

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

Усилия сотрудников Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина в 2010 г. были сконцентрированы на завершении проекта «Нуклотрон-М» (первой стадии проекта

NICA/MPD) и на участии в исследованиях, которые проводятся в передовых ускорительных центрах мира.

РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

«Нуклотрон-М»

В 2010 г. модернизация ускорительного комплекса лаборатории была направлена на завершение выполнения обязательств в рамках проекта «Нуклотрон-М».

В 41-м [1] и 42-м сеансах были выполнены следующие задачи:

1. Завершен очередной этап модернизации криогенного комплекса. Введен в эксплуатацию новый турбокомпрессор, проведен капитальный ремонт поршневого компрессора;

2. Полностью обновлена система питания нуклотрона. Заменено почти 10 км силовых кабелей и все «ключи эвакуации» энергии;

3. В сотрудничестве со специалистами из Болгарии, Германии и Словакии введены в действие новые элементы диагностики (система коррекции орбиты и цифровая система диагностики орбиты);

4. С помощью источника «Крион» получены, инжектированы, ускорены в нуклотроне до энергии 1 ГэВ/нуклон и успешно выведены ионы ксенона (^{124}Xe);

5. В результате настройки орбиты потери частиц на первых оборотах уменьшены в четыре раза;

6. Величина поля в магнитах нуклотрона поднята до максимальной проектной составляющей 2 Тл.

NICA

4–5 октября 2010 г. состоялось заседание МАС (The Machine Advisory Committee), который подвел итоги работы по проекту: «Работа по проекту NICA идет успешно. Со времени последнего заседания произошли большие изменения в концепции коллайдера. Необходимо отметить значительный прогресс

в работе по проектированию колец коллайдера. Однако для того, чтобы реализовать проект в планируемые сроки, необходимо работать в этом направлении более агрессивно».

Для выполнения проекта в планируемые сроки МАС рекомендовал определить структуру коллайдера и колец к середине 2011 г. В период с октября 2010 по июнь 2011 г. рекомендовано рассмотреть различные варианты и предложить тот, который соответствует всем необходимым требованиям.

ИРЕН, ЛУЭ-200

Сотрудники ускорительного отделения ЛФВЭ активно участвуют в проекте ИРЕН и несут ответственность за ключевой элемент установки — линейный ускоритель электронов ЛУЭ-200. В результате непрерывного развития и повышения надежности основных систем ускорителя электронов ЛУЭ-200 — источника электронов, источника СВЧ-мощности, ускоряющей и фокусирующей систем — была повышена цикличность работы ускорителя с 25 до 50 Гц.

В 2010 г. линейный ускоритель электронов ЛУЭ-200 работал в регулярном устойчивом режиме с током пучка 2,0–2,4 А, энергией 30 МэВ и длительностью импульса 100 нс. Ускоритель использовался в качестве импульсного источника нейтронов ИРЕН для проведения экспериментов (облучение нейтронно-производящей мишени) более 700 ч.

ЛНС-дэмпфер

В 2010 г. завершены работы по запуску системы подавления поперечных когерентных колебаний пучка в ЛНС. Система подавления поперечных когерентных колебаний пучка используется для

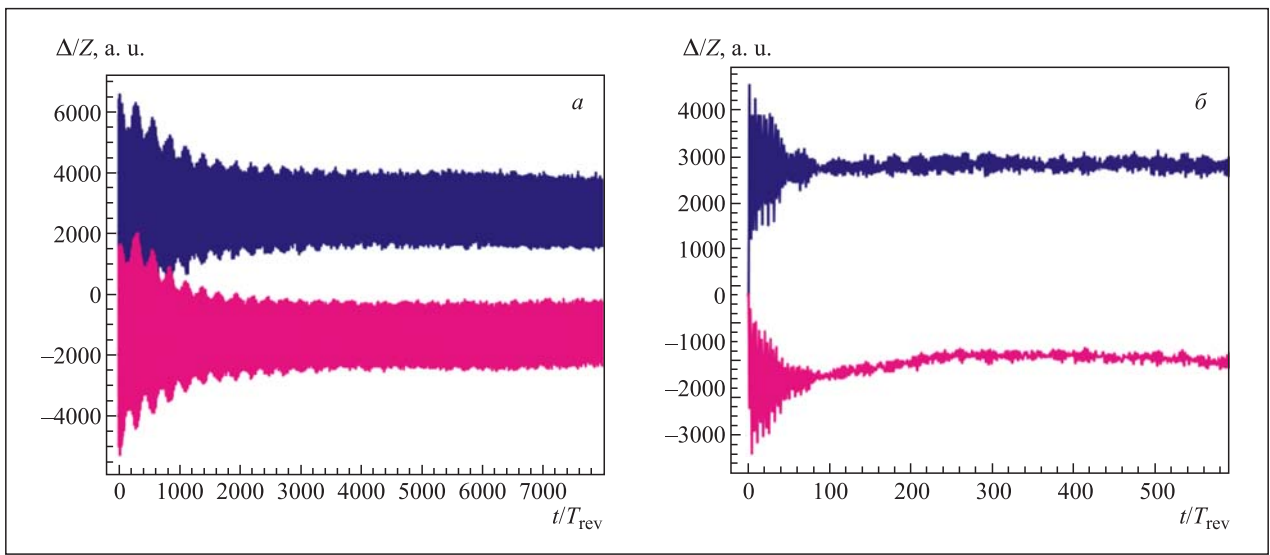


Рис. 1. Когерентные горизонтальные колебания сгустка после инжекции в ЛНС при выключенной (а) и включенной (б) системе подавления (сигналы с датчиков положения, смещенных на четверть длины волны бетатронных колебаний)

демпфирования остаточных колебаний сгустков после инжекции в ЛНС для обеспечения устойчивости высокоинтенсивных пучков при накоплении и ускорении.

Работы по созданию системы подавления выполнялись в рамках совместного проекта ЦЕРН и ОИЯИ. Специалистами Объединенного института созданы все мощные устройства, входящие в состав цепи отрицательной обратной связи между датчиком положения, который регистрирует когерентные смещения сгустков, и дефлектором, обеспечивающим отклоняющее электрическое напряжение до 900 кВ за оборот.

Окончательная наладка системы подавления осуществлена на протонном пучке с энергией 450 ГэВ

в мае 2010 г. Обеспечено затухание остаточных поперечных когерентных колебаний после инжекции сгустков с постоянной времени около 40 оборотов (рис. 1). Впервые в мировой практике осуществлен режим подавления поперечных когерентных колебаний протонного пучка с энергией 3,5 ТэВ. Устойчивая и надежная работа системы подавления при накоплении, ускорении и столкновении протонных сгустков способствовала предотвращению роста поперечного эмиттанса пучка, что позволило обеспечить светимость более $10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при столкновении сгустков в экспериментах на ЛНС в октябре 2010 г. [2].

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ФИЗИКЕ

Наиболее важные результаты в 2010 г. получены сотрудниками ЛФВЭ в экспериментах, проводимых в ЦЕРН. Среди завершенных исследований особенно выделяются следующие:

NA48/2 и NA62

В эксперименте NA48/2, проводимом на SPS в ЦЕРН, в распределении инвариантной массы $\pi^0\pi^0(M_{00})$, измеряемой в распаде $K^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^0\pi^0$, была обнаружена аномалия «Cusp effect» при $M_{00} = 2m_+$, где m_+ — масса заряженного пиона. На основе фита далиц-плота экспериментальных данных распада $K^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^0\pi^0$ с учетом «касп-эффекта» получена новая эмпирическая параметризация, принятая в PDG и имеющая практические применения, такие как моделирование распадов $K^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^0\pi^0$.

Фитирование распределения M_{00} во втором порядке киральной пертурбативной теории (КПТ) позволяет извлечь величины a_0 и a_2 — длины рассеяния $\pi\pi$ в изоспиновом состоянии 0 и 2 соответственно.

В 2010 г. был завершен совместный анализ данных NA48/2 распада $K^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (Ke4) и «касп-эффекта». В результате получены наиболее точные значения базовых параметров КПТ: a_0 и a_2 и величины их разности (рис. 2) [3]:

$$a_0 = 0,2210 \pm 0,0047_{\text{stat}} \pm 0,0040_{\text{sys}};$$

$$a_2 = -0,0429 \pm 0,0044_{\text{stat}} \pm 0,0028_{\text{sys}};$$

$$a_0 - a_2 = 0,2639 \pm 0,0020_{\text{stat}} \pm 0,0015_{\text{sys}}.$$

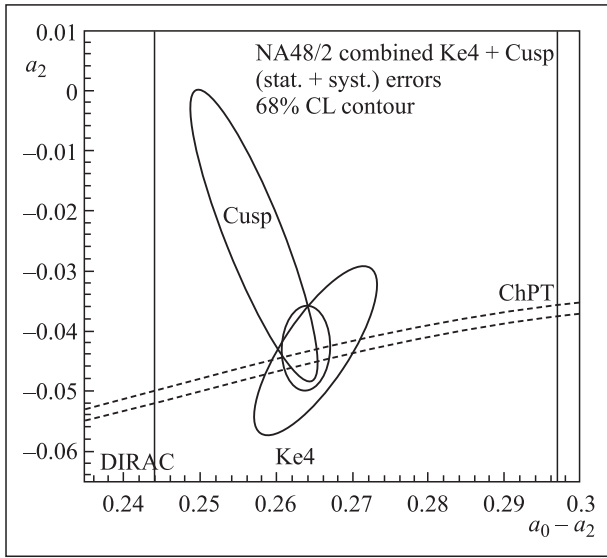


Рис. 2. Величины параметров длин $\pi\pi$ -рассеяния a_0 и a_2 , полученные из совместного анализа двух независимых измерений (распад $Ke4$ decay и касп-эффект) эксперимента NA48/2

Завершена обработка данных 2003–2004 гг. Проанализировано около 600 тыс. кандидатов распада $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \gamma$. В результате впервые выделен вклад интерференции ($F_{\text{INT}} = (-2,35 \pm 0,35_{\text{stat}} \pm 0,39_{\text{syst}}) \cdot 10^{-2}$) прямого испускания фотонов ($F_{\text{DE}} = (3,32 \pm 0,15_{\text{stat}} \pm 0,14_{\text{syst}}) \cdot 10^{-2}$) и тормозного излучения. Установлено ограничение на асимметрию CP -нарушения в данном распаде для K^+ и K^- ($< 1,5 \cdot 10^{-3}$ на 90%-м уровне достоверности).

В рамках подготовки нового эксперимента NA62 завершен анализ экспериментальных данных, полученных с помощью первого прототипа строу-детектора. В результате показана возможность создания строу-детектора, работающего в вакууме. Достигнутое пространственное разрешение и эффективность соответствуют требованиям эксперимента при нагрузках вплоть до максимально ожидаемых 0,5 МГц/строу. Также были проведены исследования быстрой и медленной газовых смесей и фронт-энд-электроники.

Совместно с группой из ЦЕРН разработан и создан второй прототип строу-детектора. Работа с ним позволила оптимизировать технологию создания полномасштабного модуля. Он был протестирован на пучке SPS в ходе сеанса 2010 г. при максимальной нагрузке. В настоящее время продолжается анализ накопленных данных.

COMPASS

Анализ экспериментальных данных, набранных в 2002–2007 гг. на мюоном пучке с дейтериевой и протонной мишенями, позволил экспериментально проверить правило сумм Бьеркена [4].

Комбинирование протонной и дейтронной инклюзивных асимметрий A_1 позволило извлечь несинглетную спин-зависимую структурную $g_1^{NS}(x, Q^2)$. Ее интеграл по x дал величину, находящуюся в хорошем согласии с предсказанием правила сумм Бьеркена, и соответствует связанному с ним отношению аксиальной и векторной констант связи $|g_A/g_V| = 1,28 \pm 0,07$ (stat.) $\pm 0,10$ (syst.) (рис. 3).

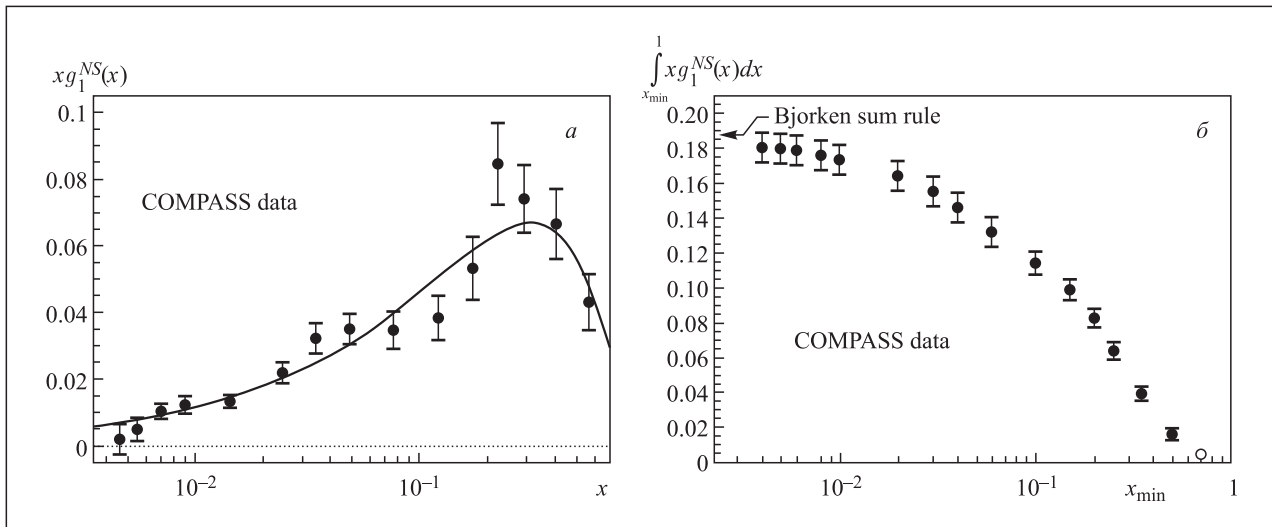


Рис. 3. Структурная функция $g_1^{NS}(x)$ при $Q^2 = 3$ (ГэВ/с)², извлеченная из измерений COMPASS асимметрии A_1^p и A_1^d и результат КХД-фита в NLC (а). Интеграл $\int_{x_{\text{min}}}^1 g_1^{NS} dx$ как функция x_{min} , полученный по данным COMPASS; открытая точка при $x = 0,7$ получена из фита. Стрелкой показано ожидаемое значение интеграла по области $0 < x < 1$, соответствующее $|g_A/g_V| = 1,269$ (б)

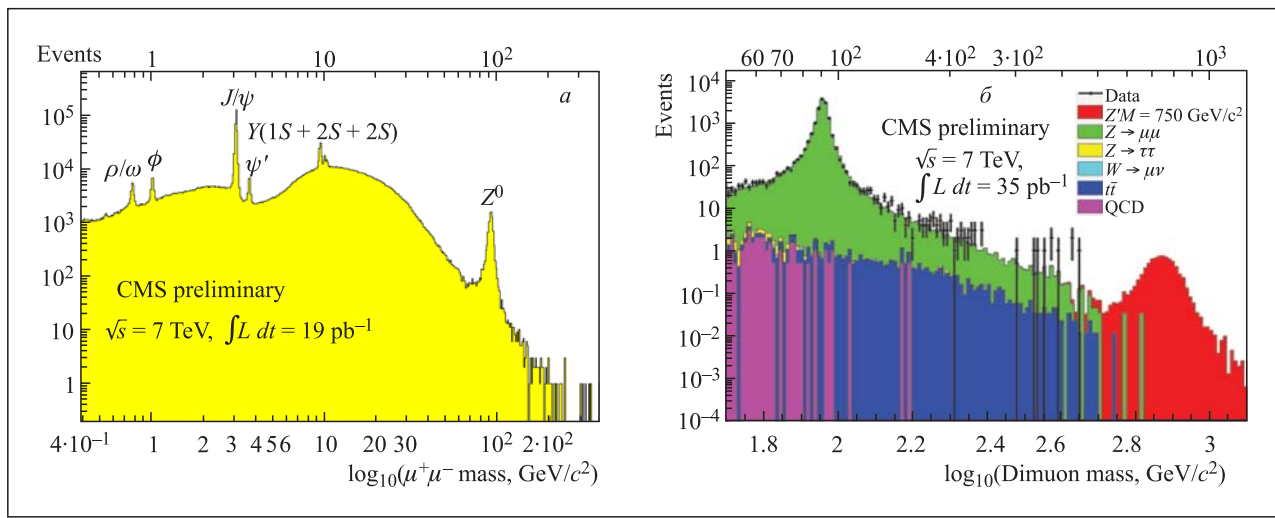


Рис. 4. Спектр масс димюонов (а) и сравнение данных и МС по предсказанию массы пар в процессе DY выше 50 ГэВ (б) [5]

Полученный результат является наиболее точным экспериментальным результатом по проверке правила сумм Бьеркена.

Участие в проектах на LHC

Работа LHC стала наиболее ярким событием 2010 г. в области физики частиц. Ученые ЛФВЭ принимают участие в экспериментах CMS, ALICE и ATLAS, проводимых на LHC.

CMS

Обязательства ОИЯИ в проекте CMS, включающие разработку и создание адронного «end-cap» калориметра и части мюонной системы ME1/1, полностью выполнены. В 2010 г. детекторы работали стабильно и с высокой эффективностью.

С конца 2009 г. усилия группы ОИЯИ в CMS были сфокусированы на участии в наборе, обработке и анализе данных, полученных в ходе первого сеанса LHC при энергиях 0,9; 2,3 и 7 ТэВ в с.ц.м. при низкой светимости. Параллельно велась подготовка к сеансу 2011 г. с ожидаемой интегральной светимостью в несколько fb^{-1} .

К концу октября 2010 г. набранная интегральная светимость составила $43,17 \text{ pb}^{-1}$.

Смены по управлению установкой и набором данных (включая оперативный контроль состояния и работоспособности детекторных систем, мониторинг набора и качества экспериментальных данных) осуществлялись из ЦЕРН и из центра удаленного контроля в ОИЯИ.

Участие группы ОИЯИ в физической программе CMS сосредоточено на обработке и анализе данных CMS по поиску явлений за рамками стандартной модели, физике электрослабых взаимодействий, а также реконструкции мюонов и струй.

Исследован спектр мюонных пар (рис. 4). Проведена оптимизация кинематических порогов, пока-

зано хорошее согласие экспериментальных данных и результатов моделирования [5]. В канале распада с мюонной парой измерены значения инвариантной массы известных резонансов (J/ψ , Υ , Z^0). Полученные значения находятся в хорошем согласии с мировыми данными. Выделено более 16000 кандидатов событий рождения Z^0 -бозона и 400 кандидатов в процесс Дрелла–Яна с инвариантной массой более 120 ГэВ. Максимальная зарегистрированная инвариантная масса пары Дрелла–Яна составила 447 ГэВ.

ALICE

Обязательства ОИЯИ по участию в создании установки ALICE, включающие создание дипольного магнита, 127 модулей камер «детектор переходного излучения» и изготовление 800 кристаллов вольфрамата свинца для электромагнитного калориметра (PHOS), полностью выполнены.

Сотрудники ОИЯИ, участвующие в ALICE, занимаются анализом данных по множественности, измерению эллиптических потоков, отношения выхода антипротонов к протонам, странности, бозе-эйнштейн-корреляций и импульсных распределений при энергиях pp -столкновений 900 ГэВ, 2,36 и 7 ТэВ.

В октябре 2010 г. завершился протонный сеанс и начался переход к ускорению ионов свинца. С 8 ноября начались стабильные столкновения ионов свинца при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 2,76 \text{ ТэВ}$. За четырехнедельный сеанс набранная интегральная светимость составила $\sim 9,5 \text{ мкб}^{-1}$.

В ходе ионного сеанса в ALICE наблюдался феномен, известный как схлопывание струй, проявляющийся в подавлении выхода заряженных частиц с большими p_t . Измеренная максимальная величина подавления оказалась в 1,5–2 раза больше, чем в экспериментах на RHIC.

Группа ОИЯИ активно участвовала в исследовании эффекта корреляций Бозе–Эйнштейна для

пар заряженных пионов [6] в Pb-Pb-столкновениях. Было обнаружено увеличение на 30 % радиуса источника испускания двух пионов и времени испускания по сравнению с экспериментами на RHIC. Совокупность научных результатов, полученных коллаборацией ALICE, подтверждает предшествующие наблюдения в экспериментах на коллайдере RHIC в Брукхейвене, что горячая ядерная материя, которая может являться кварк-глюонной плазмой, ведет себя как слабовязкая жидкость (идеальная текучая среда).

ATLAS

Группа ЛФВЭ, участвующая в эксперименте ATLAS, отвечала за создание части жидкоаргонного адронного калориметра и трекера переходного излучения (TRT), состоящего из 34 колес строу-трубок. Все обязательства были успешно выполнены.

Интегральная светимость, набранная в 2010 г. на установке ATLAS, составила 45 пб^{-1} . Детекторы и подсистемы, за которые отвечает ОИЯИ, работали стабильно и эффективно [7]. Группа ЛФВЭ участвует в совместном КХД-анализе данных, полученных ранее в глубоконеупругом рассеянии и на ATLAS в протон-протонных взаимодействиях; в анализе струй при энергии 7 ТэВ и в поиске бозона Хиггса в трехлептонной моде распада.

Проект MPD

Проект многоцелевого детектора (MPD) был представлен на 33-й сессии ПКК по физике частиц в июне 2010 г., одобрен и принят к выполнению на пять лет.

В течение года был достигнут существенный прогресс в создании прототипов подсистем установки MPD [8]:

1. Магнит. В 2010 г. разработан концептуальный проект сверхпроводящего соленоида MPD.

Магнит будет обеспечивать требуемое по однородности магнитное поле величиной 0,5 Тл в своей апертуре с помощью основной цилиндрической обмотки и двух корректирующих на полюсах.

Диаметр апертуры составляет 4 м, расстояние между полюсами 5,24 м, вес магнита 440 т. Неоднородность магнитного поля в области расположения трековых систем составляет около 0,1 %. Запасенная энергия — 7,8 МДж.

2. Внутренний трекер. Работа над прототипом внутреннего трекера (IT) MPD проводилась в 2010 г. в рамках деятельности CBM-MPD STS консорциума по созданию силиконового трекера для CBM на FAIR и MPD в ЛФВЭ ОИЯИ.

Наиболее важным результатом, связанным с MPD, является разработка конструкции расположения четырехслойной цилиндрической системы двусторонних силиконовых микрострипов на ультралегкой углеродной раме, который позволяет разместить

IT в имеющемся пространстве между трубой ускорителя и внутренней поверхностью TPC. Детектор был описан в программе моделирования, которая показала необходимость использования IT в дополнение к TPC, в частности, для идентификации мультистранных гиперонов. В течение года велись работы над прототипом детектора, и создавался полномасштабный макет чувствительного модуля для использования в IT MPD.

3. TPC. В 2010 г. были выполнены следующие работы по созданию и испытанию прототипа время-проекционных камер:

- изготовлен и испытывается на «космике» первый прототип TPC (32 канала FEE и DAQ);
- создана и используется для моделирования первая версия программы реконструкции треков;
- С помощью программы MAXWELL проведено моделирование распределения электрического поля в прототипе;
- изготовлена и испытана на двух газовых смесях Ar/метан и Ar/CO₂ камера считывания информации (RoC) для прототипа с плоскостями Pad Plane и двумя размерами «пэдов» — $8 \times 12 \text{ мм}$ и $4 \times 10 \text{ мм}$. Испытания проводились на автоматизированном стенде с радиоактивным источником и пучком рентгеновской трубки;
- проведена разработка цилиндрического технологического прототипа TPC. Прототип изготовлен из кевлара, ламинированного пленкой из Tedlar'a, толщиной 50 мкм. Диаметр прототипа — 950 мм, длина — 900 мм, толщина стенки — 2 мм. Испытания были запланированы на первый квартал 2011 г.;
- совместно с GSI ведутся разработки варианта альтернативного считывания информации с TPC на основе GEM-детекторов.

4. TOF. В рамках разработки времяпролетной системы было выполнено:

- создан прототип многоазорной плоскопараллельной камеры (mRPC);
- создана и прокальбрована газовая система для обеспечения прототипа mRPC газовой смесью;
- проведено полное моделирование цепи «particle identification» — восстановления кинематической информации о частицах при помощи TOF, TPC и строу-детектора;
- MPD-коллаборанты из Китая изготовили и провели тест на космике прототипа RPC (размером $52,5 \times 35 \times 4 \text{ см}$). Полученные параметры по эффективности и временному разрешению соответствуют требуемым (см. рис. 5).

5. Торцевая трековая система. Несколько вариантов торцевой трековой системы было описано в программе моделирования MPD-Root, с помощью которой были рассчитаны энергетические потери заряженных адронов (p , K , π) при прохождении через вещество торцевого трекера.

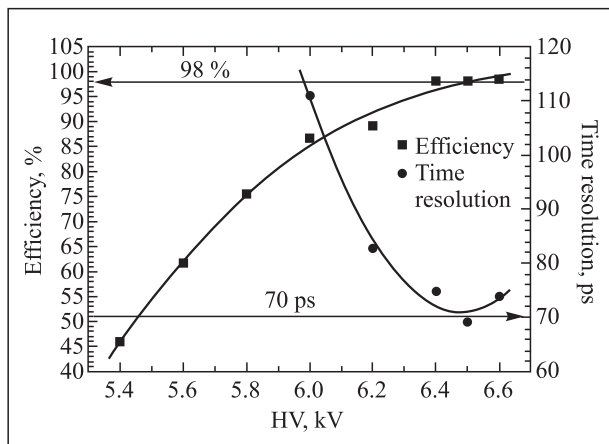


Рис. 5. Характеристики прототипа RPC: ■ — эффективность; ● — временное разрешение

6. Калориметрия. В 2010 г. активно велись работы над калориметром типа «шашлык». Был создан модуль размером 12×12 см, длиной $20X_0$. Для съема информации использовался новый блок ADC16. Модуль был испытан на ускорителе в Гамбурге. Анализ полученных данных позволит сделать вывод о возможности использования калориметра такого типа в MPD и разработать технические требования к производству модулей калориметра.

Кроме того, на пучке нуклотрона была испытана сборка из девяти модулей типа сэндвич с поперечным размером 15×15 см каждый. Структура модуля по пучку: $40 \times (2 \text{ см железа} + 0,5 \text{ см сцинтиллятора})$. Работа велась в сотрудничестве с группой ИЯИ РАН.

7. Торцевой детектор. В рамках сотрудничества с Радиевым институтом Санкт-Петербурга разработаны и созданы два модуля переднего детектора

ПРИКЛАДНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках деятельности по проекту «Энергия + трансмутация» сформулирован новый подход к системам ADS (Accelerator drive system), основанный на обнаруженном в 2010 г. в лаборатории эффекте увеличения энергетического выхода с увеличением энергии для системы подкритической сборки.

При увеличении энергии дейтрона с 1 до 4 ГэВ количество делений и энерговыделение возрастают в $\sim 8-9$ раз. При этом коэффициент усиления мощности пучка в природном уране возрастает примерно в два раза.

В экспериментальном павильоне завершена реконструкция канала вывода пучка на установку «Энергия + трансмутация».

(FD), оснащенные быстрой электроникой на базе фотомножителей XP85012/A1.

Основной стратегией является наращивание темпов работ для завершения, в основном, этапа исследований в 2011 г. с переходом от прототипов к производству модулей и систем детектора FD.

8. Калориметр «нулевого угла» (ZD). В сотрудничестве с компаниями «Микрон» (Зеленоград) и «Zecotec» создан прототип ZD-калориметра. Прототип был испытан в мае 2010 в ЦЕРН на пучке пионов канала T10. Для считывания информации использовался лавинный детектор MAPD. Полученная зависимость разрешения от энергии выражается формулой $\sigma(E)/E = 55,5\%/\sqrt{E} + 3,7\%$, а с учетом утечки лавины формулой $\sigma(E)/E = 56\%/\sqrt{E} + 1,8\%$. Наблюдается хорошая линейность в широком интервале энергий и отсутствие насыщения. Полученные результаты позволяют оптимизировать размеры детектора.

9. Сотрудничество с ЦЕРН. В рамках протокола о сотрудничестве между ОИЯИ и ЦЕРН, подписанного в январе 2010 г., четыре дрейфовых камеры эксперимента NA48 были доставлены из ЦЕРН в ОИЯИ для использования в MPD. Это пример плодотворного обмена технологиями, выгодного обоим центрам и увеличивающего степень взаимного сотрудничества в совместных проектах ЦЕРН и ОИЯИ.

10. Программа исследований на выведенных пучках. В настоящее время ведется работа по подготовке программы исследований на выведенных пучках нуклотрона, включающая эксперименты с пучками тяжелых ионов и поляризованных частиц. Предложения по экспериментальной установке и научная программа будут представлены на очередной сессии ПКК по физике частиц.

Совместно с научным коллективом Института физико-химических проблем при Белорусском государственном университете были проведены исследования эффективности нагрева магнитных и ферромагнитных нанокластеров для СВЧ-диапазона с целью их использования для мишенной терапии раковых клеток.

Получены экспериментальные доказательства спекания нанокластеров под действием когерентного СВЧ-излучения импульсного ЛСЭ в агломераты большего размера.

Для проекта «Двин» разработаны 64-элементные детекторы, которые монтируются в нейтронный генератор для определения углов вылета нейтронов.

Разработаны, изготовлены и испытаны многоэлементные альфа-детекторы для установки их в отпаянные портативные нейтронные генераторы (НГ). Производителем НГ является Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова (ВНИИА).

В 2010 г. был выполнен большой цикл исследований в области криодиагностики. Основные результаты: созданы и испытаны радиационно-стойкие магниторезистивные датчики температуры, работающие в диапазоне 0,1–10 К и в магнитном поле до 8 Гс [9]. Решена проблема создания быстрых расходомеров двухфазных потоков гелия, водорода и сжиженного природного газа.

На основе разработок в области ускорительной техники для фундаментальных исследований в лаборатории реализуется инновационный проект по внедрению компактного электронного ускорителя P-300-10/2 с энергией $E = 300$ кэВ и средним током 10 мА. КПД ускорителя составляет 95 % (измеренное значение). Два уско-

рителя поставлены в Японию и Китай. Китайской стороной были определены потребности, составляющие 30–40 единиц в ближайшие 3–4 года.

Одной из важных методических разработок лаборатории являются исследования в области микропиксельных и микроканальных кремниевых лавинных фотодиодов (МЛФД), являющихся твердотельным аналогом вакуумных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). На данный момент проводятся исследования возможности применения МЛФД в качестве детекторов световых импульсов от сцинтилляторов в экспериментах физики высоких энергий, таких как NICA/MPD (ОИЯИ), CMS, COMPASS (ЦЕРН), PANDA (GSI), а также в ядерной медицине в качестве элементов ПЭТ и ПЭТ-МРТ сканеров.

В рамках проекта «Разработка высокоточных строу-детекторов» продолжают работы по созданию сегментированных строу-детекторов, способных работать при высоких нагрузках. Были созданы и успешно испытаны прототипы 4-м строу с различным давлением и с сегментацией от 1 до 30 см [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверичев А. С. и др. Итоги 40-го и 41-го сеансов нуклотрона. Сообщение ОИЯИ Р9-2010-68. Дубна, 2010.
2. Zhabitsky V. M. et al. Beam Tests of the LHC Transverse Feedback System // XXII Russian Particle Accelerators Conf. «RuPAC-2010», Protvino, Russia, Sept. 27 — Oct. 1 2010. ИИЯИ. Protvino, 2010. P. 275–279.
3. Batley J. R. et al. (NA48/2 Collab.). Precise Tests of Low Energy QCD from K_4 Decay Properties // Eur. Phys. J. C. 2010. V. 70. P. 635.
4. Alexeev M. G. et al. (COMPASS Collab.). The Spin-dependent Structure Function of the Proton g_1^p and a Test of the Bjorken Sum Rule // Phys. Lett. B. 2010. V. 690. P. 466–472.
5. Acosta D. et al. Search for High-Mass Resonances Decaying to Muon Pairs with 35 pb^{-1} of Collisions Gathered at 7 TeV. CMS AN-10-317; Phys. Rev. Lett. (submitted).
6. ALICE Collab. Two-Pion Bose–Einstein Correlation Pb–Pb // Phys. Lett. B. (submitted).
7. Aad G. et al. (ATLAS Collab.). Performance of the ATLAS Detector Using First Collision Data // JHEP. 2010. V. 1009. P. 056.
8. The MPD Detector at the NICA Heavy-Ion Collider JINR // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 628. P. 99–102.
9. Filippov Y. P. How to Find Magnetoresistance of TVO Temperature Sensors in the Range 0,1–10 K // Cryogenics. 2010. V. 50/4. P. 243–247.
10. Davkov V. I. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2010; doi: 10.1016/j.nima.2010.10.045.