

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

В 2012 г. усилия сотрудников Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина были направлены на реализацию и

развитие проекта NICA («Нуклотрон-NICA», MPD и VM@N) и участие в совместных исследованиях в ведущих ускорительных центрах мира.

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В РАЗВИТИИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Развитие базовых установок

В 2012 г. основные усилия, связанные с развитием нуклотрона, были направлены на: увеличение энергии и интенсивности пучков до максимальных проектных; повышение стабильности и надежности работы комплекса; уменьшения потерь частиц в процессе захвата и во время ускорения, улучшения качества медленного вывода.

«Нуклотрон-NICA»

В рамках модернизации и развития нуклотрона были выполнены следующие задачи:

- 1) проведены 45-й и 46-й сеансы нуклотрона. Полное время работы составило около 1650 ч;
- 2) изготовлены все элементы для нового источника тяжелых ионов KRION-6T. Завершена его сборка, и начаты работы по вводу источника в эксплуатацию;
- 3) новый источник поляризованных ионов собран на стенде, начаты работы по его вводу в эксплуатацию;
- 4) продолжались работы по развитию криогенного комплекса;
- 5) завершены установка и введение в эксплуатацию трансформатора линии инжектирования;
- 6) введена в действие новая система термометрии;
- 7) продемонстрирована стабильная работа комплекса при циркуляции пучка до 1000 с; изучено поведение криогенной и оптической систем ускорителя в режиме длинного плато;
- 8) проведены ускорение и медленный вывод дейтронов с энергией 4,5 ГэВ/нуклон; пучки углерода с энергией 3,4 ГэВ/нуклон и дейтронов с энергией 4 ГэВ/нуклон были выведены в экспериментальную зону эксперимента VM@N;

9) проводились исследования и измерения различных параметров ускорителя, продолжались работы по тестированию системы диагностики ионных пучков.

NICA

В рамках реализации проекта NICA в 2012 г. выполнены следующие работы:

- 1) проведены стендовые испытания дипольных магнитов бустера;
- 2) продолжались работы по созданию инфракрасной структуры для производства новых моделей и прототипов сверхпроводящих магнитов для NICA и FAIR;
- 3) подготовлен технический проект нового линейного ускорителя (HLac) тяжелых ионов;
- 4) утвержден проект колец коллайдера;
- 5) на нуклотроне проведены исследования прототипа системы стохастического охлаждения пучка для коллайдера NICA;
- 6) проведено исследование методов стохастического охлаждения и механизмов потери частиц в режиме длительной циркуляции.

ILC

ОИЯИ активно участвует в проекте ILC — одном из наиболее интересных проектов будущих ускорителей. В 2012 г. по этому направлению было сделано следующее:

- 1) введена в эксплуатацию первая ускорительная станция линейного ускорителя ОИЯИ. При энергии электронов в диапазоне 23–25 МэВ ток составил 6 мА;
- 2) стенд в ЛФВЭ оборудован ондулятором с постоянной магнитной структурой. Проведено измерение качества магнитного поля, подтвердившее его

требуемое распределение, а также величину на полюсах. Завершены работы по проектированию и изготовлению отклоняющего магнита FEL IR;

3) на стенде продолжают работы по разработке концепции полого фотокатода для фотонной пушки.

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

CMS

Группа ОИЯИ в эксперименте CMS концентрируется на исследовании процессов с рождением пары мюонов и многоструйных событиях, проверяя предсказания Стандартной модели (СМ) и осуществляя поиск физики за ее пределами [1]. Исследован спектр мюонных пар в различных интервалах значений инвариантной массы, проведено исследование влияния различных кинематических порогов на выделение сигнала и подавление фона, показано хорошее согласие экспериментальных данных и моделирования Монте-Карло.

Используя данные 2011–2012 гг., что соответствует интегральной светимости 5,0 и 5,3 обратных фемтобарн для 2011 г. и 2012 г. соответственно, был проведен поиск новых тяжелых резонансов, распадающихся на мюонную пару.

На статистике 2011 г. ($5,0 \text{ fb}^{-1}$) и 2012 г. ($5,3 \text{ fb}^{-1}$), полученной CMS в столкновениях пучков протонов при энергии 7 и 8 ТэВ соответственно, проведен поиск нового тяжелого резонансного состояния в канале с двумя мюонами. Рождение новых тяжелых резонансов предсказывается многими теоретическими моделями, например с дополнительными калибровочными бозонами (Z') и моделями с дополнительными измерениями (Рэндалл–Сундрума), где присутствуют калюца-кляйновские возбужденные состояния гравитона (GKK). Для расширенного калибровочного сектора с константами связи СМ с 95 %-м уровнем достоверности на данных 2012 г. были исключены новые нейтральные калибровочные бозоны (Z_{SSM}) массой менее 2270 ГэВ, а для калибровочной модели, обусловленной суперструнной теорией (Z_ψ), — массой менее 1940 ГэВ. Комбинированный анализ по рождению мюонных и электронных пар на объединенной статистике двух лет позволил расширить данные пределы вплоть до 2590 ГэВ для Z_{SSM} и 2260 ГэВ для Z_ψ . Таким образом, эксперимент CMS существенно продвинулся в области измеренных инвариантных масс пар мюонов, и были установлены новые ограничения по сравнению с предыдущими измерениями на LHC и тэватроне (FNAL, США).

Также физики ОИЯИ внесли вклад в обнаружение нового нейтрального бозона массой $125,3 \pm 0,4(\text{стат.}) \pm 0,5(\text{сист.})$ по распаду на 2 нейтральных

В 2012 г. сотрудниками ускорительного отделения подготовлено 8 статей и сделано 19 докладов на международных конференциях. Двое сотрудников защитили кандидатские диссертации, один — докторскую.

калибровочных бозона и дальнейшему распаду на 4 лептона (рис. 1). Данное исследование являлось продолжением поиска бозона Хиггса в каналах с двумя фотонами, двумя тау-лептонами, b -кварками, W - и Z -бозонами. В результате объединенного анализа данных 2011 г. ($5,1 \text{ fb}^{-1}$) и 2012 ($5,3 \text{ fb}^{-1}$) г. обнаружено превышение числа зарегистрированных событий над фоном Стандартной модели со статистической значимостью 3,2 σ .

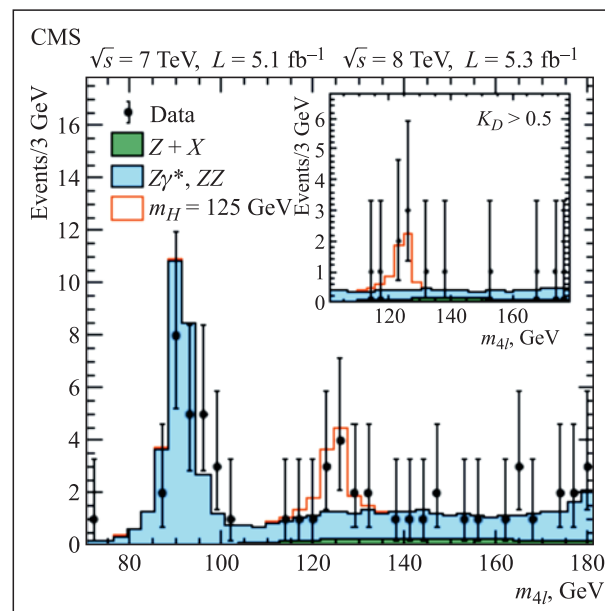


Рис. 1. Массовое распределение четырехлептонных реконструированных событий в каналах $4e$, 4μ и $2e2\mu$. Точками показаны данные, закрашенной гистограммой представлен фон, а незакрашенной — ожидаемый сигнал

ALICE

Многоцелевая установка ALICE предназначена для изучения свойств сильновзаимодействующей материи и кварк-глюонной плазмы в ядро-ядерных столкновениях на LHC. В 2012 г. установка ALICE работала на протонных пучках с энергией в системе центра масс 8 ТэВ. Было набрано 10^8 событий с «minimum bias» триггером и 10^9 событий с другими триггерами. Кроме того, был осуществлен тестовый

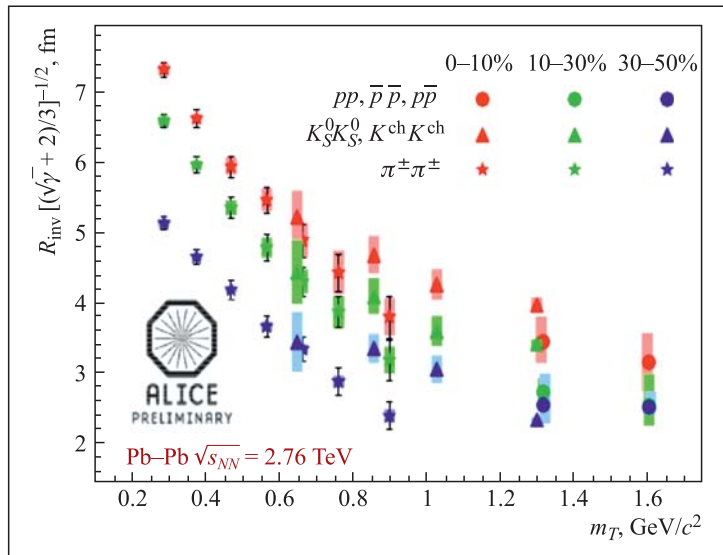


Рис. 2. Зависимость инвариантного радиуса от поперечной массы пары, извлеченная из фемтоскопического анализа корреляций в столкновениях Pb–Pb при 2,76 ТэВ на пару нуклонов. Результат демонстрирует приблизительный скейлинг по m_T

сеанс по столкновению p –Pb при 5,02 ТэВ. По результатам анализа 2 млн событий, записанных в данном сеансе, опубликованы две статьи.

Группа ОИЯИ концентрируется на анализе бозе-эйнштейновских корреляций. В 2012 г. изучались зависимости инвариантных радиусов поперечной массы заряженных каонов в соударениях Pb–Pb при $\sqrt{s} = 2,76$ ТэВ при различной центральности (рис.2) [2] Результаты были представлены на четырех международных конференциях.

ATLAS

Участие физической группы ЛФВЭ в проекте ATLAS в 2012 г. включало:

- поиск бозона Хиггса в рамках СМ в процессе с ассоциированным рождением W -бозона, распадающегося на пару b -кварков;
- поиск проявления SUSY;
- исследование деградации электроники жидкоаргонного калориметра ATLAS, связанной с высокой светимостью LHC;
- глобальный КХД-анализ данных по глубоконеупругому рассеянию (ГНР).

В 2012 г. физики ЛФВЭ продолжали работу по исследованию ассоциативного рождения бозона Хиггса с W -бозонами. Была проанализирована вся статистика, полученная в 2011 г. ($\sim 5 \text{ фб}^{-1}$), результаты опубликованы и представлены на международной конференции «СНЕР-2012». В настоящее время получен предел на величину сечения процесса на статистике обработанных к настоящему времени данных 2012 г. ($\sim 13 \text{ фб}^{-1}$) (рис.3). Анализ данного процесса необходим для определения спина

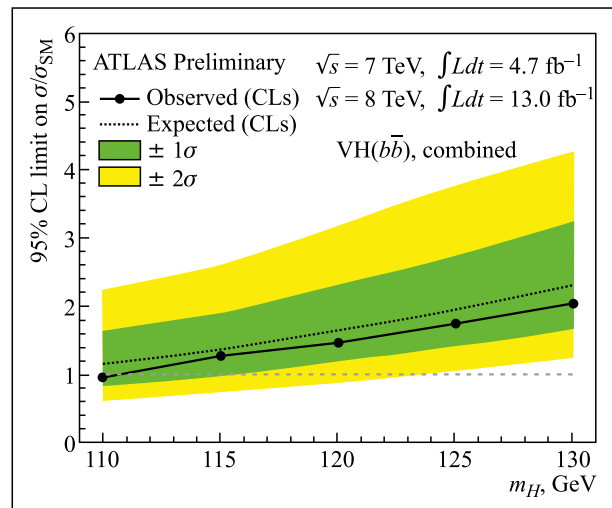


Рис. 3. Предел на сечение ассоциативного рождения бозона Хиггса СМ и W -бозона, полученный на статистике 2012 г. ($\sim 13 \text{ фб}^{-1}$)

и констант связи недавно обнаруженной частицы-кандидата в бозоны Хиггса.

Проведен инклюзивный поиск суперсимметрии в конечных состояниях с одним «жестким» лептоном, потерянной энергией и большой струйной множественностью в полном наборе данных, набранных детектором ATLAS в 2011 г. Анализ данных 2011 г. не обнаружил статистически значимого превышения наблюдаемого числа событий над предсказанием Стандартной модели. Были получены ограничения на ряд суперсимметричных моделей (некоторые из них рассмотрены впервые в нашем анализе).

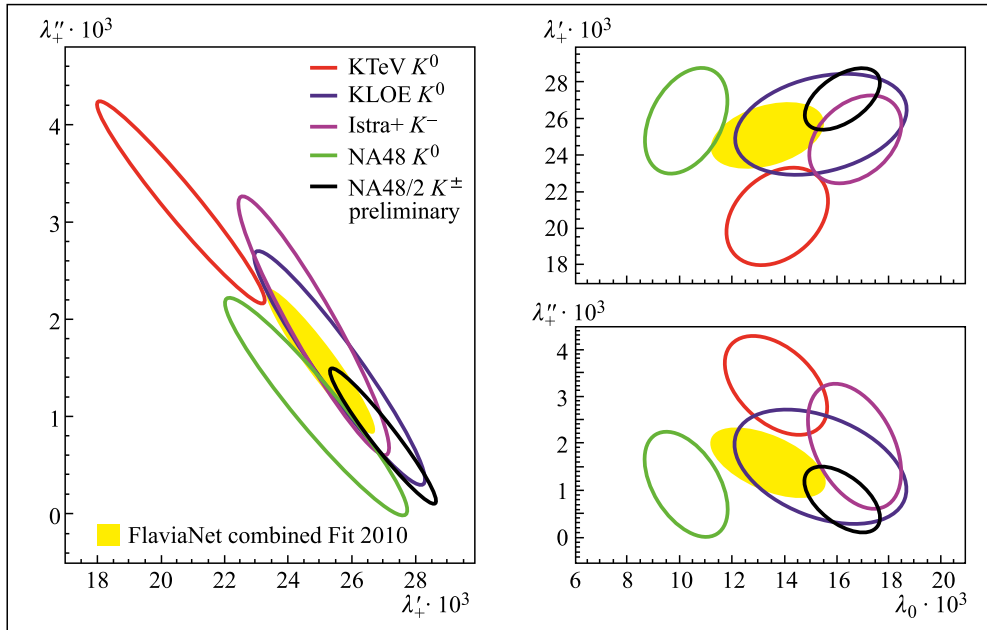


Рис. 4. Квадратичная параметризация формфактора измерения NA48/2 $K^\pm \rightarrow \pi^0 I^\pm \nu$ (K_{13}), основанная на данных обоих процессов K_{e3} и $K_{\mu 3}$, в сравнении с другими экспериментальными результатами. Контурями показан уровень 68 %-й достоверности

Результаты были представлены сотрудниками лаборатории на двух международных конференциях.

Эксперименты NA62 и NA48/2

Главные результаты, полученные в 2012 г. в рамках подготовки эксперимента NA62.

1. Продолжено производство строу-трубок в ЛФВЭ ОИЯИ. Изготовлено более 3000 трубок. Параметры трубок соответствуют спецификации. Продолжается долгосрочный тест каждой из трубок под давлением. Около 2000 трубок поставлены в ЦЕРН.

2. Завершены сборки модуля-0 (1) и модуля-2 в ЦЕРН. Началась сборка модуля-5. Корпус модуля-3 доставлен в ОИЯИ, протестирован в вакууме, и его сборка начата в новом экспериментальном зале ЛФВЭ.

3. Основной комплект оснастки для сборки модуля протестирован и используется. Изготовлена система измерения модуля на основе лазерного дальномера и измерительной балки INFN.

В 2012 г. продолжался анализ данных эксперимента NA48/2. Получены следующие результаты.

1. Выполнены новые измерения формфакторов полуплептонных распадов заряженных каонов, основанные на 4,0 млн K_{e3}^\pm - и 2,5 млн $K_{\mu 3}^\pm$ -распадов, накопленных в 2003 и 2004 г. (рис. 4). Результат соответствует точности текущего мирового среднего по векторным и скалярным формфакторам и позволяет значительно уменьшить вклад неопределенности формфактора в $|V_{US}|$.

2. Коллаборация NA48/2 проанализировала более миллиона распадов $K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^+ e^\pm \nu$, что позволило

улучшить измерение вероятности распада в три раза, а также с высокой точностью измерить его формфакторы [3]. Одновременно было проанализировано около 45000 распадов $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 e^\pm \nu$. Подавление фона ниже уровня 1% и очень хорошая реконструкция π^0 обеспечили первое точное измерение вероятности распада и формфактора распада на процентном уровне.

3. Измерена вероятность распада $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \nu_\mu$ с наилучшей точностью, составившей $(2,17 \pm 0,32_{\text{стат.}} \pm 0,17_{\text{сист.}}) \cdot 10^{-6}$.

4. Выполнено точное измерение отношения R_K лептонных распадов каонов $K^\pm \rightarrow e^\pm \nu$ и $K^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu$ с полным набором накопленных данных эксперимента NA62 в ЦЕРН в 2007–2008 г. В результате, анализируя ~ 150000 реконструированных $K^\pm \rightarrow e^\pm \nu$ с 11%-м подавлением фона, получено значение $R_K = (2,488 \pm 0,010) \cdot 10^{-5}$, соответствующее ожиданиям Стандартной модели.

По результатам работы сотрудниками ОИЯИ подготовлены и опубликованы четыре статьи, сделано шесть докладов на международных конференциях.

Эксперимент COMPASS

В 2012 г. набор статистики на установке COMPASS был выполнен на пионном и мюонном пучках для измерения реакций Примакова и впервые глубоконеупругого виртуального комптоновского рассеяния (ГВК). Ведется анализ данных.

Основные результаты, полученные в 2012 г., следующие.

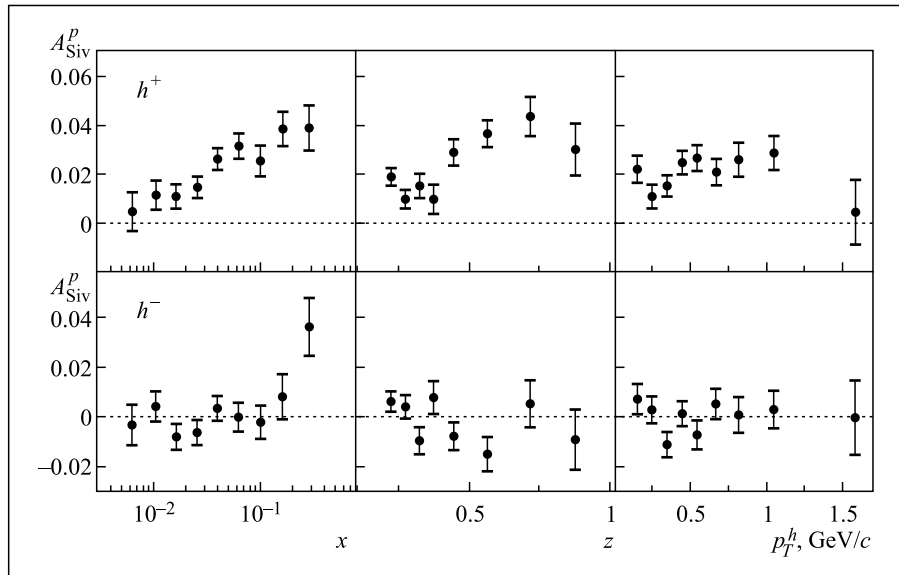


Рис. 5. Асимметрия Сиверса в зависимости от x , z и p_T^h для положительных (вверху) и отрицательных (внизу) адронов

COMPASS представил результаты по определению поляризации глюонов $\Delta g/g$ в поляризованных нуклонах по измерениям двойной продольной спиновой асимметрии событий ГНР с рождением пары адронов в конечном состоянии с большим поперечным импульсом. Данные были получены с использованием поляризованного пучка мюонов с энергией 160 ГэВ, взаимодействующего с поляризованной ${}^6\text{LiD}$ -мишенью. Значения, рассчитанные в лидирующем порядке КХД, не показывают значительной зависимости от x_g . Среднее значение $\Delta g/g = 0,125 \pm 0,060(\text{стат.}) \pm 0,063(\text{сист.})$ при $x_g = 0,09$ и $\mu^2 = 3$ (ГэВ/с) 2 .

Были получены первые результаты измерений азимутальной асимметрии в реакциях глубоко-неупругого рассеяния с рождением адронных пар на поперечно-поляризованных мишенях ${}^6\text{LiD}$ (дейтрона) и NH_3 (протона) [4]. Данные были набраны в 2002–2004 г. и 2007 г. Асимметрии обеспечивают доступ к поперечной функции распределения кварков (transversity) в нуклоне, без использования эффекта Коллинза, как это делается для асимметрий с рождением одного адрона. Большие значения асимметрий, измеренных на мишени NH_3 , указывают на ненулевые величины поперечности для u -кварка и интерференцию двухадронных функций фрагментации. Небольшие значения асимметрий, измеренных на мишени ${}^6\text{LiD}$, указывают на взаимную компенсацию поперечности u - и d -кварков.

COMPASS измерил поперечные спиновые азимутальные асимметрии в ГНР мюонов на поперечно-поляризованной мишени NH_3 с рождением заряженных адронов. Асимметрии Сиверса и Коллинза для протонов были получены в диапазоне переменной Бёркена $0,003 < x < 0,7$.

Асимметрия Сиверса совместима с нулем для отрицательных и положительна для положитель-

ных адронов, и дает указание на спин-орбитальную связь кварков в поперечно-поляризованных протонах (рис. 5).

Для того чтобы выполнить измерения ОНР, существующая установка должна быть дополнена двумя новыми детекторами — детектором протонов отдачи (RPD), измеряющим характеристики протонов, и электромагнитным калориметром ECAL0.

Этот калориметр совместно с ECAL1 и ECAL2 обеспечит герметичность установки для реакции ГВК. ECAL0 был предложен и разработан в ОИЯИ. Пробный набор данных для измерения ОНР стартовал в ноябре 2012 г. Для этих измерений примерно четверть калориметра была успешно собрана и смонтирована в установку. Впервые калориметр с системой считывания, основанной на мультипиксельных фотодетекторах (МПФД) вместо ФЭУ, был создан для крупномасштабной экспериментальной установки. Также впервые была разработана и применена новая методика калибровки калориметра, основанная на использовании фотонов от распадов π^0 .

Физики ОИЯИ представили семь докладов на международных конференциях от коллаборации COMPASS. Сотрудники группы ОИЯИ активно участвовали в подготовке и проведении международного симпозиума по спиновой физике «SPIN-2012».

Эксперимент STAR

В 2012 г. исследования группы ЛФВЭ в рамках проекта STAR были сфокусированы на двух задачах.

1. Участие в программе энергетического сканирования в Au–Au-столкновениях на ускорителе RHIC при энергиях $\sqrt{s}NN = 7,7, 11,5, 19,6, 27, 39$ ГэВ. Закончен первый этап программы сканирования, и набрана статистика, достаточная для поиска указаний о фазовых переходах в ядерной материи и лока-

лизации положения критической точки. В частности, было получено следующее:

- предварительные результаты по спектрам рождения заряженных адронов и распределения по множественности при больших поперечных импульсах;

- предварительные распределения импульсных спектров заряженных адронов при различных центральныхностях;

- предварительные зависимости отношения выходов заряженных адронов при различных центральныхностях от поперечного импульса;

Проведен предварительный анализ данных STAR по спектрам заряженных адронов в рамках теории z -скейлинга.

2. Продолжено участие в поляризационной программе STAR (измерение двухспиновых асимметрий рождения струй, односпиновых поперечных (π) и продольных (W) асимметрий) для получения спин-зависимых глюонных и кварковых (валентных и морских) распределений.

Сотрудниками ЛФВЭ было представлено шесть докладов на международных конференциях.

Эксперимент NA61

В 2012 г. на установке NA61 проведено несколько сеансов на ускорителе SPS:

- по исследованию взаимодействия протонов с импульсом 120 ГэВ/с с углеродной мишенью;

- по измерению отношения выхода адронов к каонам при импульсе пучка 158 ГэВ/с;

- по изучению p -Pb-взаимодействия при импульсе пучка 158 ГэВ/с для программы по физике тяжелых ионов.

Была обнаружена пособытийная флуктуация различных наблюдаемых, таких как средний поперечный импульс, распределения по множественности и азимутальному углу, отношение выхода частиц [5]. Это может быть указанием на критическую точку КХД. Энергетическая зависимость этих наблюдаемых была измерена в центральных соударениях Pb-Pb во всей области по энергии ускорителя SPS, в то время как анализ, связанный с зависимостью размера системы от типа сталкивающихся ионов p - p , C-C, Si-Si, Pb-Pb, проводился на данных, полученных при максимальной энергии SPS.

HADES

В 2012 г. завершен анализ данных по dp -упругому рассеянию. Были проанализированы данные по двойному рождению заряженных пионов в np -столкновениях. Исследована возможность использования аппаратуры HADES на FAIR.

Эксперименты на нуклотроне

«Фаза-3». В результате проведенных исследований было показано, как с ростом энергии возбуждения ядра испарение частиц сменяется многотельным развалом. Впервые в работах сотрудничества

«Фаза» измерена полная временная шкала процесса, включающая не только время эмиссии, но и стадию расширения горячего ядра до момента развала (~ 100 фм/с). Впервые достоверно измерен важный термодинамический параметр — критическая температура для ядерного фазового перехода жидкость-газ [6].

Экспериментально доказано появление коллективного потока нуклонов в горячем ядре.

BM@N. Проект BM@N — предлагаемый к реализации эксперимент на выведенных пучках, являющийся первой фазой проекта NICA. В рамках его подготовки в 2012 г. были проведены следующие работы.

Подготовлен канал транспортировки пучка. В декабре 2011 г. и марте 2012 г. проведены два тестовых сеанса по выводу пучка углерода с энергией 3,42 АГэВ и дейтронов с энергией 4 АГэВ в зону расположения эксперимента. Цель сеансов состояла в определении состояния канала 6V и формулировании технических требований к нему.

Были начаты работы над прототипом теплой резистивной камеры для эксперимента BM@N.

Из ЦЕРН в ОИЯИ был доставлен адронный калориметр, ранее использовавшийся в эксперименте WA98. На его основе будет создан «Zero degree calorimeter» установки.

Начаты работы по созданию трековой системы установки. Практически все оборудование, необходимое для тестирования больших дрейфовых камер (ранее использовавшихся в проекте NA48 в ЦЕРН), доставлено в ОИЯИ.

Подготовлен к работе первый годоскоп на основе сцинтилляционного волокна, оснащенный многоанодным преобразователем фотонов H6568.

«Энергия и трансмутация». Установка «Квинта» была оборудована новой, большей по размеру и весу ($\emptyset 30$ см \times 65 см, 500 кг) урановой мишенью и облучалась на нуклотроне пучком дейтронов с энергией в интервале 1–8 ГэВ. Во время эксперимента измерялись временные спектры запаздывающих нейтронов (с помощью детектора «Изомер-М») и пространственное распределение скорости деления ^{238}U в объеме мишени. Кроме того, впервые проведено прямое измерение энергетических спектров нейтронов, рожденных в веществе мишени, с помощью детектора на основе жидкого сцинтиллятора «Демон». В результате было обнаружено присутствие большого количества нейтронов с высокой энергией. Были сделаны расчеты, и на их основе проведена модернизация существующей радиационной защиты установки.

В отличие от сделанных ранее расчетов экспериментально было продемонстрировано, что в подкритической системе, управляемой ускорителем (ADS),

с мишенью из природного урана число актов деления растет линейно с увеличением энергии пучка в измеренной области. Групповой анализ временного спектра запаздывающих нейтронов показывает, что их энергия растет с увеличением энергии дейтронного пучка.

Проект DSS. Проведены два сеанса на внутренней мишени нуклотрона. Получены экспериментальные данные по дифференциальному сечению реакции дейтрон-протонного упругого рассеяния при энергиях 400, 500, 600, 700 и 800 МэВ. Кроме того, выполнены измерения безмезонного развала дейтрона $dp \rightarrow ppn$ при энергиях 150, 200 и 250 МэВ. Данные в процессе обработки.

Получены и опубликованы окончательные результаты по векторной A_y - и тензорным A_{yy} - и A_{xx} -анализирующим способностям реакции dp -упругого рассеяния при энергии 880 МэВ [7].

Завершен анализ данных по измерению сечения реакции dp -упругого рассеяния при энергиях 500, 700 и 880 МэВ. Подготовлена публикация для журнала «Письма в ЭЧАЯ».

В рамках модели многократного рассеяния были получены результаты по сечениям и анализирующим способностям реакции $dd \rightarrow He3n$ при промежуточных и высоких энергиях.

Прогресс в создании детекторов и подсистем установки MPD

В 2012 г. коллаборация MPD продолжала работы по развитию детекторов подсистем в рамках подготовки технического проекта установки. В частности, были получены следующие результаты.

ТОФ. В результате теста прототипа времяпролетной многозакорной резистивной камеры было получено временное разрешение 80 пс. В процессе оптимизации прототипа со стриповым съемом информации было достигнуто разрешение 70 пс.

Изготовлен стенд для проведения исследований различных детекторов на космических лучах. В настоящее время он используется для тестирования прототипов времяпролетного детектора TOF и FFD. Стенд позволяет исследовать особенности детекторов и электронику считывания.

Параллельно с испытаниями существующих прототипов детектора изготавливаются новые прототипы с различными способами съема информации (стрипы и пэды с различным шагом и размером активной области). Эти исследования выполняются для оптимизации времяпролетного детектора установок MPD и BM@N.

TRC. Создан технологический прототип TRC. Корпус прототипа изготовлен из композитных материалов, при этом толщина стенки корпуса составляет

всего 2 мм. Для считывания информации используется полномасштабный прототип ROC-камеры. Проведены тестовые измерения с радиоактивным источником на рабочих смесях $Ar/CH_4(90/10)$ и $Ar/CO_2(80/20)$.

Проведено исследование деформаций корпуса камеры ROC, обусловленных натяжением проволочек.

Набраны экспериментальные данные с космическим излучением и излучением UV-лазера с длиной волны $\lambda = 266$ нм. В качестве рабочего газа использовалась газовая смесь $Ar\ 90\% + CH_4\ 10\%$.

Изготовлен внутренний корпус-цилиндр TRC.

Изготовлено шесть 64-канальных плат — прототипов для съема данных с многопроволочных камер ROC. Платы базируются на специализированных микросхемах ALTRO и PASA. Данная электроника характеризуется малой потребляемой мощностью, низкими шумами, высокой степенью сжатия данных (\sim в 10 раз).

Строу. Изготовлен сектор-прототип ($\sim 70^\circ$) для развития методики контроля прямолинейности строу-трубок. Стенд включает газовую систему, системы низкого и высовольтного питания, электронику считывания, DAQ и источник фотонов Fe-55 (рис. 6).

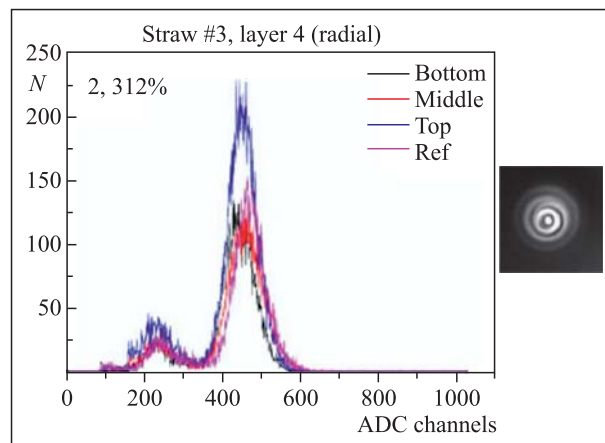


Рис. 6 (цвет см. on-line). Спектры сигнала получены с помощью источника фотонов при трех положениях: синяя кривая — верхнее положение (5 см), красная — центр строу (30 см), черная — нижнее положение (55 см), сиреневая кривая — реперный сигнал. Разница в амплитудах 2,3 % означает, что кривизна строу не превышает 200 мкм

Калориметрия. Проведены тесты модуля электромагнитного калориметра с использованием космического излучения и источника света. Создана пилотная версия для систем DAQ, slow control и калибровки. Четыре модуля полностью подготовлены к испытаниям на пучке.

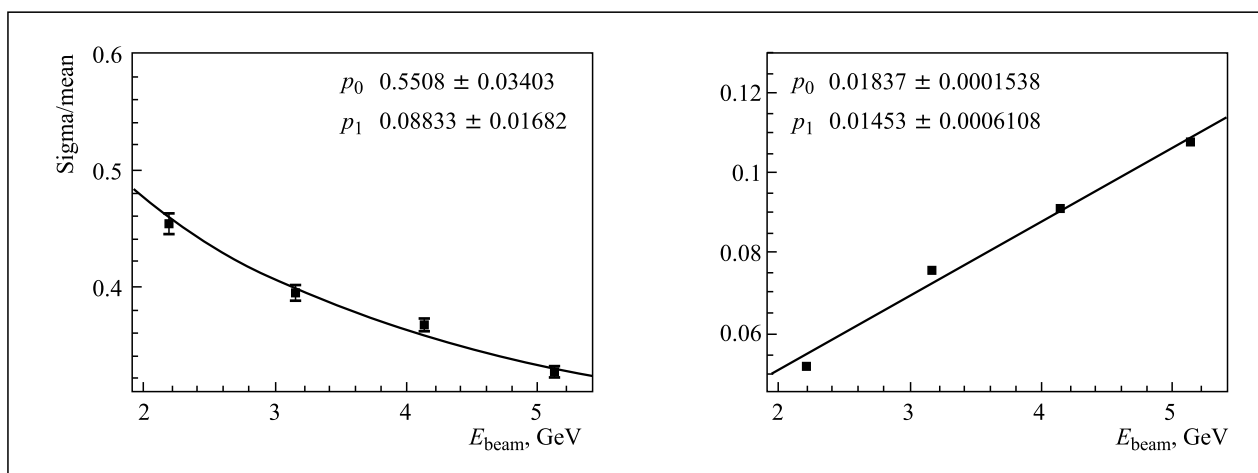


Рис. 7. Энергетическое разрешение (слева) и линейность отклика (справа) калориметра. Измерения проведены на пучке протонов с энергией в интервале 3–6 ГэВ

В качестве ZDC-калориметра MPD предполагается использовать сборку из модулей, имеющих структуру сэндвича, состоящую из 60 двойных слоев свинца и пластикового сцинтиллятора с сечением 20×20 см. Толщина свинцовых пластин составляет 16 мм, а сцинтиллятора — 4 мм. В 2012 г. создан прототип калориметра. Количество вещества в данном калориметре составляет 7,7 ядерных длин. В качестве фотодетектора предлагается использовать полупроводниковые микропиксельные фотодиоды MAPD («Zecotek Photonic Inc.», Сингапур). Он обеспечивает линейность сигнала вплоть до 10^4 фотоэлектронов, что отвечает ожидаемому диапазону энергий. Отклик прототипа ZDC-калориметра был испытан в ходе тестов на канале T10 ускорителя PS ЦЕРН на пучках пионов и протонов с энергией 2–6 ГэВ/с.

Исследование энергетического разрешения и линейности сигнала тестового модуля подтвердило соответствие параметров требованиям (рис. 7). Энергетическое разрешение, полученное в ходе тестов, описывается формулой

$$\frac{\sigma_E}{E} < \frac{60\%}{\sqrt{E}} (\text{ГэВ})$$

во всем интервале энергий NICA.

Прикладные и инновационные исследования

Строу. Разработаны конструкция прототипа на основе строу диаметром 4 мм и технология сборки гранулированных строу высокого давления с их внутренним диаметром 4 мм. Проведены сборка 20 гранулированных строу и проверка на стенде в различных режимах на газовой смеси ArCO_2 при давлении 1–4 атм.

Особое внимание было уделено режиму работы при давлении 3 атм, поскольку ранее при нем было получено пространственное разрешение лучше

50 микрон. С помощью облучения строу фотонами с энергией 8 кэВ от лучевой трубки с медным анодом исследовался процесс старения. Вплоть до интегральной величины заряда 3 Кл/см эффекта старения не обнаружено.

Разработан и используется для исследовательских целей прототип однослойного модуля на основе строу с чувствительным размером $2 \times 0,5 \text{ м}^2$.

Прототип состоит из 48 строу с внутренним диаметром 9,56 мм и толщиной стенки ~ 60 мкм. Разработанный однослойный прототип представляет собой жесткую планарную структуру, содержащую N (число, кратное восьми) строу, залитых эпоксидным компаундом. Толщина структуры равна диаметру строу $+0,1$ мм с каждой ее плоскости. При ее создании сохраняются прямолинейность и постоянство диаметра строу, а также постоянство зазора между соседними строу.

Исследования прототипа показали его хорошие свойства. Технология создания прототипа позволяет получать относительно дешевые планарные модули со строу любой длины с возможностью объединения их в единый координатный детектор с требуемым акцептансом. Строу диаметром 4 мм и более позволяют при необходимости их гранулировать. Высокая радиационная стойкость детектора, низкая радиационная толщина и возможность работы в диапазоне давления газового наполнения до 4 бар (без изменений геометрических размеров строу) позволяют оптимизировать его режим работы в больших пределах.

Образовательная программа

Для пропаганды достижений современной науки и технологий, повышения качества общего образования в России и странах-участницах ОИЯИ и привлечения в науку талантливой молодежи Объединенный

институт ядерных исследований, университет «Дубна» и ООО «ИнтерГрафика» создали «Просветительский центр имени академика А. Н. Сисакяна». Вклад ЛФВЭ в создание центра был определяющим.

Подготовлена и проведена в Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL) в июле–августе 2012 г. выставка «Online Science Classroom». Выставка была включена в программу летних дней открытых дверей в BNL. Выставка прошла с большим успехом. Ее посетило не менее 10000 человек. На выставке также побывали и дали высокую оценку этому совместному проекту ОИЯИ–

BNL директор BNL Сэм Аронсон, создатель коллайдера RHIC Сатоши Озаки, помощник директора по ядерной физике DOE Тим Холлман. В связи с этим хочется привести слова Тима Холлмана о роли образовательной программы ОИЯИ–BNL: «Установлены новые горизонты в современном научном образовании, которые обещают стать очень важными в подготовке следующего поколения ученых в США и России. Успех последнего чрезвычайно важен для продвижения технологических, экономических интересов и интересов безопасности обеих стран».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lanyov A. et al.* Measurement of the Differential and Double Differential Drell–Yan Cross Section in Proton–Proton Collisions at 7 TeV in Dimuon Channel. CMS AN-2012/063, CMS-PAS-EWK-11-007. CERN, Geneva;
Chatrchayn S. et al. (CMS Collab.). Forward-Backward Asymmetry of Drell–Yan Lepton Pairs in pp Collisions at 7 TeV. arXiv:1207.3973; CMS-EWK-11-004; CERN-PH-EP-2012-187; Phys. Lett. B (submitted).
2. *Abelev B. et al.* K_s^0 – K_s^0 Correlations in 7 TeV pp Collisions from the LHC ALICE Experiment // Phys. Lett. B. 2012. V. 717. P. 151.
3. *Batley J. R. et al.* New Measurement of the Charged Kaon Semileptonic $K^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-e^\pm\nu$ (K_{e4}) Decay Branching Ratio and Hadronic Form Factors // Phys. Lett. B. 2012. V. 715. P. 105.
4. *COMPASS Collab.* Transverse Spin Effects in Hadron-Pair Production from Semi-Inclusive DIS // Phys. Lett. B. 2012. V. 713. P. 10.
5. *Melkumov G. L. et al.* Evidence for the Onset of Deconfinement and Quest for the Critical Point by NA49 at the CERN SPS // Phys. Atom. Nucl. 2012. V. 75. P. 556–566.
6. *Карнаухов В. А.* Свойства горячих ядер, возникающих в соударениях легких релятивистских ионов с тяжелыми мишенями. Приглашенный доклад на конференции «Ядро-2012», Воронеж, июнь 2012 г. (принято к печати в ЯФ).
7. *Kurilkin P. K. et al.* Measurement of the Vector and Tensor Analyzing Powers for dp Elastic Scattering at 880 MeV // Phys. Lett. B. 2012. V. 715. P. 61–65.