

ЛАБОРАТОРИЯ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
ФИЗИКИ
ИМ. Н.Н.БОГОЛЮБОВА

ЛАБОРАТОРИЯ
ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ОИЯИ

1996

ЛАБОРАТОРИЯ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
ИМ. Г.Н.ФЛЕРОВА

ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

ЛАБОРАТОРИЯ
НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
ИМ. И.М.ФРАНКА

ЛАБОРАТОРИЯ
СВЕРХВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ

ОТДЕЛЕНИЕ
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

УЧЕБНО-
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ

ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Исследования на пучках релятивистских ядер составляют основу научной программы ЛВЭ. Основной научный интерес — продвижение за границы протон-нейтронной модели атомного ядра.

Для проведения экспериментов в области энергий от нескольких сот МэВ до нескольких ГэВ на нуклон лаборатория имеет свою ускорительную базу. Пучки поляризованных дейтронов и нейтронов являются рекордными и по настоящее время.

Несмотря на экономические трудности, постоянно совершенствуется новый сверхпроводящий ускоритель — нуклотрон. Концепция компактных магнитов нуклотрона, как основного пути для

снижения стоимости синхротронов будущего, получает международное признание.

Пучки релятивистских ядер ускорительного комплекса ЛВЭ приобретают все большее прикладное значение для ядерно-энергетических и радиационных исследований.

Растущее участие физиков ЛВЭ в экспериментах с релятивистскими ядрами в ЦЕРН, BNL позволяет расширить исследования в область нескольких ТэВ. Важно подчеркнуть, что работы на внешних пучках сбалансированы с работой и развитием экспериментов в ОИЯИ.

РАБОТА НА НУКЛОТРОНЕ

В 1996 г. в Лаборатории высоких энергий успешно велась работа по совершенствованию работы с пучком нуклотрона. Проведено два сеанса общей продолжительностью 375 часов. Для экспериментов на внутренней мишени достигнут высокий уровень светимости. Получен режим циркуляции пучка в течение 10 с. Частота циклов при работе на внутреннюю мишень — 6 с (синхрофазотрон — 9 с).

Постоянно совершенствуется пульт управления нуклотроном и диагностика пучка. Связь величины магнитного поля и ускоряющей частоты обеспечивается компьютером.

Охлаждение сверхпроводящего кольца длилось 80 часов — наименьшее время по сравнению с предшествующими сеансами. На внутренней мишени сотрудничеством СФЕРА [1] было продолжено накопление статистики в области энергий

0,4+2,0 ГэВ/нуклон и начаты корреляционные эксперименты по дейтрон-ядерным взаимодействиям. Время работы нуклотрона «на физику» составило около 70% от суммарного времени работы с пучком.

В мартовском сеансе был выполнен важный ускорительный эксперимент, показавший возможность работы нуклотрона в режиме практически непрерывного пучка. Когда ускоренный в кольце пучок достигает максимальной энергии, определяемой величиной магнитного поля, отключается ускоряющее высокочастотное напряжение. Частицы, ускорившиеся в ступках, постепенно распределяются по периметру кольца. После чего при плавном введении мишени или изменении магнитного поля пучок может быть равномерно «сброшен» на мишень. Время жизни циркулирующего пучка —

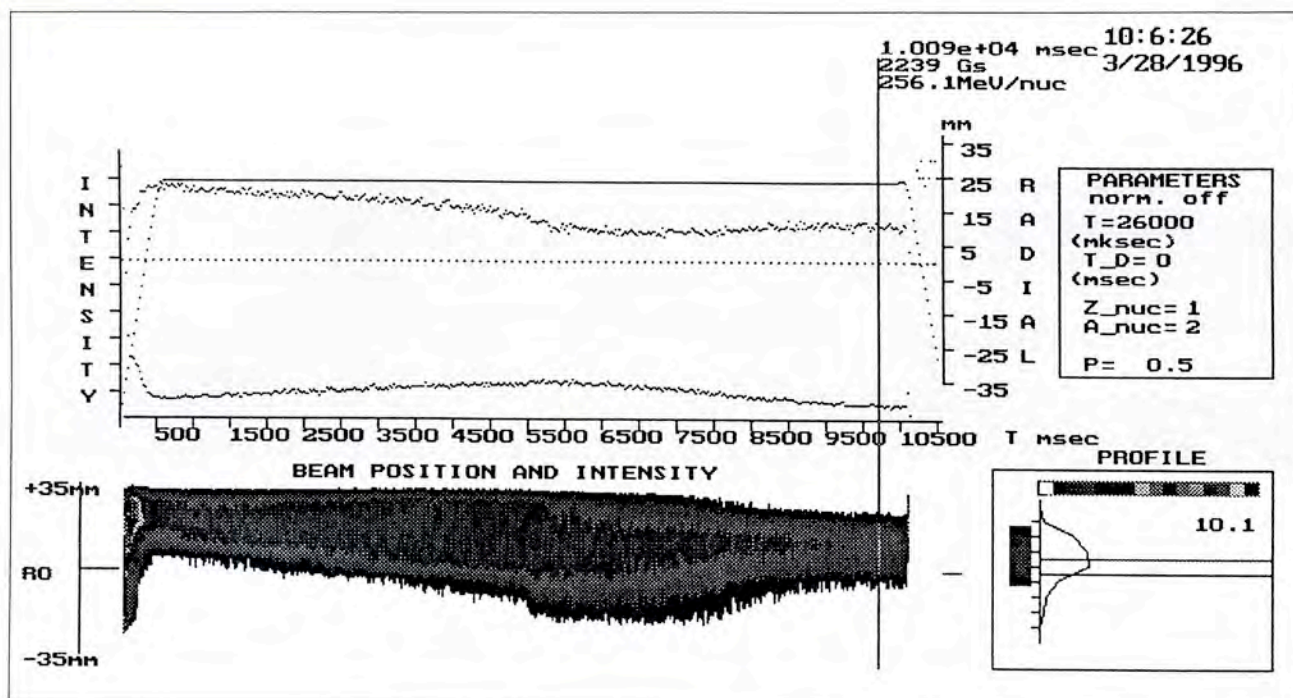


Рис.1. Диагностическая диаграмма длительной циркуляции пучка в нуклотроне

важный параметр при его постепенном, или «медленном», выводе из кольца. Оно характеризует качество изготовления кольцевой магнитной системы в целом.

Итак, при энергии около 200 МэВ на нуклон была получена циркуляция длительностью не менее 10 с без видимых потерь пучка (рис.1). Достигнутые параметры позволяют рассчитывать на то, что в будущем пучок даже с минимальной проектной энергией будет выведен за максимальное время. Отметим, что у «теплого» ускорителя в таком накопительном режиме максимум энергопотребления, а у «холодного» — минимум.

Была усовершенствована и система криогенного обеспечения нуклотрона. Вторичное использование «холодного» газа гелия позволило заметно сократить потребление жидкого азота. Ранее возможности по накоплению жидкого азота перед сеансом определяли его длительность. Теперь это ограничение снято, и потребление соответствует мощности азотного завода ОИЯИ.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Синхрофазотрон. Продолжительность работы синхрофазотрона в 1996 г. составила только 246 часов. Основным условием работы синхрофазотрона

Из-за бюджетных ограничений для работы с кольцом в 1996 г. предоставлено только 20% запланированного времени. По системе медленного вывода не был выполнен значительный объем запланированных работ.

Рассмотрен подход к созданию адронного синхротрона/коллайдера сверхвысоких энергий нового поколения [2]. Предложены соображения по физической проблематике коллайдера существенно выше 14 ТэВ, и дана экстраполяция криомагнитной системы типа нуклотрон для очень большого ускорителя. На основе опыта эксплуатации нуклотрона сделан вывод, что использование недорогих миниатюрных магнитов на основе сверхпроводимости с полем, формируемым железом, является единственной практической концепцией при создании следующего поколения ускорителей на сверхвысокие энергии.

Работы по разработке и созданию магнитов нуклотрона были отмечены 1-й премией ОИЯИ за 1996 г.

является привлечение средств заинтересованных пользователей. Несмотря на непрерывное удорожание энергоресурсов число таких пользователей

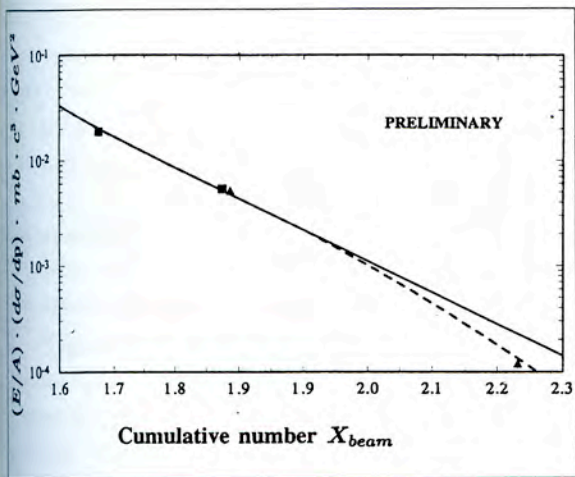


Рис.2. Экспериментальные данные сотрудничества СФЕРА по фрагментации дейтронов в кумулятивные пионы (▲). Приведены результаты эксперимента ДИСК (■). Для дважды кумулятивной области $X_{beam} > 2$

на этом ускорителе не убывает. Это прежде всего потребители пучков поляризованных дейтронов. По-прежнему очень высок интерес пользователей к традиционным пучкам легких релятивистских ядер.

СФЕРА. На пучке дейтронов коллаборацией СФЕРА продолжен эксперимент по рождению кумулятивных частиц поляризованными дейтронами. Японскими участниками эксперимента был доставлен из Нагои в Дубну новый черенковский детектор на основе аэрогеля. Значительно улучшено качество спектрометрического канала длиной около 70 м.

Измерены инклюзивные спектры кумулятивных π^- -мезонов под нулевым углом при фрагментации релятивистских дейтронов (рис.2). Впервые получены данные для дважды кумулятивной области. В этой области для рождения пиона необходимо наличие высокоимпульсной компоненты в обоих сталкивающихся ядрах.

В эксперименте сотрудничества СФЕРА на внутренней мишени нуклотрона при облучении дейтронами получены данные по параметрам наклона спектров в переходной области энергий для K^+ -мезонов и протонов.

ГИБС. С помощью нового метода в исследовании интерференционных корреляций тождественных частиц получено прямое доказательство нестационарности (расширения) объема генерации π^- -мезонов, как вдоль, так и поперек оси реакции, в центральных Mg-Mg-взаимодействиях при $p_{lab} = 4,4$ А ГэВ/с (рис.3).

В лоренц-преобразованное выражение, аппроксимирующее интерференционный пик, в качестве

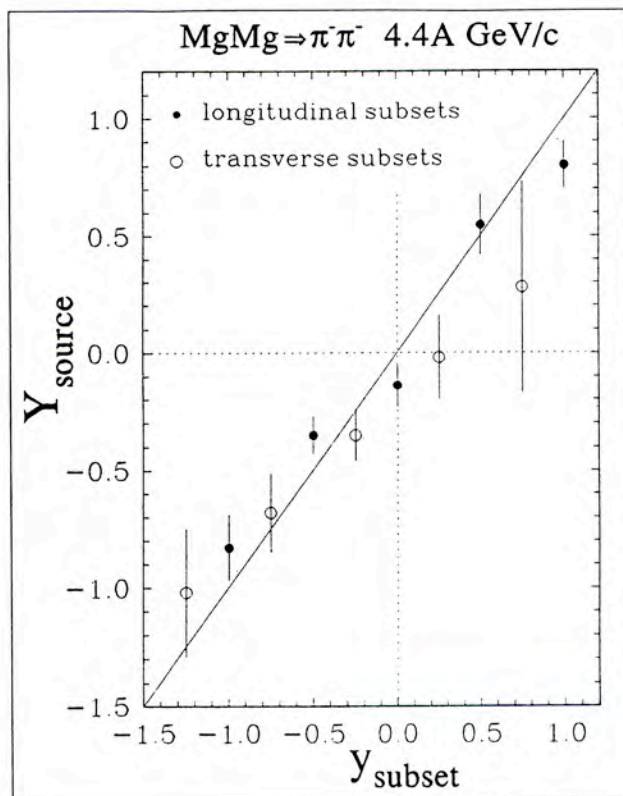


Рис.3. Быстроты «элементов» объема генерации пионов (Y_{source}), излучающих π^- -мезоны с быстротами y_{subset} (данные сотрудничества ГИБС)

свободного параметра введена скорость источника пар коррелированных π^- -мезонов. Таким образом, скорость источника стала новой экспериментально измеримой физической переменной интерференционного анализа, наряду с пространственно-временными размерами источника. Оказалось, что эта скорость растет с ростом скорости подансамбля π^- -мезонов, выбранных для интерференционного анализа. Наблюдаемая зависимость доказывает, что пионы из разных частей спектра испускаются разными «элементами» объема генерации, движущимися друг относительно друга как в продольном, так и в поперечном направлении относительно оси реакции.

Экспериментальный фильм материал был получен в 1988 году в пучке ^{24}Mg синхрофазотрона на 4π-спектрометре ГИБС, включающем двухметровую стримерную камеру в магнитном поле с магниевой мишенью внутри объема камеры. В течение 1996 года статистика измеренных пионов была увеличена на 20%. Сейчас она составляет 470000 пар π^- (120000 пионов из 14000 событий). Было также улучшено качество (точность) измеренного экспериментального материала, благодаря повтор-

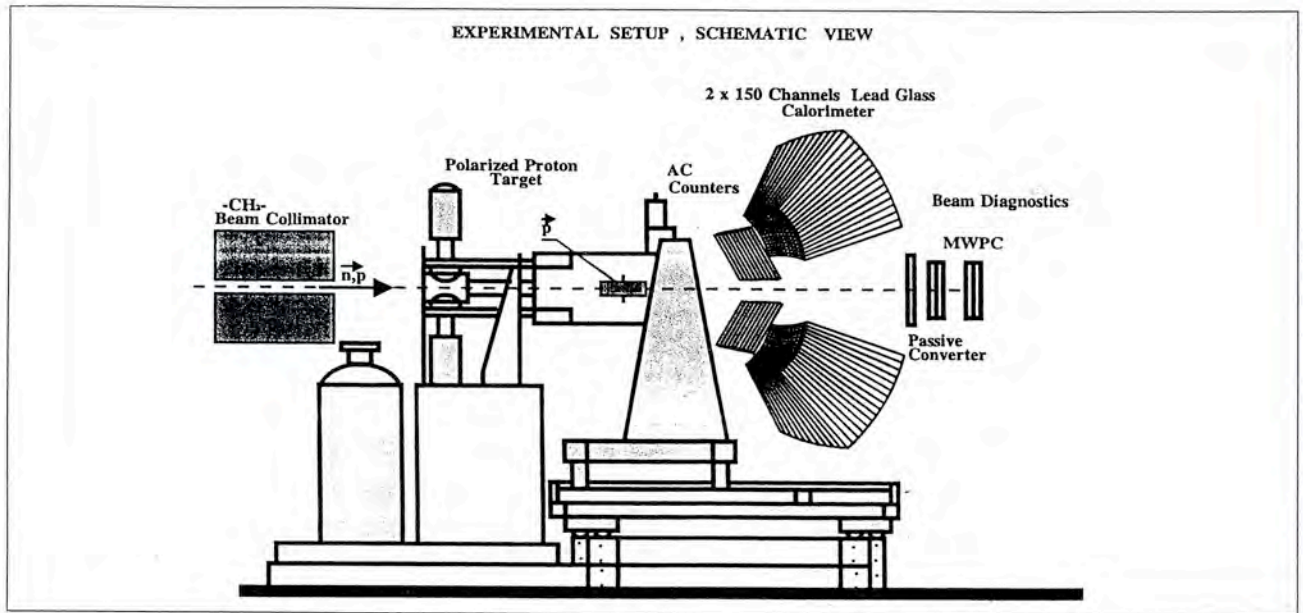


Рис.4. Схема эксперимента «Дельта» по измерению разности выхода псевдоскалярных мезонов в зависимости от ориентации спинов сталкивающихся нуклонов

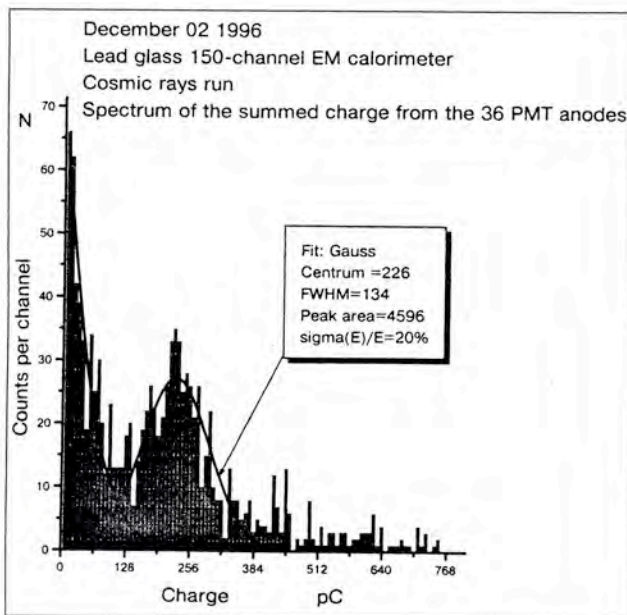


Рис.5. Спектр сигналов от космических мюонов на многоканальном калориметре «Дельта»

ному измерению части треков. Был модифицирован метод исследования, что позволило измерить скорость расширения объема генерации также и в поперечном к пучку направлении.

«Дельта»—«Сигма». Выполнен анализ данных по измерению разностей полных протон-нейтронных сечений в чистых состояниях по спиральности при 1,20, 2,50 и 3,66 ГэВ [3]. Продолжение экс-

периментов с использованием поляризованной мишени и поляризованных пучков в ЛВЭ дает возможность получать уникальные данные по спиновой структуре нуклонов.

Для будущих экспериментов на передвижной поляризованной мишени (ППМ) изготовлен новый полярирующий соленоид. Величина и однородность магнитного поля соленоида позволяют планировать новые уникальные эксперименты в будущем году.

Усовершенствован канал поляризованных нейтронов с рекордной энергией для будущей работы с передвижной поляризованной мишенью из Сакле—Аргонна.

«Дельта». На этом пучковом канале и на космических лучах прошли первые испытания 300-канального калориметра на свинцовом стекле «Дельта» (сотрудничество ЛВЭ — ИЯИ РАН (Троицк)). Ближайшая задача этого спектрометра — измерение разности выхода η -мезонов в зависимости от ориентации спинов сталкивающихся протонов и нейтронов (рис.4 и 5).

«Альфа». Коллаборацией «Альфа» завершена обработка данных по измерению коэффициента передачи от векторно-поляризованного дейтрона стриппинговому протону в области внутренних импульсов в дейтроне $0 \rightarrow 0,57$ ГэВ/с [4]. Показано изменение знака коэффициента поляризации. Необходимо продвижение к более высоким значениям внутреннего импульса для оценки асимптотического поведения этой величины.

Подготовлено предложение об использовании спектрометра MRS (Лос-Аламос) на пучках ускорительного комплекса ЛВЭ.

МАРУСЯ. Разработан универсальный автоматизированный подход для описания подпороговых, кумулятивных и дважды кумулятивных процессов [5]. Проанализирован обширный экспериментальный материал по образованию мезонов, антипротонов и легчайших антиядер в ядро-ядерных соударениях.

Введена в эксплуатацию 16-канальная система диагностики циркулирующего пучка нуклотрона на основе микроканальных пластин. Велись работы по расчету, проектированию и изготовлению магнитного спектрометра МАРУСЯ.

«Фаза». Продолжены эксперименты коллаборации «Фаза» на пучке углерода. Целью исследований является изучение механизма распада очень «горячих» ядер (при энергиях возбуждения 500–1000 МэВ) в 4 π -геометрии. В этих экспериментах был открыт новый (четвертый) тип распада возбужденных ядер — тепловая мультифрагментация. В таком распаде сильно нагретое ядро почти мгновенно рассыпается на легкие ядерные фрагменты. Исследование этого процесса — ключ к пониманию фазового перехода «жидкость—газ» в ядерном веществе.

Пропановая пузырьковая камера. Изучены свойства реакций когерентной мультифрагментации релятивистских ядер. На большом статистическом материале впервые наблюдались каналы $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ и $^{12}\text{O} \rightarrow 4\alpha$. Установлено, что энергия возбуждения, приходящаяся на один нуклон когерентно фрагментирующего ядра, значительно меньше, чем в реакциях обычной мультифрагментации.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВНЕШНИХ ПУЧКАХ

CERES/NA-45. Получены предварительные результаты по первым измерениям электрон-позитронных пар в соударениях ядер свинца с энергией 160 ГэВ/нуклон с мишенью из золота (рис.6). Эта работа является продолжением систематических исследований по рождению пар в соударениях p —Be, p —Au и S—Au. Для анализа данных разработаны новые алгоритмы обработки. Подтверждается сделанный ранее вывод об усиленном выходе пар по отношению к вкладу от распада адронов.

NA-49. В эксперименте NA-49 на SPS группой коллаборации СФЕРА запущен в действие 900-канальный времяпролетный годоскоп, предназна-

Обнаружено, что при увеличении температуры когерентно и некогерентно возбужденных ядер характер зависимостей импульсных и корреляционных характеристик α -частиц согласуется с картиной перехода от механизма последовательных бинарных распадов к прямой мультифрагментации с последующим возрастанием величины углового момента, приобретенного фрагментирующей системой.

В зависимости от энергии возбуждения диссоциирующих ядер распределения по относительным углам и эффективным массам пар α -частиц обнаруживают два относительно узких максимума, которые можно связать с распадом короткоживущих промежуточных состояний: ядра Be в 0^+ (основном) и 2^+ (первом возбужденном) состояниях.

Результаты этого цикла исследований были отмечены 2-й премией ОИЯИ за 1996 г.

С использованием материалов пузырьковых камер развивались алгоритмы выделения адронных струй [6], изучались процессы полного разрушения ядер [7].

Каналирование. В рамках сотрудничества с ЦЕРН компьютерным моделированием исследована зависимость эффективности отклонения пучка протонов с энергией 200 и 450 ГэВ изогнутым кристаллом германия от угла его изгиба. Исследовано прохождение ядер свинца с энергией 160 ГэВ/нуклон через изогнутый кристалл кремния. Результаты удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Сотрудники лаборатории Э.Н.Цыганов и А.М.Таратин стали в 1996 г. лауреатами Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники за разработки в области кристаллооптики [19—21].

ценный для идентификации частиц в области импульсов 3–8 ГэВ/с. Средняя величина разрешения составила 75 пс, что позволяет надежно идентифицировать заряженные мезоны, протоны, антипротоны и дейтроны [8]. Получен богатый материал по взаимодействию протонов и ядер свинца со свинцовой и жидководородной мишенями (рис.7).

WA-98. В эксперименте WA-98 [13,14] велся анализ данных по идентификации частиц при изучении соударений Pb—Pb при энергии 160 ГэВ/нуклон (рис.8).

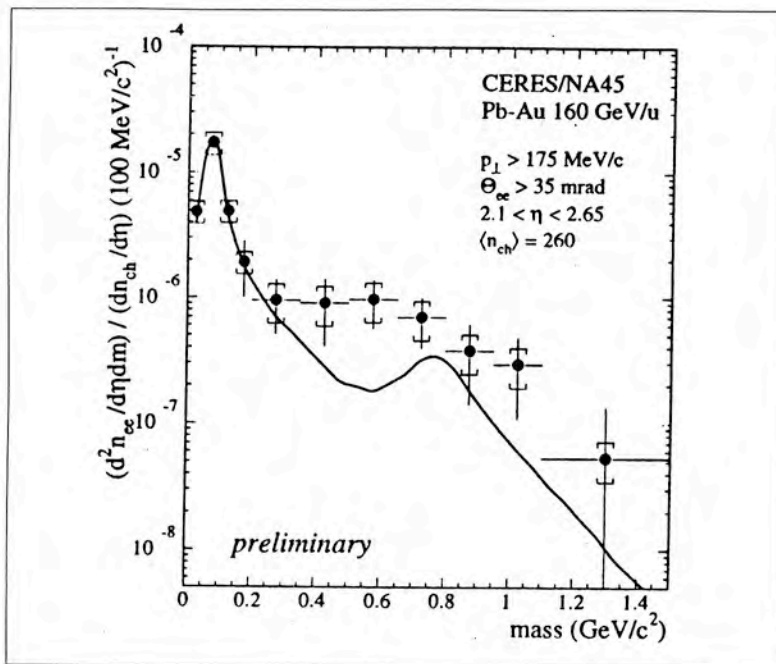


Рис.6. Предварительные результаты по инклюзивному спектру эффективных масс e^+e^- -пар в соударениях Pb—Au; линия показывает вклад от распадов адронов (данные коллаборации NA-45)

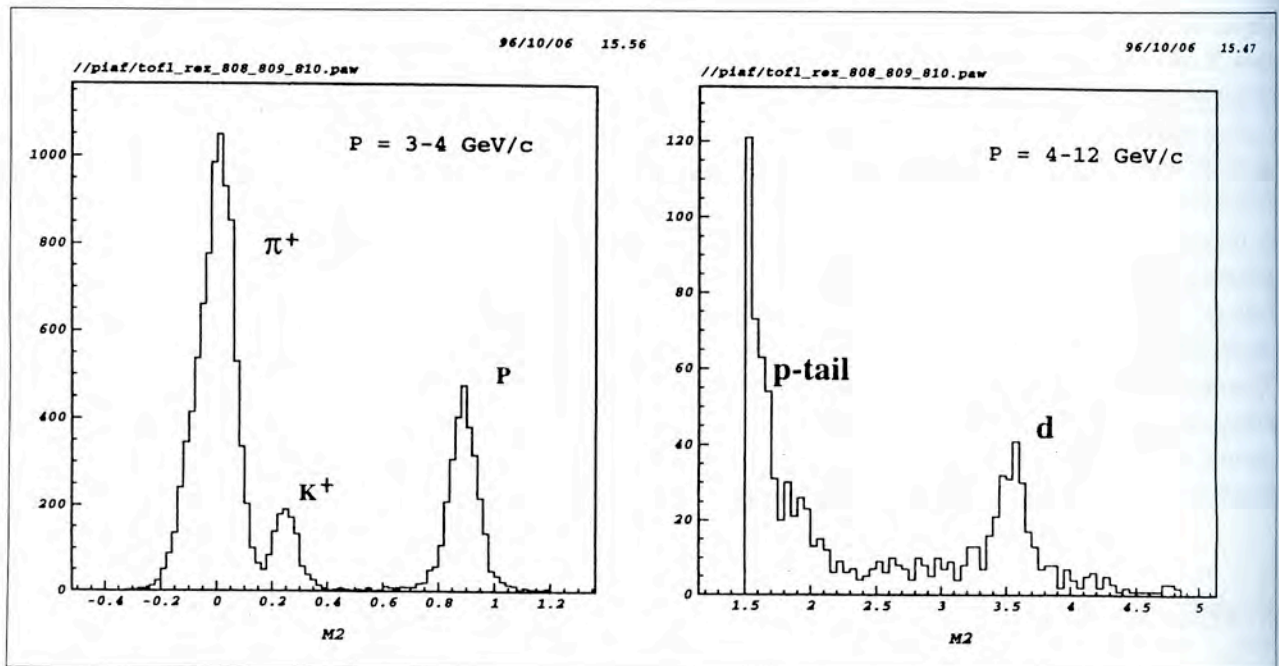


Рис.7. Идентификация частиц по времени пролета в эксперименте NA-49 с помощью годоскопа, изготовленного в ЛВЭ [8]

WASA. Группа физиков ЛВЭ принимает участие в эксперименте WASA на ускорителе CELSIUS (рис.9). Исследование рождения пионов, η -мезонов, реакций развала дейтронов и поиск узких дибарионных состояний ведутся с использованием магнитного спектрометра переднего направления, двухплечевого электромагнитного калориметра и кластерной струйной мишени [9—12]. Для развития эксперимента в Дубне разработана мини-дрейфовая камера с электроникой счи-

тывания, внесен вклад в разработку системы сбора данных.

STAR. Для торцевого электромагнитного калориметра эксперимента STAR на коллайдере RHIC спроектирован, изготовлен и испытан полномасштабный прототип детектора максимума ливня [15] на основе пластиковых стримерных трубок.

ALICE. На основе моделей нейронных сетей разработана программа для распознавания треков

WA98 Pb + Pb, 160 A GeV

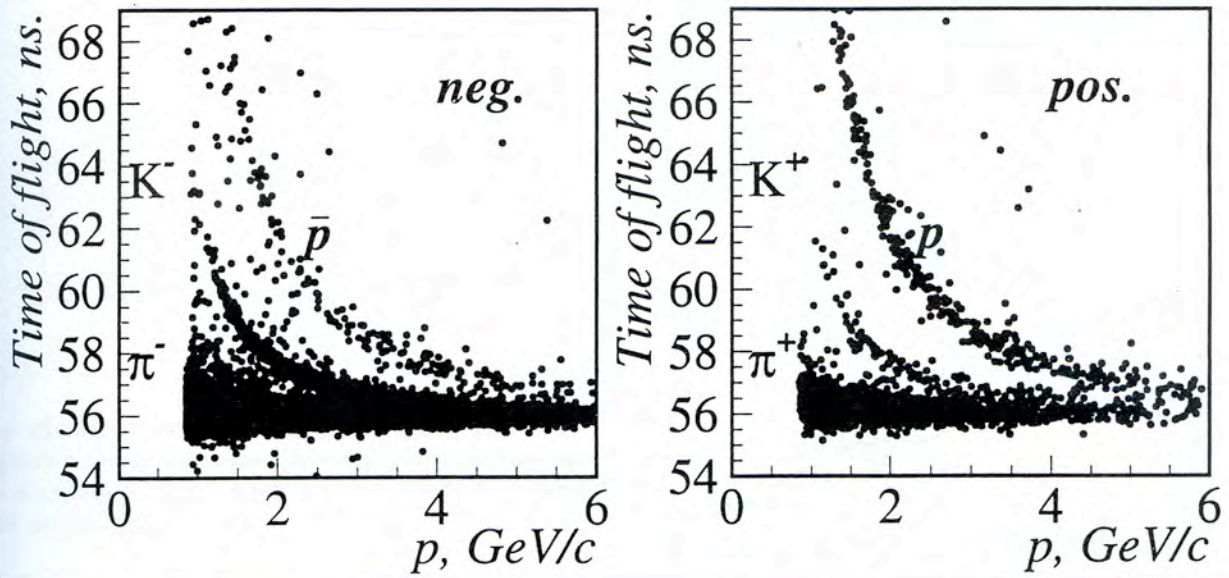


Рис.8. Результаты эксперимента WA-98 по идентификации заряженных частиц с помощью годоскопа по времени пролета, изготовленного в Дубне

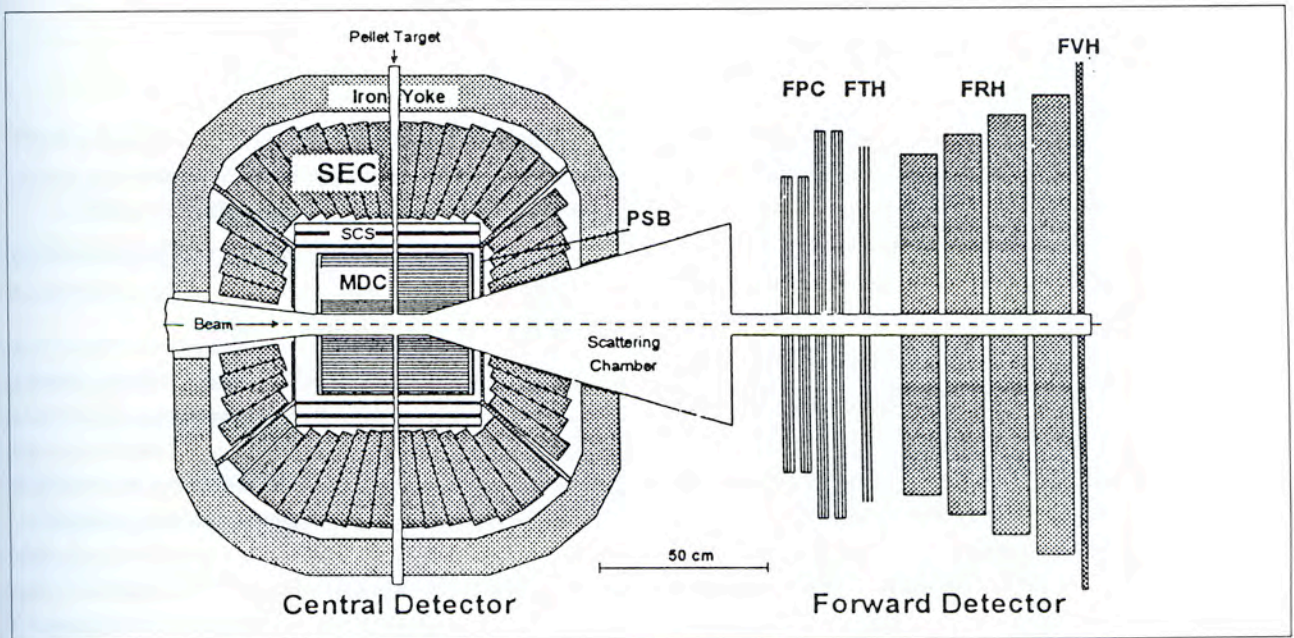


Рис.9. Схема установки WASA [9,10]

во внутренней трековой системе эксперимента ALICE [16]. Выполнено проектирование сверхпроводящего дипольного магнита для мюонного спектрометра [17].

CMS. В рамках разработки программы экспериментов с тяжелыми ионами (например, [18]) в

эксперименте CMS на LHC (рис.10) выработано предложение о дополнении установки электромагнитным калориметром малых углов в интервале псевдобыстрот $3 < \eta < 5$. При измерении процессов соударения релятивистских ядер он позволит характеризовать неупругость соударения (рис.11).

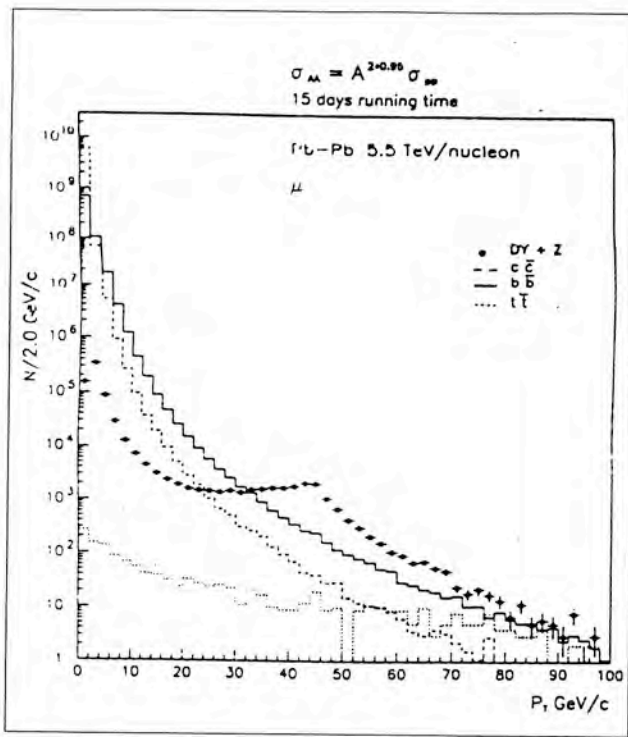


Рис.10. Распределение по поперечным импульсам мюонов от различных процессов при энергиях LHC [18]

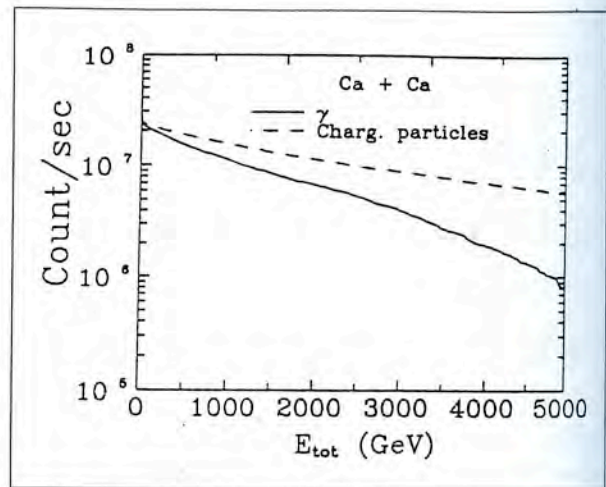


Рис.11. Распределение по полной энергии γ -квантов и заряженных частиц в интервале псевдобыстрот $3 < \eta < 5$ в соударениях Ca—Ca при энергии $2,5 \times 2,5$ ТэВ/нуклон и светимости $10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (результат моделирования по программе HOLIAF)

РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Источник поляризованных дейтронов. Продолжались работы по наладке и испытанию плазменного зарядообменного ионизатора. В ионизаторе происходит перезарядка нейтрального поляризованного пучка D^0 в D^+ при взаимодействии с медленно движущейся навстречу плазмой H^+ , скомпенсированной электронами. Получен интенсивный пучок плазмы H^+ с током $200 \div 250$ мА. Впервые получен ток поляризованных D^+ около 200 мА.

Поляризованная мишень для нуклотрона. Значительный объем работ выполнен по импульсной криогенной поляризованной мишени для работы с внутренним пучком на нуклотроне. Получен пучок электронно-поляризованных атомов дейтерия интенсивностью $5 \cdot 10^{16}$ атомов в секунду.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

«Энергия». По программе разработки электроядерного метода генерации энергии [22,23] получены новые данные по энергетической зависимости выхода нейтронов при облучении массивной

Криогенные мишени. Для детектора EVA в BNL спроектирована и изготовлена цилиндрическая жидководородная мишень. Мишень отправлена в BNL.

Для эксперимента НУРОМ в Сакле разработана и пущена в действие плоская жидководородная мишень с реконденсацией гелием.

Соленоид для ППМ. Интенсивно велись работы по созданию поляризующего соленоида POSOL для твердотельной поляризованной мишени из Сакле—ANL. Изготовлены детали и промежуточные узлы поляризующего соленоида, выполнена намотка. Начата сборка рабочего криостата. Проведены испытания обмотки с током до 130 А. Достигнута осевая неоднородность $4 \cdot 10^{-5}$ на длине оси ± 75 мм.

свинцовой мишени протонами от 2 до 8 ГэВ (рис.12). На их основе будут оптимизированы энергия первичного пучка и параметры конвертора подкритической сборки установки «Энергия».

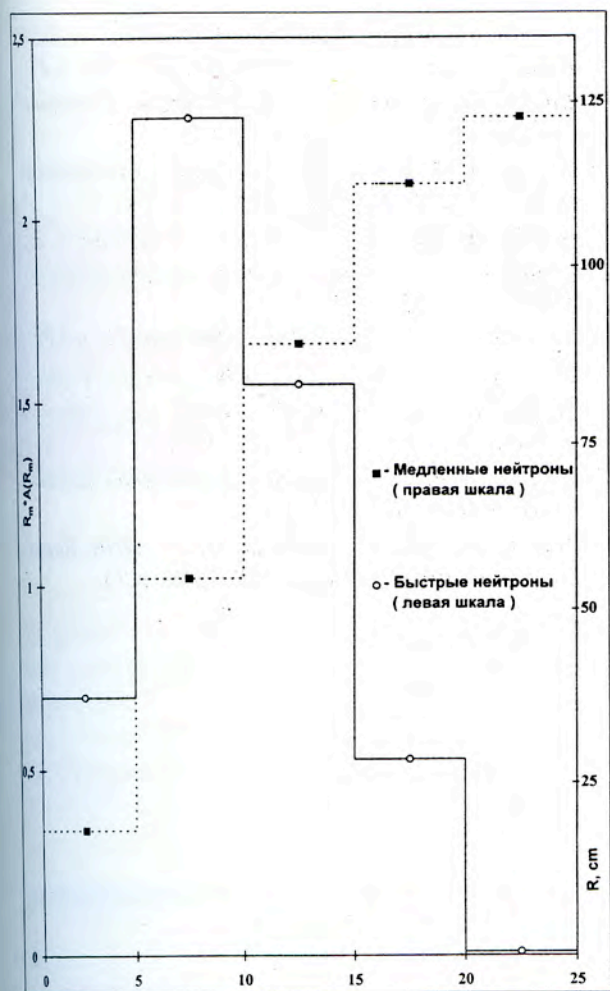


Рис.12. Радиальное распределение нейтронов в свинцовой мишени (данные с установки «Энергия»)

Группа ЛВЭ и Университета в Марбурге выполнила на синхротроне облучения по программе трансмутации радиоактивных материалов под действием релятивистских протонов и ядер (рис.13). Облучались мишени из свинца, нептуния и урана.

Радиационные исследования. Новый пользователь пучков ЛВЭ в 1996 г. — фирма «Энергия—ядро», действующая в рамках ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П.Королева. Эта фирма проводит эксперименты по исследованию

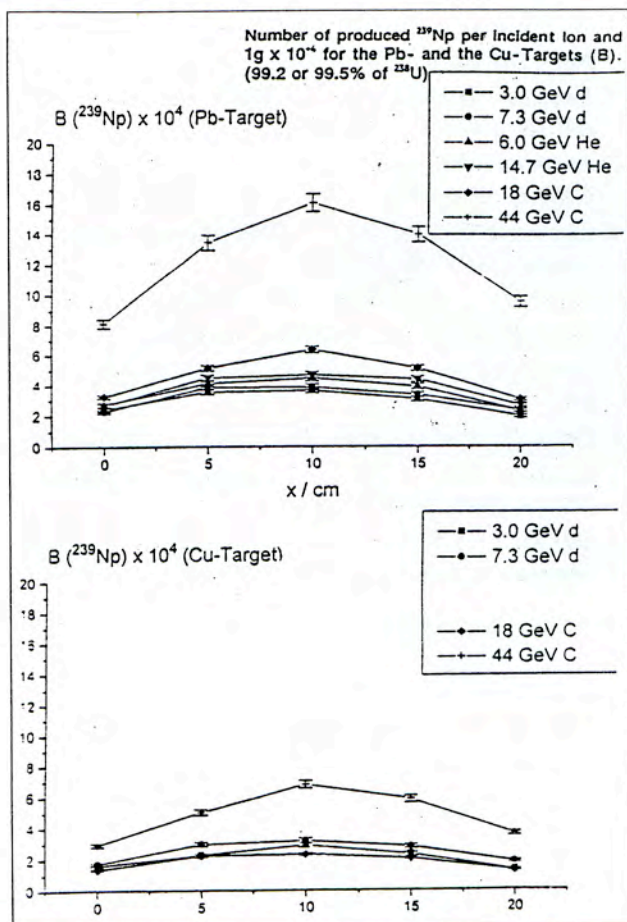


Рис.13. Результаты экспериментов по генерации нептуния в свинцовой и медной мишенях

воздействия космических лучей на микроэлектронные компоненты. Возрастающая роль микроэлектроники в управлении станцией «Мир» придает этой проблеме особую актуальность. Использование высокоэнергичных пучков ядер углерода ЛВЭ позволяет поднять уровень надежности аппаратуры для космических исследований. В этих работах заинтересованы и специалисты Национального космического агентства Франции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемов А.С. и др. — Краткие сообщения ОИЯИ, 1996, №1[75]-96, с.95.
2. Baldin A.M., Kovalenko A.D. — JINR Rapid Communications, 1996, No.3[77]-96, p.5.

3. Sharov V. I. et al. — JINR Rapid Communications, 1996, No.3[77]-96, p.13.
4. Azhgirey L.S. et al. — JINR Rapid Communications, 1996, No.3[77]-96, p.23.

5. Baldin A.A. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.4[78]-96, p.61.
6. Бадалян Н.Н. и др. — *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1996, №1[75]-96, с.27.
7. Абдинов О.Б. и др. — *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1996, №1[75]-96, с.51.
8. Afanasiev S.V. et al. — *JINR Rapid Communications*, 1997, No.1[81]-97, p.13.
9. Calen H. et al. — *NIM*, 1996, v.A379, p. 57.
10. Calen H. et al. — *NIM*, 1996, v.A371, p. 572.
11. Brodowski W. et al. — *Z. Phys.*, 1996, v.A355, p.5.
12. Calen H. et al. — *Phys. Lett.*, 1996, v.B366, p.39.
13. Арефьев В.А. и др. — *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1996, №5[79]-96, с.15.
14. Astapov A.A. et al. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.3[77]-96, p.47.
15. Gogiberidze G.L., Mekhdiyev R.R. et al. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.2[76]-96, p.17.
16. Baturyna B.V. et al. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.3[77]-96, p.55.
17. Akishin P.G. et al. — *JINR Rapid Communications*, 1997, No.1[81]-97, p.81.
18. Bedjidian M., Kartvelishvili V., Kvatadze R., Shanidze R. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.4[78]-96, p.49.
19. Taratin A.M. et al. — *NIM*, 1996, v.B119, p.156.
20. Murphy C.T. et al. — *NIM*, 1996, v.B119, p.231.
21. Tsyganov E., Taratin A., Zinchenko A. — *Particles & Nuclei*, 1996, v.27, part 3, p.675.
22. Михайлов В.Н. — *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1996, №6[80]-96, с.17.
23. Tumendemberel B., Chultem D. — *JINR Rapid Communications*, 1996, No.1[75]-96, p.75.