

Лаборатория успешно решает свои основные задачи: проведение текущих экспериментов на уже существующих установках, подготовка новых экспериментов, разработка соответствующих приборов и развитие методик измерений характеристик частиц и их взаимодействий, разработка методов и систем ускорения частиц до высоких энергий. Работы по этим направлениям, рассчитанные на длительную перспективу, опираются на сотрудничество с такими ведущими научными центрами, как ЦЕРН, DESY, ИФВЭ (Протвино), BNL, Подземная лаборатория в Гран-Сассо – INFN.

Полное число проектов, выполняемых лабораторией или с участием сотрудников лаборатории, – 22. Среди них 14 – это эксперименты по физике частиц и ядерной физике: CMS, ATLAS, NA48, COMPASS, HERMES, H1, HERA-B, STAR, NIS, EXCHARM, BOREXINO, ТЕРМАЛИЗАЦИЯ, СИНГЛЕТ, ДЕЛЬТА-СИГМА. Пять проектов – это создание систем ускорителей LHC, TESLA, CLIC, IREN и др., два проекта по прикладным исследованиям и один – по развитию информационных технологий.

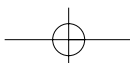
Деятельность лаборатории в основном развивается в рамках международного научно-технического сотрудничества. Программа исследований строится при учете интересов стран-участниц Института. Используя инфраструктуру и ресурсы ОИЯИ и ЛФЧ, они могут участвовать в крупных проектах с оптимальным и эффективным вложением своих сил. Лаборатория концентрирует усилия на наиболее актуальных направлениях и поддерживает проекты, решающие наиболее фундаментальные проблемы. Лаборатория выполняет НИР и участвует в создании наиболее перспективных детекторов и ускорительных систем и технологий, где у нее есть опыт и общепризнанный международный авторитет. Результаты, достигнутые лабораторией, широко известны и высоко оценены международным научным сообществом.

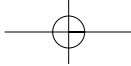
## 2. Основные результаты исследований по физике частиц

Международное сотрудничество через ОИЯИ с ИФВЭ (Протвино) ярко проявилось в экспериментах МИС, ЭКСЧАРМ и КМН на ускорителе У-70. В настоящее время на ускорителе У-70 ведутся работы по проекту ТЕРМАЛИЗАЦИЯ.

### *Проект МИС (руководитель А.А.Тяпкин)*

По предложению польских физиков во главе с профессором Р.Сосновским в ОИЯИ под руководством профессора А.А.Тяпкина в 1973 году был создан высокоточный пьезометровый магнитный искровой спектрометр (МИС–ОИЯИ) для проведения экспериментов на ускорителе У-70. В то время это была самая крупная установка ОИЯИ в ИФВЭ. С помощью установки МИС–ОИЯИ на пучках пионов и каонов с импульсом 25 и 40 ГэВ изучалось когерентное образование пионов и каонов на ядрах и выяснялось существование бозонных резонансов. Этот эксперимент выполнялся как пятый совместный эксперимент по плану сотрудничества ГКИАЭ СССР и ЦЕРН. Следует подчеркнуть, что это был первый совместный эксперимент ОИЯИ–ЦЕРН и выполнялся он на советском ускорителе. В этом эксперименте принимали участие ученые из Вены, Братиславы, Болоньи, Варшавы, Дубны, Милана и Хельсинки.



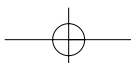


На установке МИС был получен обширный экспериментальный материал для исследования когерентного образования бозонных систем на ядрах и других интересных процессов. Важным методическим достижением явилось использование так называемой «живой» кремниевой мишени для измерения энергии ядер отдачи, а также впервые в мире — многопроволочных пропорциональных камер для выработки триггера по множественности для искровых камер. Проведенный парциально-волновой анализ данных по когерентному образованию трехпионных систем позволил доказать резонансную природу  $A_1$ - и  $A_3$ -мезонов, а также открыть два новых радиально-возбужденных состояния пиона. Одно из этих состояний с массой  $(1240 \pm 30)$  МэВ и шириной  $(360 \pm 120)$  МэВ было подтверждено спустя два года в эксперименте, выполненном при энергии 200 ГэВ на тэватроне в Батавии, а второе — с массой  $(1770 \pm 30)$  МэВ и шириной  $(310 \pm 50)$  МэВ — через 11 лет в другом эксперименте в ИФВЭ. Эти состояния, интерпретируемые как радиальные возбуждения пиона, напрямую свидетельствуют о его кварковой структуре. Несколько лет тому назад при анализе трехпионных событий в интервале масс 600–900 МэВ было получено указание на существование еще одного возбужденного состояния пиона с массой 750 МэВ. В настоящее время проводится анализ на существенно большем количестве трехпионных событий, набранных в течение 1984–1990 годов на установке МИС-2. Таким образом, исследованиями на установке МИС-ОИЯИ было обосновано новое направление по изучению спектроскопии радиально-возбужденных систем из легких и странных кварков. Результаты, полученные на МИС, докладывались на многих международных конференциях, в том числе и пяти Рочестерских конференциях, а также опубликованы в 47 научных работах.

***Проект ЭКСЧАРМ (руководитель В.Д.Кекелидзе)***

Эксперимент ЭКСЧАРМ нацелен на исследование характеристик инклюзивного рождения очарованных и странных частиц и на поиск узких барионных резонансов в нейтрон-нуклонных взаимодействиях на ускорителе У-70 ИФВЭ. С этой целью в Протвино создана специальная экспериментальная зона, включающая в себя канал нейтронов, здание с соответствующей инфраструктурой и установку ЭКСЧАРМ. Работы по эксперименту начаты в 1990 году и проводились международным сотрудничеством: Дубна—Алма-Ата—Бухарест—Минск—Москва—Пловдив—Прага—София—Серпухов—Тбилиси. Эксперимент продолжил исследования, начатые ранее на установках БИС, БИС-2 и ЧАРМ. Первые данные получены в 1992 году. Установка ЭКСЧАРМ предназначена для регистрации событий в переднем конусе, ограниченном, в основном, апертурой магнита. Она включает следующие компоненты:

- магнитный спектрометр, включающий 11 пропорциональных камер (ПК);
- систему идентификации частиц, включающую два пороговых черенковских газовых счетчика;
- триггерную систему, включающую ПК и два годоскопа сцинтилляционных счетчиков;
- систему управления мишенью, позволяющую использовать набор различных мишеней.



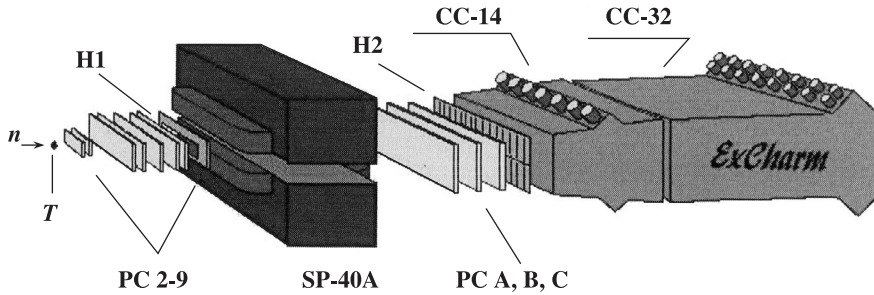


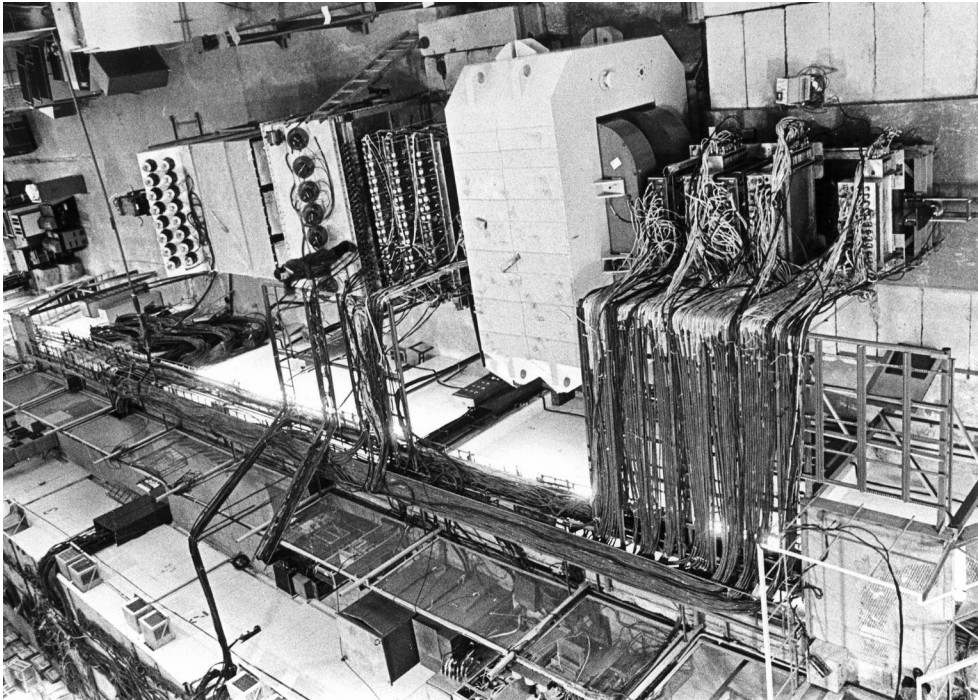
Схема установки EXCHARM:

T — мишень; PC — пропорциональные камеры; CC — черенковские счетчики; H1, H2 — сцинтилляционные годоскопы; SP-40A — спектрометрический магнит

За время экспозиции установки до 1998 года проведено 15 сеансов. Набрано более  $6 \cdot 10^8$  событий.

Перечислим коротко полученные физические результаты.

Измерена масса  $\Sigma_c^0$  и отношение парциальных вероятностей распадов  $\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow p \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-) / \Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-)$ , характеристики рождения и распада гиперонов, антигиперонов, странных мезонов, парного и ассоциативного рождения  $\phi$ -мезонов. Измерена поляризация  $\Lambda$ -гиперона, исследованы поляризационные эффекты в рождении странных векторных мезонов, изучены интерференционные корреляции в



Установка ЭКСЧАРМ

парном рождении  $\Lambda^0$ -гиперонов и бозонов. Определены сечения инклюзивного рождения  $\Omega^-$  и  $\bar{\Omega}^+$ .

Продолжаются работы по анализу данных при участии физиков Болгарии, Грузии Казахстана и России. Опыт сотрудничества востребован и развит в экспериментах NA48 и H1. Результаты опубликованы в 38 работах, защищены одна докторская, пять кандидатских диссертаций и более 10 дипломных работ.

**Проект КМН** (руководитель от ОИЯИ И.А.Савин)

С 1986 по 1996 год специалисты ЛФЧ принимали активное участие в подготовке и проведении экспериментов на Комплексе меченых нейтрино, КМН, в ИФВЭ (Протвино).

Через ОИЯИ в это сотрудничество также вошли болгарские, немецкие и чешские специалисты. Совместно с физиками из Протвино и Цойтена (Германия) специалистами ОИЯИ был внесен определяющий вклад в создание мюонной системы на основе дрейфовых трубок, а также в разработку физической программы исследования каонных распадов с помощью станции мечения КМН. Научную важность этих работ подчеркивает тот факт, что даже после объединения Германии из всех прежних сотрудничеств с ОИЯИ дирекция DESY, куда бывший институт в Цойтене вошел на правах филиала, поддержала участие немецких физиков только в каонном эксперименте на КМН. По результатам, составившим основу предложения по поиску зарядовой  $CP$ -асимметрии в каонных распадах, были защищены две кандидатские диссертации, причем одна из них – в Германии. Результаты этих работ неоднократно докладывались на международных конференциях, в том числе на Рочестерской конференции в Варшаве в 1996 году.



Дрейфовые трубки для мюонного спектрометра

**Проект ТЕРМАЛИЗАЦИЯ** (руководитель от ОИЯИ В.А.Никитин)

Цель эксперимента состоит в исследовании коллективного поведения вторичных частиц, образованных в многочастичном  $pp$ -взаимодействии при энергии пучка протонов 70 ГэВ. Предполагается исследовать область высокой множественности  $n = 20\div 50$ . У порога реакции  $pN \rightarrow \pi + 2N$ , где  $n = 69$ , все частицы имеют малый относительный импульс, и в термализованном плотном и холодном адронном газе вследствие многобозонной интерференции может возникнуть ряд коллективных эффектов в поведении вторичных частиц. Так, ожидается увеличение парциального сечения рождения  $n$  тождественных частиц по сравнению с общепринятыми экстраполяциями, а также увеличение выхода прямых фотонов в результате тормозного излучения в партонном каскаде и аннигиляции  $\pi^+ + \pi^- \rightarrow n\gamma$  в плотном и холодном пионном газе. Кроме того, возможно формирование струй, состоящих из тождественных частиц, и образование многопионного (десять и более пионов) связанного состояния, которое в процессе формирования излучает мягкие фотоны.

В области высокой множественности ( $n \geq 30$ ) большая часть энергии в с.ц.м. материализуется, что ведет к высокой плотности адронной системы. В этих условиях может образоваться пионный конденсат или произойти фазовый переход в кварк-глюонную плазму. Поэтому в эксперименте также планируется поиск сигналов образования кварк-глюонной плазмы: большой перемержаемости частиц в фазовом пространстве, увеличенного выхода прямых фотонов и др.

Физическая программа исследований определяет параметры установки, которая должна детектировать с высокой эффективностью события с множественностью от 20 до 40 заряженных частиц и до 100 фотонов, с нижним порогом регистрации последних около 50 МэВ. Триггерная система отбирает редкие события с указанной большой множественностью, обеспечивая коэффициент подавления событий с низкой множественностью  $n < 20$  на уровне  $10^4$ . Магнитный спектрометр должен иметь разрешение  $\Delta p/p$  около 1,5% в интервале импульсов от 0,3 до 5,0 ГэВ/с.

Эксперимент выполняется на действующей в настоящее время на У-70 установке СВД – Спектрометр с вершинным детектором. Она создана для исследования рождения и распада очарованных частиц, но имеет основные компоненты, необходимые для выполнения физической программы проекта «Термализация». Модернизированная установка СВД включает в себя следующие основные элементы: ядерные мишени, жидководородную мишень, вершинный детектор на базе полосковых кремниевых счетчиков, электромагнитный калориметр, пороговый черенковский счетчик, магнитный спектрометр, систему триггера для регистрации редких событий с высокой множественностью.

За период 1999–2003 годов на установке СВД было записано  $50 \times 10^6$  событий взаимодействия протонов с ядрами C, Si, Cu, Pb. В 2004 году в этих данных в спектре инвариантной массы системы  $pK_s$  был найден пик, указывающий на резонанс с массой  $1526 \pm 3 \pm 3$  МэВ/ $c^2$  и шириной не больше, чем 24 МэВ/ $c^2$ , которые соответствуют  $\theta^+$ -бариону с положительной странностью, предсказанному как экзотический барион, состоящий из пяти кварков  $uudds$  – пентакварк. Полное сечение образования  $\theta^+$ -бариона в  $pN$ -взаимодействиях оценено как  $30\div 120$  мкб.

Сотрудничество ТЕРМАЛИЗАЦИЯ включает организации НИИЯФ МГУ, ОИЯИ, ИФВЭ, ФИАН, Гомельский университет (Беларусь), Тбилисский университет (Грузия).

Опубликованы пять статей.

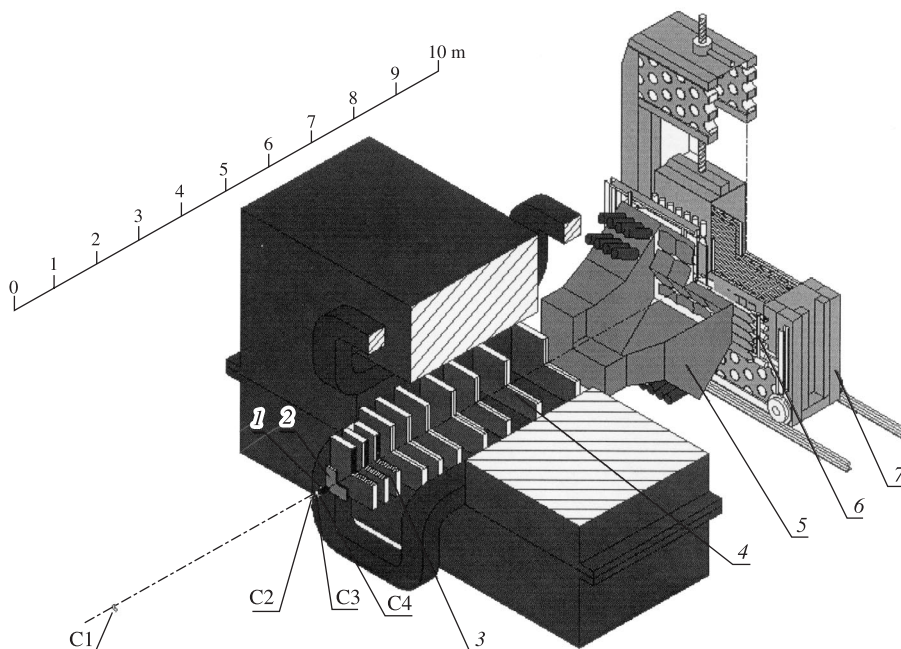


Схема установки СВД на ускорителе У-70:

- C1, C2 — пучковые сцинтилляционные и кремниевые годоскопы;  
 C3, C4 — мишенная станция и кремниевый вершинный детектор;  
 1, 2, 3 — трекер на дрейфовых трубках; 4 — пропорциональные камеры магнитного спектрометра; 5 — пороговый черенковский счетчик; 6 — сцинтилляционный годоскоп;  
 7 — электромагнитный калориметр

Сотрудничество с ЦЕРНом состоит в участии ОИЯИ в экспериментах на ускорителе SPS (NA4, SMC (NA47), WA98, NA48/1, NA48/2, COMPASS) и подготовке новых экспериментальных установок (CMS, ATLAS) на создаваемом коллайдере LHC.

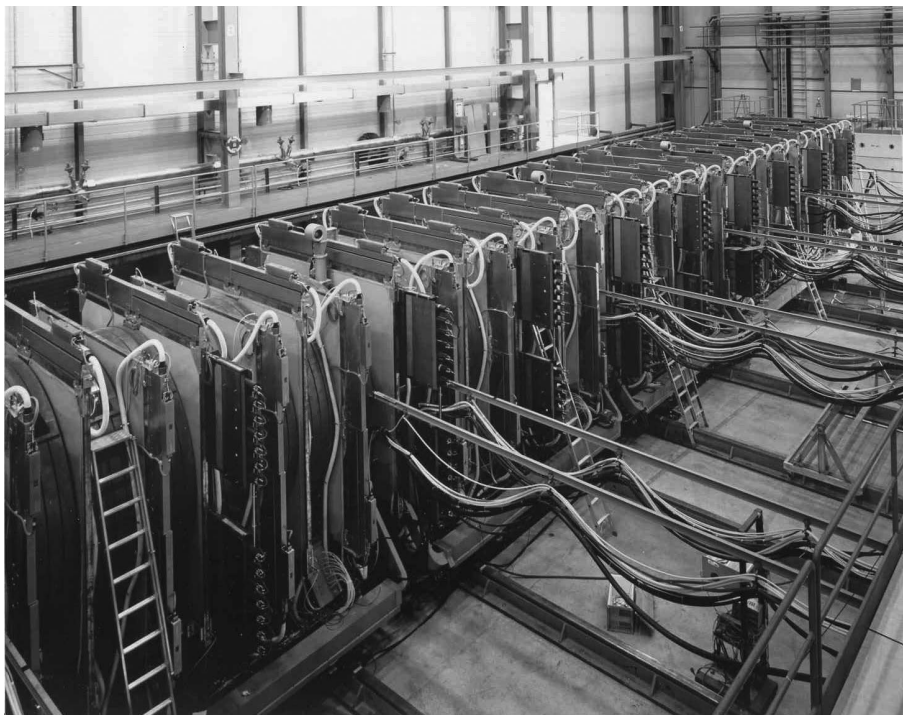
#### **Проект NA4 (руководитель И.А.Савин)**

Исследования в области физики глубоконеупругого рассеяния (ГНР) мюонов с целью изучения внутренней кварковой структуры нуклона (протона и нейтрона) являются основой успешного сотрудничества ОИЯИ и ЦЕРН в течение последних 30 лет. Начало этому сотрудничеству было положено в 1974 году, когда Институт был принят в первый совместный крупномасштабный эксперимент NA4 (коллорабация Болонья–ЦЕРН–Дубна–Мюнхен–Сакле) (BCDMS). Со стороны ОИЯИ экспериментом руководили профессора И.А.Савин и И.А.Голутвин. ОИЯИ внес большой вклад в этот эксперимент – в Дубне был изготовлен сердечник 50-метрового магнита и 80 пропорциональных камер размером  $1,5 \times 3,0 \text{ м}^2$ . Финансовый вклад ОИЯИ составлял 33% от полной стоимости созданной установки.

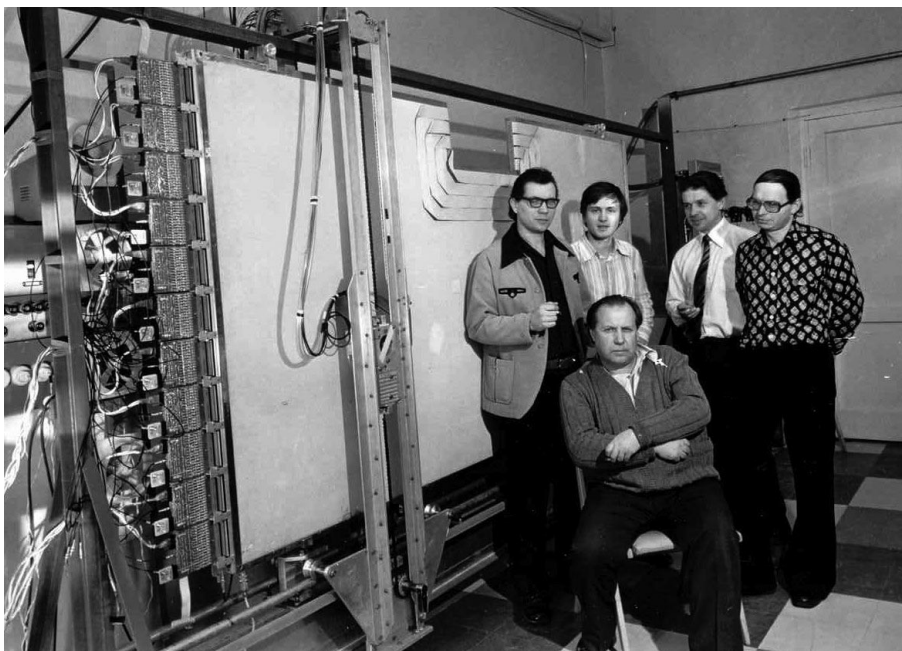
Физическая программа исследований глубоконеупругого рассеяния мюонов и нейтрино стала одним из главных разделов всех экспериментов, которые велись и ве-

дуются в ЦЕРН с 1976 года. Подготовка и проведение эксперимента, включая завершение обработки данных, охватили период с 1976 по 1990 год. Главной задачей эксперимента NA4 было исследование ГНР мюонов в широкой области кинематической переменной Бьеркена  $x$  (до  $x \geq 1$ ) и максимально большими значениями квадрата переданного четырехимпульса ( $Q^2 \sim 300 \text{ ГэВ}^2$ ). Огромная длина мишени (40 м) позволила выполнить эти исследования с высокой статистической точностью ( $\sim 1,5\%$ ) на протонной, дейтериевой и углеродной мишенях, а также изучить ядерные эффекты в ГНР и получить уникальные данные по измерению эффектов электрослабой ( $\gamma$ - $Z$ ) интерференции в ГНР мюонов на углеродной мишени, которые практически анонсировали существование  $Z$ -бозона за два года до прямого открытия этой фундаментальной частицы – переносчика слабого взаимодействия. Следует отметить, что в эксперименты по изучению ядерных эффектов в структурных функциях нуклонов и эффектов электрослабой интерференции в ГНР мюонов сотрудники ОИЯИ внесли определяющий вклад, начиная от разработки физического предложения до получения результатов. Модернизация установки для проведения этих экспериментов – создание переднего мюонного спектрометра для регистрации событий с малыми переданными импульсами – была выполнена также при определяющем вкладе сотрудников ОИЯИ. Координацию этих работ в рамках коллаборации осуществлял профессор И.А.Голутвин.

Полученные в NA4 (BCDMS) эксперименте данные по структурным функциям на протонной, дейтронной и углеродной мишенях стимулировали разработку и созда-



Общий вид мюонного спектрометра установки NA4



Сотрудники научно-методического отделения ЛФЧ — создатели больших пропорциональных камер установки NA4

ние программ анализа этих данных с целью проверки квантовой хромодинамики. Анализ этих данных при большом вкладе физиков ОИЯИ позволил выполнить проверку пертурбативной КХД с точностью несколько процентов для эволюции структурных функций и получить значение константы сильных взаимодействий  $\alpha_s$  с рекордной точностью. Результаты коллаборации VCDMS вошли в мировую базу данных по физике высоких энергий и имеют один из самых высоких индексов цитирования (к 2002 году число ссылок на публикации с результатами VCDMS достигло 2150). По результатам, полученным VCDMS коллаборацией, в научных изданиях опубликованы 96 работ. Участие ОИЯИ в первом крупномасштабном совместном эксперименте NA4 укрепило научный авторитет Института и открыло дорогу для работ в других международных экспериментах в ЦЕРН, DESY, Fermilab и BNL. Впервые была доказана возможность участия ОИЯИ в международном разделении труда по созданию крупных экспериментальных установок. В результате проведения эксперимента в ОИЯИ было открыто новое научное направление — исследование кварковой структуры нуклона, которое развивается и продолжается до настоящего времени (эксперименты HERMES (DESY) и COMPASS (CERN)). Была разработана передовая технология создания и массового производства современных детекторов; внедрены современные средства обработки экспериментальных данных; разработаны новые теоретические методы.

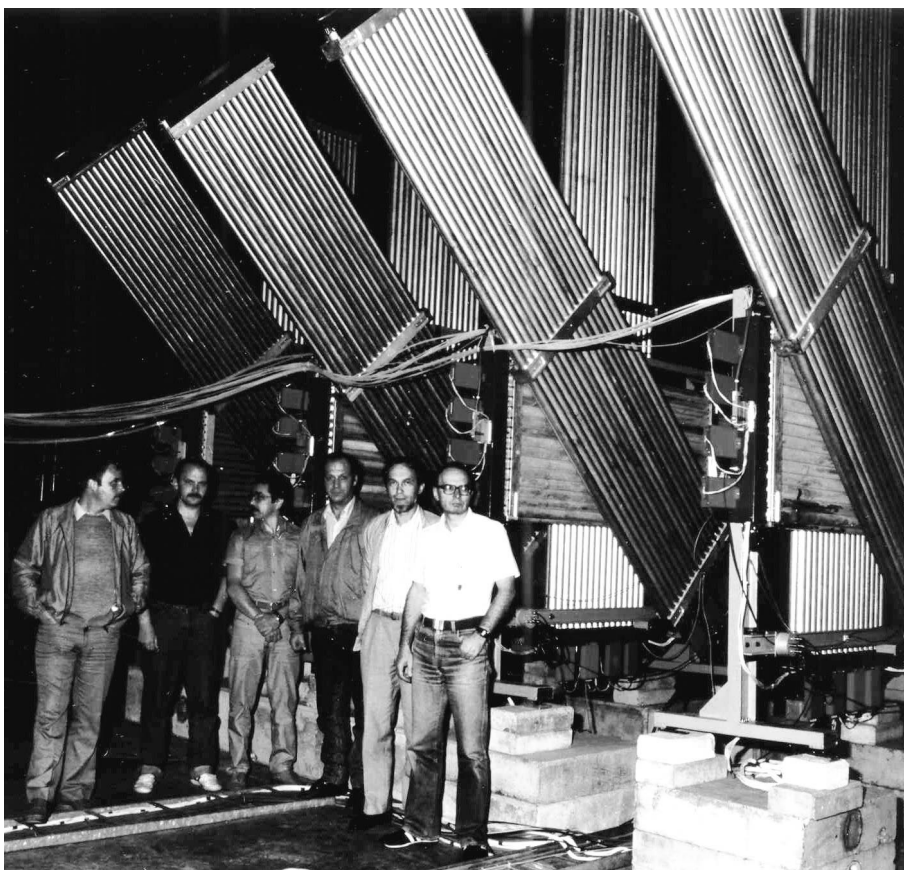
Работа в эксперименте NA4 стала хорошей школой подготовки научно-технических кадров высшей международной квалификации. Более 80 сотрудников ОИЯИ,



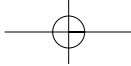
включая 20 из стран-участниц, приобрели опыт работы в крупном международном эксперименте. По материалам и результатам VCDMS было защищено четыре докторских и одна кандидатская диссертации.

*Проект NA47 (руководитель И.А.Савин)*

Исследования структуры нуклонов, начатые коллаборацией VCDMS в эксперименте NA4, были продолжены физиками ОИЯИ в 1988–1995 годах в рамках другого эксперимента NA47 в составе так называемой Спиновой мюонной коллаборации (SMC). Основная задача этого эксперимента состояла в определении вклада кварков в спин поляризованных нуклонов и проверке фундаментальных правил сумм для зависящих от спина структурных функций нуклонов. Для спектрометра SMC физиками ЛФЧ была создана система дрейфовых камер, перекрывавшая площадь нескольких десятков квадратных метров. Физики ЛФЧ также приняли участие в создании и совершенствовании крупнейшей в мире поляризованной мишени. Начиная с 1991 года, коллаборация SMC регулярно представляла новые результаты на всех крупнейших международных конференциях. В результате было с высокой точностью установлено,



Группа сотрудников ЛФЧ — создателей дрейфовых камер спектрометра SMC



что вклад кварков в спин нуклонов не превышает 20%, нарушаются правила сумм Эллиса-Джаффе для зависящих от спина структурных функций протона и нейтрона, но при этом выполняется правило сумм Бьеркена для разности структурных функций протона и нейтрона. Эти результаты стимулировали постановку других экспериментов в ЦЕРН (COMPASS), в США (Fermilab) и в DESY (HERMES) с целью дальнейшего изучения спиновой структуры нуклонов. В эксперименте NA47 (SMC) приняло участие около 50 сотрудников ОИЯИ из разных стран-участниц. Было опубликовано более 30 научных работ, защищена одна докторская и две кандидатские диссертации.

**Проект WA98** (руководитель А.С.Водопьянов)

Задача эксперимента WA98 состояла в исследовании общих свойств взаимодействия ядер свинца при импульсе 158 А·ГэВ/с: поиск сигналов образования кварк-глюонной плазмы, определение параметров центрального файерболла — размера, времени эволюции и температуры, поиск эффектов кирального конденсата.

Группа ЛФЧ участвовала в подготовке и реализации проекта WA98 в период 1994–2002 годов. Эксперимент выполнялся на выведенном пучке ядер свинца на ускорителе SPS в ЦЕРН. В сотрудничество входили 20 организаций из Европы, США, России, Японии. Наиболее активные связи группа ЛФЧ имела с группой Женевского университета. Обязательства группы ЛФЧ состояли в создании сцинтилляционного годоскопа на 500 каналов регистрации времени пролета вторичных частиц. Получена точность измерения времени пролета 120 пс, что является лучшим результатом в данном классе приборов. Годоскоп входил в систему идентификации частиц. Поставленная методическая задача была успешно решена. Группа также участвует в обработке данных и публикации результатов.

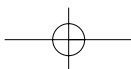
Наиболее важные физические результаты состоят в следующем.

Проверена гипотеза о киральном конденсате, признаками которого являются увеличенный выход нейтральных пионов и увеличенная дисперсия выхода нейтральных и заряженных частиц. Измерен выход нейтральных пионов как функция множественности вторичных частиц. Признаки кирального конденсата не обнаружены. Впервые в ядерных взаимодействиях измерен выход прямых фотонов и наблюдается их парная корреляция, уточнены модели ядерных взаимодействий. Измерены спектры  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов и уточнены параметры области файерболла — размер и температура.

По результатам эксперимента опубликованы 22 статьи.

**Проекты NA48, NA48/1, NA48/2** (руководитель В.Д.Кекелидзе)

Установка NA48 создана при значительном материальном и творческом вкладе ученых ЛФЧ ОИЯИ на всех этапах подготовки и проведения эксперимента. При этом использованы высокие технологии, иногда недоступные в странах-участницах ЦЕРН. Так, было произведено и поставлено в ЦЕРН около 23 тонн криптона. Объем газа соизмерим с мировым его производством, а качество и чистота не имели аналогов в мире. Для производства этой партии сверхчистого криптона совместно с Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники (НИКИЭТ) был построен перерабатывающий завод под Екатеринбургом, основанный на уникальных технологиях. Сотрудники ОИЯИ внесли определяющий вклад в организа-

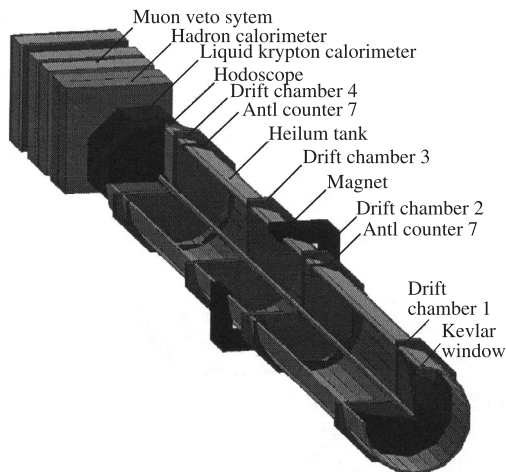
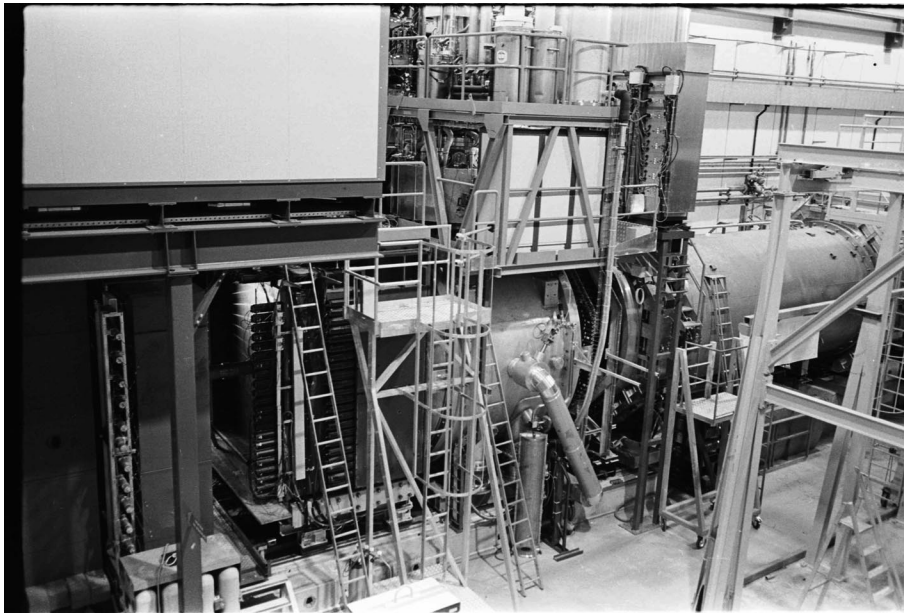


цию строительства этого завода, а также в разработку технологического процесса. Криостат для жидкокриптонового калориметра — одного из главных детекторов эксперимента, также был построен по уникальным технологиям российской космической индустрии на заводе им. Хруничева при полной финансовой поддержке Международного научно-технического центра (МНТЦ). Это был первый проект МНТЦ, нацеленный на поддержку фундаментальной науки, и первый случай выделения средств на поддержку эксперимента в ЦЕРН. Сотрудниками ОИЯИ была разработана и создана быстрая электроника считывания данных с детектора пучка KABES, впервые объединившего принципы TPC-камеры и MICROMEGAS по усилению ионизационного сигнала. Это была первая работающая в реальном эксперименте электроника, базирующаяся на микросхемах HPTDC, произведенных по новейшим разработкам ЦЕРН и технологиям фирмы IBM. Таким образом, в ОИЯИ удалось успешно освоить и даже развить высокие электронные технологии.

Серия экспериментов NA48 заслужила репутацию наиболее точных и надежных. Данные о свойствах частиц (PDG) были расширены, исправлены или уточнены их результатами. Такая репутация заслужена не только благодаря уникальным детекторам, но и благодаря участию в эксперименте большого числа молодых талантливых физиков, благодаря эффективным принципам организации работ, когда любой физический результат получался независимо несколькими группами, входящими в сотрудничество, одной из которых была ЛФЧ.

В настоящее время ЛФЧ является одним из ведущих центров анализа данных сотрудничества NA48. Здесь протекает основной творческий процесс получения результатов эксперимента, проводимого на ускорителе ЦЕРН. Преимущества такой научной политики для ОИЯИ очевидны, поскольку привели к развитию в ЛФЧ информационной инфраструктуры (фермы компьютеров, программного и сетевого обеспечения, зала для видеоконференций и др.). Она способствует привлечению в ОИЯИ талантливой молодежи из стран-участниц ОИЯИ, а также повышению уровня научных дискуссий в лаборатории. В эксперименте NA48 участвовало более 50 сотрудников, аспирантов и студентов из России, Болгарии, Грузии и Казахстана.

*Основные результаты эксперимента NA48.* Обнаружено существование прямого нарушения  $CP$ -четности — явления, вытекающего из основополагающих принципов Стандартной Модели. Научная общественность ожидала этого результата более 35 лет, со времени Нобелевского открытия 1964 года, сделанного в Брукхейвене, когда впервые было обнаружено  $CP$ -нарушение в распадах нейтральных долгоживущих каонов  $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-$ , которое происходит за счет малой примеси  $CP$ -четного состояния в  $CP$ -нечетное состояние  $K_L$ . Оно характеризуется малым комплексным параметром  $\epsilon$ , где  $Re(\epsilon) = 2,3 \cdot 10^{-3}$ . В рамках СМ такое смешивание обусловлено переходом с несохранением странности  $\Delta S = 2$ . Два поколения (аромата) кварков  $d, s$  достаточны для этого процесса. Однако СМ предсказывала также и прямое  $CP$ -нарушение, происходящее в слабых распадах с  $\Delta S = 1$ . Для описания прямого нарушения  $CP$ -четности необходимо наличие трех поколений кварков. Оно может проявляться в распадах нейтральных каонов за счет интерференции конечных состояний с различными значениями изоспина и описывается малым комплексным параметром  $\epsilon'$ . Теоретические расчеты предсказывают значение для отношения  $Re(\epsilon'/\epsilon)$  в интервале  $0 \div 10 \cdot 10^{-4}$ . Экспериментально наблюдаемой величиной, позволяющей измерить параметр



Общий вид установки NA48 в районе жидкокриптонового калориметра и криостат этого калориметра, изготовленный в России

прямого  $CP$ -нарушения, является отношение

$$R = \{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0) / \Gamma(K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0)\} / \{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-) / \Gamma(K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-)\} = 1 - 6 \operatorname{Re}(\epsilon' / \epsilon).$$

В эксперименте NA48 был реализован новый подход, основанный на измерении величины  $R$  путем подсчета событий в каждой из четырех мод распада независимо. При этом большинство систематических погрешностей сокращаются при их вкладе в компоненты отношения  $R$ . Итоговым результатом эксперимента является значение  $\operatorname{Re}(\epsilon' / \epsilon) = (14,7 \pm 2,2) \cdot 10^{-4}$ , которое отличается от нуля на 6,7 стандартных отклоне-



Совещание коллаборации NA48 в Дубне (февраль 1997 г.)

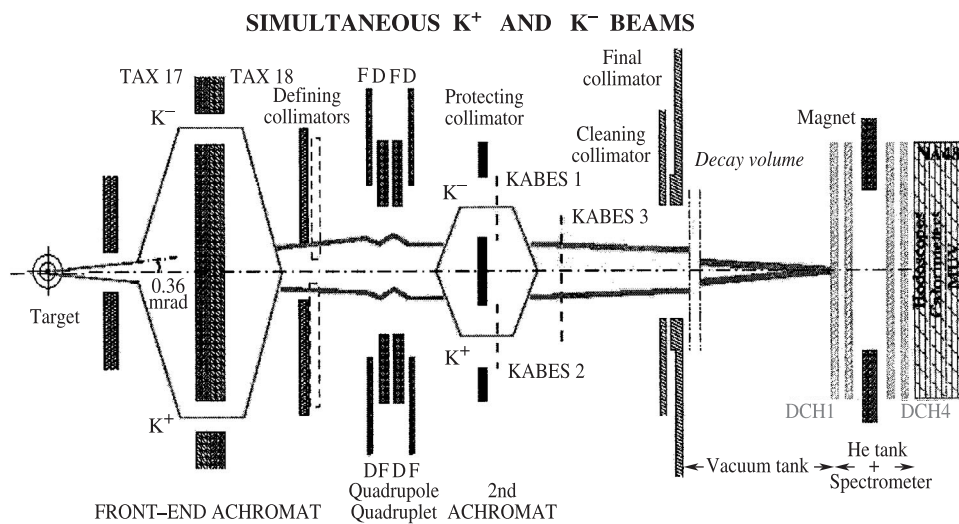


Схема формирования пучков заряженных каонов в эксперименте NA48/2

ний. Тем самым надежно доказано существование в Природе явления прямого  $CP$ -нарушения.

Сделанное сотрудничеством NA48 научное открытие вошло в список наиболее ярких событий в истории ЦЕРН. А в 2004 году публикация этого результата в журнале «Physics Letters» была отмечена как самая читаемая экспериментальная работа за всю историю этого престижного журнала.

В экспериментах NA48 и NA48/1 обнаружены также следующие распады каонов и гиперонов:

$$\begin{aligned} K_S^0 &\rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-, K_S^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-, \\ K_S^0 &\rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-, K_S^0 \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma, \\ K_L^0 &\rightarrow \pi^+ / - \mu^- / + \nu \gamma, \Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \nu. \end{aligned}$$

Выполнена серия работ по точному измерению основных характеристик нейтральных каонов,  $\eta$ -мезона и гиперонов. Значительно улучшена точность измеренных ранее величин — масс и вероятностей распадов каонов. Получен ряд наиболее значимых ограничений на вероятности редких распадов каонов и гиперонов.

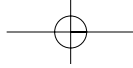
Опубликовано около 30 научных статей, защищены 4 кандидатских диссертации, выполнен ряд дипломных работ.

#### **Проект COMPASS (руководитель И.А.Савин)**

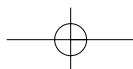
С 1998 года физики ЛФЧ участвуют в эксперименте COMPASS (NA58) по изучению инклюзивных и полунклюзивных процессов в глубоконеупругом рассеянии мюонов на поляризованной мишени. Они внесли определяющий вклад в часть предложения, которая относится к измерениям вклада глюонов в спин нуклона, а также регистрации  $\Lambda$ -гиперонов с целью проверки поляризации странного кваркового моря в нуклоне. Эта проблематика связана с продолжением исследований спиновой структуры нуклонов, начатых сотрудничеством SMC (NA47) в ЦЕРН. Для спектрометра COMPASS физиками ЛФЧ создан адронный калориметр HCAL1, состоящий из 500 модулей и перекрывающий площадь около 10 квадратных метров. В 1998–1999 годах для того же спектрометра группа сотрудников ЛФЧ разработала методику нового трекового координатного детектора на основе тонкостенных дрейфовых трубок..

#### **Проект CMS (руководитель И.А.Голутвин)**

Группа сотрудников научно-методического отделения ЛФЧ ОИЯИ принимает участие в проекте CMS с самого начала разработки концепции эксперимента, представленной в марте 1992 года. Успешно завершив научно-методические исследования, сотрудничество CMS, объединяющее около 2000 ученых и инженеров из 36 стран и 152 институтов, с 1997 года приступило к созданию многоцелевого детектора — Компактного мюонного соленоида. Важной составной частью этого объединения является сотрудничество CMS России и стран-участниц ОИЯИ (RDMS), созданное по инициативе ОИЯИ в сентябре 1994 года. Сотрудничество RDMS объединяет, организует и координирует деятельность 284 ученых и специалистов из семи стран и 20 российских институтов и институтов стран-участниц ОИЯИ. В качестве ассоциированных



**Строу-камеры для трека спектрометра COMPASS  
в процессе их сборки в ЛФЧ**





**Отправка из ЛФЧ в ЦЕРН двух (из 15-ти) строу-камер трекера спектрометра COMPASS**

членов участвуют также четыре российские отраслевые организации. В октябре 1995 года в Арзамасе-16 состоялось заседание Комитета по научной политике российской национальной программы по фундаментальной ядерной физике. Комитет определил участие российских лабораторий в проекте LHC как важнейшее направление национальной программы по физике частиц. Создание сотрудничества RDMS позволило привлечь физиков, отраслевую науку и промышленность стран-участниц ОИЯИ к реализации грандиозного проекта XXI века и взять полную ответственность за создание ряда систем комплекса.



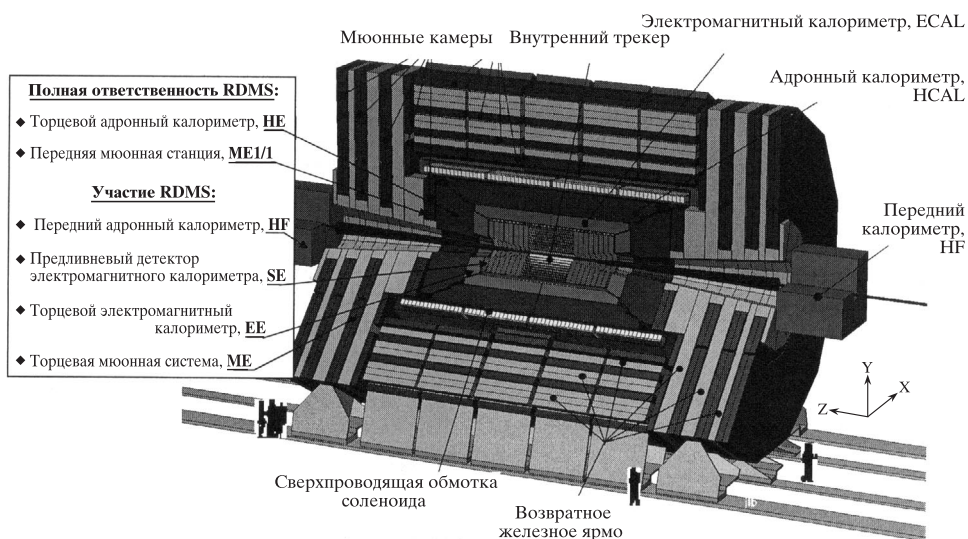
Основные направления деятельности ОИЯИ в рамках RDMS сформулированы в проекте (документ CMS №96-85, 1995) «Изучение фундаментальных свойств материи в протон-протонных и ядро-ядерных взаимодействиях при сверхвысоких энергиях на большом адронном коллайдере в ЦЕРНе. Создание установки CMS». Эта деятельность вылилась в масштабное участие ОИЯИ по разработке, конструированию и созданию торцевых детекторов. ОИЯИ несет ответственность и координирует эти работы. Специалисты ОИЯИ внесли определяющий вклад в систему торцевых адронных калориметров HE, переднюю мюонную станцию ME1/1, торцевой предливневый детектор SE.

ОИЯИ совместно с ИФВЭ (Протвино), НЦ ФЧВЭ (Минск), ХФТИ и Институтом монокристаллов (Харьков), НИКИЭТ (Москва) завершает создание торцевых адронных калориметров (HE). Работа по созданию торцевых адронных калориметров ведется с широким привлечением промышленности стран-участниц. Например, разработка системы подвески торцевых детекторов потребовала от специалистов всех участвующих организаций глубокой инженерной проработки. Было найдено элегантное решение компенсации больших магнитных сил. Специальные усилия были предприняты НИКИЭТ по разработке и поставке материалов с улучшенными прочностными характеристиками. Так, латунь поглотителя выплавлена из артиллерийских гильз. В результате завод «Красный Выборжец» в Санкт-Петербурге поставлял заготовки пластин поглотителя и элементов крепления из специальной латуни. Изготовление секторов поглотителя, элементов интерфейса и предварительная сборка проведены на Минском заводе им. Октябрьской Революции (МЗОР) в Беларуси. Организацию поставок, сопровождение изготовления поглотителя и технический контроль качества на всех этапах обеспечивал НИКИЭТ. Сцинтилляционные тайлы изготовлены в Институте монокристаллов (Харьков) из материалов, поставляемых коллаборацией. Изготовление и сборка оптических элементов (мегатайлов) выполнена в ИФВЭ. Эта работа высоко оценена сотрудничеством CMS: НИКИЭТ и заводу МЗОР в 2003 году присуждены «Золотые призы CMS». Успешно завершена сборка двух торцевых адронных калориметров HE, включая механику и сцинтилляционную оптику, а также начат монтаж электроники считывания и подготовка к запуску калориметров в наземном зале в ЦЕРН.

ОИЯИ и институты Беларуси и Болгарии завершают создание передних мюонных станций (ME1/1) на основе катодно-стриповых газовых камер, предложенных ОИЯИ в 1993 году для торцевой мюонной системы CMS. Камеры для первой торцевой системы поставлены в ЦЕРН. Изготовление камер в Дубне для второй системы завершено в 2003 году.

ОИЯИ и институты Армении и Беларуси участвуют в подпроекте предливневого детектора SE. На основе так называемой кремниевой программы, инициированной ОИЯИ более 10 лет тому назад, в сотрудничестве с Дубной и ЦЕРН в Научно-исследовательском институте материаловедения (Зеленоград) разработана передовая технология изготовления радиационно стойких кремниевых координатных детекторов для предливневого детектора SE. Серийное изготовление кремниевых стриповых детекторов успешно ведется в кооперации с ЭЛМА, Зеленоградом и ЦЕРНом.

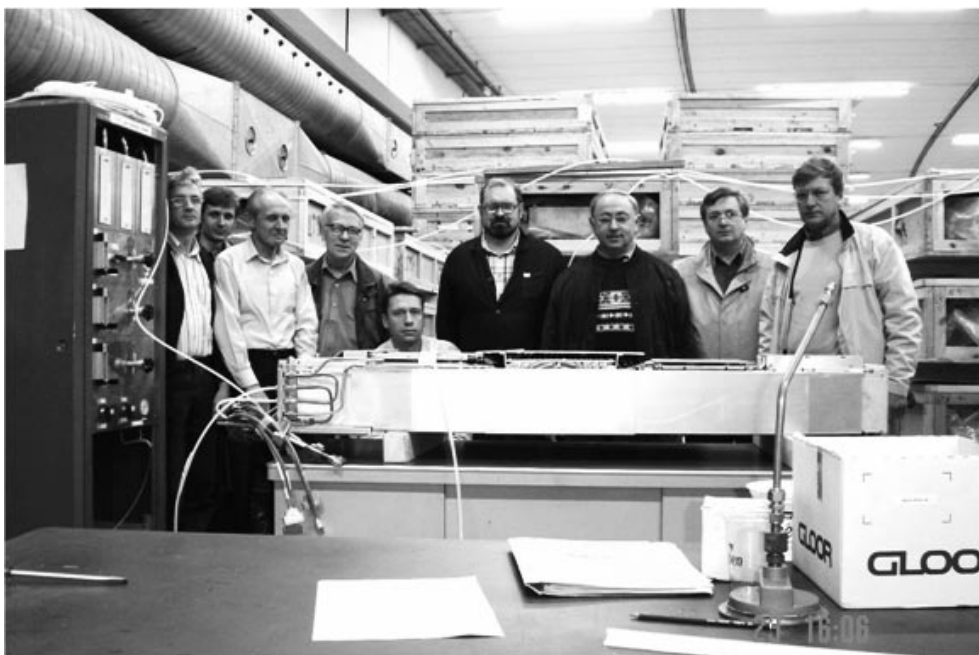
Физики ОИЯИ участвуют также в разработке долговременной программы научных исследований эксперимента CMS после запуска LHC. В 2002 году по инициати-



### Общий вид компактного мюонного соленоида — CMS

Общий вес установки — 14 500 т; внешний диаметр — 14,6 м; длина — 21,6 м; магнитное поле соленоида — 4 тесла. В рамке показаны системы, за которые коллаборация CMS России и стран-участниц ОИЯИ несет ответственность

в Дубны было начато систематическое изучение процессов с жесткими мюонами в конечном состоянии (с поперечным импульсом больше 300 ГэВ). Изучение спектра пар мюонов в эксперименте CMS позволит проверить предсказания СМ и структуру электрослабых радиационных поправок при значениях инвариантной массы пары мюонов от 2 до 2,5 ТэВ. Кроме того, моделирование показывает, что установка CMS способна проверить Randall-Sundrum сценарий (RS1) по димюонному каналу на 95%-ном уровне достоверности в течение года работы LHC для диапазона масс гравитона от 2,2 до 5 ТэВ в зависимости от величины константы связи. Представляют также интерес и жесткие мюоны в распадах  $Z^0$  и  $W$  (RS2 сценарий или некоммутативные дополнительные измерения). Эти исследования отнесены к задачам первого приоритета в физической программе RDMS CMS. Такой же статус присвоен работам дубненской группы по изучению распадов  $B$ -мезонов, для чего в ЛФЧ был создан пакет программ для моделирования рождения и распадов  $B$ -мезонов. В работы по  $B$ -физике вовлечены специалисты из INFN (Флоренция), Цюрихского университета, ИФВЭ (Протвино), а также ИТФ и ИФВЭ КАН (Пекин, Китай). Кроме того, физическая программа RDMS включает также изучение процессов прямого рождения  $\gamma$  и  $Z$  с целью калибровки адронного калориметра по каналам « $\gamma$ +jet» и « $Z$ +jet», а также моделирование отклика адронного калориметра установки CMS для объединенной системы HE/HF. Дальнейшее развитие получили работы в рамках программы исследований с тяжелыми ионами на установке CMS, где дубненские физики внесли определяющий вклад в изучение глобальных характеристик ультрарелятивистских ядро-ядерных взаимодействий. Была продемонстрирована принципиальная

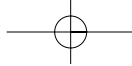


Поставка в ЦЕРН первых 40 камер для торцевой мюонной системы

возможность наблюдения образования кварк-глюонной плазмы для событий центральных взаимодействий легких ядер и нецентральных взаимодействий тяжелых ионов.

***Проект ATLAS (руководитель Н.А.Русакович)***

Участие ЛФЧ в работах по проекту ATLAS на LHC восходит к 1991 году, когда в составе протосотрудничества ASCOT сотрудники лаборатории начали заниматься расчетами загрузки внутреннего трекера и мюонной системы частицами, образовавшимися в протон-протонных взаимодействиях с энергией в системе центра масс 14 ТэВ. После принятия решений Директоратом ЦЕРН о создании LHC и последовавшего вслед за этим объединения групп ASCOT и EAGLE в сотрудничество ATLAS сотрудниками ЛФЧ (руководитель В.В.Кухтин) были подготовлены предложения по участию в создании детектора общего назначения для LHC и определены конкретные обязательства по торцевому жидкоаргоновому адронному калориметру LAr HEC. Период до 2003 года включительно может быть охарактеризован как этап принятия решений по идеологии подсистем, конструирования и отработки технологии производства серийных элементов детекторов, исследования их на пучках частиц, а также сборки детекторов подсистем. В рамках обязательств ОИЯИ по созданию LAr HEC были собраны 24 модуля калориметра из общего количества 132, разработан и изготовлен в серии элемент электроники считывания информации, проведена калибровка 700 датчиков для измерения температуры жидкого аргона в криостатах установки ATLAS. На реакторе ИБР-2 ОИЯИ проведены исследования радиационной стойкости электроники и материалов, используемых в калориметрах и системах считывания



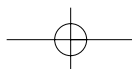
информации, а также на специально созданной уникальной установке изучалось загрязнение жидкого аргона выделениями с поверхности материалов, погруженных в криостат, при облучении образцов интенсивным пучком нейтронов. Кроме того, проводились теоретические расчеты и моделирование процесса одиночного рождения  $t$ -кварка в реакции слияния глюона и промежуточного бозона, определены критерии выделения этого процесса из информации, регистрируемой установкой ATLAS. Эти научно-методические работы выполнялись в рамках международной кооперации, в которой заметную роль помимо российских участников играли представители Азербайджана, Грузии, Канады, Германии. Результаты были опубликованы в четырех статьях в реферируемых журналах, а также неоднократно докладывались на международных и национальных конференциях и семинарах.

С начала 1990 годов группа сотрудников ЛФЧ (руководитель В.Д.Пешехонов) совместно с МИФИ (руководитель Б.А.Долгошеин) начала разработку детектора переходного излучения – трекера, на основе которого в дальнейшем расширенное сотрудничество российских институтов приступило к созданию TRT для внутреннего детектора установки ATLAS. В настоящее время в ЛФЧ проводятся работы на последней стадии сборки 34 детекторов для TRT ATLAS. По результатам этих работ подготовлены пять публикаций.

Сотрудничество с DESY состоит в участии ОИЯИ в экспериментах HERMES, H1 и HERA-B.



Первый (из 17-ти) восьмислойный модуль детектора переходного излучения TRT ATLAS тестируется перед отправкой в ЦЕРН



**Проект HERMES** (руководитель В.Г.Кривохижин)

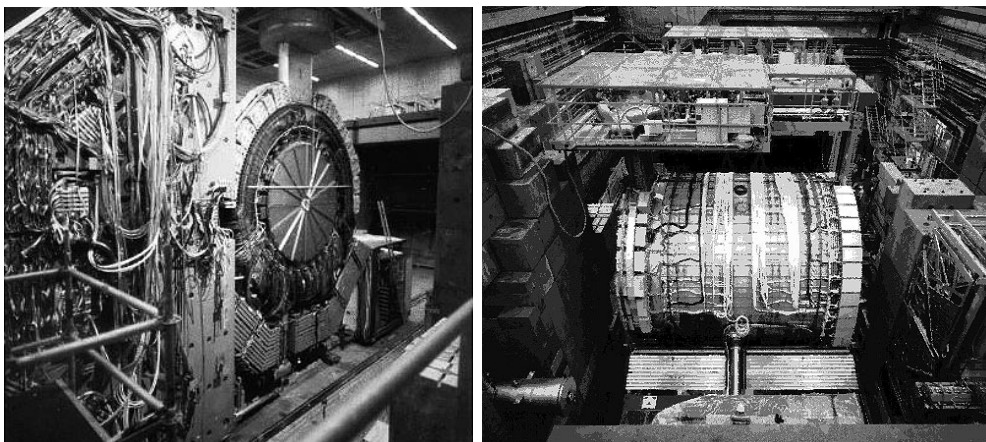
HERMES — один из ведущих экспериментов по изучению спиновой структуры нуклонов. Он выполняется на ускорительном комплексе HERA. В нем участвуют более 200 физиков из 35 институтов, включая ОИЯИ. Главная цель эксперимента — изучение внутренней спиновой структуры нуклонов через измерение асимметрий сечений в инклюзивных, полуинклюзивных и эксклюзивных процессах в реакциях ГНР поляризованных электронов (позитронов) на поляризованных ядерных газовых мишенях (водород, дейтерий и гелий). Первые данные были получены в 1995 году с использованием поляризованной гелий-3 мишени. Получен ряд результатов по спиновой структуре нуклонов, включая измерения азимутальной асимметрии сечений в реакциях полуинклюзивного рождения пионов и спиновой асимметрии в фоторождении адронных пар с большим поперечным импульсом, позволившей оценить поляризацию глюонов в нуклоне. Измерена азимутальная асимметрия в реакции глуконепругого виртуального комптоновского рассеяния.

Дубненской группой был внесен существенный вклад в модернизацию магнитного спектрометра, а также в анализ данных. Примерно двукратное улучшение разрешения спектрометра было получено после включения в 1997 году системы минидрейфовых вершинных камер, разработанных в ЛФЧ и произведенных в ОИЯИ. Одной из основных задач сотрудничества является прецизионное измерение зависимости от бьеркеновской переменной  $x$  структурных функций  $g_1$  для протона, дейтрона и нейтрона для уточнения вклада в спин нуклона валентных кварков. В сотрудничестве с коллегами из Минска (Национальный центр физики частиц и высоких энергий при БГУ) и Еревана (ЕрФИ) физиками ЛФЧ был разработан оригинальный метод извлечения спин-зависимых и спин-независимых структурных функций нуклонов. Другим важнейшим результатом сотрудничества, полученным с определяющим участием физиков ЛФЧ, стало измерение  $Q^2$ -зависимости обобщенного интеграла Герасимова–Дрела–Хёрна (ГДХ) для протона и дейтрона. Интеграл ГДХ связывает аномальный вклад в магнитный момент нуклона с интегралом по энергии полных спин-зависимых сечений фотопоглощения. Полученные зависимости не показали существенного отклонения от  $1/Q^2$  поведения в измеренном диапазоне по  $Q^2$  и, таким образом, не было обнаружено указания на наличие больших эффектов из-за влияния области нуклонных резонансов или нелидирующих твистов.

Сотрудничество специалистов ЛФЧ с DESY по эксперименту HERMES поддерживалось грантом немецкого министерства BMBF. BMBF выделило грант для разработки дрейфовых камер передней части спектрометра. С участием сотрудников ЛФЧ опубликованы 32 статьи.

**Проект H1** (руководитель М.Н.Капишин)

Эксперимент H1 успешно осуществляется на электрон-протонном коллайдере HERA начиная с 1992 года. Выполнены прецизионные измерениями структуры протона в области малых значений переменной Бьеркена  $x$ . Исследована структура фотона в рамках КХД-динамики при больших  $Q^2$ . Эксперимент H1 оптимизирован для исследований в области больших  $Q^2$ , где топологию событий легко идентифицировать и наблюдается низкий уровень фона. Увеличение светимости коллайдера HERA в 2002 году и использование накопленного опыта позволили существенно расширить



Виды N1 детектора на ускорителе HERA (DESY, Гамбург)

программу физических исследований, связанных с проверкой СМ. Предусмотренная продольная поляризация пучка электронов и позитронов также является важным инструментом для достижения максимальной чувствительности измерений.

Материальный вклад ОИЯИ в эксперимент включал в себя создание двух станций спектрометра вперед летящих протонов FPS, большой пропорциональной камеры ВРС для регистрации рассеянных электронов и позитронов, а также нового PLUG детектора установки. Сотрудники ОИЯИ внесли значительный вклад в физический анализ процессов ГНР и фоторождения на основе новых статистически обеспеченных экспериментальных данных, полученных после модернизации коллайдера HERA и установки N1 с использованием FPS, ВРС и PLUG детекторов. В частности, была измерена дифракционная структурная функция  $F_2^D$  в области  $Q^2 < 1 \text{ ГэВ}^2$  для проверки эффектов «насыщения» в переходной области между ГНР ( $Q^2 > 0 \text{ ГэВ}^2$ ) и фоторождением ( $Q^2 \sim 0 \text{ ГэВ}^2$ ), а также в измерении дифракционных инклюзивных сечений процессов фоторождения и фоторождения струй адронов с большим поперечным импульсом для проверки предсказаний КХД. В эксперименте N1 измерены инклюзивные дифференциальные сечения процессов, описываемых нейтральными и заряженными токами, в  $e^-p$  и  $e^+p$ -взаимодействиях в кинематической области по квадрату переданного импульса  $150 \text{ ГэВ}^2 < Q^2 < 30000 \text{ ГэВ}^2$  и  $0,0032 < x < 0,65$ . С использованием модернизированной экспериментальной установки N1 на модернизированном коллайдере HERA планируется получить новые данные по измерению глубоконеупругих процессов в области очень больших  $Q^2$ , по исследованию структуры протона и фотона в процессах рождения струй адронов с большими  $P_T$ , структуры поперона в дифракционных процессах, по поиску лепто-кварковых состояний вне пределов СМ.

Участие сотрудников ЛФЧ в коллаборации N1 на протяжении всех лет поддерживается грантом немецкого министерства ВМБФ. Результаты, полученные в эксперименте N1, доложены учеными из ОИЯИ на четырех международных конференциях

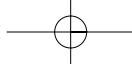
по физике высоких энергий. По результатам выполненных исследований опубликованы 55 научных работ, защищена кандидатская диссертация.

**Проект HERA-B (руководители И.А.Голутвин и Ю.Т.Кирюшин)**

В 1994 году в DESY начали создавать экспериментальную установку HERA-B для изучения взаимодействия протонов с ядрами проволочной мишени, помещенной в гало протонного пучка ускорительно-накопительного кольца HERA. В создание детектора, подготовку и проведение эксперимента внесли вклад более 33 организаций из 14 стран, включая ОИЯИ. Сотрудники ЛФЧ ОИЯИ внесли большой вклад в производство модулей внешнего трекера детектора HERA-B. С этой целью в Дубне была создана линия массового производства модулей из материалов и комплектующих, поставляемых DESY, Германия. Массовое производство дрейфовых камер велось одновременно в Дубне, Гамбурге, Цойтене и Пекине. Программа массового производства полностью выполнена в сентябре 1999 года. В целом произведено и доставлено из Дубны в DESY около 300 модулей. Указанное количество модулей соответствует почти 40000 каналам регистрации, что составляет 30% от полного числа каналов внешнего трекера. Дубненская группа внесла также определяющий вклад в подготовку и монтаж внешнего трекера, проверку и наладку его суперслоев непосредственно в DESY. Физики ЛФЧ активно участвовали в развитии программного обеспечения и моделировании установки HERA-B. После завершения в конце 1999 года монтажа суперслоев внешнего трекера физики Дубны, занятые в этих работах, сконцентрировали свои усилия на участии в проведении экспериментов и анализе данных.



Линия массового производства дрейфовых камер внешнего трекера установки HERA-B



Физическая программа эксперимента HERA-B на период набора данных в 2002–2003 годах была сконцентрирована на измерении сечения  $b\bar{b}$ -рождения в протон-ядерных взаимодействиях при энергии протонов 920 ГэВ и изучении подавления рождения различных состояний чармония, включая  $J/\psi$ ,  $\psi'$  и  $\chi_c$ . Другими направлениями исследований являются:  $A$ -зависимость рождения открытого очарования,  $V_s$ -смешивание, рождение пар Дрела–Яна, рождение жестких фотонов, спектроскопия чармония, асимметрии в рождении прелестных, очарованных и странных частиц. Анализ данных планируется завершить до конца 2005 года.

На протяжении всех лет сотрудничество специалистов ЛФЧ с DESY поддерживалось грантом немецкого министерства BMBF. В 2000 году BMBF выделило специальный грант для приобретения вычислительной техники, которая была интегрирована в компьютерную ферму ЛФЧ–ЛВЭ. По результатам, полученным с участием сотрудников ЛФЧ, защищены пять дипломных работ и сделаны 18 научных публикаций.

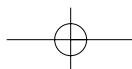
**Проект STAR** (руководитель Р.Я.Зулькарнеев)

Лаборатория физики частиц с 1999 года участвует в работах по созданию электромагнитного калориметра детектора STAR для экспериментов на ядерных и поляризованных пучках протонов коллайдера RHIC в BNL (США).

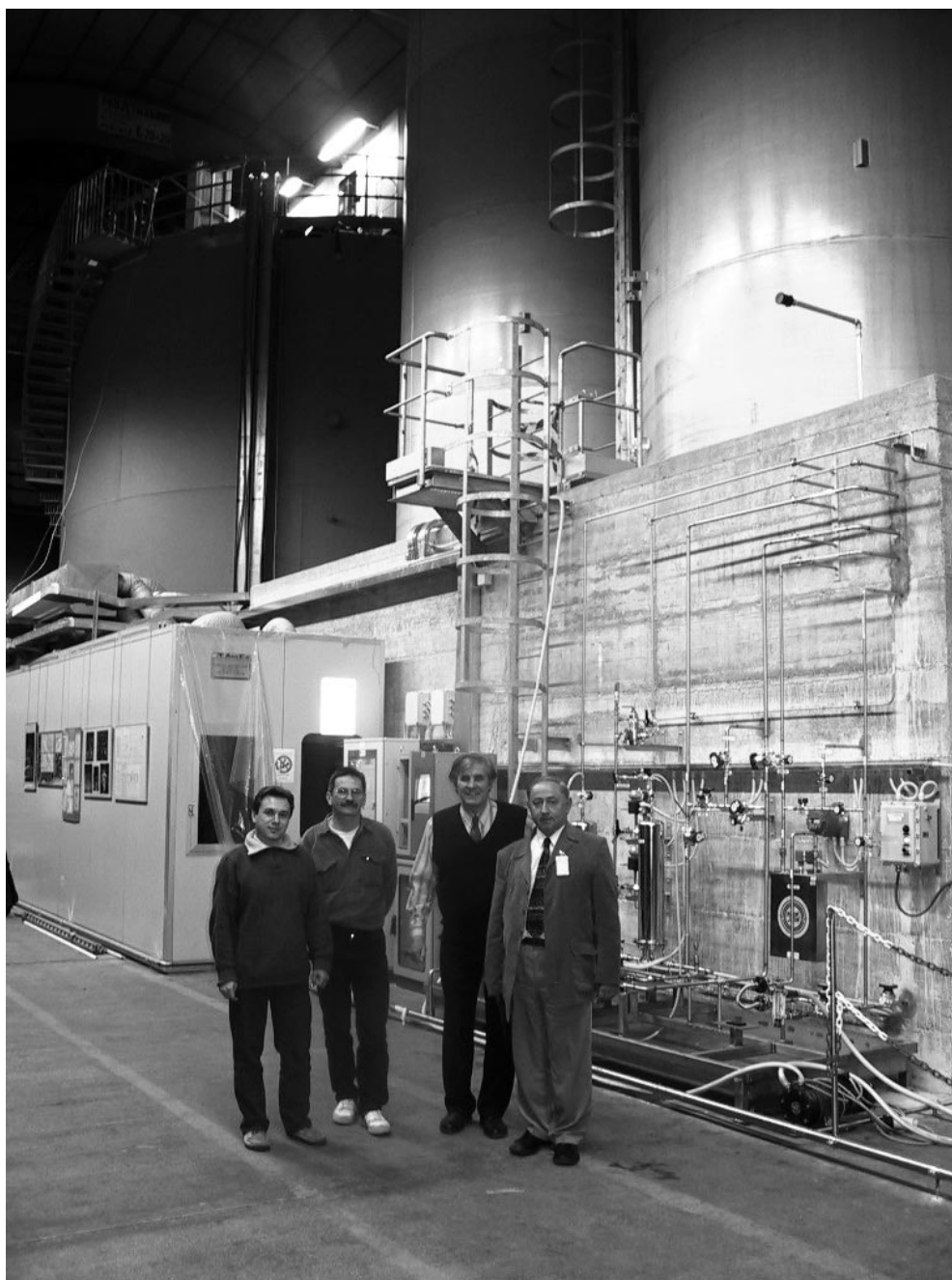
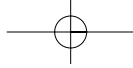
Цель проекта STAR – выполнить детальную и широкую программу исследований свойств ядерной материи, находящейся в экстремально сжатом и нагретом состояниях, и провести поиск сигналов образования кварк-глюонной плазмы при соударениях тяжелых ионов. Важной задачей является также осуществление широкой программы поляризационных исследований. Осуществление проекта STAR основывается на самых новейших достижениях техники ускорения поляризованных пучков протонов и тяжелых ядер. В реализации проекта участвуют 538 физиков из более чем 50 университетов и 12 стран мира.

Физики ЛФЧ с 1999 года участвуют в создании цилиндрического электромагнитного калориметра (ВЕМС), который является важной частью 4 $\pi$ -детектора STAR. Калориметр играет доминирующую роль при выполнении программы поляризационных экспериментов. Он также существенно расширяет возможности детектора при поисках сигналов кварк-глюонной плазмы. Прибор позволяет идентифицировать и измерять энергию электронов и гамма-квантов в области выше 0,5 ГэВ и регистрировать процессы образования нейтральных частиц ( $\pi$ ,  $\phi$ ,  $J/\psi$ ,  $W$ ,  $Z$  и пр.). Группа ЛФЧ тесно взаимодействует с BNL и тремя другими группами из университетов Детройта, Лос-Анджелеса и Мичигана (США), принимающими участие в создании ВЕМС. ЛФЧ выполняла работы на всех этапах создания ВЕМС, начиная с проектирования отдельных узлов калориметра до участия в изготовлении, наладке и запуске всего комплекса в 2004–2005 годах на пучке RHIC.

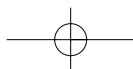
Группа ЛФЧ также участвует в создании программного обеспечения и моделировании электромагнитного калориметра с целью разработки методики идентификации частиц, проведения калибровки и изучения ливневых характеристик детектора. Физики ЛФЧ совместно с коллегами из BNL и университетов Детройта и Сан-Паулу (Бразилия) исследуют образование мягких и жестких прямых фотонов, а также  $c\bar{c}$ - и  $b\bar{b}$ -систем, как потенциальные инструменты для поиска сигналов образования кварк-глюонной плазмы в (Au-Au)-соударениях на RHIC.

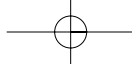






Полным ходом идет сооружение детектора BOREXINO  
в Национальной лаборатории Италии в Гран-Сассо





Проект STAR вместе с экспериментами COMPASS и HERMES продолжает традицию ЛФЧ по изучению спиновой структуры нуклона, начатую еще в конце 80-х годов прошлого столетия сотрудничеством SMC в ЦЕРН. Одна из главных целей этого проекта – осуществление широкой программы поляризационных исследований, необходимых для разрешения проблемы «спинового кризиса», а также изучение возможного проявления эффектов, выходящих за рамки СМ. Усилия физиков ЛФЧ концентрируются на задаче измерения спиновой структурной функции глюона в протоне, проблеме определения поляризаций морских и валентных кварков и изучении зависимости этой поляризации от аромата конститuentов в протоне. Для выполнения указанных задач STAR планирует постановку нового поколения поляризационных экспериментов по измерению спиновых асимметрий в процессах рождения векторных бозонов и лептонных пар в соударениях продольно- и поперечно-поляризованных пучков протонов на RHIC.

Группа сотрудников ЛФЧ являются соавторами около 30 работ, опубликованных в Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. и трудах конференций QM-2000, 2001, 2002, 2003, 2004 и др. изданиях.

**Проект БОРЕКСИНО** (руководитель О.А.Займидорога)

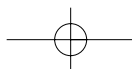
Проект БОРЕКСИНО посвящен измерению потока солнечных нейтрино и исследованию явления осцилляций нейтрино с помощью низкофонового калориметрического детектора с жидким сцинтиллятором. Установка создается в Италии в подземной Национальной лаборатории Гран-Сассо. Группа ОИЯИ внесла большой вклад в создание прототипа детектора, в анализ данных и получение первых физических результатов. Фоновые измерения привели к ряду интересных результатов. Получено ограничение на величину магнитного момента солнечных нейтрино, ограничение на время жизни гипотетического тяжелого нейтрино с массой  $m_{\nu_H} \geq 2m_e$  и каналом распада  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$ . Выполнен поиск эффектов нестабильности электрона по каналу распада электрона в гамма-квант и нейтрино, а также эффектов нестабильности связанных в ядре нуклонов и возможных их распадов в невидимые состояния.

Опубликовано более 30 работ.

**Проект НИС** (руководители О.А.Строковский и А.Г.Литвиненко)

Проект нацелен на поиск проявлений поляризации странных кварков и антикварков в нуклонах. Проект мотивирован неожиданными результатами, касающимися роли странных кварков в нуклонах. Интуитивно казалось, что  $s\bar{s}$  пары в нуклонах несущественны, поскольку они находятся в море нуклона и не влияют на его квантовые числа. Однако экспериментальные результаты по  $p\bar{p}$  аннигиляции в покое, полученные на кольце LEAR, привели к необходимости рассмотреть модель нуклона с волновой функцией, содержащей отрицательно поляризованные  $s\bar{s}$  пары (модель Эллиса–Карлинера–Харзеева–Сапожникова). Привлекательная особенность модели поляризованной скрытой странности нуклонов состоит в том, что она одновременно дает основу для естественного объяснения «спинового кризиса».

Проект НИС предполагает исследовать рождение  $\phi$ - и  $\omega$ -мезонов в  $pp$ -взаимодействиях при энергии пучка, близкой к порогу рождения этих частиц. Превышение над порогом должно составлять  $30 \div 100$  МэВ. Сечение рождения  $\phi$ -мезона в  $pp$ -взаимо-



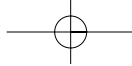


Визит в ЛФЧ Генерального директора ЦЕРНа Робера Эмара (16 апреля 2004 г.)

действию у порога измерено только в одной точке (эксперимент DISTO на ускорителе SATURN-II, Франция). После составления проекта НИС в том же году был предложен аналогичный опыт для установки ANKE (COSY, Германия). Энергетический интервал измерений по проекту НИС заполняет (с перекрытием) «щель» между планируемыми в COSY измерениями и данными DISTO. Такие измерения в настоящее время возможны только на нуклотроне ОИЯИ, который предоставляет широкие возможности для исследований явлений вблизи порога и ниже его при достаточно большом переданном 4-импульсе (порядка 1 ГэВ/с).

В настоящее время создание установки ведется объединенными усилиями ЛФЧ и ЛВЭ с участием физиков ЛИТ, ЛТФ и стран-участниц ОИЯИ: России, Грузии, Армении. Эксперимент выполняется на базе установки СФЕРА (ЛВЭ ОИЯИ). Используются ее магнит, система сбора данных, логическая электроника, пучковые мониторы. Пропорциональные камеры размером  $2 \times 1 \text{ м}^2$  и их электроника доставлены из Протвино после демонтажа установки ЭКСЧАРМ. Ведется наладка камер на стенде, изготавливается система идентификации частиц.

Спектрометр НИС также может быть использован для проведения других экспериментов, в первую очередь для исследования легких гиперядер и процессов с перезарядкой легких ядер. Рассматривается возможность исследования рождения векторных мезонов  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ -протонами и дейтронами в ядерной среде, чтобы получить ответ на давний вопрос о возможности изменения свойств элементарных частиц в ядерной среде. Например, известно, что возбуждение  $\Delta$ -изобары в ядрах сильно модифицируется влиянием среды. Изучение этой проблемы для векторных мезонов только начи-



нается. Здесь может оказаться решающим использование пучков релятивистских ядер среднего и большого атомного номера.

Физическая программа эксперимента НИС освещена в четырех докладах на международных и российских конференциях.

### **3. Методические и прикладные исследования**

#### ***Разработка детекторов на основе дрейфовых трубок***

В 1998–1999 годы в рамках сотрудничества с ЦЕРН группа сотрудников ЛФЧ под руководством В.Д.Пешехонова разработала методику нового трекового координатного детектора на основе тонкостенных дрейфовых трубок и совместно с Мюнхенским техническим университетом, Университетом г. Фрайбурга и Варшавским техническим университетом создала полномасштабный прототип straw-камер большого размера, испытал его на пучке SPS в ЦЕРНе. В последующие годы в ЛФЧ было создано 15 двухслойных трековых камер с общей чувствительной площадью около 420 м<sup>2</sup>. Начиная с 2002 года, детекторы работают в составе трековой системы спектрометра COMPASS. Работа была поддержана грантом немецкого министерства BMBF.

С начала 1990-х годов группа сотрудников ЛФЧ совместно с МИФИ начала разработку детектора переходного излучения TRT. На этой основе расширенное сотрудничество российских институтов приступило к созданию TRT для внутреннего детектора установки ATLAS.

#### ***Кремниевые планарные детекторы в России и ОИЯИ***

В конце 80-х годов по инициативе профессоров И.А.Голутвина и В.А.Свиридова в ОНМУ ОИЯИ было создано новое методическое направление, целью которого были разработка и исследование кремниевых планарных детекторов для широкомасштабного применения в экспериментах на создаваемых ускорителях SSC, LHC и др. Это направление получило название «Дубненская силиконовая программа». Кроме ОИЯИ в ней приняли участие эксперты из разных научных центров СССР: ГИРЕД-МЕТ (Москва), ФТИ им. А.Ф.Иоффе (Ленинград), НИИПФП им. А.Н.Сенченко (Минск), НПО «Элма» и НИИМВ им. А.Ю.Малинина (г. Зеленоград).

В 80-е годы были созданы экспериментальные установки, использовавшие первые координатные планарные кремниевые детекторы, и получен положительный опыт применения таких детекторов в пучках заряженных частиц. Планировавшиеся новые эксперименты на строящихся ускорителях SSC и LHC ориентировались на массовое применение кремниевых детекторов. Основными проблемами для широкого применения таких детекторов в те годы были высокая стоимость детекторного кремния, выращиваемого методом бестигельной зонной плавки (БЗП), и высокая цена изготовления детекторов, а также радиационная стойкость детекторов.

Для начала работ по созданию планарных кремниевых детекторов в СССР необходимо было изучить ситуацию с отечественным БЗП-кремнием в свете долгосрочной перспективы его изготовления. Также было важно создать технологию изготовления пластин для детекторов. Конечно, все предпосылки к этому были – в СССР в те годы был достаточно высокий уровень технологии интегральных схем на многих

