

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

В 2006 г. научная программа исследований Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина (ЛВЭ), как и в предыдущие годы, была сконцентрирована на изучении взаимодействия релятивистских ядер в области энергий от нескольких сотен МэВ до нескольких ТэВ на нуклон с целью обнаружения кварк-глюонных степеней свободы в ядрах, поиска асимптотических закономерностей ядерной материи в соударениях высокой энергии, а также на изучении спиновой структуры легчайших ядер. Эти исследования проводились на различных пучках, полученных на ускорительном комплексе ЛВЭ, а также на ускорителях ЦЕРН, Брукхейвенской национальной лаборатории (США), GSI (Германия) и других научных центров. В настоящее время на ускорительном комплексе — нуклотроне Лаборатории высоких энергий можно проводить широкий диапазон исследований в области энергий несколько ГэВ на нуклон, при которых имеет место переход от влияния нуклонной структуры ядра к асимптотическому поведению в ядерных взаимодействиях.

Программа исследований, в частности, предусматривает получение новой информации о свойствах процессов множественного рождения частиц в столкновениях различных ядер; изучение свойств сильновзаимодействующей материи при экстремальной плотности энергии и в переходной области от адронной материи к кварк-глюонной плазме.

Лаборатория осуществляет широкое международное сотрудничество с ЦЕРН, научными центрами стран-участниц Института, а также со многими физическими центрами России, США, Германии, Франции, Японии и других стран.

В ЛВЭ в 2006 г. были получены новые результаты при разработке и испытании сверхпроводящих магнитов и кабелей, предназначенных для SIS100 на GSI. Полученные данные могут быть также полезными для будущего бустера LHC.

Суммарное время работы нуклотрона в 2006 г. составило 1101 час.

## Сотрудничество BECQUEREL

При периферической фрагментации релятивистского ядра с зарядом  $Z$  произведенная фрагментами ионизация может снизиться вплоть до фактора  $Z$ , а ионизация, приходящаяся на один трек, — до  $Z^2$ . Поэтому эксперимент должен обеспечивать адекватный диапазон детектирования. Для реконструкции события необходима полная кинематическая информация о частицах в конусе релятивистской фрагментации, что, например, позволяет вычислить инвариантную массу системы. Точность ее оценки в решающей степени зависит от точности углового разрешения треков. Для обеспечения наилучшего пространственного разрешения требуется детектирование релятивистских фрагментов с наилучшим пространственным разрешением.

Описанным требованиям удовлетворяет метод ядерных фотоэмульсий, лежащий в основе проекта BECQUEREL на нуклотроне ОИЯИ [1–9]. Его задачей является систематический поиск мод периферической фрагментации со статистической обеспеченностью на уровне десятков событий, их классификация и угловая метрология.

**Фрагментация ядер  $^{14}\text{N}$ .** Стопка, состоящая из слоев ядерной фотоэмульсии, была облучена пучком ядер  $^{14}\text{N}$  с импульсом  $2,86 \text{ А} \cdot \text{ГэВ}/c$  на нуклотроне ОИЯИ [6]. Распределение по зарядовой топологии при диссоциации ядер  $^{14}\text{N}$  в периферических взаимодействиях с ядрами фотоэмульсии указывает на лидирующую роль канала с зарядовой конфигурацией  $2 + 2 + 2 + 1$ . Для оценки энергетического масштаба образования  $3\alpha$ -систем в канале  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$  получено распределение по инвариантной энергии возбуждения  $Q$  относительно основного состояния ядра  $^{12}\text{C}$  (рис. 1). Основная часть событий сконцентрирована в области  $Q_{3\alpha}$  от 10 до 14 МэВ и перекрывает известные уровни  $^{12}\text{C}$ . Для оценки доли событий с образованием промежуточного ядра  $^8\text{Be}$  в реакциях  $^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha + X$  получено распределение

по инвариантной энергии возбуждения для пары  $\alpha$ -частиц относительно основного состояния ядра  ${}^8\text{Be}$  (рис. 2). Первый пик распределения соответствует значению, ожидаемому для продуктов распада нестабильного ядра  ${}^8\text{Be}$  в основном состоянии  $0^+$ . Эта часть спектра представлена в 20-кратно увеличенном масштабе на вставке. На ней видно хорошее совпадение центра распределения с энергией распада основного состояния  ${}^8\text{Be}$ . По имеющейся статистике, доля пар  $\alpha$ -частиц, являющихся продуктами распада  ${}^8\text{Be}$ , составляет 25–30 %.

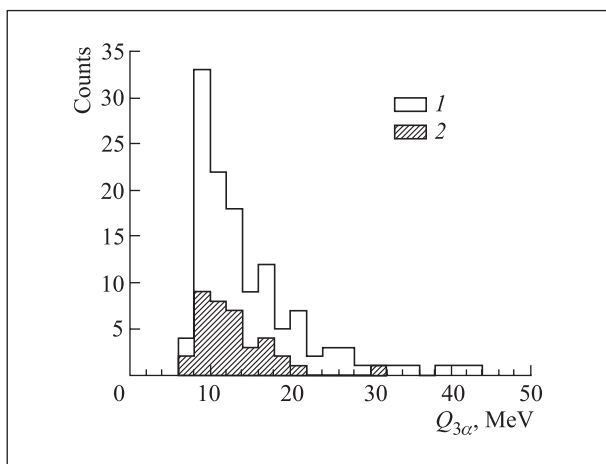


Рис. 1. Распределение по инвариантной энергии возбуждения  $Q_{3\alpha}$   $3\alpha$ -систем относительно основного состояния ядра  ${}^{12}\text{C}$  для процесса  ${}^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$ : 1 — все события данной реакции диссоциации, 2 — «белые» звезды

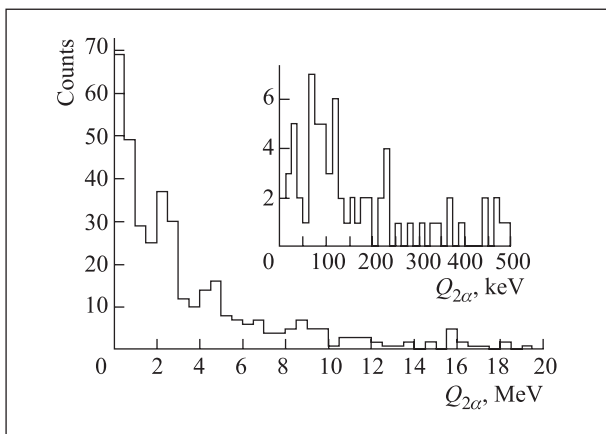


Рис. 2. Распределение по инвариантной энергии возбуждения для пар  $Q_{2\alpha}$   $\alpha$ -частиц для процесса  ${}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Be} + \alpha + X$ . На вставке: часть распределения в интервале 0–500 кэВ

**Фрагментация ядер  ${}^7\text{Be}$ .** На нуклотроне ОИЯИ ускорены ядра  ${}^7\text{Li}$  и после их перезарядки на внешней мишени сформирован вторичный пучок ядер  ${}^7\text{Be}$  с энергией 1,2 ГэВ/нукл. В пучке ядер  ${}^7\text{Be}$  облучены камеры ядерной фотоэмульсии [8]. Средний пробег для неупругих взаимодействий ядер  ${}^7\text{Be}$  в фотоэмульсии  $\lambda_{\text{inel}}({}^7\text{Be}) = (14,0 \pm 0,8)$  см в пределах ошибок

совпадает со средними пробегами для неупругих взаимодействий ядер  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$ . Более 10 % неупругих взаимодействий ядер  ${}^7\text{Be}$  составляют периферические взаимодействия, в которых сумма зарядов релятивистских фрагментов равна заряду ядра  ${}^7\text{Be}$  и в которых не образуются заряженные мезоны. В составе двухзарядных фрагментов ядер  ${}^7\text{Be}$  наблюдается необычное для стабильных ядер соотношение изотопов гелия — содержание фрагментов  ${}^3\text{He}$  вдвое превышает содержание фрагментов  ${}^4\text{He}$ . В 50 % периферических взаимодействий содержится по два двухзарядных фрагмента. В 50 % фрагментация ядер  ${}^7\text{Be}$  происходит только на заряженные фрагменты без испускания нейтронов. Среди них доминирует канал ( ${}^4\text{He} + {}^3\text{He}$ ), по 10 % составляют каналы ( ${}^4\text{He} + d + p$ ) и ( ${}^6\text{Li} + p$ ). Зарегистрировано два события без испускания нейтронов в 3-частичных каналах ( ${}^3\text{He} + t + p$ ) и ( ${}^3\text{He} + d + d$ ). Основные особенности фрагментации релятивистских ядер  ${}^7\text{Be}$  в таких периферических взаимодействиях объясняются 2-кластерной структурой  ${}^3\text{He} + {}^4\text{He}$  ядра  ${}^7\text{Be}$ .

**Периферическая фрагментация ядер  ${}^8\text{B}$ .** Впервые выполнено облучение ядерных эмульсий в пучке радиоактивных ядер  ${}^8\text{B}$  [9]. Получены данные по вероятностям каналов фрагментации ядра  ${}^8\text{B}$  в периферических взаимодействиях при энергии 1,2 А·ГэВ. Выявлен лидирующий вклад моды  ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$ , имеющей наименьший энергетический порог. Получена информация об относительной вероятности мод диссоциации с большей множественностью. Диссоциации ядра-основы  ${}^7\text{Be}$  в  ${}^8\text{B}$  проявляет сходство с диссоциацией свободного ядра  ${}^7\text{Be}$ . Дальнейший анализ топологии фрагментации предполагает идентификацию изотопов H и He.

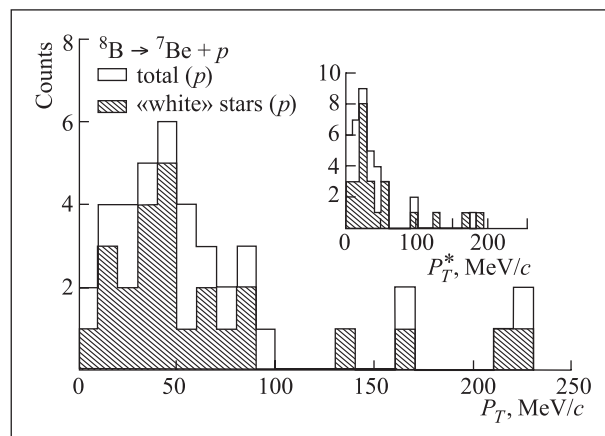


Рис. 3. Распределение по поперечному импульсу  $P_T$  протонов в периферических звездах  ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$ . На вставке: то же распределение  $P_T^*$  в с. ц. м.  ${}^7\text{Be} + p$

Получены распределения по поперечному импульсу для фрагментов моды диссоциации  ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$  (рис. 3). Весьма малая величина их среднего

значения  $\langle P_T^* \rangle = 52 \pm 5$  МэВ/с в с. с. м. отражает малое значение энергии связи внешнего протона в ядре  $^8\text{B}$ . При отборе событий с передачей ядру  $^8\text{B}$  поперечного импульса  $< 60$  МэВ/с проявляется сильная корреляция по азимутальному углу между  $^7\text{Be}$  и  $p$ .

### Коллаборация ФАЗА

Существование спиноподобной области для горячей ядерной материи было предсказано более 30 лет назад. При попадании в эту область ядерная жесткость становится равной нулю:  $\partial p / \partial V = 0$ . Экспериментальная информация о спиноподобном состоянии ядерной материи продвинулась вперед при изучении процесса ядерной мультифрагментации. Коллаборация ФАЗА сделала заметный вклад в исследования, проводимые в этой области [10].

Спиноподобный распад в ядерной системе связан больше с фазовым переходом жидкость–туман, чем с переходом жидкость–газ. Этот сценарий подтверждается следующими наблюдениями, сделанными рядом коллабораций (в том числе и на установке ФАЗА).

- Плотность системы в момент развала в 2–3 раза меньше нормальной  $\rho_0$  [11].

- Время жизни фрагментирующей системы очень мало,  $\sim 2 \cdot 10^{-22}$  с (или  $\approx 70$  фм/с). Впервые это время было измерено в Дубне (1994 г.) [12] путем анализа угловых корреляций фрагментов промежуточной массы (ФПМ).

- Температура в момент развала  $T = 4–6$  МэВ меньше критической температуры фазового перехода жидкость–газ, величина которой  $T_c = (17 \pm 2)$  МэВ найдена коллаборацией ФАЗА.

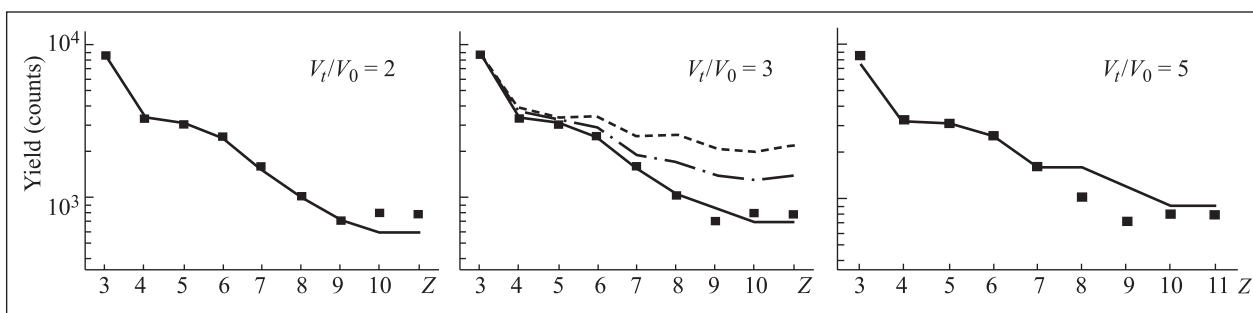


Рис. 4. Зарядовое распределение ФПМ для взаимодействия  $p$  (8,1 ГэВ) + Au. Символы — экспериментальные значения. Сплошная линия — расчет зарядовых распределений ФПМ, выполненный при  $T_c = 18$  МэВ. Пунктирная и штрихпунктирная линии — расчет при  $T_c$ , равной 7 и 11 МэВ соответственно

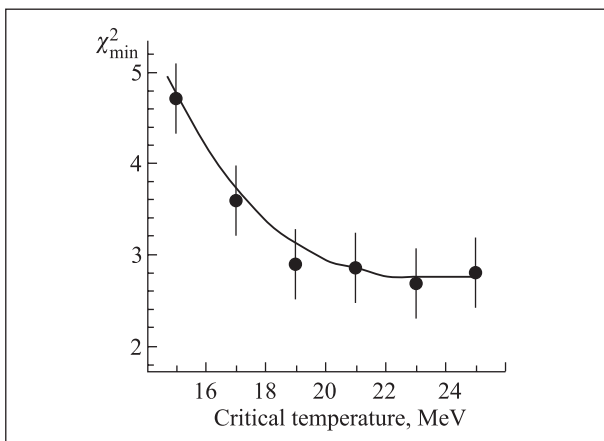


Рис. 5. Минимальное значение  $\chi^2$  в функции критической температуры

Величина критической температуры имеет решающее значение для утверждения о наблюдении спиноподобного состояния ядерной материи. В 2006 г. сделан более тщательный анализ данных для получения более надежного значения критической температуры и объема системы в момент развала (рис. 4, 5) [13]. Получены следующие значения этих величин:  $T_c \geq 18$  МэВ,  $V_t/V_0 = 3$  (или  $\rho_t = 1/3\rho_0$ ).

В 2006 г. была закончена модернизация установки, которая заключалась в добавлении 25 компактно расположенных телескопов  $dE(\text{газ}) \times E(\text{Si})$ . Эти детекторы были изготовлены в Кракове в Институте им. Х. Неводничанского. Новый детекторный модуль позволяет измерять корреляции ФПМ по относительному углу и относительной скорости с селекцией каждого из фрагментов по заряду и энергии. Модернизированный вариант установки называется ФАЗА-3.

Дальнейшие экспериментальные исследования направлены на получение большей информации о свойствах спиноподобного состояния ядерной материи.

### Коллаборация МАРУСЯ

Основная цель проводимых измерений состояла в изучении спектров пионов, протонов и каонов при взаимодействии ядер на выведенных пучках нуклотрона ЛВЭ.

Измерения проводились на пучках ядер углерода с энергией 2,2 ГэВ/нукл. с использованием мишеней Cu малых размеров ( $4 \times 4$  мм). Образованные в результате взаимодействия частицы ( $\pi$ ,  $K$ ,  $p$ ) с импуль-

сами 500, 1500 МэВ/с регистрировались под углами в  $30^\circ$  с угловым разбросом  $1-2^\circ$ . Основная методическая цель измерений состояла в настройке и изучении режимов работы магнитооптического спектрометра на основе метода фокальных коэффициентов с использованием нового годоскопического детектора, расположенного в непосредственной близости от мишени.

В процессе измерений сделаны экспериментальные оценки возможности регистрации и идентификации двух частиц из одного события, имеющих близкие импульсы и летящие под одним углом (в пределах захвата магнитооптического спектрометра  $2-3^\circ$ ).

Результаты измерений показали возможность регистрации таких событий с достаточной статистической обеспеченностью (до 100 соб./ч) для изучения спектра эффективных масс состояний, распадающихся по каналам  $\pi K$ ,  $\pi p$ ,  $Kp$ ,  $pp$ ,  $\pi\pi$ . Особое внимание было уделено реакции  $A + A \rightarrow K^+ p$  в области эффективных масс 1500 МэВ в связи с интересом к изучению возможных состояний, именуемых пентакварками.

На рис. 6 приведены времяпролетные спектры для трех режимов работы спектрометра, полученные в данном сеансе для реакции  $C + Cu$ . Для выделения каонов необходим дополнительный многофакторный анализ полученных данных, который проводится в настоящее время.

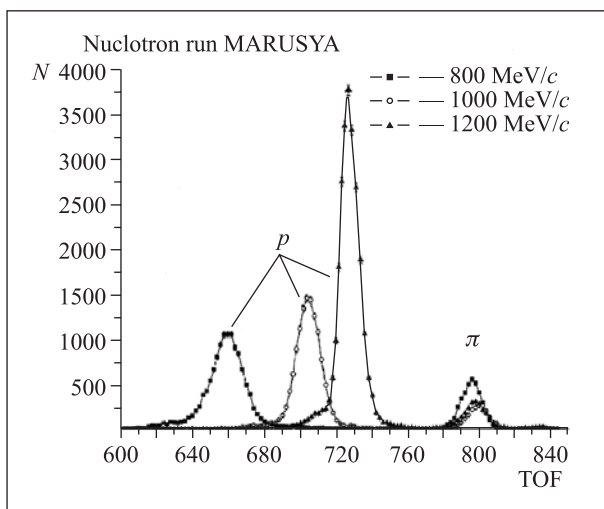


Рис. 6. Времяпролетные спектры протонов и пионов, полученные в реакции  $C + Cu$  для трех импульсов регистрируемых частиц

На рис. 7 представлены координатные профили пучка для двух режимов работы магнитов СП-40, СП-57, полученные при фиксированном режиме работы магнитных линз.

На рис. 8 показаны координатные профили пучков для определения оптимального захвата заданного импульса спектрометрическими магнитами при выключенных линзах.

Полученный набор данных во всем рабочем диапазоне магнитных элементов спектрометра МАРУСЯ свидетельствует о возможности прецизионной настройки спектрометра без использования специальных координатных детекторов. Физическая информация о соотношениях выхода пионов, каонов и протонов будет проанализирована при обработке времяпролетных и амплитудных спектров, полученных в ходе измерений.

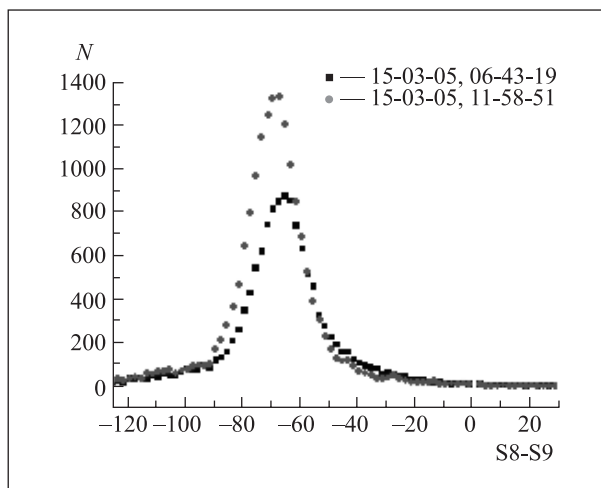


Рис. 7. Координатные профили пучка для двух режимов работы магнитов СП-40, СП-57 при фиксированном режиме работы магнитных линз

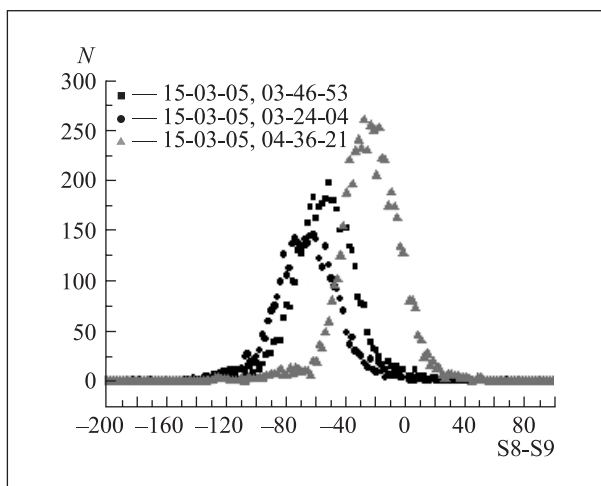


Рис. 8. Координатные профили пучков для определения оптимального захвата заданного импульса спектрометрическими магнитами при выключенных линзах

### Обнаружение параметрического рентгеновского излучения умеренно релятивистских ядер в кристаллах

Основной целью эксперимента «Кристалл» было обнаружение и исследование параметрического из-

лучения (ПРИ) релятивистских ядер в кристалле вольфрама с иным, отличным от кремния, типом кристаллической решетки [14].

Кроме того, эксперимент проводился в новой геометрии — в геометрии Лауэ, когда рентгеновский детектор регистрирует излучение из кристалла со стороны, противоположной падающему пучку.

Нужно отметить, что на пучке ядер с энергией в несколько ГэВ/нукл. реализуется уникальная ситуация для формирования спектров параметрического излучения частиц в кристалле сразу несколькими се-

мействами кристаллографических плоскостей благодаря широкому угловому распределению виртуальных фотонов электромагнитного поля налетающих частиц (ширина распределения обратно пропорциональна значению релятивистского фактора). На пучках электронов нельзя реализовать данную ситуацию в чистом виде. Электроны с малым значением релятивистского фактора имеют в кристалле траектории, значительно отличающиеся от прямолинейных, что нарушает условия формирования параметрического излучения.

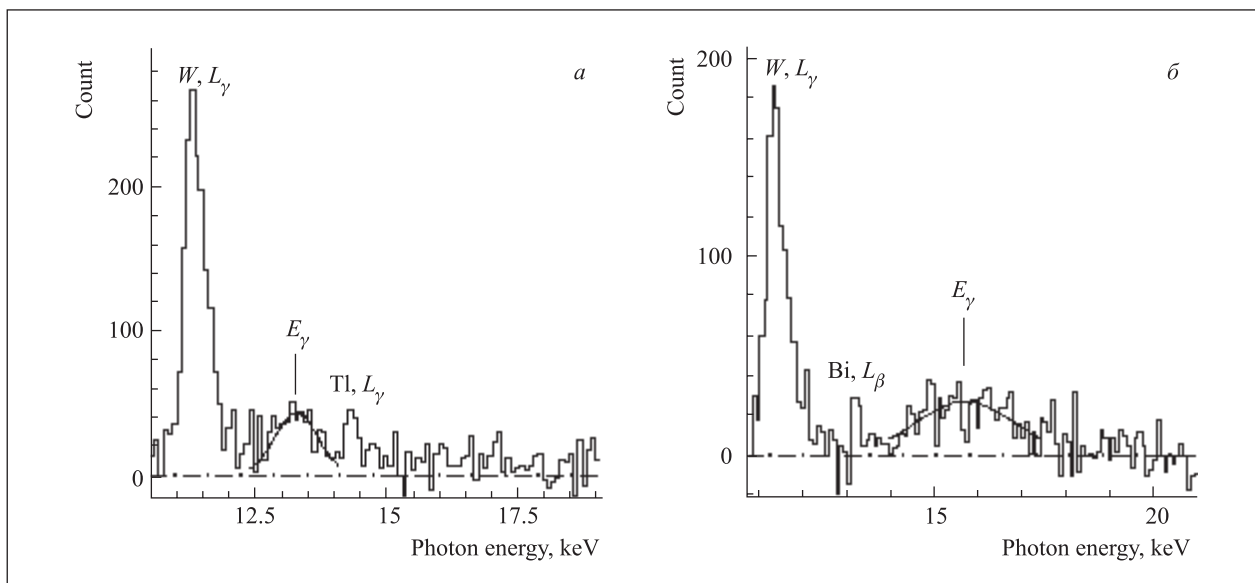


Рис. 9. Спектры, измеренные с кристаллами (111) и (110) вольфрама (*a* и *б* соответственно)

Эксперимент проводился на пучке ядер углерода с энергией 2 ГэВ/нукл. с кристаллами вольфрама. Кристалл устанавливался нормально пучку. В этом случае в направлении наблюдения на разных семействах кристаллографических плоскостей должно формироваться рентгеновское излучение с одинаковой длиной волны.

На рис. 9 представлены спектры, измеренные с кристаллами (111) и (110) вольфрама (*a* и *б* соответственно). Максимум, обозначенный через  $W, L_\gamma$ , образован фотонами характеристического излучения, возбуждаемого в кристалле частицами. Максимумы  $E_\gamma$  в спектрах соответствуют расчетным положениям максимумов параметрического излучения для геометрии Лауэ. Максимум ПРИ для кристалла (110) вольфрама значительно шире, что может объясняться большими размерами засвечиваемой области кристалла и, соответственно, большим разбросом углов регистрации параметрического излучения.

Сформировав узкий в плоскости наблюдения пучок достаточной интенсивности, можно будет зарегистрировать более узкие и хорошо выраженные максимумы ПРИ.

### Создание и тестирование камер для детектора ALICE TRD

Эксперимент ALICE предназначен для изучения физики сильновзаимодействующей материи и кварк-глюонной плазмы в нуклон-нуклонных взаимодействиях на новом адронном коллайдере LHC в ЦЕРНе [15]. Детектор переходного излучения (TRD) существенно расширяет возможности установки ALICE. Главной задачей TRD является идентификация электронов с высокой эффективностью и выработка триггерного сигнала для электронов с большим поперечным импульсом [16].

TRD-детектор состоит из 540 проволочных камер. Полная активная площадь TRD-детектора составляет  $\sim 736 \text{ м}^2$ , суммарное количество электронных каналов регистрации — около 1,2 млн [17]. Изготовление камер началось в 2005 г. в ОИЯИ, университетах Гейдельберга и Франкфурта, GSI (Дармштадт) и NIPNE (Бухарест). Для создания и тестирования TRD-камер в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ были подготовлены и оснащены современным технологическим оборудованием новые помещения, включая «чистые» комнаты общей площадью  $120 \text{ м}^2$ .

Склейка каркасов камер производится на двух прецизионных сборочных столах с плоскостностью лучше 30 мкм. Перенос проволочных плоскостей на каркас камеры производится с точностью около 20 мкм. В процессе изготовления камера тестируется на автоматизированном стенде с рентгеновской трубкой, которая может перемещаться с высокой точностью в X/Y-плоскости и позволяет просканировать камеру по всей площади.

Готовые и оттестированные TRD-камеры отправляются в GSI (Дармштадт), где они должны быть укомплектованы электроникой считывания.

В настоящее время в ЛВЭ ОИЯИ изготовлено 90 камер, из которых 65 камер отправлено в Германию для дополнительного тестирования, монтажа в «супермодули» (по 30 камер) и интегрирования в установку ALICE [18].

### Коллаборация ALICE

Крупнейший дипольный магнит переднего мюонного спектрометра был в 2006 г. собран и испытан в рабочем режиме. Проведено измерение магнитного поля.

Оптические свойства 674 кристаллов вольфрамата свинца были измерены и сертифицированы на тестовой установке в ОИЯИ. Группа специалистов ОИЯИ приняла участие в испытаниях 1-го модуля PHOS на пучке в ЦЕРН. Ведется анализ полученных данных. Разработан улучшенный алгоритм идентификации  $\pi^0$  для энергий более 40 ГэВ по данным с 256-канального прототипа.

Для «Проекта физических исследований» был подготовлен раздел по изучению влияния резонансов на интерференцию частиц. Выполнено исследование распадов легких векторных мезонов на электронные пары в (Pb-Pb)-взаимодействиях. Выполнено детальное исследование рождения тяжелых кваркониев в (*p*-Pb)- и (Pb-*p*)-взаимодействиях для мюонного спектрометра. Разработана программа моделирования интерференции частиц по универсальной гидродинамической модели. Эта модель описывает параметры интерференционной картины для энергий от SPS до RHIC. Специальная версия модели разработана для LHC.

Было проведено сравнение энергетического и пространственного разрешения калориметра PHOS для кодов GEANT3 и FLUKA в рамках программного подхода ALIROOT. Модифицирована геометрия калориметра PHOS в программе ALIROOT. Параметры юстировки модуля PHOS включены в ALIROOT. Разработанный в ОИЯИ на базе подхода Кальмана метод поиска кластеров и треков был включен в ALIROOT в качестве основного варианта реконструкции треков в мюонном спектрометре. Разработан и применен общий набор модулей программ просмотра событий в установке, используемый всеми 3D-программами в программе ROOT. Обеспечено организационное и

техническое руководство российскими институтами-участниками ALICE для проведения сеанса «Data Challenge» и «Service Challenge4» в 2006 г. Генерация и реконструкция событий (*p*-*p*)- и (Pb-Pb)-взаимодействий была проведена в ОИЯИ и в восьми российских институтах на базе LCG-ресурсов.

### Проект HADES (участие ОИЯИ)

В 2006 г. сотрудники ОИЯИ участвовали в сеансе на пучке SIS (*p* + *p*@1,25 ГэВ). Более миллиарда событий было набрано с триггером 1-го и 2-го уровня, ведется анализ полученных данных. Специалисты ОИЯИ активно участвуют в обработке данных, создании матобеспечения для реконструкции треков и «юстировки» в пространстве секторов дрейфовых камер. Разработаны новые электронные блоки для использования информации с дрейфовых камер в триггере 3-го уровня.

В журнале «Physical Review Letters» опубликованы физические результаты, полученные при взаимодействии  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  (2 A-ГэВ) на установке HADES [19]. 3-мерная схема спектрометра HADES была представлена в популярном немецком журнале «Bild der Wissenschaft» [20].

Разрабатывается физическая программа эксперимента HADES по изучению рождения дилептонов в соударениях тяжелых ядер при энергиях 1–10 ГэВ/нукл. (на ускорительном комплексе FAIR). Для модернизации установки и создания новых детекторов (RPC, Forward Wall TOF) получен грант Европейского сообщества по программе FP-6.

### LNS – рНе3 коллаборация

Проведена обработка полученных ранее на ускорительном комплексе RARF (RIKEN Accelerator Research Facility) экспериментальных данных по тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакций  $d^{12}\text{C} \rightarrow pX$  и  $dd \rightarrow pX$  вблизи порога развала дейтрона, когда в конечном состоянии система *X* представляет собой (в основном) *dn*- и *pnn*-состояния соответственно, а также для реакции  $d^{12}\text{C} \rightarrow p^{13}\text{C}^*$  с возбуждением уровней ядра  $^{13}\text{C}$  при энергиях  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ и угле рассеяния  $\Theta_{\text{cm}} = 0^\circ$ .

Реакция развала дейтрона  $dA \rightarrow pX$  является одним из способов получения информации о структуре дейтрона. Поляризационные наблюдаемые данной реакции, в частности, тензорная анализирующая способность  $T_{20}$ , чувствительна к отношению *D/S*-волн в дейтроне. Изучение реакции  $dA \rightarrow pX$  вблизи порога развала дейтрона позволяет, с одной стороны, достигнуть минимальных межнуклонных расстояний в дейтроне при данной начальной энергии и, с другой стороны, исследовать взаимодействие в конечном состоянии для системы *X*. Использование в качестве мишени ядра *A* позволяет достигнуть меньших

межнуклонных расстояний, чем в случае взаимодействия дейтронов с водородом. Исследование поляризационных наблюдаемых реакций  $\vec{d}A \rightarrow pA^*n$  и  $\vec{d}A \rightarrow p(A+1)^*$  позволяет получить информацию о квантовых числах уровней возбуждения ядер.

Экспериментальные результаты для тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакций  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow pX$  и  $\vec{d}d \rightarrow pX$  при энергиях дейтрона  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ и угле рассеяния  $\Theta_{\text{cm}} = 0^\circ$  в зависимости от величины  $E_x$  представлены на рис. 10–12.

На рис. 10 экспериментальные данные, соответствующие реакции  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow p^{13}\text{C}_{\text{g.s}}$  при  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ, обозначены круглыми символами. Точки, соответствующие реакции  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow p^{13}\text{C}^*$  (3,089) при  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ, представлены квадратными символами. Треугольные символы соответствуют реакции  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow p^{13}\text{C}^*$  (3,6845 + 3,854) при  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ.

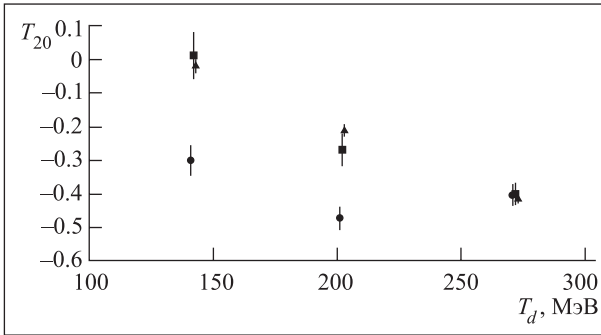


Рис. 10. Экспериментальные результаты для тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакции  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow pX$  при энергиях дейтрона  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ и угле рассеяния  $\Theta_{\text{cm}} = 0^\circ$  в зависимости от величины  $T_d$

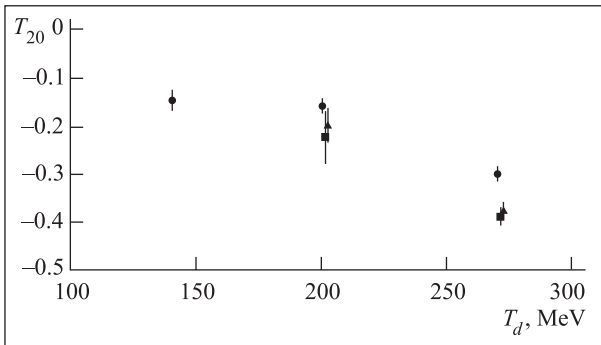


Рис. 11. Экспериментальные результаты для тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакций  $\vec{d}d \rightarrow p^3\text{H}$  и  $\vec{d}d \rightarrow pX$  при энергиях дейтрона  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ и угле рассеяния  $\Theta_{\text{cm}} = 0^\circ$  в зависимости от величины  $T_d$

Экспериментальные данные на рис. 11, соответствующие бинарной реакции  $\vec{d}d \rightarrow p^3\text{H}$ , обозначены круглыми символами. Экспериментальные данные для реакции  $\vec{d}d \rightarrow pX$ , когда в конечном состоянии система представляет собой (в основном)

$dn$ -состояние, обозначены квадратными символами. Треугольные символы соответствуют реакции  $\vec{d}d \rightarrow pX$ , когда в конечном состоянии система представляет собой (в основном)  $ppn$ -состояние.

На рис. 12 символы-звезды соответствуют бинарной реакции  $\vec{d}d \rightarrow p^3\text{H}$ . Черные кружки соответствуют реакции развала дейтрона  $\vec{d}d \rightarrow pX$ , светлые — эффекту на углероде.

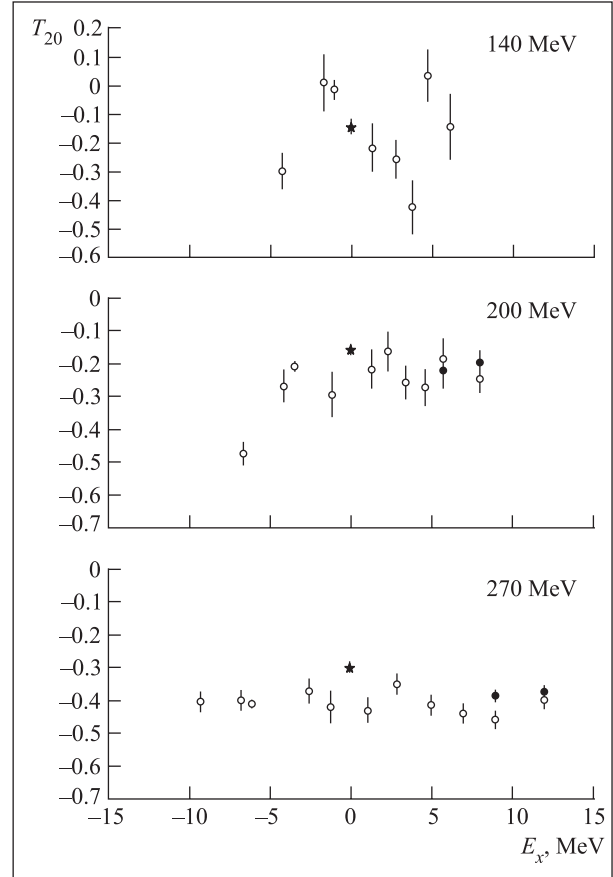


Рис. 12. Экспериментальные результаты для тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакций  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow pX$  и  $\vec{d}d \rightarrow pX$  при энергиях дейтрона  $T_d = 140, 200$  и  $270$  МэВ и угле рассеяния  $\Theta_{\text{cm}} = 0^\circ$  в зависимости от величины  $E_x$

Экспериментальные данные по тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  свидетельствуют о ее чувствительности к спиновой структуре дейтрона. Отрицательный знак величины тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  в реакциях  $\vec{d}^{12}\text{C} \rightarrow pX$  и  $\vec{d}d \rightarrow pX$  отражает знак отношения  $D/S$ -компонент волновой функции дейтрона. Тензорная анализирующая способность  $T_{20}$  имеет отрицательное значение как для бинарной реакции и реакции развала дейтрона, так и для реакции с возбуждением уровней ядра  $^{13}\text{C}$ . Значение тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  в реакции  $\vec{d}A \rightarrow pdn$  практически совпадает со значением  $T_{20}$  в реакции  $\vec{d}A \rightarrow ppnn$ .

## Разработки и исследования новых быстродействующих детекторов в ЛВЭ ОИЯИ

Новые быстродействующие многопроволочные детекторы с «пэдovým» считыванием информации разработаны и испытаны (на газовых смесях  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  и  $\text{Xe}/\text{CO}_2$ ) на пучке в GSI в феврале 2006 г. Показано, что эффективность и газовое усиление этих двумерных детекторов не изменяются при интенсивности пучка до  $200 \text{ кГц}/\text{см}^2$ . Для этих целей использовалась новая электроника считывания информации с камер.

Кроме того, новый двухкаскадный GEM-детектор с использованием «стрипов» с шагом 0,5 и 0,25 мм был исследован на стенде в ЛВЭ, получено пространственное разрешение  $\sim 100 \text{ мкм}$ . Результаты будут опубликованы в 2007 г.

## Прикладные исследования

В рамках коллаборации МАРУСЯ разработана, изготовлена и введена в эксплуатацию система прозрачных профилометров для динамической диагностики пучка циклотрона облучательного комплекса «Альфа» («Trackpore Technology», г. Дубна). При помощи данной системы изучены динамические спектры облучения пленок. Разработаны и апробированы методы систематического анализа различных режимов облучения и паспортизации данных.

Некоторые другие результаты, выполненные в Лаборатории высоких энергий, представлены в работах [21–50].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The BECQUEREL Project, web-site <http://becquerel.jinr.ru/>
2. *Andreeva N. P. et al.* Clustering in Light Nuclei in Fragmentation above 1 A-GeV // *Eur. Phys. J. A.* 2006. V. 27, s01. P. 295–300.
3. *Zarubin P. I., Artemenkov D. A., Orlova G. I.* Dissociation of Relativistic Nuclei in Peripheral Interactions in Nuclear Track Emulsion // *Nuclear Science and Safety in Europe* / Eds. T. Cechik et al. Springer, 2006. P. 189–200; nucl-ex/0604007.
4. *Artemenkov D. A. et al.* // Proc. of XXV Rila Workshop on Nuclear Theory. Sofia: Heron Press, 2006. P. 139–147.
5. *Artemenkov D. A. et al.* nucl-ex/0610023.
6. *Щедрина Т. В. и др.* // ЯФ. 2007 (в печати); nucl-ex/0610022.
7. *Артеменков Д. А. и др.* // ЯФ. 2007 (в печати); nucl-ex/0610018.
8. *Пересадыко Н. Г. и др.* // ЯФ. 2007 (в печати); nucl-ex/0610014.
9. *Станоева Р. и др.* // ЯФ. 2007 (в печати); nucl-ex/0610013.
10. *Karnaukhov V. A.* // *Phys. Part. Nucl.* 2006. V. 37, No. 2. P. 165–193.
11. *Karnaukhov V. A. et al.* // *Phys. At. Nucl.* 2006. V. 69, No. 7. P. 1142–1149.
12. *Avdeyev S. A. et al.* nucl-ex/0603001, 2006.
13. *Karnaukhov V. A. et al.* // *Nucl. Phys. A.* 2006. V. 780. P. 91–99.
14. *Adischev Yu. N. et al.* First Observation of Parametric X-rays Produced by Moderate Relativistic Protons and Carbon Nuclei in Si Crystals // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* 2006. V. 252. P. 111–117.
15. ALICE Physics Performance Report // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 2005. V. 30. P. 1517–1763.
16. ALICE TRD, Technical Design Report. CERN/LHCC 2001-021.
17. *Lippmann C. et al.* The ALICE Transition Radiation Detector // Proc. of the SNIC Conference, SLAC, April 3–6, 2006.
18. ALICE Forges Ahead with Detector Installation // *CERN Courier.* 2006. V. 46, No. 10. P. 6.
19. *Agakichiev G. et al.* Dielectron Production in  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  Collisions at 2 A-GeV with the HADES Spectrometer // *Phys. Rev. Lett.* 2007. V. 98. P. 052302.
20. Physik der Superlative, die 6 imposantesten Experimente // *Bild der Wissenschaft. Magazin.* 2006. No. 11.
21. *Malakhov A. I. et al.* Relativistic Nuclear Physics at the Joint Institute for Nuclear Research. JINR Preprint P1-2006-93. Dubna, 2006; *Malakhov A. I.* Asymptotic Regimes in Relativistic Nuclear Physics and Particle Physics // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 44–46.
22. *Karachuk J.* Invariant Properties of Pion Clusters in Different Nuclear Reactions // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 67–72.
23. *Azhgirey L. S. et al.* Relativistic Deuteron Structure from Data on the Fragmentation of Polarized Deuterons // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 92–99.
24. *Shimansky S. S.* Cumulative Processes // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 297–305.
25. *Ilic J. V., Skoro G. P., Tokarev M. V.* Jet Energy Density in Hadron–Hadron Collisions at High Energies // *Part. Nucl., Lett.* 2006. V. 3, No. 2(131). P. 43–52.
26. *Aslanyan P. Zh., Emelyanenko V. N., Rikhvitzkaya G. G.* Exotic Narrow Resonance Searches in the Systems  $\Lambda K_s^0$  // *Part. Nucl., Lett.* 2006. V. 3, No. 5(134). P. 99–104.
27. *Aslanyan P.* // Proc. XVIII ISHEPP, Dubna, Sept. 25–30, 2006; Spin'06, Oct. 2–7, 2006, Kyoto, Japan.
28. *Alt C. et al. (NA49 Collab.).* Energy and Centrality Dependence of Antiproton and Proton Production and the Antilambda/Antiproton Ratio in Pb+Pb Collisions between 20 A-GeV and 158 A-GeV // *Phys. Rev. C.* 2006. V. 73. P. 044910.
29. *Alt C. et al. (NA49 Collab.).* Upper Limit of  $D^0$  Production in Central Pb+Pb Collisions at 158 GeV/c // *Phys. Rev. C.* 2006. V. 73. P. 034910.



30. Alt C. *et al.* (NA49 Collab.). Inclusive Production of Charged Pions in  $p + p$  Collisions at 158 GeV/c Beam Momentum // Eur. Phys. J. C. 2006. V. 45. P. 343–381.
31. Adler S. S. *et al.* Improved Measurement of Double Helicity Asymmetry in Inclusive Midrapidity  $\pi^0$  Production for Polarized  $p + p$  Collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV // Phys. Rev. D. 2006. V. 73. P. 091102(R).
32. Adler S. S. *et al.* Azimuthal Angle Correlations for Rapidity Separated Hadron Pairs in  $d + Au$  Collisions at  $\sqrt{S_{NN}} = 200$  GeV // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 96. P. 222301.
33. Adler S. S. *et al.* Nuclear Modification of Electron Spectra and Implications for Heavy Quark Energy Loss in Au + Au Collisions at  $\sqrt{S_{NN}} = 200$  GeV // Ibid. P. 032301.
34. Adler S. S. *et al.* Common Suppression Pattern of  $\eta$  and  $\pi^0$  Mesons at High Transverse Momentum in Au + Au Collisions at  $\sqrt{S_{NN}} = 200$  GeV // Ibid. P. 202301.
35. Adler S. S. *et al.* Measurement of Identified  $\pi^0$  and Inclusive Photon Second-Harmonic Parameter  $\nu_2$  and Implications for Direct Photon Production in  $\sqrt{S_{NN}} = 200$  GeV Au + Au // Ibid. P. 032302.
36. Tokarev M. V.  $z$ -Scaling at RHIC // Part. Nucl., Lett. 2006. V. 3, No. 1(130). P. 17–30.
37. Zborovsky I., Tokarev M. Generalized  $z$ -Scaling in Proton-Proton Collisions at High Energies. JINR Preprint E2-2006-34. Dubna, 2006.
38. Космачев О. С. Представление группы Лоренца и классификация стабильных лептонов. Препринт ОИЯИ P2-2006-6. Дубна, 2006.
39. Adams J. *et al.* Identified Hadron Spectra at Large Transverse Momentum in  $p + p$  and  $d + Au$  Collisions at  $\sqrt{S_{NN}} = 200$  GeV // Phys. Lett. B. 2006. V. 637, issue 3. P. 161–169.
40. Krizek F. *et al.* The Study of Spallation Reactions, Neutron Production and Transport in a Thick Lead Target and a Uranium Blanket during 1.5 GeV Proton Irradiation // Czechoslovak J. Phys. 2006. V. 56, No. 3. P. 243–252.
41. Bystritsky V. M. *et al.* Portable Neutron Generator with 9-Section Silicon  $\alpha$ -Detector. JINR Preprint E13-2006-36. Dubna, 2006.
42. Anishchenko N. G. *et al.* Superconducting Magnetic System with a Cryocooler for the Ion Source DECRIS-SC // Part. Nucl., Lett. 2006. V. 3, No. 1(130). P. 45–62.
43. Kuznetsov A. A. *et al.* Properties of the Hadronic Jets in  $\pi^- + p$  and  $\pi^- + C$  Interactions at 40 GeV/c // Ibid. No. 2(131). P. 53–72.
44. Yurevich V. I. *et al.* Investigation of Neutron Emission at Interaction of Relativistic Protons and Deuterons with Lead Targets // Ibid. No. 3(132). P. 49–72.
45. Artemov A. S. Calculation of Internal Targets and Schematic Diagram of Compact Devices for Continuous Visualization of a Synchrotron Beam, as Exemplified by the Nuclotron // Ibid. No. 4(133). P. 48–67.
46. Артемов А. С. и др. Схема и расчет магнитного анализатора электронов для исследований по релятивистской атомной физике на внутренних мишенях нуклотрона. Препринт ОИЯИ P13-2006-64. Дубна, 2006; направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ».
47. Troyan Yu. *et al.* The Study of the Low-Mass Scalar  $\sigma_0$ -meson at Intermediate Energies // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 136–147.
48. Vokal S., Lehocka S., Orlova G. I. Dense Groups of Particles in High Energy Nuclear Interactions of Lead and Gold Nuclei in Nuclear Emulsion // Proc. of the 8th Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV», Dubna, May 23–28, 2005. Dubna, 2006. P. 194–202.
49. Зайцев Л. Н. и др. Радиационная стойкость связующего компаунда электроизоляции сверхпроводящих магнитов ускорителей. Препринт ОИЯИ P14-2006-43. Дубна, 2006.
50. Yashemi-Nezhad S. R. *et al.* Calibration of Track Detectors for Fission Rate Determination: an Experimental and Theoretical Study. JINR Preprint E1-2006-54. Dubna, 2006.