

ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ им. В. И. ВЕКслера и А. М. БАЛДИНА

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина была образована 4 мая 2008 г. приказом по ОИЯИ № 112 от 19 февраля 2008 г. в соответствии с решением Комитета полномочных представителей ОИЯИ для проведения высокоприоритетных исследований по физике тяжелых ионов высоких энергий и физике частиц.

РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

«Нуклотрон-М»

В 2008 г. работы по модернизации ускорительного комплекса лаборатории проводились в полном соответствии с графиком проекта «Нуклотрон-М». Руководством лаборатории было принято решение проводить сеансы только при достаточных гарантиях устойчивой работы ускорителя. Приоритеты при проведении сеансов определялись исходя из следующих первоочередных задач:

- полная ревизия основных систем ускорителя и приведение их в соответствие с требованиями проекта;
- проведение ремонта, совершенствование, замена отработавших свой ресурс узлов на более современные с целью обеспечения требуемого качества пучков, долговременной, надежной и стабильной работы ускорителя.

Основные результаты по подсистемам ускорительного комплекса следующие.

1. Модернизация вакуумной системы нуклотрона. Среднее значение вакуума в кольце до начала модернизации составляло $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ Торр (азотный эквивалент при комнатной температуре). В результате комплекса проведенных работ среднее значение вакуума, измеренное в 38-м сеансе (июнь 2008 г.), составило $\sim 5 \cdot 10^{-9}$ Торр. Таким образом, завер-

Основной задачей ЛФВЭ является создание адекватной ускорительной, экспериментальной и исследовательской базы, позволяющей ОИЯИ занять лидирующее положение среди мировых научных центров в выбранных направлениях и тем самым повысить привлекательность Института для стран-участниц ОИЯИ.

шен первый этап модернизации вакуумной системы нуклотрона и начаты работы по второму: дальнейшему улучшению вакуума и созданию автоматизированной системы контроля вакуума в кольце нуклотрона.

2. Модернизация ВЧ-системы. В 2008 г. изготовлена и установлена для испытания новая аппаратура:

- для адиабатического захвата во всем диапазоне ВЧ-амплитуды;
- экраны помех на ВЧ-станции;
- для инъекции пучка в спадающее и нарастающее магнитное поле;
- для диагностики ускоряющего напряжения;
- система «орбита»;
- задающая электроника нового поколения.

3. Система медленного вывода пучка. Системы контроля и управления. Проведена модернизация системы питания ЭС септума, позволяющая увеличивать рабочее напряжение со 110–120 до 160–180 кВ, что, в свою очередь, позволит осуществлять вывод ионного пучка с энергией, близкой к проектной (4 ГэВ/нуклон, сейчас 2,3 ГэВ/нуклон).

В сотрудничестве со специалистами из Словакии начаты испытания и введение в эксплуатацию новой подсистемы управления циклом магнитного поля.

Продолжался ввод в действие новой диагностической аппаратуры.

Проведена полная модернизация системы «посадки пучка на орбиту», создан резервный вариант для безаварийной работы.

Введена в эксплуатацию аппаратура управления ИП-корректоров орбиты.

Проведено полномасштабное обновление основного серверного узла.

Ведутся работы по разработке, конструированию и изготовлению эллиптических пикап-станций.

4. Модернизация систем питания ускорительного комплекса. Завершен принципиально важный этап работ, позволяющий провести в ходе 39-го сеанса увеличение поля в магнитах и линзах от 0,9 до 1,4–1,5 Тл на специально разработанном и установленном прототипе СЭЭ. Следующий шаг — увеличение поля до проектного значения 1,8–1,9 Тл — предполагается реализовать в конце 2009 г. (с использованием эксплуатационного варианта СЭЭ).

Изготовлен и протестирован макет источника токодобавки в линзы F.

Проведено подключение новой циклозадающей аппаратуры.

Создана электротехническая защита компрессорного каскада.

5. Модернизация системы криогенного обеспечения. Аппаратура криогенного комплекса, используемая на нуклотроне, полностью выработала свой ресурс и требовала кардинальной модернизации и ремонта. Проведение сеансов в этих условиях не гарантировало выполнения поставленных задач и могло привести к потере дорогостоящей аппаратуры. В июне 2008 г., по завершении 38-го сеанса, была начата полная модернизация криогенного комплекса нуклотрона.

Совместно с «Криогенмаш» проведен ремонт блока маслоочистки МО-800. В настоящее время завершается комплекс мероприятий по его установке, монтажу, проверке и запуску в эксплуатацию. Стоимость работ составила 110 тыс. долларов.

В начале 2009 г. будут завершены работы по модернизации и ремонту систем гелиевого ожижителя КГУ-1600 (6 пар маслоотделителей и адсорбиров, очистка и обезжиривание низкотемпературных блоков, замена адсорбентов, прочистка, продувка, опрессовка блоков, замена фильтрующих элементов компрессора КАСКАД). Ремонт турбодетандеров проводит «Гелиймаш». Планируемый срок окончания работ 1 февраля 2009 г. Стоимость работ по контракту 400 тыс. долларов.

6. Линейный предускоритель Linac. В Протвино подготовлен технический проект (Technical Design Report) для нового линейного ускорителя тяжелых ионов. Начата работа по подготовке документации.

7. Источник тяжелых ионов «Крион». На электронно-струнном ионизаторе «Крион-2» с магнитным полем соленоида 3 Тл в 2008 г. проведено 4 сеанса длительностью около 1 месяца каждый. В результате были разработаны, изготовлены и испытаны:

- новая электронная пушка с увеличенным до 1,2 мм в диаметре катодом;
- автоматическая система регулирования тока эмиссии катода в течение электронного импульса;
- система диагностики формирования «электронной струны» и удержания ионов;
- вторая конструкция ячейки импульсного ввода в «электронную струну» ионов газов CH_4 , N_2 , O_2 и Ar, предназначенной для разработки технологии ион-ионного охлаждения;
- внешний модулятор электронного пучка на 8 кВ (для получения ионов Xe^{44+} требуется энергия электронов, импульсно инжектируемых в «струну», не менее 7 кэВ).

Выполнена серия экспериментов по получению высокозарядных ионов Хе при его постоянном вводе в «электронную струну». Получены ионы Xe^{36+} при энергии инжектируемых электронов 3,7 кэВ. Показано, что такой метод ввода приводит к «отравлению» катода электронной пушки ионизатора. Требуется импульсный ввод, для чего планируется использовать указанную выше ячейку.

В соответствии с планом-графиком проводились работы по программе разработки нового ионного источника «Крион-6Тс».

NICA

В январе 2008 г. был подготовлен «Conceptual Design Report» ускорительного комплекса NICA. В качестве базовой рассматривалась следующая концепция коллайдера:

- 17 ступок интенсивностью 10^9 ионов $^{197}\text{Au}^{79+}$ циркулируют в двух кольцах;
 - используется электронное охлаждение для подавления IBS;
 - $\beta = 0,5$ м; $L = 1 \cdot 10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;
 - угол столкновения пучков составляет 0 мрад.
- В результате проведенных в течение года исследований и расчетов в настоящее время предпочтение отдается следующему варианту:
- 25 ступок интенсивностью 10^9 ионов $^{197}\text{Au}^{79+}$ циркулируют в двух кольцах;
 - используется стохастическое охлаждение для подавления IBS;
 - $\beta < 0,5$ м; $L = 2 \cdot 10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;
 - угол сведения пучков 10 мрад.

В настоящее время завершается подготовка «Technical Design Report».

Начата работа по подготовке первой концепции поляризованных пучков протонов и дейтронов.

Сотрудники ускорительного отделения ЛФВЭ активно участвуют в проекте ИРЕН, отвечая за ключевой элемент — линейный ускоритель электронов

ЛУЭ-200. В декабре 2008 г. прошел технический запуск ИРЕН, ускорены электроны и зафиксированы первые нейтроны (рис. 1).

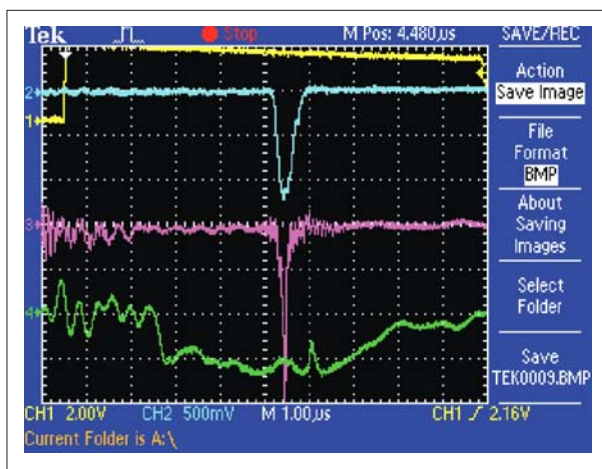


Рис. 1. Зависимость смещения пучка (ЛУЭ-200, ИРЕН) от поля корректора соответствует энергии электронов 20 МэВ. Ток на выходе ускорителя 1,25 А (верхняя кривая). Сигнал «пояса Роговского» на входе в мишенный зал 0,4 А (средняя кривая). Огибающая амплитуды ВЧ-поля (нижняя кривая)

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ФИЗИКЕ

NA48/NA62

В рамках эксперимента NA48 (ЦЕРН, SPS) на основе данных, накопленных в 2003–2004 гг., при значительном вкладе сотрудников ОИЯИ в 2008 г. получены следующие основные результаты.

- Проведен анализ $\sim 6 \cdot 10^7$ распадов $K_{3\pi}$ ($K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$) и $\sim 10^6$ распадов K_{e4} ($K^\pm \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \gamma$) [1]. Извлечены значения a_0 и a_2 для длины S -волны $\pi\pi$ -рассеяния с изотопическим спином 0 и 2 с экспериментальной погрешностью в несколько процентов, что в 3 раза превышает результаты предыдущих измерений и дает возможность для проведения прецизионной проверки предсказаний киральной пертурбативной теории. Этот результат рассматривается в ЦЕРН как один из наиболее значимых в 2008 г.

- Выполнено новое измерение свойств распада $K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- e^\pm \nu$, основанное на части имеющейся статистики, включающей более 67 тысяч распадов для обоих зарядов каона, зарегистрированных в сеансе 2003 г. [2]. В десяти независимых интервалах по массе пары $\pi\pi$ были измерены формфакторы адронных токов (F , G , H) и разность фаз $\pi\pi$ -рассеяния ($\delta = \delta_s - \delta_p$), чтобы исследовать их вариации. Значительный аксептанс для больших масс пары $\pi\pi$, низкий уровень фона и очень хорошее

разрешение повлияли на улучшение экспериментальной точности измерения длин волны рассеяния пионов a_0^0 и a_0^2 , которая была улучшена вдвое по сравнению с предыдущим экспериментом. В предположении изоспиновой симметрии и с применением численного решения уравнений Роя были получены следующие значения в плоскости (a_0^0, a_0^2) : $a_0^0 = 0,233 \pm 0,016$ (стат.) $\pm 0,007$ (сист.), $a_0^2 = -0,0471 \pm 0,011$ (стат.) $\pm 0,004$ (сист.).

- Закончен анализ «эффекта острия» (cusp) в далитц-распределении $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$, готовится заключительная статья.

Полученные результаты представлены на многих международных совещаниях, включая 8 докладов, сделанных представителями группы ОИЯИ. Представлена к защите докторская диссертация «Исследование CP -нарушения в распадах нейтральных каонов на два пиона в эксперименте NA48».

Коллаборация приступила к подготовке эксперимента NA62 на пучке ЦЕРН SPS, посвященного изучению экстремально редких распадов заряженных каонов на заряженный пион и два нейтрино. В методическом сеансе на пучке в ЦЕРН было проведено испытание различной электроники считывания данных и оптимизация газовой смеси для разработанного и созданного в ОИЯИ прототипа straw-детектора.

Коллаборация COMPASS (ЦЕРН, SPS) в 2008 г. набирала данные на адронном пучке. Программа включала поиск глюоболов в области масс более 2 ГэВ/с в инклюзивном дифракционном pp -рассеянии, изучение лептонных и полулептонных распадов очарованных адронов, дифракционное рассеяние и рассеяние Примакова. Был завершен анализ данных по измерениям асимметрий Коллинза и Сиверса для идентифицированных адронов, рожденных в глубоконеупругом рассеянии μ^+ с энергией 160 ГэВ на поперечно-поляризованной ^6LiD -мишени [3]. Обе асимметрии оказались сравнимы с нулем в пределах статистических ошибок, что находится в согласии с ожидаемой компенсацией между u - и d -кварками.

Определена поляризация глюонов в нуклоне в распадах D^0 -мезонов [4]. В лидирующем порядке (ЛП) КХД среднее значение поляризации глюо-

нов составило $\langle \Delta g/g \rangle_x = -0,49 \pm 0,27$ (стат.) $\pm 0,11$ (сист.) для $\langle x_g \rangle \approx 0,11$ (рис. 2).

Получены предварительные результаты по поляризованным партонным распределениям в ЛП КХД из данных, набранных в 2002–2006 гг. [5]. Найдено, что величина $(\Delta u_v + \Delta d_v)$ положительна и малочувствительна к использованному в анализе виду функций фрагментации; $(\Delta \bar{u}_v + \Delta \bar{d}_v)$ и $x\Delta s$ сравнимы с нулем.

В октябре–ноябре 2008 г. в ходе методического сеанса дубненская группа провела тестирование прототипов модулей электромагнитного калориметра ECAL0 с новыми лавинными многопиксельными фотодиодами, изготовленными в ОИЯИ. Создание ECAL0 планируется для измерений обобщенных партонных распределений в будущей физической программе COMPASS.

Представителями группы ОИЯИ сделано 14 докладов на международных конференциях и симпозиумах.

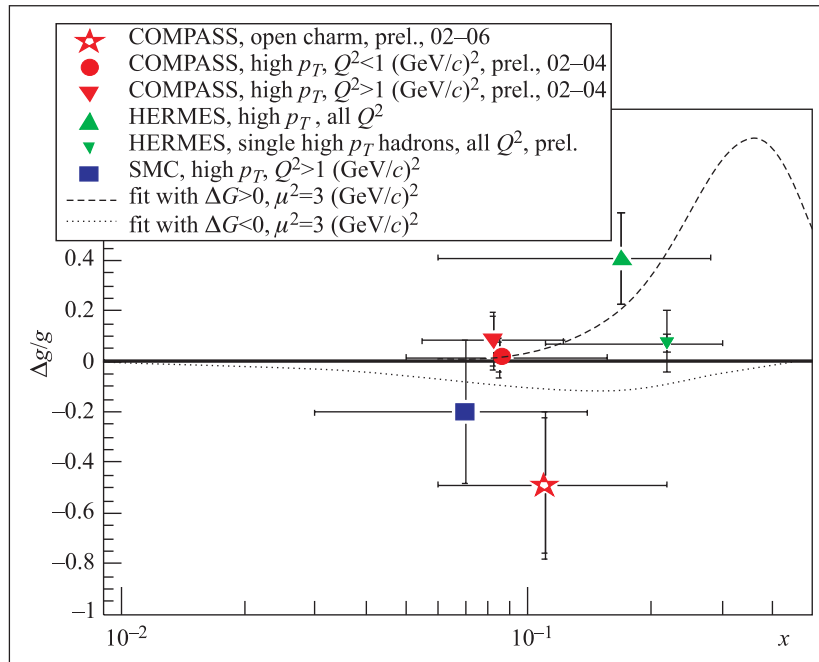


Рис. 2. Результаты измерений $\langle \Delta g/g \rangle_x$ из процессов с открытым очарованием и рождением пар адронов с большим p_T , выполненных коллаборациями COMPASS, SMC и HERMES, как функция бьеркеновского x . Кривые показывают параметризацию из следующего за лидирующим порядком КХД-анализа в схеме $\overline{\text{MS}}$ для $Q^2 = 3$ (ГэВ/с) 2 : фиты для $\Delta G > 0$ (штриховая линия) и для $\Delta G < 0$ (пунктирная линия)

STAR

В 2008 г. сотрудниками ЛФВЭ, участвующими в экспериментах на установке STAR (BNL, RHIC), опубликовано 11 работ по ядерным и спиновым эффектам в $p + p$ -, $d + \text{Au}$ -, $\text{Au} + \text{Au}$ -соударениях на RHIC. Помимо участия в сменах (3 недели) сеанса RHIC 2008 г. физики ОИЯИ выступили с 21 докладом на семинарах, конференциях и совещаниях и выполнили следующие работы.

Разработана модель соударения тяжелых ионов NUDJET++ (гидродинамика + jets) [6]. Мягкая часть NUDJET++ включает продольный, радиальный и эллиптический потоки и распады адронных резонансов [7].

Проведен цикл исследований фемтоскопических корреляций (включая корреляции неидентичных частиц, таких как π, Ξ) и вытекающих из них следствий, влияющих на динамику рождения частиц [6–9].

В рамках теории z -скейлинга проведен анализ данных по поперечным спектрам адронов, полученных на установке STAR, в сравнении с данными других коллабораций. Установлены новые свойства z -представления для протон-(анти)протонных взаимодействий — флейворная независимость и насыщение скейлинговой функции в области малых z .

Проведено сравнение предсказаний об асимптотическом поведении скейлинговой функции в рамках теории КХД и теории z -скейлинга.

Разработаны алгоритмы и новые методы для:

- восстановления мягких фотонов с помощью прототипа Crystal Detector (UCLA, Дубна), проанализированы основные источники фона и завершены работы над геометрией детектора;

- определения плоскости реакции, основанного на сохранении направлений угловых моментов в начальном и конечном состояниях процесса соударения;

- развития и адаптации алгоритма реконструкции странных частиц, основанного на методе кинематического фита, для анализа данных $d + Au$ -взаимодействий при 200 ГэВ. Получены предварительные данные по спектрам K_S^0 , Λ и анти- Λ до $p_T = 9$ ГэВ/с.

В течение 2008 г. были проработаны две технологические схемы улучшенного варианта BBC (Beam Beam Counter) для экспериментов STAR и MPD (NICA). Оценены основные параметры, влияющие на эффективность работы триггера нулевого уровня при энергии соударения $\sqrt{s_{NN}} = 9$ ГэВ и надежность восстановления плоскости реакции.

Метод случайных матриц применен для анализа событий с установки STAR и обобщен на область промежуточных энергий. Получены результаты анализа спектров рождения частиц в CC -взаимодействиях при энергии 4,2 ГэВ, которые позволяют сделать вывод о том, что выбор кинематических переменных (энергия или импульс) в исходном спектре частиц не влияет на поведение функции распределения $p(s)$.

Проведено изучение глобальной структуры pC -, dC -, αC -, CC -взаимодействий методом, основанным на рассмотрении распределений по максимальному поперечному импульсу частиц в событии.

TRD

В 38-м сеансе работы нуклотрона были продолжены измерения тензорной поляризуемости дейтронов при прохождении неполяризованного пучка дейтронов через неполяризованную мишень с целью подтверждения результатов 2007 г. [10] на увеличенной статистике.

Результаты представлены на рис. 3 в сравнении с предыдущими данными и теоретическими предсказаниями.

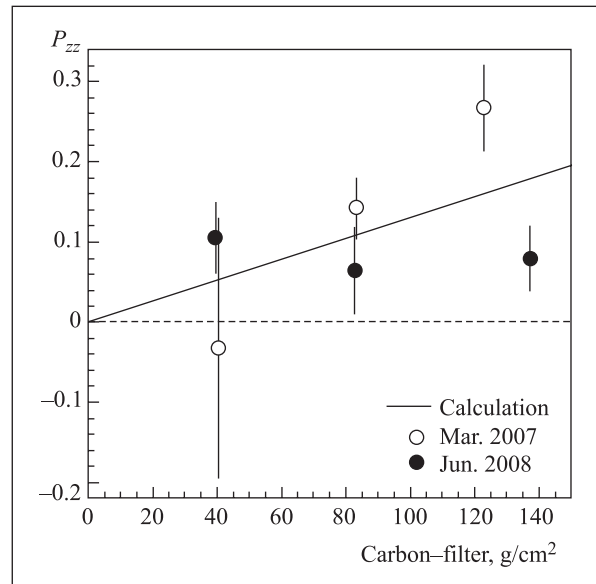


Рис. 3. Тензорная поляризация дейтронов в зависимости от толщины мишени (○ — сеанс 2007 г.; ● — сеанс 2008 г.)

«Термализация»

В 2008 г. сотрудники ОИЯИ, занятые в проекте «Термализация», участвовали в комплексе работ по модернизации и подготовке аппаратуры установки и в проведении двух физических сеансов (март и ноябрь), в ходе которых было записано более 5 млн событий с уровнем триггера по множественности не ниже 8.

Совместно с сотрудниками ИТФ им. Н. Н. Боголюбова (Киев) продолжались исследования возможности обнаружения бозе-эйнштейновской конденсации в pp -соударениях с большой множественностью при энергии налетающего протона 50 ГэВ.

В рамках расширенной статистической модели объединены области жестких и мягких процессов. Показано, что в более реалистичной модели возникают нетривиальные корреляции между числом заряженных и нейтральных частиц, а также получена зависимость импульсного спектра от числа заряженных частиц.

Продолжается поиск кольцевых событий в pp - и pA -взаимодействиях с большой множественностью.

CMS

В 2008 г. сотрудниками ОИЯИ был выполнен ввод в эксплуатацию и проведена калибровка торцевого адронного калориметра (HE) и камер передних мюонных станций (ME1/1).

Проведен анализ экспериментальных данных комбинированного теста на пучках SPS калориметрической системы CMS. Разрешение изолированного калориметра HE составило $114\%/\sqrt{E} + 2,7\%$ ($5 \leq E \leq 300$ ГэВ) (рис. 4, слева), продемонстрирована хорошая линейность сигнала (рис. 4, справа).

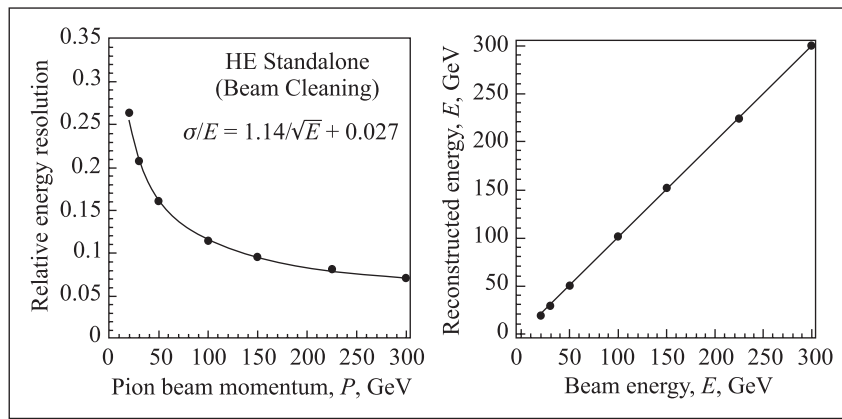


Рис. 4. Энергетическое разрешение торцевого адронного калориметра (с учетом отношения π/e) (слева) и корреляции между точным и реконструированным значениями энергии пионов (справа)

На основе данных космики при магнитном поле 3,8 Тл получено пространственное разрешение камер ME1/1b. Для одиночной плоскости оно составило 92,5 мкм, для всей камеры — 46 мкм.

Основные усилия физиков ОИЯИ в CMS направлены на подготовку к первому сеансу по набору данных и развитию физической программы CMS.

Группа ОИЯИ фокусируется на программе изучения процессов рождения пары мюонов с большой инвариантной массой в конечном состоянии. Оценен потенциал CMS по регистрации мюонных пар в процессе Дрелла–Яна и наблюдению сигнала новой физики за пределами стандартной модели для интегральной светимости 100 пбн^{-1} . Показано, что CMS способен наблюдать гравитон модели RS1 с массой до 1,5 ТэВ, если константа модели c равна 0,1. Для $c = 0,05, 0,02, 0,01$ достижимый массовый предел составляет 1200, 780 и 500 ГэВ соответственно.

Для случая малой светимости ($L = 2 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) была детально изучена процедура установления шкалы энергии струй в событиях с рождением прямых фотонов и ассоциированных струй. Показано, что приемлемая точность калибровки обеспечивается, начиная с поперечной энергии фотонов $E_T^\gamma = 20 \text{ ГэВ}$.

Результаты были представлены на совещаниях CMS, опубликованы в 12 внутренних сообщениях CMS и рецензируемых журналах.

Продолжалась разработка компьютерной инфраструктуры, основанной на грид-технологиях.

ALICE

В 2008 г. сотрудниками группы ALICE в ОИЯИ выполнены следующие работы:

- в рамках программы AliRoot создан пакет для хранения информации о событиях в формате ROOT Tree;

- продолжалось моделирование установки ALICE и анализ процесса $\phi \rightarrow K^+ K^-$;

- завершены работы по моделированию и исследованию распадов $\rho, \omega, \phi, J/\psi$ в $e + e$ -пары в столкновениях Pb + Pb при энергии 5,5 ТэВ/нуклон;

- завершено интегрирование пакета Universal HydroKinetic Model (UHKM) в AliRoot. Начаты работы по моделированию и анализу НВТ-корреляций;

- проводились исследования по оценке возможностей установки ALICE в изучении чармония и боттомония в распадах на два мюона при соударении Pb + Pb с энергией 5,5 ТэВ/нуклон;

- исследовалась возможность извлечения из данных ALICE партонных распределений нуклона в области бьеркеновской переменной $x \sim 10^{-5} \div 10^{-6}$ и структурной функции глюона из данных по рождению J/ψ в pp -взаимодействии при $\sqrt{s} = 14 \text{ ТэВ}$.

Сотрудники ОИЯИ участвовали в развитии и модернизации математического обеспечения для калориметра PHOS, а также в поддержке и обновлении системы ALICE Data Challenges в России.

Члены группы ALICE из ОИЯИ принимали участие в тестовом запуске установки на LHC.

Изготовлена, протестирована и отправлена в Германию 21 камера TRD для установки ALICE. В процессе изготовления и исследования параметров находятся еще 12 камер.

NA49

В рамках эксперимента NA49 (ЦЕРН, SPS) продолжалась обработка набранного ранее материала в пучках ядер свинца и более легких вторичных ядер в области энергий от 20 до 158 А·ГэВ. Получены данные о взаимодействии ядер при высоких энергиях. Выполнен анализ данных для получения новой информации о рождении пионов и каонов, адронных спектрах с большими поперечными импульсами, бозе-эйнштейновских корреляциях пионных пар, эллиптических потоках и флуктуациях вторичных частиц в Pb + Pb-столкновениях [11–16].

Сотрудники ОИЯИ принимали участие в подготовке установки (ОИЯИ отвечает за времяпролетный детектор TOF) к сеансу и в самом сеансе, который был успешно проведен осенью 2008 г. на ускорителе SPS в ЦЕРН.

HADES

Работы на установке HADES (GSI, SIS-18) включали: обработку данных, разработку нового триггера и участие в экспериментальном сеансе, в ходе которого было набрано около 4 млрд событий во взаимодействии $p + \text{Nb}$ при энергии 3,5 ГэВ.

Была изготовлена, протестирована и передана в GSI электроника триггера MDC для шести камер.

Сотрудниками группы ОИЯИ велась обработка данных по упругому dp -рассеянию при энергии 1,25 ГэВ для изучения короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций в дейтроне.

Продолжалась обработка данных по рождению пар пионов в экспериментах по pp -взаимодействию при 2 ГэВ.

MPD

В течение 2008 г. велась разработка концепции и R&D базовых элементов установки MPD. Были выполнены следующие работы.

TPC. Определены основные параметры TPC для детектора MPD (MPD LOI).

Проведено моделирование основных рабочих характеристик считывающей камеры ROC (загрузки, времена дрейфа, сигналы с пэдов и т. д.).

Подготовлены эскизы и разрабатывается конструкторская документация прототипа № 1 ROC. Изготовлен Al-корпус и ряд других основных узлов ROC. Идет освоение программного пакета для механического проектирования «Solid Edge». Определена структура пэдовой плоскости, готовится заказ на изготовление.

Завершается проработка предложения по использованию электроники TPC/ALICE. Приобретена электронная аппаратура фирм CAEN и «Phillips Scientific» для создания испытательного стенда.

Времяпролетный детектор TOF. Проведены работы, связанные с подготовкой элементов и отработкой процедуры сборки прототипа многозакорной плоскопараллельной камеры (mRPC) для времяпролетной системы MPD NICA.

Собран прототип многозакорной плоскопараллельной резистивной камеры, которая будет основным элементом времяпролетной системы MPD NICA. Структура детектора mRPC включает десять газовых зазоров, в которых будет развиваться лавинный газовый разряд. Для считывания сигналов используются 24-канальные предусилители на основе микросхемы NINO, разработанной для времяпролетной системы детектора ALICE в ЦЕРН.

Собрана и прокалибрована газовая система для обеспечения рабочей смесью прототипа mRPC.

Проведено моделирование системы идентификации частиц по времени пролета в области псевдобыстрот больше 1,5 с включением информации с комбинированной системы TPC, straw tubes и TOF (mRPC).

Создана база данных по времяпролетной системе MPD, включающая процедуру вычисления хитов на считывающих электродах детектора времяпролетной системы и определения координаты частицы при срабатывании нескольких соседних считывающих электродов.

Торцевой трекер установки. Описана геометрия различных вариантов торцевых трекеров детектора в формате FairRoot. Проведены расчеты потерь энергии легкими заряженными адронами (p , K , π) при прохождении через вещество торцевого трекера.

Предложена схема совершенствования работы торцевого трекера детектора, основанная на использовании времяпроекционной камеры с радиальным дрейфом.

Калориметрия. Отработана методика считывания информации и проведены подготовительные работы с калориметром типа «шашлык». Приобретен и подготовлен к сеансу модуль калориметра размером 12×12 см и длиной $20X_0$ типа КОPIO. В качестве электроники считывания создан новый, 16-й блок быстрой оцифровки ADC16.

Успешно проведен сеанс по набору статистики на ускорителе в Гамбурге. Обработка полученных данных позволит сделать заключение о возможности использования калориметра данной конструкции для MPD и выработать техническое задание на изготовление модуля калориметра, адаптированного к требованиям MPD.

Во время 38-го сеанса работы нуклотрона на пучке ядер ${}^6\text{Li}$ с энергией 2,2 ГэВ/нуклон испытана сборка из 9 модулей 15×15 см со структурой $40 \cdot (2 \text{ см железо} + 0,5 \text{ см сцинтиллятор})$. Работы проводились при тесном взаимодействии с группой А. Б. Курепина (ИЯИ РАН).

Развитие математического обеспечения. За 2008 г. программная среда FairRoot была адаптирована к компьютерной базе и программному обеспечению, используемому в ЛФВЭ. В течение года производилось также обновление версий программных пакетов, используемых в оболочке (ROOT, GEANT, CLHEP и др.). В оболочку MPDRoot внесено описание основных трековых детекторов установки MPD (TPC и TOF), а также детекторов ZDC, StrawECT-трекера и электромагнитного калориметра. Текущее состояние детектора, описанного в оболочке, показано на рис. 5. Создана база для хранения оболочки и разрабатываемых программных продуктов.

Выполнена разработка методов реконструкции треков в TPC и EndCap MPD на основе фильтра

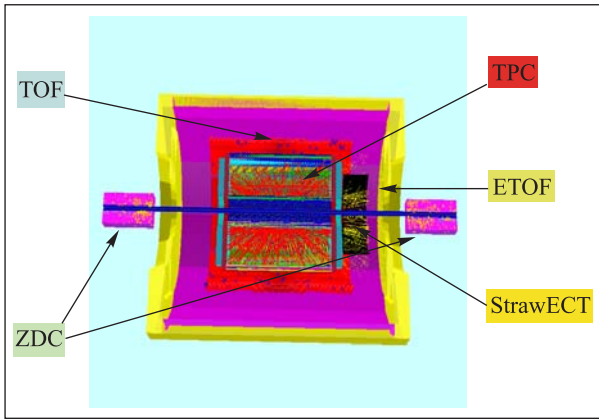


Рис. 5. Установка MPD

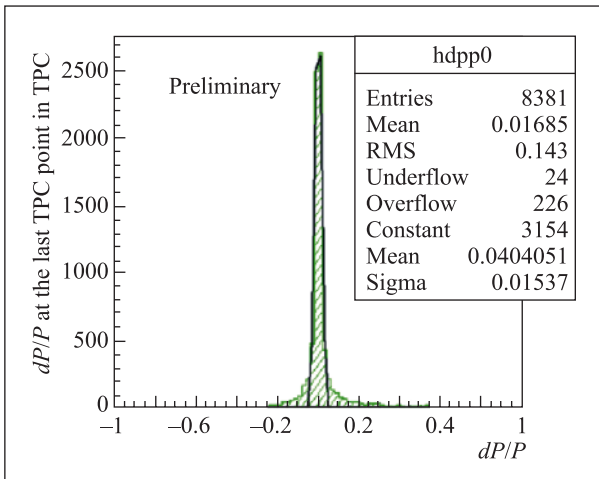


Рис. 6. Импульсное разрешение в TPC

Кальмана. Полученное разрешение по импульсу заряженных частиц приведено на рис. 6.

Велись работы по созданию кода, основанного на каскадной модели (Dubna Cascade Code), совместимого с ROOT, и по созданию генератора событий, позволяющего включить фазовые переходы.

ФАЗА-2

В 2008 г. коллаборацией ФАЗА опубликованы данные по значению критической температуры T_c для ядерного фазового перехода жидкость–газ [17] (рис. 7): $T_c = (17 \pm 2)$ МэВ — из анализа данных ФАЗА по мультифрагментации и $T_c = (16,5 \pm 2)$ МэВ — из анализа надежных измерений делимости возбужденных ядер.

Продолжался набор данных на установке ФАЗА. После модернизации она включает 30 телескопов-спектрометров, размещенных при относительных углах от 10 до 180°. Каждый телескоп состоит из цилиндрической ионизационной камеры (ΔE -сигнал) и кремниевого детектора (E -сигнал). Расположение

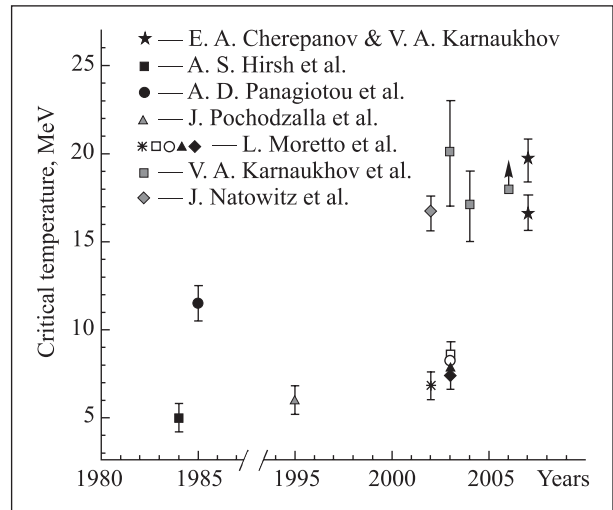


Рис. 7. Экспериментальные значения критической температуры, измеренные в 1984–2008 гг.

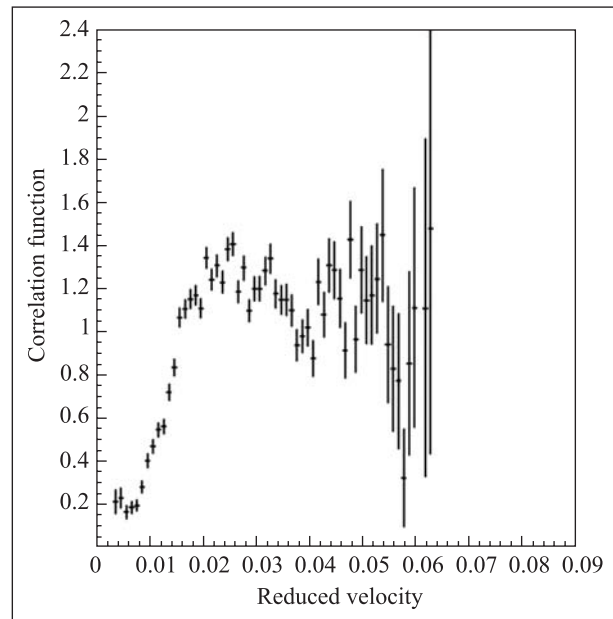


Рис. 8. Корреляционная функция для фрагментов промежуточной массы в зависимости от относительной скорости

телескопов достаточно компактно для получения высокой геометрической эффективности и спектров кинетической энергии для фрагментов промежуточной массы (ФПМ) от Li до Ag в этом диапазоне углов.

В сеансе 2008 г. тонкая мишень из золота (1 мг/см^2) облучалась выведенным пучком дейтронов с энергией 5 ГэВ и интенсивностью $\sim 10^8 \text{ с}^{-1}$. На рис. 8 приведена корреляционная функция для ФПМ в зависимости от относительной скорости фрагментов, возникших в событии. Значение корреляционной функции пропорционально вероятности появления пары фрагментов с данной относительной скоростью. Если фрагменты испаряются независимо

друг от друга, следует ожидать изотропию для их распределения по относительному углу. Если же они вылетают из горячего ядра практически одновременно, малые относительные углы будут подавлены за счет кулоновского отталкивания фрагментов друг от друга. На рисунке видно подавление выхода фрагментов с малыми относительными скоростями.

В настоящее время проводится анализ полученных корреляционных функций для извлечения информации о временной шкале процесса. Ожидается получение качественно новых результатов.

LHC Damper

Осуществлен запуск системы подавления (СП) поперечных когерентных колебаний пучка в LHC. Проектные параметры достигнуты, а оборудование мощной части СП было успешно использовано в сентябре 2008 г. для возбуждения поперечных колебаний сгустка при измерении бетатронных частот (рис. 9, 10).

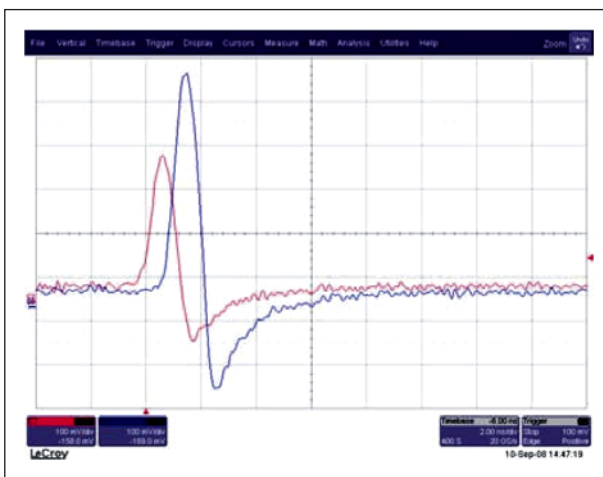


Рис. 9. Сигналы с пластин датчика положения, наведенные первым сгустком, инжектированным во второе кольцо LHC 10 сентября 2008 г.

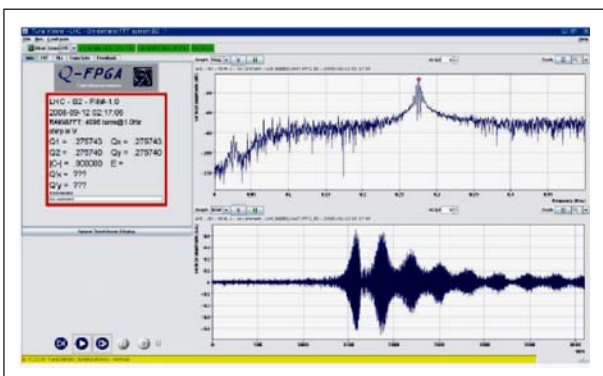


Рис. 10. Результаты измерения бетатронных частот (данные представлены отделами АВ/В1 (ЦЕРН)). Нижний график соответствует отклику пучка на гармоническое возбуждение в вертикальной плоскости, а верхний — спектру этого отклика

Итоговые отчеты были доложены в июне на одиннадцатой Европейской конференции по ускорителям заряженных частиц «EPAC'08» [18] и в октябре на XXI Российской конференции по ускорителям заряженных частиц «RuPAC-2008» [19].

ILC

В июне 2008 г. прошло совещание руководителей проекта и заседание ученого совета (ILC SC), в ходе которого Дубна была названа одним из основных претендентов на размещение международного линейного коллайдера. В настоящее время в рамках проекта ILC начаты геолого-разведочные работы вдоль трассы будущего ускорителя (отчет будет представлен в марте 2009 г. в Японии).

Проводятся следующие работы по ускорительным направлениям:

- исследования на тестовом стенде с электронным пучком на основе Linac-800;
- исследования по криодиагностике;
- работы на накопителе позитронов низкой энергии (проект LEPTA);
- исследования повреждений стенки ускоряющей структуры, вызванных импульсным циклическим СВЧ-нагревом (проект CLIC);
- исследования по физике твердого тела и биофизике с помощью пучков электронов и СВЧ-излучения;
- теоретическая и экспериментальная разработка мощного импульсного источника субмиллиметрового излучения;
- модернизация ускорителя ЛИУ-3000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Batley J.R. et al.* First Observation and Measurement of the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \gamma$ // *Phys. Lett. B.* 2008. V. 659. P. 493–499; hep-ex/0711.4313.
2. *Batley J.R. et al.* New High Statistics Measurement of K_{e4} Decay Form Factors and $\pi\pi$ Scattering Phase Shifts // *Eur. Phys. J. C.* 2008. V. 54. P. 411–423.
3. *Alexeev M. et al.* Collins and Sivers Transverse Spin Asymmetries for Pions and Kaons on Deuterons. CERN-PH-EP/2008-002; hep-ex/0802.2160; *Phys. Lett. B.* (submitted).
4. *Alexeev M. et al.* Direct Measurement of the Gluon Polarization in the Nucleon via Charm Meson Production. CERN-PH-EP/2008-003; hep-ex/0802.3023.
5. *Santos H. on behalf COMPASS.* New COMPASS Results on SIDIS. Talk given in Intern. Conf. on Particles and Nuclei (PANIC 2008), Eilat, Israel, Nov. 9–14, 2008.
6. *Lokhtin I.P. et al.* Heavy Ion Event Generator HYDJET++ (HYDroDynamics Plus JETs) // *Comp. Phys. Commun.* (submitted); hep-ph/0809.2708.

7. *Amelin N.S. et al.* Fast Hadron Freeze-Out Generator. Part II. Noncentral Collisions // *Phys. Rev. C.* 2008. V.77. P.014903.
8. *Lednicki R.* Notes on Correlation Femtoscopy // *Phys. At. Nucl.* 2008. V. 71. P. 1572–1578.
9. *Lednicki R.* Finite-Size Effect on Two-Particle Production // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 2008. V.35. P. 125109.
10. *Azhgirei L.S. et al.* Observation of Tensor Polarization of Deuteron Beam Traveling through Matter // *Part. Nucl. Lett.* 2008. V. 5, No. 5(147).
11. *Alt C. et al.* Pion and Kaon Production in Central Pb + Pb Collisions at 20A and 30A GeV: Evidence for the Onset of Deconfinement // *Phys. Rev. C.* 2008. V. 77. P.024903-1–10.
12. *Alt C. et al.* Energy Dependence of Multiplicity Fluctuations in Heavy Ion Collisions at 20 to 158 A GeV // *Phys. Rev. C.* 2008. V. 78. P.034914.
13. *Alt C. et al.* Energy Dependence of Phi Meson Production in Central Pb + Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 6$ to 17 GeV // *Ibid.* P.044907.
14. *Alt C. et al.* Energy Dependence of Lambda and Xi Production in Central Pb+Pb Collisions at 20, 30, 40, 80, and 158 A GeV Measured at the CERN Super Proton Synchrotron // *Ibid.* P.034918.
15. *Alt C. et al.* High Transverse Momentum Hadron Spectra at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in Pb + Pb and $p + p$ Collisions Measured by CERN-NA49 // *Ibid.* V.77. P.034906-1–11.
16. *Rybczynski M. et al.* Energy Dependence of Fluctuations in Central Pb + Pb Collisions from NA49 at the CERN SPS // *J. Phys. G.* 2008. V. 35. P. 104091.
17. *Авдеев С.П. и др.* Критическая температура для фазового перехода жидкость–газ // *ЯФ.* 2008. Т.71, №12. С. 2101.
18. *Baudrenghien P. et al.* LHC Transverse Feedback System and its Hardware Commissioning. // *Proc. of the 11th Eur. Particle Accelerator Conf. Genoa, Italy, June 23–27, 2008.* P. 3266–3268.
19. *Gorbachev E.V. et al.* LHC Transverse Feedback System: First Results of Commissioning // *Proc. of the XXI Russian Particle Accelerator Conf. Zvenigorod, Russia, Sept. 28 – Oct. 3, 2008.* P. 97–100.