

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ им. В. И. ВЕКСПЕРА и А. М. БАЛДИНА

Программа научных исследований ЛВЭ в 2007 г. была сконцентрирована на реализации первого этапа проекта NICA/MPD (подпроект «Нуклон-М»), на выполнении обязательств по про-

ектам IREN, ILC и на участии в физических проектах и научно-исследовательских работах в области физики частиц и ускорительной техники.

NICA/MPD

Проект NICA/MPD является флагманским для ОИЯИ. Основная цель этого проекта — экспериментальное исследование горячей и плотной сильно-взаимодействующей КХД-материи на новом ускорительном комплексе ОИЯИ. Для реализации проекта необходимо:

1) модернизировать существующий ускорительный комплекс (первая стадия ускорительной программы NICA/MPD), обеспечив возможность получения интенсивных пучков от протона до ядер урана и пучков легких поляризованных ионов;

2) разработать и создать коллайдер тяжелых ионов с максимальной энергией столкновения $\sqrt{s_{NN}} = 9$ ГэВ и светимостью $10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (для U^{92+});

3) разработать и создать многоцелевой детектор (MPD).

Физическая проблематика проекта NICA/MPD

Новая базовая установка ОИЯИ позволит проводить исследования свойств адронной и ядерной материи, включая поиск проявлений, фазовых переходов деконфайнмента и восстановления киральной симметрии, и так называемой критической точки фазовой диаграммы (QCD critical endpoint) при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 3-9$ ГэВ [1].

На первой стадии эксперимента будут исследоваться следующие процессы:

• множественность и спектральные характеристики регистрируемых адронов (включая странные

частицы, барионы с высокой странностью и антибарионы), которые характеризуют энтропию и температуру системы на финальной стадии взаимодействия;

• пособытийные флуктуации множественности, заряда, поперечного импульса и отношения выхода K/π как характерного проявления критических явлений;

• коллективное поведение (прямые, эллиптические и высшие потоки) наблюдаемых адронов, включая странные частицы, определяемое давлением системы;

• НВТ-интерферометрия регистрируемых частиц и корреляции частиц (фемтоскопия).

На втором этапе экспериментальной программы электронные пробники (фотоны и дилептоны) будут использоваться для изучения взаимодействия тяжелых ионов.

Энергия пучков, планируемая в рамках проекта NICA, много меньше энергий, достигаемых на ускорителях RHIC и LHC, но она соответствует области, где ожидаются наибольшая барионная плотность и эффект «замораживания». В данном энергетическом диапазоне система занимает максимальный пространственно-временной объем в смешанной кварк-адронной фазе (процесс сосуществования адронной и кварк-глюонной материй, подобный смешанному состоянию воды и пара). Область энергии NICA позволит проводить исследования при макси-

мальной барионной плотности в условиях лаборатории. В конце 2007 г. был подготовлен предварительный вариант предложения по созданию многоцелевого детектора MPD [2].

Структура комплекса NICA

Создаваемый комплекс базируется на существующих зданиях и инфраструктуре синхрофазотрона/нуклотрона ЛВЭ. Цепь ускорителей включает в себя: источник тяжелых ионов — RFQ-инжектор — линейный ускоритель — накопительный бустер — нуклотрон — сверхпроводящий кол-

лайдер. Максимальная кинетическая энергия ионов U^{92+} в коллайдере должна составлять 3,5 АГэВ. Предусмотрено охлаждение и банчирование пучка. Магнитная система коллайдера согласована с планом существующих зданий.

Было рассмотрено несколько схем ускорительного комплекса NICA. Требуемая светимость $10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ может быть достигнута при параметрах коллайдера, приведенных в таблице. Проект предполагает сохранение возможности работы на выведенном пучке и проведение экспериментов с фиксированной мишенью. Предусмотрено также наличие пучка поляризованных дейтронов.

Ожидаемые параметры коллайдера

Окружность ускорительного кольца, м	224
Кинетическая энергия ионов, ГэВ/нукл., мин./макс.	1/3,5
Число частиц в банче, $N_{\text{ион/сброс}}$	$1,0 \cdot 10^9$
Число банчей, $n_{\text{сброс}}$	10–20
Горизонтальный эмиттанс, ε , $\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$	0,7
Разброс по импульсу, $\Delta p/p$	0,001
Время жизни IBS, с	≥ 100
β -функция в точке взаимодействия, β^* , м	0,5
RF-напряжение, U_{RF} , кВ	100
Ласлеттовский сдвиг частот, ΔQ	0,0044
Параметр взаимодействия	0,009
Светимость, L , $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, макс./средн.	$2/(1-1,5) \cdot 10^{27}$

Подпроект «Нуклотрон-М»

В 2007 г. был подготовлен проект комплекса NICA — Conceptual Design Report [3] и начата реализация его первого этапа. В течение 37-го сеанса на нуклотроне сотрудниками ускорительного отделения ЛВЭ была проведена серия экспериментов и тестов для выяснения текущего технического состояния нуклотрона и начала его модернизация. В частности:

- были ускорены ионы Li (пучок интенсивностью 10^9 с энергией 5 МэВ был ускорен до 25 МэВ);
- проведено измерение времени жизни: оценка-сравнение по времени циркуляции дейтронов τ и ядер H_2^+ . Измеренное $\tau > 3 \text{ мс}$ соответствует $1-3 \cdot 10^{-8}$ Торр (для азотного эквивалента), это на порядок лучше имевшихся оценок (не лучше 10^{-7});
- успешно проведен эксперимент по адиабатическому захвату (от 0 до 500 В) «на столе», по результатам которого сделан вывод, что интенсивность может быть увеличена вдвое;
- проведен цикл исследований по изучению потерь интенсивности на первых оборотах.

Был проведен также ряд методических и технических экспериментов, установлены и успешно проверены новые элементы и системы диагностики.

Физическая и ускорительная программы NICA/MPD были широко представлены на различных конференциях, проводившихся в 2007 г. Наиболее значимым был доклад на XXIII Международном симпозиуме по взаимодействию фотонов и лептонов при высоких энергиях, сделанный проф. А. Н. Сисакином [4]. На международном семинаре, посвященном 100-летию В. И. Векслера и 50-летию запуска синхрофазотрона, один день был полностью отведен докладам и обсуждению различных вопросов научной и ускорительной программ NICA/MPD.

Стратегия реализации проекта NICA/MPD была представлена и рассмотрена на 27-й и 28-й сессиях ПКК по физике частиц и на сессии Ученого совета ОИЯИ, где она была полностью одобрена и под-держана.

Эксперимент TRD

Высокоинтенсивный дейтронный пучок нуклотрона позволяет провести серию экспериментов по изучению спиновых эффектов, возникающих у неполяризованных дейтронов при их прохождении через неполяризованную мишень. В частности, может быть исследовано возникновение тензорной поляризации дейтронов при прохождении через протяженную мишень и проведена количественная оценка, позволяющая выделить механизм, отвечающий за ее появление. Тензорная поляризация неполяризованных дейтронов при прохождении через вещество может появляться вследствие:

- вращения спина и спинового эффекта для частиц с $S \geq 1$ в неполяризованной среде;
- эффекта корреляции с появлением тензорных эффектов в инклюзивном процессе $A + d \rightarrow d' + X$ в области передач 4-моментов $|t| = 0,3$ (ГэВ/с)².

Проведение измерений с мишенями различной длины позволяет разделить эти два эффекта.

В 36-м сеансе, в марте 2007 г., в эксперименте на нуклотроне было обнаружено следующее явление: неполяризованный пучок дейтронов после прохождения через углеродную мишень становился поляризованным. Величина поляризации увеличивалась с толщиной мишени.

Явление спинового дихроизма (возникновение поляризации у неполяризованного пучка), предсказанное В. Барышевским, наблюдалось в эксперименте с пучком неполяризованных дейтронов с энергией 5,5 ГэВ/с (рис. 1).

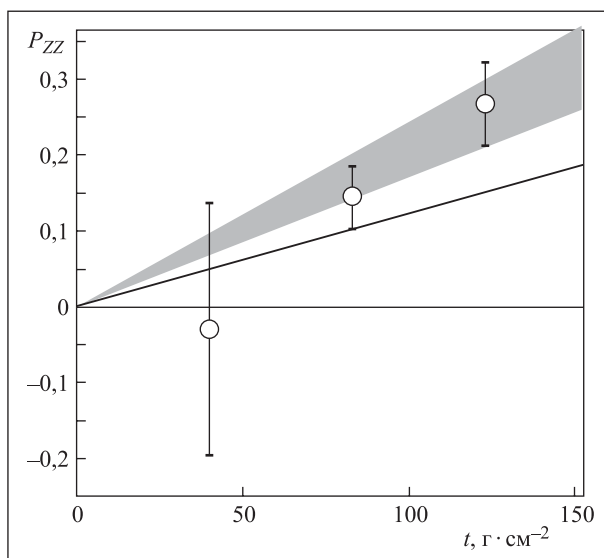


Рис. 1. Тензорная поляризация дейтронов в зависимости от толщины углеродной мишени. Сплошная кривая — результат расчета, выполненного на основе теории многократного рассеяния Глаубера. Заштрихованная область — коридор ошибок для выполненных измерений

Для описания наблюдаемого эффекта был предложен и использован формализм, основанный на теории глауберовского многократного рассеяния. Результаты расчетов находятся в качественном согласии с экспериментальными данными.

Наблюдаемый эффект может быть использован для создания тензорно-поляризованных пучков дейтронов малой интенсивности и высокой энергии.

Полученные результаты были представлены на конференции DSPIN-2007 (3–7 сентября, ОИЯИ, Дубна).

Проекты LNS–PHe3

Задачей проектов LNS и PHe3 является изучение спиновых эффектов в малонуклонных системах при взаимодействии поляризованных ядер на ускорителях RARF (RIKEN, Япония) и нуклотроне. В 2007 г. коллаборация занималась анализом экспериментальных данных по анализирующим способностям реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}({}^3\text{H}p)$ и упругому dp -рассеянию, полученных в RARF и на нуклотроне соответственно.

Цель эксперимента в RARF состоит в измерении векторной A_y и тензорной A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} анализирующих способностей в реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}({}^3\text{H}p)$ при промежуточных энергиях для изучения спиновой структуры ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ на малых межнуклонных расстояниях и поиска возможного нарушения зарядовой симметрии (CSB), наблюдаемой в двух зеркальных каналах: ${}^3\text{He} - n$ и ${}^3\text{H} - p$.

Полученные результаты по угловым зависимостям A_y , A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}({}^3\text{H}p)$ при энергии 270 МэВ представлены в [5–7]. Разница для каналов ${}^3\text{H} - p$ и ${}^3\text{He} - n$ мала, она находится в пределах погрешности измерений для всех анализирующих способностей. Таким образом, указаний на нарушение зарядовой симметрии не обнаружено. В настоящее время проводится анализ систематических неопределенностей эксперимента.

В 2007 г. были получены предварительные результаты по измерению анализирующих способностей A_y , A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} в реакции $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ при 200 МэВ [8, 9]. Особенности данных для канала ${}^3\text{H} - p$ при энергии 200 МэВ такие же, как и при 270 МэВ: величина векторной анализирующей способности A_y мала; измеренные тензорные анализирующие способности находятся в согласии с нерелятивистскими расчетами при малых углах и сильно различаются в области больших углов рассеяния в с. ц. м.

Цель эксперимента, проводимого на нуклотроне, заключается в исследовании энергетической зависи-

мости анализирующей способности в упругом dp -рассеянии в области больших углов рассеяния, где проявляется спиновая структура трехнуклонных сил. В 2007 г. коллаборация занималась анализом данных по измерению A_y , A_{yy} и A_{xx} в упругом dp -рассеянии при энергии 880 МэВ.

Предварительные результаты сравнивались с предсказаниями, сделанными в рамках различных моделей. Наблюдается хорошее согласие с расчетами, выполненными в работе [10]. Анализ данных и модельные расчеты продолжаются.

«Дельта»–«Сигма»

Цель проекта состоит в расширении области исследования свойств нуклон-нуклонного (NN) взаимодействия с использованием поляризованных пучков нейтронов с энергией 1,2–3,7 ГэВ. Основная задача заключается в определении мнимых и вещественных частей для всех спинзависимых амплитуд рассеяния вперед в данном энергетическом диапазоне.

Во время 36-го сеанса на ускорителе были выполнены следующие работы.

— На выведенном в канал 1В пучке дейтронов малой интенсивности, $(1-2) \cdot 10^5$ дейтронов/цикл, с энергией 1,1 ГэВ были проведены методические исследования и калибровка различных подсистем.

— Проверена работа установки на пучке вторичных нейтронов, генерированном в канале 1В пучком дейтронов с интенсивностью $5 \cdot 10^9$ дейтронов/цикл с энергией 1,1 ГэВ.

— Набрано около 50000 событий с использованием твердых CH_2 -, CD_2 - и углеродной мишеней в процессах упругой перезарядки под нулевым углом $np \rightarrow pn$ и $nd \rightarrow pnn$ при энергии нейтронного пучка 0,55 ГэВ.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ЦЕРН, GSI И BNL

ALICE

Научная программа эксперимента ALICE нацелена на исследования кварк-глюонной плазмы и фазовых переходов во взаимодействии тяжелых ионов на ускорителе LHC.

Основные результаты, полученные с участием группы ОИЯИ в 2007 г.:

1. Электромагнитный калориметр PHOS:

- кристаллы вольфрамата свинца были протестированы по оптическим свойствам и сертифицированы;

- полностью подготовленный модуль калориметра PHOS был протестирован в ЦЕРН с использованием космических мюонов.

Результаты были представлены на конференции DSPIN-2007.

Проект BECQUEREL

В данном эксперименте используется ядерно-эмульсионная техника для исследования периферической диссоциации легких релятивистских ядер вплоть до наиболее периферических соударений — ядерных «белых» звезд.

В эмульсии, облученной релятивистскими ядрами ${}^9\text{Be}$, было выделено и проанализировано 371 событие фрагментации ${}^9\text{Be}$ в узкую пару релятивистских ядер He в предположении их соответствия 2α -частицам [11, 12]. Наблюдается отчетливое разделение двух пиков в распределении по инвариантной массе над массовым порогом пары α -частиц $Q_{2\alpha}$ (рис. 2). Был сделан вывод о проявлении 0^+ - и 2^+ -состояний ядра ${}^8\text{Be}$ в спектрах по $Q_{2\alpha}$.

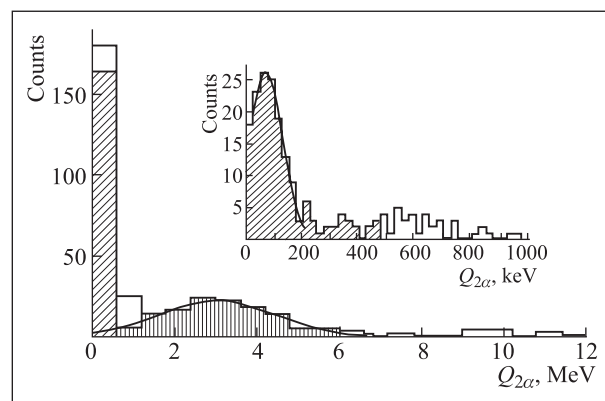


Рис. 2. Распределение по энергии возбуждения $Q_{2\alpha}$ пар α -частиц в реакции фрагментации ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ при энергии 1,2 А ГэВ. На вставке: область $Q_{2\alpha}$ в интервале от 0 до 1 МэВ

2. Детектор переходного излучения TRD:

- создана лаборатория для сборки детекторов с климатической установкой и «чистой комнатой» площадью $\sim 120 \text{ м}^2$;

- в ЛВЭ созданы и протестированы дрейфовые камеры;

- модуль TRD протестирован в ЦЕРН.

3. Физическое моделирование:

- проведено исследование рождения векторных мезонов в реакции $p + p$ при 14 ТэВ и $\text{Pb} + \text{Pb}$ при 5,5 А ТэВ;

- проведено моделирование распада $\phi \rightarrow K^+ K^-$ на основе данных $(p + p)$ -взаимодействия, полученных коллаборацией ALICE-GRID в 2006 г. Изучена возможность идентификации частиц K^+ / K^-

с использованием детекторов ITS, TPC и TOF. Проведено исследование и оптимизация отношения сигнал–шум. Результаты доложены на совещании коллаборации в ЦЕРН;

— проведено моделирование распадов $\phi \rightarrow K^+K^-$, $\phi \rightarrow e^+e^-$, $\omega \rightarrow e^+e^-$, $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ в реакции Pb + Pb при энергии 5,5 АТэВ. Закончен первый этап анализа резонансных пиков с использованием TPC и TRD для восстановления e^+e^- -пар с учетом фоновых e^+e^- -пар от конверсии фотонов. Результаты доложены на совещании коллаборации. Готовится публикация;

- проведено исследование корреляций частиц по импульсу (фемтоскопия);

- генератор универсальной гидродинамической модели (УНKM), созданный в Дубне, интегрирован в пакет программ, используемых в коллаборации ALICE для моделирования (AliRoot). Инсталлирована новая версия AliRoot. Проведена настройка модельных параметров генератора УНKM для реакции Pb–Pb при энергиях ЛНС, и проведен анализ по корреляции рожденных $\pi\pi$ -пар. Проведен трехмерный анализ по исследованию корреляций радиальной зависимости и поперечного импульса. Проведено сравнение с данными, полученными на ускорителе RHIC.

Программа экспериментов NA49/NA61

В экспериментах NA49 и NA61 изучается рождение адронов в адрон-адронном взаимодействии на ускорителе ЦЕРН SPS в релятивистских пучках тяжелых ионов, пучках нейтрино и с использованием космических частиц.

В 2007 г.:

- SPSC-комитет ЦЕРН одобрил продолжение работ по анализу данных эксперимента NA49 и по его поддержке со стороны ЦЕРН;

- эксперимент NA61 одобрен и принят Research Board ЦЕРН как новый эксперимент на SPS;

- группа ОИЯИ подготовила к сеансу 1800 каналов TOF и приняла участие в наборе данных по исследованию реакции $p + {}^{12}\text{C}$ при энергии пучка 31 ГэВ/с и при различных толщинах мишени.

Группа ОИЯИ участвует в анализе данных по рождению (анти)нуклонов и (анти)гиперонов в ядроядерном взаимодействии. Результаты, полученные в 2007 г., были представлены сотрудниками ОИЯИ на международной конференции NER-2007 (Манчестер, Великобритания) и на совещании CPOD-2007 (Дармштадт, Германия).

Исследования с кристаллами (тема 1065)

В 2007 г. проведено три сеанса с кристаллами на выведенном протонном пучке SPS в ЦЕРН в рамках эксперимента H8RD22, в котором участвуют сотрудники ЛВЭ ОИЯИ, ИФВЭ, ПИЯФ и сотрудники ита-

льянских университетов. Цель эксперимента — изучение возможностей применения изогнутых кристаллов на ЛНС и других ускорителях в экспериментах по дифракционному рассеянию и в системах вывода и коллимации гало пучка [13, 14].

Эксперименты на пучке протонов с энергией 400 ГэВ подтвердили возможность создания последовательности коротких кристаллов, работающих в режиме объемного отражения. Угол отклонения пучка увеличивался пропорционально числу кристаллоотражателей. Эффективность отклонения в последовательной цепочке из пяти кристаллоотражателей превышала 90 %.

В эксперименте при осевой ориентации кристалла кремния обнаружено отклонение пучка протонов в состояниях, не связанных с одним осевым каналом. Динамическое удержание частиц около направления изогнутых атомных цепочек кристалла происходит в результате установления однородного распределения по поперечному импульсу в многократных соударениях частиц с атомными цепочками.

HADES

Спектрометр HADES создан для систематического исследования свойств адронов в горячей и плотной материи на ускорителе SIS GSI (Дармштадт) на пучках пионов, протонов и тяжелых ядер. Наблюдаемые включают массы, ширины распадов и специальные распределения для регистрируемых векторных мезонов, таких как ρ и ω . Предыдущее исследование, проведенное коллаборацией DLS в Беркли (Ca + Ca при 1 АГэВ) показали аномально большой выход e^+e^- -пар в области $M < 0,6$ ГэВ/ c^2 по сравнению с теоретическими расчетами, основанными на учете известных источников пар диэлектронов. Такое изменение может быть признаком частичного восстановления киральной симметрии, предсказываемой КХД. Однако данные DLS были получены с плохим разрешением по массе e^+e^- -пары (10 %), и установка имела очень ограниченный аксептанс. Результаты, полученные недавно в экспериментах на установке HADES на ядрах углерода (рис. 3), согласуются с результатами DLS.

Данные, полученные на HADES в реакции C + C (рис. 3) [15–17], подтверждают результаты коллаборации DLS.

Теоретики показали, что этот эффект может быть объяснен большим сечением тормозного излучения как доминирующего процесса в области $0,15 < M < 0,55$ ГэВ при энергии пучка 1 ГэВ.

В настоящее время на спектрометре HADES зарегистрировано около 7 млрд событий. Анализ данных, полученных в 2007 г. на пучках протонов и дейтронов, поможет лучше понять элементарные процессы и пролить свет на наблюдаемый аномальный выход пар.

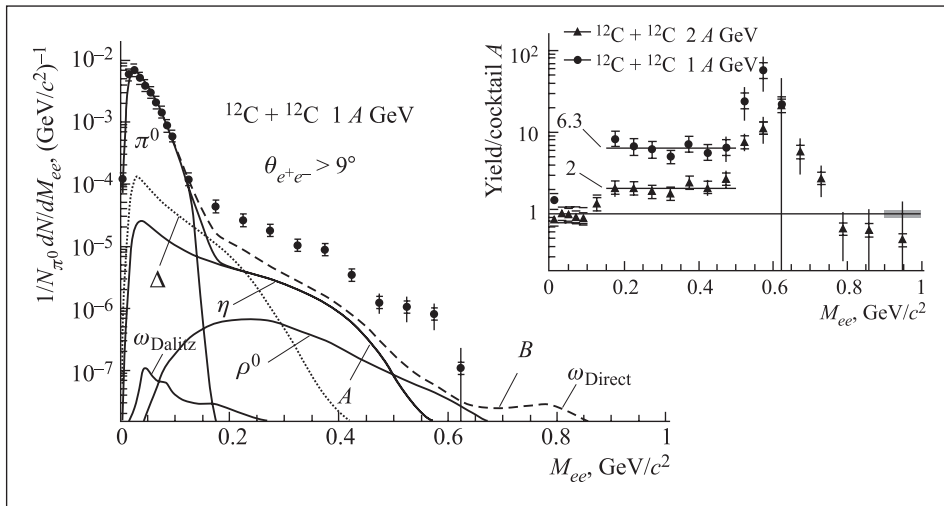


Рис. 3. В эксперименте HADES подтверждено существование загадки «DLS PUZZLE» (~ 6-кратное превышение выхода дилептонов в области инвариантных масс 150–550 МэВ по сравнению со значениями, предсказанными теоретическими моделями), обнаруженной в Беркли в экспериментах на пучках ядер кальция и углерода при энергии 1 АГэВ. В экспериментах HADES также показано, что для ядер углерода с энергией 2 АГэВ величина превышения оказалась в 3 раза ниже

PHENIX

В 2007 г. группа ЛВЭ в рамках программы исследований эксперимента PHENIX принимала участие в следующих работах. В качестве экспертов, отвечающих за работу аэрогелевого черенковского счетчика, и в составе смен по набору данных сотрудники ЛВЭ приняли участие в сеансе. Была достигнута максимальная светимость, что позволит получить информацию по зависимости сечения рождения J/Ψ от центральности взаимодействия.

Сотрудники ЛВЭ активно участвовали в модернизации установки:

- подготовке технического проекта (Technical Design Report) форвард-калориметра (NCC);
- разработке и создании стрип-пиксельного детектора (работы велись совместно с сотрудниками BNL);
- создании front-end электроники.

Сотрудники ЛВЭ провели тестовый сеанс, в котором проверили работу стрип-пиксельного детектора и электроники. В настоящее время проводится анализ данных.

Группа ЛВЭ участвовала в моделировании и создании алгоритма по восстановлению нейтральных пионов и струй в калориметре NCC.

STAR

На первой стадии исследований на RHIC были получены серьезные научные основания для наблюдения нового состояния сильновзаимодействующей материи — кварк-глюонной плазмы в центральных столкновениях $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$. При поперечном импульсе, превышающем ~ 6 ГэВ/с, наблюдается

многократное подавление выхода частиц, содержащих легкие кварки (фактор пять), по сравнению с $(p+p)$ -взаимодействиями при пересчете на число бинарных рассеяний в ядре Au, что является явным доказательством гашения струй в созданной плотной среде.

Частицы, содержащие u -, d - и s -кварки, формируют эллиптические потоки вследствие градиента давления, возникающего в сильновзаимодействующей среде асимметричной формы, образующейся при столкновении ядер золота. Подобные измерения представляют неоспоримые доказательства того, что на RHIC была обнаружена наиболее горячая и плотная среда, которая когда-либо исследовалась в лабораторных условиях, ведущая себя как почти идеальная жидкость со структурой, указывающей на наличие кварковых степеней свободы, и соотношением вязкости к плотности энтропии, меньшей чем в какой-либо из известных жидкостей.

Следующим шагом исследований на RHIC в этой области будет попытка описать свойства сильновзаимодействующей кварк-глюонной плазмы с целью определения таких критических параметров плазмы, как сдвиг в вязкости, скорость звука, транспортные коэффициенты и, в конечном итоге, уравнения состояния. Для этого потребуются разработка новых методов анализа данных RHIC по столкновениям тяжелых ионов, а также улучшение функциональных возможностей и светимости детектора.

Лаборатория высоких энергий активно участвует в реализации следующей фазы исследований на RHIC. В частности, на базе ЛВЭ ведется разработка новых методов точного детектирования короткоживущих адронов путем существенного улучшения

отношения сигнал–шум с помощью методов фитирования с ограничениями. Эта работа является важной для детектирования странных и мультистранных адронов, а в будущем и очарованных адронов, так как тяжелые кварки являются чувствительным зондом при исследовании начальных состояний и возможной термализации на партонах в сильновзаимодействующей кварк-глюонной плазме. Для разработки инструментов детектирования необычного поведения, возможно, указывающего на возможность проявления новой физики на RHIC, проводятся исследования скейлингового поведения частиц с большим поперечным импульсом для различных типов пучков и в широком спектре их энергии. Также проводится изучение корреляций и флуктуаций (в частности, КЗ-коррелятора), которое позволит проверить возможность разделения различных популяций событий, наблюдаемых на RHIC, на основе наблюдаемых корреляций. Исследование «back-to-back»-корреляций очарованных частиц и идентификация исходных кварков лидирующих частиц в струях может дать уникальные данные о процессах, в которых формируются тяжелые кварки, и условиях в начальный момент столкновения. Разрабатываемые в ЛВЭ технологии позволят выделить необходимую информацию из подобных наблюдаемых в этом исключительно сложном конечном состоянии. Кроме того, рабочая группа ОИЯИ изучает возможность внесения вклада в создание трекера HFT (Heavy Flavor Tracker) установки STAR.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проект «Нуклотрон для медицины»

В период с 2005 по 2006 г. было проведено 3 эксперимента с профилометром, плоскопараллельными ионизационными камерами и алмазным дозиметром. Был визуализирован профиль остановившегося пучка углерода в пластике. В 2007 г. группа ЛВЭ занималась анализом данных и моделированием брэгговского пика.

Основные результаты:

1. Получен первый опыт по созданию медико-технического пучка ионов и системы мониторинга. Этот опыт будет востребован при создании специализированных медицинских ускорителей протонов и ионов.

2. Результаты эксперимента с углеродным пучком с энергией 500 МэВ/нукл. продемонстрировали возможность облучения глубоко расположенных мишеней (до 35 см вещества). Но энергия 500 МэВ/нукл. слишком велика для терапии больных, оптимальной является энергия 350–400 МэВ/нукл.

В настоящее время поперечное стохастическое охлаждение пучков тяжелых ионов является наиболее перспективным методом снижения межпучкового и внутрипучкового рассеяния, что необходимо для достижения светимости, позволяющей проводить исследования тяжелых кварков и редких событий на следующем этапе исследований RHIC. Проводимое усовершенствование системы сбора данных детектора STAR обеспечит возможность работы при более высокой светимости с (почти) нулевым мертвым временем. Кроме того, проводится комплекс работ по созданию баррельной времяпролетной камеры, которая расширит существующие возможности идентификации частиц, а также нового «charm class» микровершинного детектора, называемого «Heavy Flavor Tracker». Передний мезонный спектрометр, выполненный из секций свинцового стекла, позволит изучать партонные распределения в начальном состоянии в ядре золота и выявить условия, которые приводят к таким существенным эффектам в конечном состоянии.

Первоочередной научной задачей для группы ЛВЭ в проекте STAR являлось также получение данных относительно спиновой структуры и динамики протона путем изучения того, каким образом собственный спин протона распределяется среди составляющих его конститuentов (кварков, антикварков и глюонов). Полученные данные по односпиновой и двухспиновой асимметрии рождения адронов и струй позволяют выделить спинзависимые распределения глюонов.

3. Интенсивность пучка углерода 10^9 частиц за сброс достаточна для проведения медико-биологических исследований по терапии злокачественных образований. Кривая Брэгга может быть измерена при помощи ионизационных камер и алмазного детектора.

4. Были получены контролируемые дозные поля излучения с высокой плотностью ионизации. Первые биологические объекты и маленькие животные облучены в контролируемых дозных полях.

Программа «Энергия и трансмутация»

В рамках этой программы исследований протонный и дейтронный пучки нуклотрона используются для изучения процесса генерации и размножения нейтронов в тяжелых мишенях (Pb, W и др.), изучаются сечения трансмутации радиоактивных отходов, проводится облучение тяжелых элементов прямыми фотонами и пучками дейтронов и определяется сечение трансмутации для долгоживущих радиоактивных отходов ядерных источников энергии.

ЮБИЛЕЙ

4 марта 2007 г. отмечался 100-летний юбилей академика Владимира Иосифовича Векслера — выдающегося ученого в области ускорительной физики, первооткрывателя принципа автофазировки, используемой во всех современных циклических ускорителях заряженных частиц и ядер. Первый в Европе электронный синхротрон был создан в Физическом институте Академии наук СССР под руководством В. И. Векслера в 1947 г. Также под его руководством был сооружен протонный ускоритель — синхрофазотрон, в тот момент самый большой ускоритель этого типа в мире, запущенный в Дубне 50 лет назад, в апреле 1957 г.

В. И. Векслер был основателем Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, которая носит сегодня его имя вместе с именем академика А. М. Балдина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Stachel J.* // Intern. J. Mod. Phys. A. 2006. V.21. P.1750–1763;
Andronic A., Braun-Munzinger P., Stachel J. // Nucl. Phys. A. 2006. V.772. P.167.
2. *Sissakian A. et al.* The Multipurpose Detector — MPD to Study Heavy-Ion Collisions at NICA. Letter of Intent. JINR. Not published.
3. *Sissakian A. et al.* Design and Construction of Nuclotron-Based Ion Collider Facility (NICA). Conceptual Design Report. Dubna: JINR, 2007.
4. *Sissakian A.* The Project NICA/MPD at JINR: Search for the Mixed Phase of Strongly Interacting Matter at Nuclotron-Based Ion Collider Facility // XXIII Intern. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energy, Daegu, Korea, Aug. 13–18, 2007.
5. *Janek M. et al.* // Eur. Phys. J. A. 2007. V.33. P.39.
6. *Ladygin V.P. et al.* // Czech. J. Phys. 2006. V.56. P.F135.
7. *Ladygin V.P. et al.* Talk at the Intern. Symp. on New Facet of Three Nucleon Force — 50 Years of Fujita–Miyazawa Three Nucleon Force (FM50), Tokyo, Oct. 29–31, 2007.
8. *Kurilkin A.K. et al.* // Proc. of the Advanced Studies Institute on Symmetries and Spin, Prague, July 8–14, 2007; to EPJ ST (submitted).
9. *Kurilkin A.K. et al.* // Proc. of the XII Workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN-2007), Dubna, Sept. 3–7, 2007 (in press).
10. *Ladygina N.B.* nucl-th/0705.3149; Yad. Fiz. (submitted).
11. *Artemenkov D.A. et al.* // AIP Conf. Proc. 2007. V.912. P.78; nucl-ex/0704.0384.
12. *Artemenkov D.A. et al.* // Phys. At. Nucl. 2007. V.70. P.1226; nucl-ex/0605018v1.
13. *Scandale W. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2007. V.98. P.154801.
14. *Taratin A.M., Scandale W.* // Nucl. Instr. Meth. B. 2007. V.262. P.340.
15. *Agakichiev G. et al.* Dielectron Production in $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Collisions at 2A GeV with the HADES Spectrometer // Phys. Rev. Lett. 2007. V.98. P.052302.
16. *Przygoda W. for the HADES Collab.* Dielectron Production in $C + C$ Collisions at 2A GeV with HADES // Nucl. Phys. A. 2007. V.783. P.583c.
17. *Spataro S. et al.* Eta-Meson Reconstruction in pp Reactions at 2.2 GeV with HADES // Intern. J. Mod. Phys. A. 2007. V.22. P.533.