \cdot 10^{-12}.$$

$CP$ -нарушающую компоненту можно получить, изучая распад  $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ . Измеренная величина  $\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{\text{CPC}} = 5,8_{-0,18}^{+0,22} \cdot 10^{-12}$  предполагает, что  $CP$ -сохраняющей компонентой можно пренебречь.

В 2003 г. была завершена подготовка эксперимента **NA-48/2**. Проведено первое облучение модифицированной установки NA-48 на новом пучке заряженных каонов в ЦЕРН. Группа ОИЯИ внесла вклад в следующие работы по подготовке и проведению эксперимента:

- конструирование и производство электроники считывания для нового высокочастотного координатного детектора KABES, работающего в заряженном пучке высокой интенсивности; поддержку работы этой электроники и соответствующего программного обеспечения в течение облучения установки;
- поддержку работы системы считывания мюонного детектора;
- создание программного обеспечения для моделирования установки и оптимизацию условий ее облучения в эксперименте;
- создание программ мониторинга и фильтрации записываемых данных на основе физических характеристик.

В 2002–2003 г. коллаборация **HERMES** начала набор данных на водородной поперечно-поляризованной мишени. Группа ЛФЧ участвовала в

анализе данных, а также осуществляла техническую поддержку и плановую работу с мини-дрейфовыми камерами.

Результаты HERMES по  $Q^2$ -зависимости обобщенного интеграла Герасимова–Дрелла–Херна (ГДХ) для протона, дейтрона и нейтрона опубликованы в работе [6]. В комбинации с результатами предыдущих измерений на протоне первые данные с установки HERMES, набранные на дейтроне, позволили измерить обобщенный интеграл ГДХ в широком интервале значений виртуальности фотона  $1,2 < Q^2 < 12,0 \text{ ГэВ}^2$  и энергии в центре масс фотона и нуклона  $1 < W^2 < 45 \text{ ГэВ}^2$ , тем самым перекрыв области как резонансного, так и глубоко-неупругого (ГНР) рассеяния (см. рис. 1). Эти данные

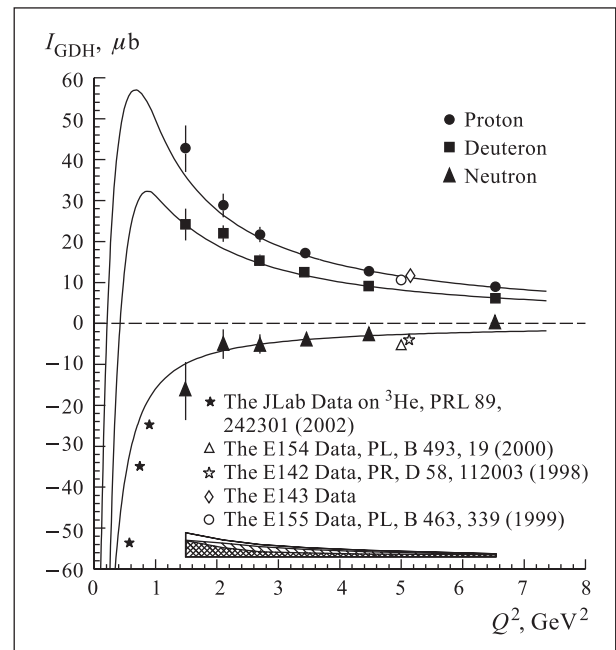


Рис. 1.  $Q^2$ -зависимость обобщенного интеграла ГДХ, вычисленного по полной области значений  $W^2$  для дейтрона (квадраты), протона (кружки) и нейтрона (треугольники). Результаты для нейтрона получены из данных для дейтрона и протона. Кривые показывают предсказания для различных мишеней в соответствии с моделью Шюффера–Теряева. Ошибки экспериментальных точек соответствуют статистическим неопределенностям. Полосы внизу показывают систематические неопределенности (без штриховки — для нейтрона, с наклонной штриховкой — для дейтрона, со штриховкой крест-накрест — для протона). Светлыми символами обозначены результаты измерений в других экспериментах

дали возможность изучить  $Q^2$ -зависимость полного интеграла ГДХ, чувствительного как к  $Q^2$ -эволюции резонансных формфакторов, так и к вкладам высших твистов. Обнаружено быстрое возрастание вклада резонансной области с убыванием  $Q^2$ , при том что вклад ГНР остается значительным вплоть до наи-

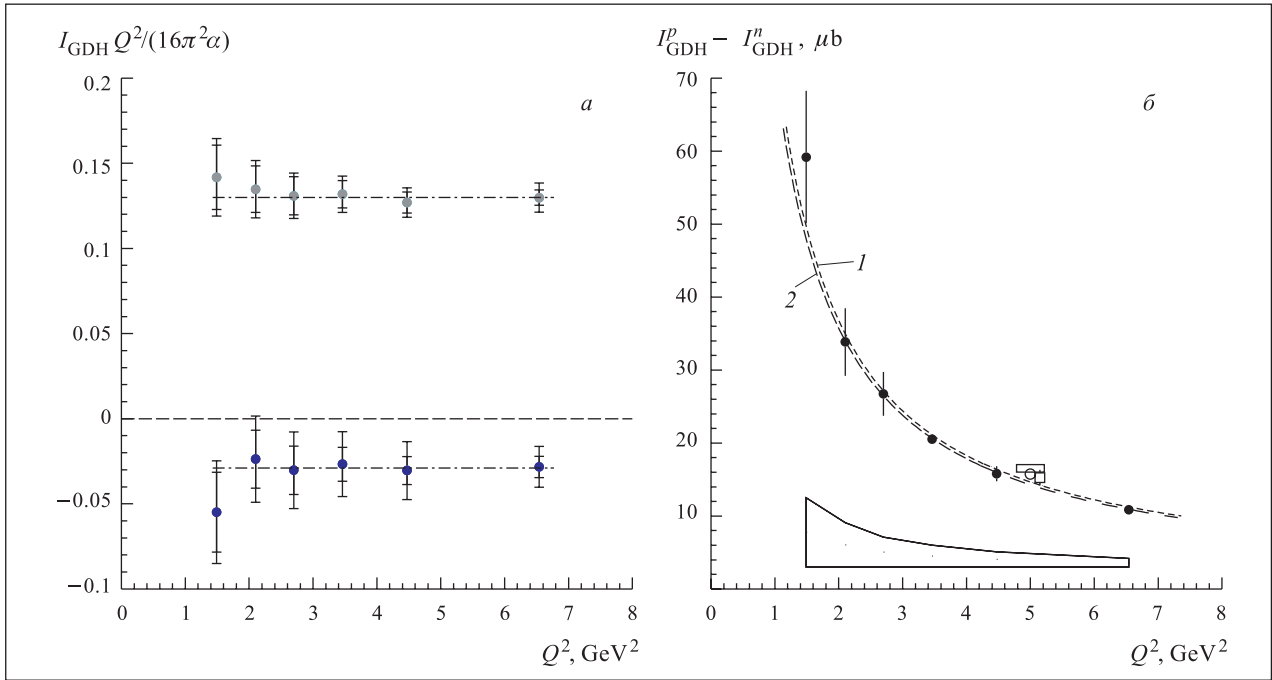


Рис. 2. а)  $Q^2$ -зависимость обобщенного интеграла ГДХ для протона (кружки сверху) и нейтрона (кружки внизу) после учета зависимости лидирующих твистов. Штрихпунктирные линии показывают результаты фитирования данных прямой линией. б)  $Q^2$ -зависимость обобщенного интеграла ГДХ для разницы протон–нейтрон. Кривая 1 показывает результат фитирования данных с помощью простой  $1/Q^2$ -зависимости. Кроме того, показаны данные экспериментов в SLAC и ЦЕРН (светлые символы), а также теоретические предсказания (кривая 2)

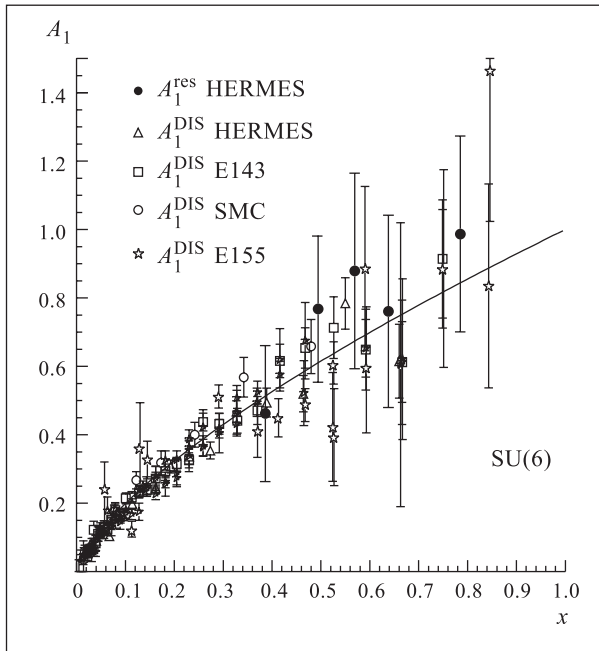


Рис. 3. Спиновая асимметрия  $A_1$  как функция  $x$ , измеренная в резонансной области (темные кружки). Ошибки экспериментальных точек соответствуют статистическим неопределенностям, систематические неопределенности данных в резонансной области составляют около 16%. Светлые символы — предыдущие результаты, полученные в области ГНР. Кривая показывает результат фитирования данных ГНР при  $x > 0,3$

меньших измеренных значений  $Q^2$ . Данные при больших  $Q^2$ , показанные на рис. 2, согласуются с результатами измерений первого момента структурной функции  $g_1$ .

Данные по спинзависимому лептон-нуклонному рассеянию были использованы для исследования применимости концепции кварк-адронной дуальности и спиновой асимметрии  $A_1$ , показанной на рис. 3 [7]. Продольно-поляризованные позитроны рассеивались на продольно-поляризованной водородной мишени при  $1,2 < Q^2 < 12$  ГэВ<sup>2</sup> и  $1 < W^2 < 4$  ГэВ<sup>2</sup>. Средняя двойная спиновая асимметрия в области нуклонных резонансов согласуется с асимметрией, измеренной в ГНР при тех же значениях бьеркеновской скейлинговой переменной  $x$ .

ЛФЧ участвует в модернизации детектора **H1**, предназначенного для исследования процессов ГНР на  $e^-p$ -коллайдере HERA, DESY, прежде всего в изготовлении, монтаже, запуске, а также в поддержке программного обеспечения трех наиболее важных подсистем: спектрометра впередлетящих протонов, пропорциональных камер для частиц, летящих назад, и plug-детектора.

В эксперименте H1 измерены дифференциальные сечения инклюзивных  $e^-p$ - и  $e^+p$ -взаимодействий для процессов ГНР в заряженном и нейтральном токах в области значений квадрата переданного

4-импульса  $150 < Q^2 < 30000 \text{ ГэВ}^2$  и бьеркеновской переменной  $0,0032 < x < 0,65$  [8]. Измерение  $d\sigma/dQ^2$  для  $e^-p$ -взаимодействий в нейтральном токе показывает явный рост дифференциального сечения при больших  $Q^2$  по отношению к позитронному сечению, что согласуется с ожидаемым в СМ вкладом нарушающего четность  $Z^0$ -обмена. При больших  $Q^2$  сечение в заряженном токе для рассеяния электрона оказалось почти на порядок больше, чем для позитронного рассеяния, из-за связи  $W$ -бозона с кварками различного аромата. При малых  $Q^2$  сечения в нейтральном токе почти в 1000 раз превышают сечения в заряженном токе, так как последние оказываются подавленными пропагаторным членом, зависящим от  $M_W^2$  (см. рис. 4). При максимальных значениях  $Q^2 \sim M_Z^2, M_W^2$  сечения в нейтральном и заряженном токах сближаются по величине в соответствии с ожидаемым в СМ электрослабым объединением.

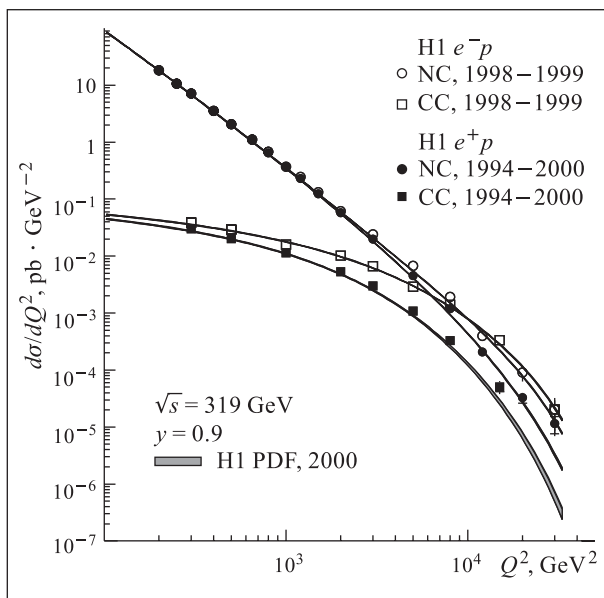


Рис. 4. Дифференциальные сечения инклюзивных  $e^-p$ - и  $e^+p$ -взаимодействий для процессов в нейтральном (NC) и заряженном (CC) токах, измеренные в рамках эксперимента H1 на ускорителе HERA

В соответствии с обязательствами ОИЯИ Лаборатория физики частиц участвует в эксплуатации внешнего трека детектора **HERA-B** — широкоапертурного спектрометра, созданного для изучения столкновений протонов с энергией 920 ГэВ с ядрами проволочной мишени, расположенной в гало протонного пучка HERA. Дубненская группа внесла значительный вклад в облучение внешнего трека в течение сеансов 2002–2003 гг., а также в исследования работоспособности детектора и идентификацию частиц [9, 10]. В 2003 г. был полностью завершен набор данных на установке HERA-B, и дубненские специалисты полностью сконцентрировались на физическом анализе данных.

Ученые ОИЯИ участвуют в изучении  $A$ -зависимости рождения  $J/\psi$ -резонанса с помощью регистрации распадного канала  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ . Эта задача является одним из пунктов первого приоритета программы исследований на установке HERA-B. Различные алгоритмы построения спектров инвариантных  $e^+e^-$ -масс, фитирования  $J/\psi$ -сигнала и его поведение для разных сеансов облучения и мишеней (углерод и вольфрам) были исследованы в разных интервалах фейнмановской переменной  $x_F$ . Дубненская группа внесла значительный вклад в отладку процедуры моделирования триггерной системы. Специальные исследования были посвящены выделению сигнала от распада  $\chi_c \rightarrow J/\psi\gamma$ .

С помощью моделирования методом Монте-Карло выполнено детальное исследование асимметрии  $B\bar{B}$ -рождения в  $pp$ - и  $pn$ -взаимодействиях при энергиях эксперимента HERA-B [11]. Для изучения этой асимметрии, вызванной на стадии фрагментации  $b$ - и  $\bar{b}$ -кварков эффектами асимметрии пучковых остатков, было предложено выделять сигнал от  $B$ -мезонов с помощью отбора пар лептонов одинакового знака  $l^\pm l^\pm$ , которые возникают в результате двойных полулептонных  $B$ -распадов. Эти исследования стимулировали поиск зарядовой асимметрии лептонных пар в анализе реальных данных с установки HERA-B.

Эксперимент **ЭКСЧАРМ** на серпуховском ускорителе нацелен на изучение рождения очарованных и странных частиц, а также на поиск узких барионных резонансов во взаимодействиях нейтронов с энергией 20–70 ГэВ с углеродной мишенью. Получен акцептанс распадов  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^0$  для экспериментальной установки ЭКСЧАРМ [12]. Показано, что дифракционная модель рождения  $\Lambda_c^+$ -гиперонов приводит к значительно большему акцептансу, чем модель, основанная на слиянии партонов  $q\bar{q} \rightarrow c\bar{c}$ ,  $g\bar{g} \rightarrow c\bar{c}$  и рекомбинации валентных  $u$ - и  $d$ -кварков с морскими  $s$ -кварками.

Завершено изучение ассоциативного рождения  $\phi$ -мезона и  $\Lambda^0$ -гиперона [13]. Измерено инклюзивное сечение ассоциативного рождения  $\phi\Lambda^0$ -пар:  $\sigma_C(\phi\Lambda^0) = (614 \pm 35(\text{стат.}) \pm 67(\text{сист.})) \text{ мкб/ядро}$ . Продолжается исследование ассоциативного рождения  $\phi$ - и  $K_S^0$ -мезонов.

Получены новые данные по рождению коррелированных пар  $\Lambda^0$ -гиперонов [14] и предварительные результаты по интерференционным корреляциям пионов [15] и нейтральных каонов [16].

Впервые исследованы двухчастичные корреляции систем  $\Lambda\Lambda$  и  $\Lambda\bar{\Lambda}$ , рождающихся в нейтрон-углеродных взаимодействиях при малых относительных импульсах. В рождении  $\Lambda^0$ -пар наблюдались деструктивные корреляции, которые отсутствуют в рождении  $\Lambda\bar{\Lambda}$ -пар. Это позволило сделать вывод, что деструктивные корреляции идентичных гиперонов являются следствием эффектов статистики Ферми–Дирака. В рамках параметризации Гольдхабера опре-

делен размер области рождения пар идентичных адронов.

Получены предварительные данные измерения параметра  $\alpha$ , характеризующего зависимость инклюзивного сечения рождения  $\Lambda^0$ -гиперонов от атомного веса ядра мишени ( $\sigma = \sigma^0 A^\alpha$ ) [17]:

$$\alpha(\text{C}-\text{Cu}) = 0,71 \pm 0,08, \quad \alpha(\text{C}-\text{W}) = 0,73 \pm 0,09, \\ \alpha(\text{Cu}-\text{W}) = 0,77 \pm 0,09.$$

Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическим предсказанием:  $\alpha = 2/3$ . В работе [18] опубликованы результаты по рождению антигиперонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях.

Специалисты ЛФЧ участвуют в создании малошумящего нейтринного детектора **BOREXINO**, расположенного в подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия). Запущен второй вариант прототипа детектора — Counting Test Facility (CTF). Во время тестовых измерений накоплены данные с 2200 фотоумножителей, которые будут использованы в будущем эксперименте BOREXINO. Для извлечения средних характеристик фотоумножителей предложен метод получения из экспериментальных данных функции плотности вероятности для счета одиночных фотоэлектронов [19].

Результаты фоновых измерений на CTF были использованы для получения ограничений на нестабильность связанных в ядре нуклонов по каналам распадов в невидимые состояния ( $\text{inv}$ ) [20]. Чрезвычайно низкий фон при большой массе (4,2 т) детектора CTF позволяет установить наиболее строгие на сегодняшний день экспериментальные границы:  $\tau(n \rightarrow \text{inv}) > 1,8 \cdot 10^{25}$  лет,  $\tau(p \rightarrow \text{inv}) > 1,1 \cdot 10^{26}$  лет,  $\tau(nn \rightarrow \text{inv}) > 4,9 \cdot 10^{25}$  лет и  $\tau(pp \rightarrow \text{inv}) > 5,0 \cdot 10^{25}$  лет (все оценки с уровнем достоверности 90 %).

Если в результате  $^8\text{B}$ -распадов в Солнце испускаются тяжелые нейтрино с массой  $m_{\nu_H} \geq 2m_e$ , то

в этом случае должны наблюдаться распады  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$ . Фоновые измерения на CTF позволили также получить ограничение на число таких распадов [21]. В результате для константы связи массивного нейтрино были установлены новые ограничения, более строгие, чем в других экспериментах с использованием ядерного реактора и ускорителей:  $|U_{eH}|^2 \leq 10^{-3} - 10^{-5}$  для  $m_{\nu_H} = 1 - 12$  МэВ.

Спектрометр общего назначения **COMPASS (NA-58)** предназначен для проведения в ЦЕРН серии экспериментов с пучками мюонов и адронов высоких энергий, в том числе нацеленных на изучение инклюзивного и полуинклюзивного ГНР мюонов на поляризованных мишенях, поиск в рождении  $\Lambda$ -гиперонов эффектов поляризации странного кваркового моря в нуклоне, а также определение кваркового и глюонного вкладов в спин нуклона.

В 2003 г. в эксперименте COMPASS продолжался регулярный набор данных, начатый в 2002 г. В течение этого времени дубненская группа обеспечивала стабильную работу детекторов, за которые ОИЯИ несет ответственность: адронного калориметра, мюонного детектора, многопроволочных пропорциональных и straw-камер. Физики ЛФЧ также участвовали в анализе данных. Получены первые предварительные результаты по поляризации  $\Lambda$ - и  $\bar{\Lambda}$ -гиперонов.

Ученые ЛФЧ принимают участие в экспериментах на детекторе **STAR** с  $4\pi$ -геометрией, расположенном на коллайдере RHIC в BNL (Брукхейвен). Научная деятельность группы ЛФЧ основывается на вкладе, внесенном ОИЯИ в создание первой половины центрального электромагнитного калориметра и развитие связанных с ним подсистем и программного обеспечения. Дубненская группа участвует в оценках инклюзивного выхода прямых фотонов, а также электронных и позитронных спектров в столкновениях Au–Au при энергии 200 ГэВ.

## ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В соответствии с обязательствами ОИЯИ по подготовке в ЦЕРН эксперимента **ATLAS** ЛФЧ участвует в создании жидкоаргонного адронного торцевого калориметра (LArHEC) и трекера на основе детекторов переходного излучения (TRT).

Обязательства ОИЯИ по созданию LArHEC для детектора ATLAS включают в себя производство передних модулей адронного калориметра, изучение на реакторе ИБР-2 в Дубне радиационных свойств используемых материалов и электроники, подготовку систем измерения температуры жидкого аргона, а

также разработку и серийное производство преформирователей, являющихся частью электроники считывания адронного калориметра. В 2003 г. была успешно завершена основная часть этих работ. Собраны последние два из четырех колес адронного калориметра. Чтобы сделать возможным комплексное изучение электромагнитного, адронного и переднего калориметров в 2004 г. на тестовом пучке в ЦЕРН, были собраны четыре специальных модуля адронного калориметра меньшего размера по сравнению со стандартным.

Для сборки TRT было подготовлено около 105 тыс. и 48 тыс. straw-трубок В- и С-типа соответственно. Для дальнейшей работы подготовлено 24 структуры детектора В-типа, а 6 четырехслойных детекторов этого типа уже полностью готовы и проверены [22]. Два восьмислойных детектора доставлены в ЦЕРН и испытаны.

Основные усилия ОИЯИ в проекте CMS сконцентрированы на разработке и создании торцевых детекторов, за которые ОИЯИ полностью отвечает в рамках RDMS коллаборации CMS: торцевого адронного калориметра (HE) и первой станции впередлетящих мюонов (ME1/1). ОИЯИ также участвует в работах по торцевому предливневому детектору (ES), разработке программы физических исследований и развитии компьютерной инфраструктуры и базового программного обеспечения CMS.

В ЦЕРН были завершены сборка и установка механики и мегатайлов второго торцевого адронного калориметра HE+1. Идут работы по установке на общих калориметрах радиоактивных источников. На пучках высоких энергий в ЦЕРН выполнена калибровка 20-градусного сектора HE.

В соответствии с графиком в Дубне продолжается производство стриповых камер с катодным считыванием (СККС) для ME1/1: произведено 76 СККС, 40 из них, полностью оснащенные электроникой, испытаны в Дубне и доставлены в ЦЕРН. Согласно графику идет массовое производство кремниевых радиационно стойких детекторов. Для сборки модулей детекторов подготовлен дубненский региональный центр. Часть серийных детекторов прошла испытания на радиационную стойкость [23]. В соответствии с графиком выполняются обязательства по изготовлению стриповых электродов для баррельных дрейфовых трубок: 1800 из 3300 электродов уже доставлены в ЦЕРН.

Участие сотрудников ОИЯИ в разработке физической программы исследований и программного обеспечения для CMS особенным образом акцентировано на области больших псевдобыстрот. Предложено изучение физики за пределами CM в процессах с димюонными парами в конечном состоянии с эффективными массами в области энергий порядка нескольких ТэВ [24]. Эта исследовательская программа включает в себя изучение рождения дополнительных калибровочных бозонов, горизонтальных калибровочных бозонов и хиггсовских бозонов с двойным зарядом, а также сигналов от формирования тяжелых гравитонных резонансов и других проявлений дополнительных размерностей. Моделирование рождения новых калибровочных бозонов подтвердило потенциальные возможности детектора CMS с точки зрения открытия  $Z'$ -бозона.

Дубненские ученые также внесли значительный вклад в следующие направления исследова-

ний физики в рамках CM: определение разности ширины распадов тяжелых и легких  $B_s^0$ -состояний,  $\Delta\Gamma_s$ , из анализа немеченых распадов  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  [25]; рождение и распады  $B_c$ -мезонов; рождение мюонных пар Дрелла–Яна; определение партонных структурных функций с помощью процессов « $\gamma + \text{jet}$ » и « $Z + \text{jet}$ »; реконструкция начальной кинематики партонов при больших  $Q^2$ ; физика при малых значениях бьеркеновской переменной  $x$ . Проведено исследование возможностей калибровки детектора с помощью процессов « $\gamma + \text{jet}$ » и « $Z + \text{jet}$ » [26].

Продолжается проверка и модификация пакетов программ CMSIM и ORCA для реконструкции мюонных треков в торцевых мюонных системах. Компьютерная группа участвует в разработке концепции регионального распределительного центра.

Эксперимент NIS на нуклотроне ОИЯИ нацелен на поиск эффектов скрытой поляризованной странности нуклонов, наиболее впечатляющим проявлением которой является сильное нарушение правила Окубо–Цвейга–Изуки (ОЦИ). Основная задача эксперимента — поиск нарушения правила ОЦИ в реакциях рождения  $\phi$ - и  $\omega$ -резонансов вблизи их порога в  $pp$ - и  $np$ -взаимодействиях при превышении энергии этих порогов на 30–100 МэВ.

В 2003 г. был подготовлен и оборудован газовой и высоковольтной системами испытательный стенд для пропорциональных камер размером  $2 \times 1$  м, взятых с установки ЭКСЧАРМ. Вспомогательное оборудование для испытания камер, их настройки и эксплуатации было доставлено из Протвино и установлено в технической зоне испытательного стенда. С помощью  $\beta$ -источников на испытательном стенде проверена работа камер и системы считывания данных вместе с соответствующим программным обеспечением в режиме on-line. Продвинутая версия программы моделирования эксперимента NIS была использована для оптимизации расположения спектрометра.

В 2003 г. на серпуховском ускорителе был начат новый проект «Термализация», целью которого является изучение многочастичного рождения в  $pp$ -взаимодействиях высокой множественности при энергии 70 ГэВ. В эксперименте используется модифицированный спектрометр с вершинным детектором (СВД). Ведется моделирование СВД, а также разрабатывается пакет программ для обработки данных. Сконструирована жидководородная мишень, и начато ее изготовление. Разработана и создается трековая система, основанная на дрейфовых трубках и содержащая 2400 каналов регистрации. Создан генератор событий высокой множественности, в основе которого лежит статическое описание термализованной адронной системы.

## УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Специалисты ЛФЧ участвуют в создании системы подавления поперечных колебаний пучка ЛНС. В соответствии со спецификациями и соглашениями по кикерам и усилителям в 2003 г. успешно продолжались работы по организации их серийного производства. В ЦЕРН были испытаны два вакуумных танка из предпромышленной серии. На основе параметров изготовленных систем инжекционного комплекса было проведено моделирование начальной динамики пучка ЛНС. Показано, что спроектированная и созданная специалистами ЛФЧ система способна компенсировать отклонения параметров реализованных устройств от проектных значений. При этом особый интерес представляют перспективные исследования возможностей предложенной каскадной схемы усилителя. В соответствии с графиком создания ЛНС идет встраивание оборудования системы подавления поперечных колебаний в системы туннеля ЛНС.

В течение 2003 г. группа по лазерам на свободных электронах (ЛСЭ) продолжала экспериментальные и теоретические исследования генераторов миллиметрового диапазона на основе мазера на свободных электронах (МСЭ) в качестве СВЧ-источника питания для линейного коллайдера CLIC в ЦЕРН. Разработана новая техника измерения размера волнового пучка и настройки линии транспортировки ВЧ-излучения в тестовый резонатор. С помощью этой техники выполнена оптимизация линии транспортировки. Величина достигнутой СВЧ-мощности на входе тестового резонатора составляла половину проектного значения. Для устранения пробойных явлений в линии транспортировки ВЧ-излучения были исследованы различные модификации выходного блока МСЭ как с помощью численного моделирования, так и экспериментально. Разработана и изготовлена новая конфигурация тестового резонатора. Разработаны и испытаны на прототипах системы стабилизации модулятора линейного ускорителя, форинжектора и магнитных линз.

## РАЗВИТИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В 2003 г. был существенно улучшен локальный вычислительный кластер ЛФЧ. Проложен и испытан оптоволоконный кабель для организации гигабитной локальной сети ОИЯИ. Опробуется беспроводной Ethernet. Полная мощность ПК-фермы ЛФЧ-ЛВЭ была увеличена в два раза: мощность CPU — до 2К

Основные направления, в которые физики ЛФЧ вносят значительный вклад в рамках проекта TESLA, — это ЛСЭ рентгеновского диапазона,  $\gamma\gamma$ -коллайдер, а также участие в экспериментах с ускорителем и ЛСЭ на тестовом ускорителе TESLA второй фазы (ТТФ-2) в DESY. В 2003 г. для ТТФ-2 в ОИЯИ были созданы модуль фотонной диагностики, оборудование для линии транспортировки фотонов, зеркальная камера для вывода синхротронного излучения. В настоящее время все это оборудование доставлено в DESY. Завершена разработка вигглера для накопительного кольца PETRA. Успешно завершен анализ накопленных данных по физике пучка и ЛСЭ, полученных на тестовом ускорителе TESLA первой фазы. Анализ подтвердил, что излучение ЛСЭ генерируется электронным пучком с пиковым током 3 кА. Показано, что на формирование пучка сильное влияние оказывают эффекты пространственного заряда [27]. Специалисты ОИЯИ приняли участие в теоретической и конструкторской работе по диагностическому модулю на базе ондулятора инфракрасного излучения [28]. Подробно рассматриваются перспективы расширения возможностей ЛСЭ на ТТФ: двухцветный усилитель ЛСЭ и удвоитель эффективной частоты [29].

В 2003 г. был подготовлен рабочий проект ускорителя LUE-200 в составе утверждаемой части общего проекта установки IREN. Проведены расчетно-теоретические исследования по оптимизации режимов работы ускоряющей и фокусирующей систем. Изготовлены основные модули, и начата установка несущих конструкций линейного ускорителя. На полномасштабном испытательном стенде проверяются ускорительные секции и части ВЧ-питания. Изготовлен и проходит испытания источник электронов — электронная пушка на 200 кВ. Произведена и испытана система питания модулятора электронной пушки. Изготовлено и проверено почти 50 % элементов фокусирующей системы и системы транспортировки пучка.

Si95, дисковое пространство — до 6 Тбайт. С помощью ПК-фермы ЛФЧ-ЛВЭ решаются основные задачи экспериментов NA-48, ЭКСЧАРМ, COMPASS, HERA-B. Внедрена технология видеоконференций, в настоящее время эффективно используемая в текущих экспериментах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lai A. et al.* Preprint CERN-EP-2003-006. Geneva, 2003.
2. *Lai A. et al.* Preprint CERN-EP/2003-052. Geneva, 2003.
3. *Lai A. et al.* // Phys. Lett. B. 2003. V. 556. P. 105.
4. *Lai A. et al.* // Ibid. V. 551. P. 7.
5. *Bartley J. R. et al.* // Ibid. V. 576. P. 43.
6. *Airapetian A. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2003. V. 26. P. 527.
7. *Airapetian A. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 90. P. 092002.
8. *Adloff C. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2003. V. 30. P. 1.
9. *Karpenko N., Spiridonov A.* HERA-B Note 03-019. Hamburg, 2003.
10. *Abyzov A. et al.* // Part. Nucl., Lett., 2003. No. 5[114]. P. 40.
11. *Belkov A., Ilitcheva T., Shulga S.* hep-ph/0310077.
12. *Emelianov D. D. (on behalf of the EXCHARM collab.)* // Proc. of the IV Russian Conf. «University of Russia — Fundamental Investigations. Particle and Nuclear Physics». М., 2003. P. 27.
13. *Алеев А. Н. и др.* Препринт ОИЯИ Р1-2003-167. Дубна, 2003.
14. *Алеев А. Н. и др.* Препринт ОИЯИ Р1-2003-191. Дубна, 2003.
15. *Eremin S. V. (on behalf of the EXCHARM collab.)* // Proc. of the IV Russian Conf. «University of Russia — Fundamental Investigations. Particle and Nuclear Physics». М., 2003. P. 29.
16. *Polenkevich I. A. (on behalf of the EXCHARM collab.)* // Ibid. P. 31.
17. *Shkarovsky S. N. (on behalf of the EXCHARM collab.)* // Ibid. P. 33.
18. *Aleev A. N. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2003. V. 27. P. 547.
19. *Smirnov O. Yu., Lombardi P., Ranucci G.* JINR Preprint E13-2003-93. Dubna, 2003.
20. *Back H. O. et al.* JINR Preprint E15-2003-92. Dubna, 2003.
21. *Back H. O. et al.* JINR Preprint E15-2003-119. Dubna, 2003.
22. *Golunov A. O. et al.* // Part. Nucl., Lett. 2003. No. 2[117], P. 46.
23. *Bloch Ph. et al.* CMS Note-2003/012-ECAL. Geneva, 2003.
24. *Golutvin I. et al.* hep-ph/0310336; Czech J. Phys. 2003. V. 53 (in press).
25. *Belkov A., Shulga S.* // Part. Nucl., Lett. 2003. No. 2[117]. P. 12; hep-ph/0301105;  
*Belkov A., Shulga S.* hep-ph/0310096; Comp. Phys. Commun. (in press).
26. *Konoplyanikov V., Urkinbaev A., Kodolova O.* CMS IN-2003/013; CMS IN-2003/036. Geneva, 2003.
27. *Ischebeck R. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 507. P. 175;  
*Faatz B. et al.* // Ibid. P. 350;  
*Ayvazyan V. et al.* // Ibid. P. 368.
28. *Geloni G. et al.* DESY Preprint 03-031. Hamburg, 2003.
29. *Saldin E. L., Schneidmiller E. A., Yurkov M. V.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 507. P. 101; 106; 439;  
*Brefeld W. et al.* // Ibid. P. 431;  
*Feldhaus J. et al.* // Ibid. P. 435;  
*Feldhaus J. et al.* // Ibid. P. 510;  
*Saldin E. L., Schneidmiller E. A., Yurkov M. V.* // Opt. Commun. 2003. V. 221. P. 403;  
*Botman J. et al.* DESY Preprint 03-044. Hamburg, 2003;  
*Feldhaus J. et al.* DESY Preprint 03-091. Hamburg, 2003;  
*Feldhaus J. et al.* DESY Preprint 03-092. Hamburg, 2003;  
*Saldin E. L., Schneidmiller E. A., Yurkov M. V.* DESY Preprint 03-108. Hamburg, 2003.