

# ДУБНА·1992

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1992·DUBNA



# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В соответствии с решениями 71 сессии Ученого совета ОИЯИ работа лаборатории велась по следующим приоритетным направлениям:

— ввод в действие нуклотрона и развитие инжекционного комплекса;

— исследование кварковых систем и спиновых эффектов на пучках релятивистских ядер синхрофазотрона и других ускорительных центров;

— подготовка первоочередных экспериментов на нуклотроне;

— работы в области прикладных исследований.

Главным итогом 1992 года для лаборатории стало завершение сборки кольца нуклотрона и его технологический пуск с пучком.

На пучках релятивистских ядер и поляризованных дейтронов синхрофазотрона продолжалась активная работа на экспериментальных установках СФЕРА, АЛЬФА, СЛОН, АНОМАЛОН (ЛСВЭ), ФАЗА (ЛЯП), КАСПИЙ (ИЯИ РАН), СМС (МГУ), ГИБС.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### ИССЛЕДОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СОУДАРЕНИЯХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

**Установка СФЕРА.** На пучках релятивистских поляризованных дейтронов и ядер углерода синхрофазотрона в 1992 г. проведено два сеанса на установке СФЕРА. Получен большой объем информации по кумулятивному рождению частиц. Информация, полученная в сеансе на дейтронном пучке, обработана, результаты представлены на международных конференциях и опубликованы [1].

На переднем сцинтилляционном спектрометре установки СФЕРА проведено изучение влияния ядра-мишени на процесс фрагментации релятивистских дейтронов в кумулятивные пионы (рис.1). Сопровождающая множествен-

Значительно расширилось сотрудничество лаборатории с другими ускорительными центрами по релятивистской ядерной физике. Ведется подготовка совместных экспериментов в ЦЕРН (SPS, LHC), в Брукхейвенской национальной лаборатории (RHIC) и в Сакле (SATURNE). Основой для участия в этих исследованиях является опыт, приобретаемый при работе на пучках ускорительного комплекса ЛВЭ.

Научные и методические результаты ЛВЭ докладывались на основных международных конференциях и симпозиумах. На прошедшем с большим успехом XI Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика» (Дубна, сентябрь 1992 г.) в обзорном докладе А.М.Балдина был представлен статус проекта «Нуклотрон» и программа исследований на нем (препринт ОИЯИ Е1-92-487). С запуском нуклотрона Институт делает большой шаг вперед в расширении исследовательских возможностей для физиков из стран-участниц.

ность и отношение сечений на ядрах свинца и углерода указывают на периферический характер процесса (рис.2). Впервые кумулятивный эффект изучался на пучке поляризованных дейтронов. Получены указания на наличие лево-правой асимметрии в образовании заряженных частиц, сопровождающих рождение быстрых кумулятивных пионов из поляризованных дейтронов.

На установке СФЕРА накоплена статистика по соударениям релятивистских ядер углерода с ядрами H, Li, Be, C, Al, Cu, Sn, Pb объемом  $10^6$  событий, что позволит систематически изучить эффекты формирования кумулятивных пионов в зависимости от прицельного параметра соударения, а также новые явления, связанные с одновременным проявлением высокоимпульсных компонент в сталкивающихся ядрах [6,8].



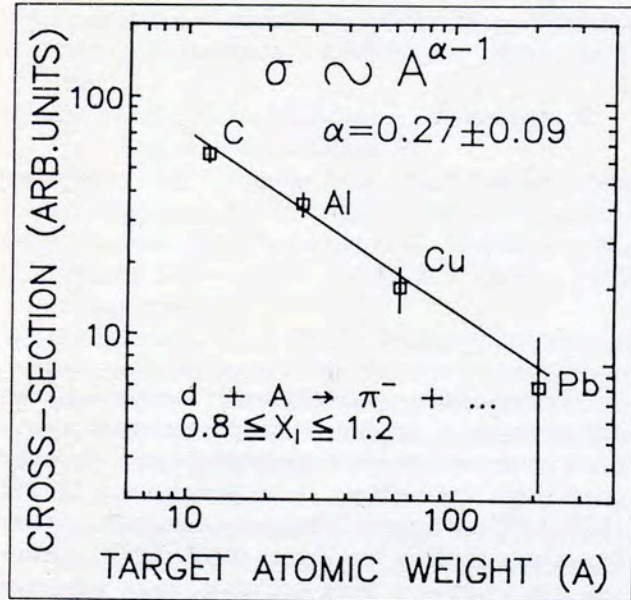


Рис. 1. Зависимость сечения фрагментации релятивистских дейтронов в кумулятивные  $\pi$ -мезоны от атомной массы ядра-мишени. Сечения нормированы на число нуклонов ядра-мишени [1]

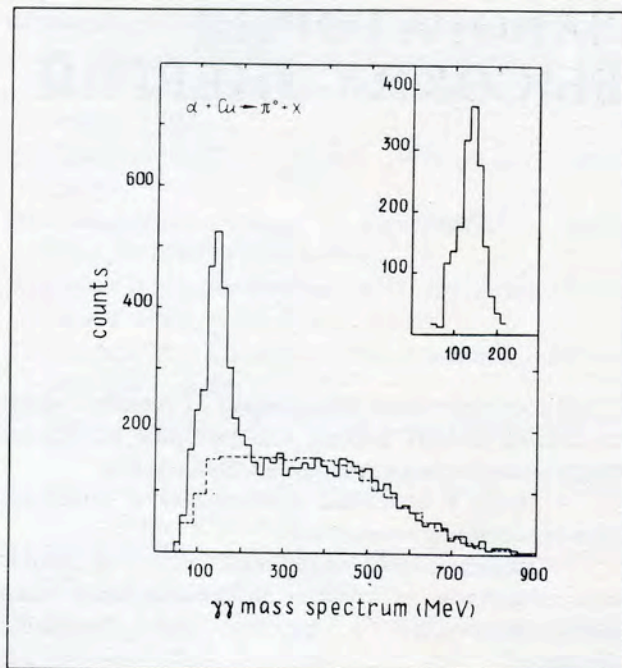


Рис. 3. Распределение по эффективной массе попарно скомбинированных  $\gamma$ -квантов для реакции  $\alpha + (C, Cu) \rightarrow \pi^0 + X$  на установке ФОТОН — МАССЕР [22]

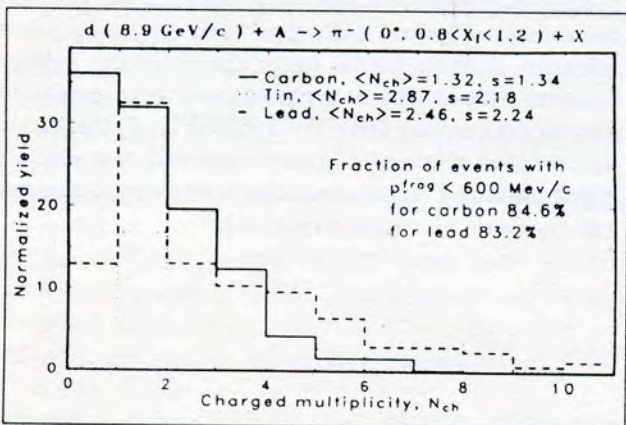


Рис. 2. Распределение множественности заряженных частиц, сопровождающих образование кумулятивных  $\pi$ -мезонов на ядрах углерода, олова, свинца [1]

На 90-канальном масс-спектрометре ФОТОН—МАССЕР [22] измерены инклюзивные сечения образования  $\pi^0$ -мезонов в реакциях  $p + (C, Cu) \rightarrow \pi^0 + X$  и  $\alpha + (C, Cu) \rightarrow \pi^0 + X, \pi^0 \gamma \gamma$  при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон (рис.3). Цель исследований — получение новой информации о механизме кумулятивного эффекта в процессах рождения адронов в ядро-ядерных взаимодействиях. Имеющиеся в настоящее время данные о кумулятивном рождении пионов в ядро-ядерных взаимодействиях получены для заряженных частиц и относятся к энергиям до 2,9 ГэВ/нуклон. Особенностью постановки, отличающей ее от экспериментов с заряженными частицами, является возможность измерения в одном эксперименте  $\pi^0$ -мезонов в широком интервале поперечных импульсов.

Определена зависимость инвариантного сечения от атомной массы ядра-мишени при налетающих протонах и  $\alpha$ -частицах. Среднее значение показателя степени  $n$  ( $\sigma \sim A^n$ ) составляет  $n = 0,42 \pm 0,03$  для налетающих протонов и  $n = 0,37 \pm 0,02$  для  $\alpha$ -частиц. Полученные результаты согласуются с предсказаниями модели партонной рекомбинации, в соответствии с которой частицы с большими кумулятивными числами и малыми поперечными импульсами рождаются в результате фрагментации кварков-спектаторов или их рекомбинации с морскими кварками.



Для величины  $X_0$ , характеризующей кварк-партонную структурную функцию ядра  ${}^4\text{He}$  (параметризация  $E(d\sigma/dp) \sim \exp(-X/X_0)$  при  $P_T = 0$ ) найдены значения:  $X_0 = 0,143 \pm 0,003$  для реакции  $\alpha + \text{C} \rightarrow \pi^0 + X$  и  $X_0 = 0,145 \pm 0,002$  для реакции  $\alpha + \text{Cu} \rightarrow \pi^0 + X$ .

**Сотрудничество ГИБС.** На установке ГИБС [11—13] в реакциях перезарядки ядер на ядрах исследовалась проблема взаимодействий  $\Delta$ -изобары в ядрах. Было установлено, что зависимость сечений перезарядки от атомного номера мишени отличается от той, которую можно ожидать для предполагаемого периферического взаимодействия с рождением  $\Delta$ -изобары на квазисвободном нуклоне ядра-мишени. Результат удовлетворительно согласуется с расчетами, учитывающими коллективное взаимодействие изобары в ядре. Однако более однозначные и убедительные экспериментальные доказательства получены при анализе фотографий со стримерной камеры ГИБС. Обнаружено, что в процессе перезарядки появляются каналы, невозможные для реакции на квазисвободном нуклоне и, напротив, естественно объяснимые как коллективное взаимодействие изобары, например как безмезонная разрядка  $\Delta N \rightarrow NN$ . В результате анализа пионных спектров (для основного канала реакции) впервые получено указание на процесс, связанный с возбуждением изобары в налетающем ядре.

Продолжался анализ и накопление данных для исследования корреляций в столкновениях Mg—Mg.

**Ядерные эмульсии.** Сотрудничеством СЛОН, организованным ЛВЭ, проводились работы по исследованию с помощью ядерных фотоэмульсий взаимодействий ядер  ${}^{16}\text{O}$  и  ${}^{28}\text{Si}$  с энергией 3,7 ГэВ/нуклон, а также в рамках участия в сотрудничестве ЕМУ01 при энергии ядер 200 ГэВ/нуклон. Установлена независимость выхода фрагментов ядер мишени от массы и энергии налетающих ядер при многократном росте рожденных релятивистских частиц и фрагментов налетающего ядра. Это наблюдение подтверждает сделанный ранее вывод о проявлении «длины формирования» в столкновениях релятивистских ядер [33—36].

В центральных соударениях ядер кремния с ядрами серебра и брома при энергии 3,7 и 14,5 ГэВ/нуклон флуктуации плотности вторичных частиц по псевдобыстроте и азимутальному углу их вылета указывают на струйный характер генерации частиц. Изучено полное разрушение ядер серебра и брома при энергии 3,7 ГэВ/нуклон. В таких процессах наблюдается резкое изменение корреляционных соотношений

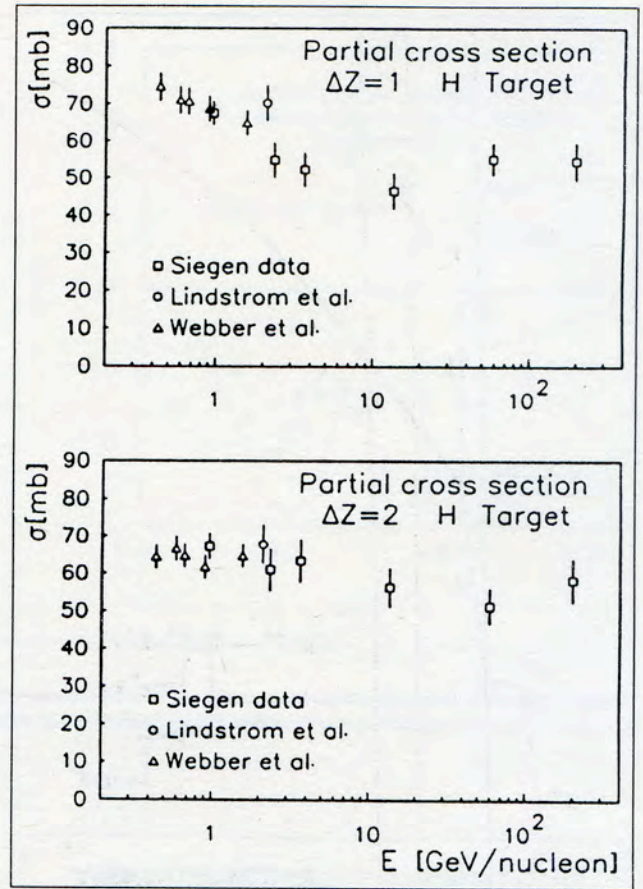


Рис. 4. Зависимость парциальных сечений для реакций с изменением заряда при взаимодействии  ${}^{16}\text{O}$  с протоном при  $\Delta Z = 1$  (вверху) и  $\Delta Z = 2$  (внизу) [45]

между релятивистскими частицами и числом фрагментов мишени.

Завершена обработка данных и опубликованы результаты измерений сечений фрагментации ядер  ${}^{16}\text{O}$  в диапазоне от 0,9 до 200 ГэВ/нуклон [45] (рис.4). Работа выполнена сотрудничеством Университет г.Зигена (ФРГ) — ЛВЭ с использованием методики пластиковых трековых детекторов. Облучение детекторов типа CR-39 проводилось на пучках синхрофазотрона ЛВЭ, AGS (Брукхейвен) и SPS (ЦЕРН).

**Установка КАСПИЙ.** Систематическое измерение энергетических зависимостей сечений образования пионов, каонов и антипротонов в ядро-ядерных взаимодействиях выполнено на установке КАСПИЙ (ИЯИ РАН) [46]. Полученные данные важны как для построения обобщающей картины кумулятивного эффекта и подпорогового рождения, так и для поиска новых коллективных эффектов в соударениях ядер [47].

**Обработка снимков с пропановой камеры.** В протон-углеродных взаимодействиях при 10 ГэВ/с на материале, полученном коллаборацией на пропановой пузырьковой камере ЛВЭ,



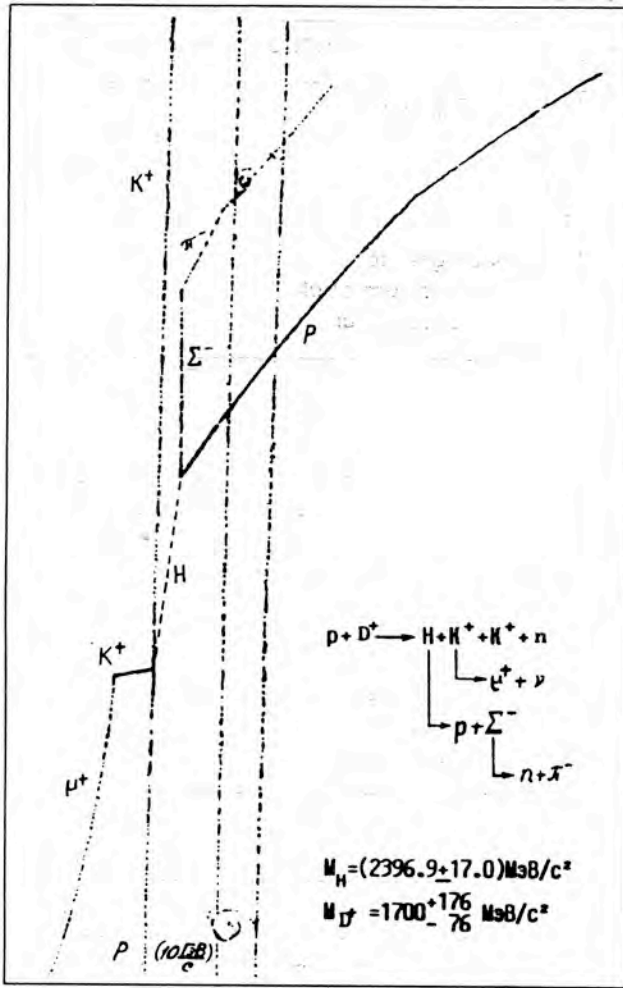


Рис. 5. Ассоциативное рождение тяжелого стабильного нейтрального Н-дибариона и двух  $K^+$ -мезонов на нестранном дибарионе  $D^+$ , образовавшемся внутри ядра в момент столкновения  $p^{12}\text{C}$  при импульсе 10 ГэВ/с. Виден слабый распад частиц Н,  $\Sigma^-$  и  $K^+$

обнаружены события, которые интерпретируются как образование двух положительно заряженных и двух нейтральных тяжелых стабильных дибарионов ( $M > 2M_\Lambda$ ) со странностью  $S = -2$  (рис.5). Средние значения масс  $2396,9 \pm 17,0$  МэВ и  $2393,4 \pm 22,4$  МэВ в пределах погрешностей совпадают с массой 2370 МэВ, предсказанной солитонной моделью. Сечения рождения этих экзотических адронов 100 нб. Результат имеет важное значение для планирования новых электронных экспериментов.

Рождение очарованных частиц в нуклон-нуклонных взаимодействиях изучалось в основном вдали от порога их рождения. Исследования вблизи порога проводятся преимущественно на серпуховском ускорителе. Сотрудничеством БИС-2 накоплен экспериментальный материал, необходимый для анализа и изучения характеристик рождения очарованных частиц во взаимо-

действиях нейтронов с ядерными мишенями, малоизученных странных резонансов и поиска экзотических узких состояний. Проведен анализ характеристик рождения  $\Lambda(1520) \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^-$  в нейтрон-ядерных взаимодействиях с ядрами углерода, алюминия и меди на статистике около 20 млн первичных событий, зарегистрированных на установке БИС-2.

Направлены для опубликования в журналах «Ядерная физика» и «Чехословацкий физический журнал» результаты исследований характеристик рождения очарованных  $\bar{D}^0$ -мезонов во взаимодействиях нейтронов с ядрами водорода, углерода и алюминия при энергии в с.ц.м. около 10 ГэВ. Сигнал  $\bar{D}^0$  наблюдался в спектре эффективных масс системы  $K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ . В кинематической области по продольному импульсу от 30 до 65 ГэВ/с и квадрату поперечного импульса от 0 до 1 (ГэВ/с)<sup>2</sup> определены поперечные сечения рождения, параметры зависимости сечения от атомной массы ядер мишени, а также параметры дифференциальных сечений по фейнмановской переменной  $X_F$  и квадрату поперечного импульса  $p_T^2$ :  $\sigma_H = 3,1 \pm 1,1$  мкб,  $\sigma_C = 27,5 \pm 9,3$  мкб,  $\sigma_{Al} = 49,6 \pm 16,3$  мкб,  $\sigma_A = \sigma_0 A^\alpha$ , где  $\sigma_0 = (1,5 \pm 0,8) \sigma_H$  и  $\alpha = 0,73 \pm 0,23$ ;  $d\sigma/dX_F \sim (1 - X_F)^n$ , где  $n = 2,3^{+0,2}_{-0,3}$ ;  $d\sigma/dp_T^2 \sim \exp(-Bp_T^2)$ , где  $B = 1,3^{+0,2}_{-0,3}$  (ГэВ/с)<sup>-2</sup>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛЕГКИХ ЯДЕР

На пучках поляризованных дейтронов синхрофазотрона при наивысших в мире энергиях на установках ИНЕСС—АЛЬФА и АНОМАЛОН (ЛСВЭ) получены новые данные по спиновой структуре дейтрона при межнуклонных расстояниях до 0,4 фм.

Группой АЛЬФА в феврале — марте проведен эксперимент по измерению коэффициента передачи поляризации от дейтрона к протону в реакции фрагментации дейтрона под нулевым углом [20,21]. Оригинальная методика измерений позволила получить данные, независимые от неопределенностей в знании поляризации пучка и анализирующей способности мишени (рис.6). Предварительные результаты этих измерений были представлены на международных конференциях в Дубне (сентябрь) и Нагое (ноябрь). Они хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными в Сакле при меньших энергиях.



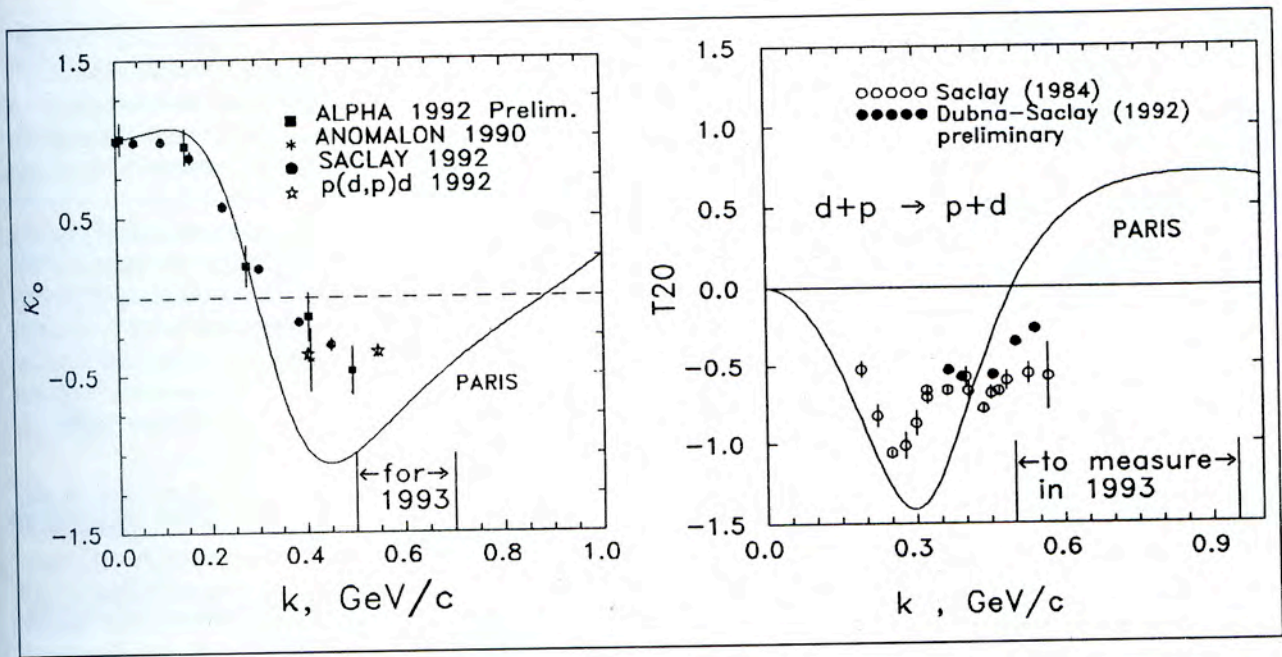


Рис. 6. Данные эксперимента АЛЬФА о коэффициенте передачи поляризации от векторнополяризованного дейтрона протону (слева) и о тензорной анализирующей способности реакции упругого рассеяния назад дейтронов протонами (справа). Показана область планируемых на 1993 год измерений [20, 21]

В рамках вновь образованной коллаборации с участием физиков из Болгарии, Канады, США, Украины, Франции проведен эксперимент в Сакле (Франция) по передаче поляризации от дейтрона к протону в реакции упругого дейтрон-протонного рассеяния назад и планируется измерение тензорной анализирующей способности этого процесса на синхрофазотроне ЛВЭ в феврале 1993 года. Предложены эксперименты, стимулирующие создание пучков поляризованных ядер  $^3\text{He}$ . Подготовлен для публикации в ЭЧАЯ обзор по дельта-изобарным возбуждениям ядер в рамках исследования ненуклонных степеней свободы.

На установке ЛСВЭ АНОМАЛОН [14—19] проводятся фрагментационные эксперименты на пучках ядер и поляризованных дейтронов ускорительного комплекса ЛВЭ. Программа исследований связана с реализацией конкурентоспособного направления: светосильных поляризованных исследований структуры простейшей малонуклонной системы — дейтрона — на предельно малых расстояниях, недостижимых на других ускорителях. Исследования, ведущиеся в других центрах, ограничены либо энергией поляризованных дейтронов, как в Сакле, либо светимостью, как в Новосибирске, Бонне (ФРГ), Бейтсе (США), с электронными пробниками. В 1992 г. методом двойного рассеяния продолжены измерения коэффициента передачи поляризации от векторнополяризованного дейтрона к стриппинговому протону при фрагментации дейтрона

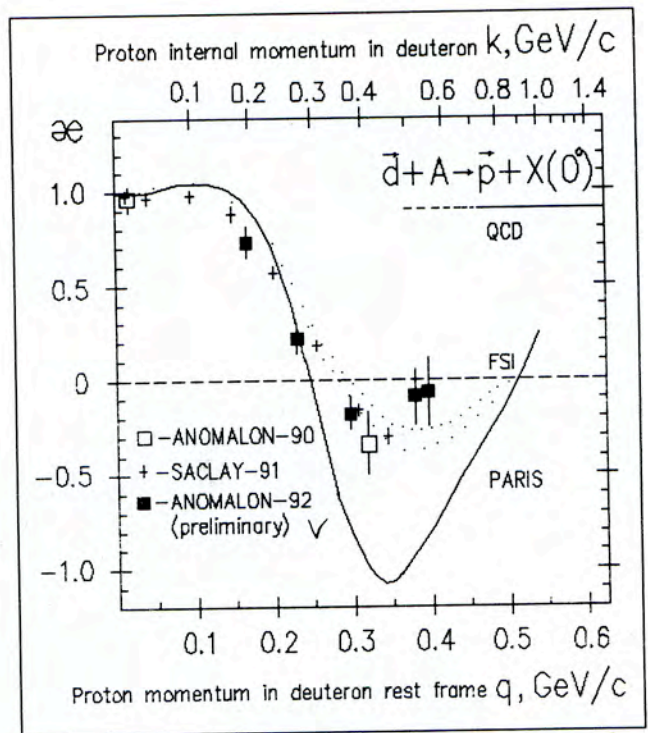


Рис. 7. Зависимость передачи векторной поляризации — отношения поляризации стриппингового протона к поляризации пучкового дейтрона от импульса протона в системе покоя дейтрона ( $q$ ) или внутреннего импульса протона в дейтроне ( $k$ ) [14]

вперед, вплоть до межнуклонных расстояний 0,4 фм. Ранее полученные данные [14] при внутреннем импульсе нуклонов  $k = 410$  МэВ/с на



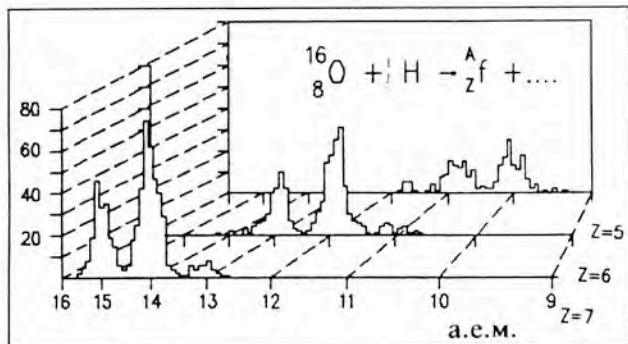


Рис. 8. Разделение изотопов фрагментов азота, углерода и бериллия при фрагментации релятивистских ядер кислорода на водороде при массовом разрешении спектрометра АНОМАЛОН  $\sigma_A = 0,09$  а.е.м. [17]

количественном уровне показали необходимость учета взаимодействия в конечных состояниях в импульсном приближении [15] и несостоятельность некоторых феноменологических описаний волновой функции дейтрона в импульсном приближении. В 1992 г. в коллаборации ЛСВЭ—ЛВЭ—Лодзь—Гатчина завершена коренная модернизация установки АНОМАЛОН с целью увеличения светимости в десятки раз для продолжения исследований и проведен один девятисуточный сеанс по набору статистики. Накоплены данные по систематическому изучению передачи поляризации в области внутренних импульсов нуклонов до  $k = 550$  МэВ/с. Предварительные данные представлены на Международный симпозиум по спиновой физике. Новые данные показывают [17] изменение поведения коэффициента передачи поляризации, что может быть интерпретировано как экспериментальное указание перехода к асимптотическому поведению, предсказанному в рамках квантовой хромодинамики на больших расстояниях [18] (рис. 7).

Перспективы развития связаны с экспериментальной проверкой КХД-асимптотики структуры дейтрона в измерениях передачи поляризации вплоть до внутренних импульсов 650—700 МэВ/с и тензорной анализирующей способности при фрагментации выстроенного дейтрона с внутренними импульсами 600—850 МэВ/с, где статистические ошибки других экспериментов велики.

Планируется измерение энергетической зависимости фрагментации С и О на водороде в изотоп  ${}^{10}\text{Be}$ . Точное измерение сечения рождения  ${}^{10}\text{Be}$  при фрагментации прольет свет на вопрос о времени жизни космических лучей в Галактике, так как его период полураспада около 2 миллионов лет, что актуально для построения моделей происхождения и распространения космических лучей. Использование магнитного спектрометра АНОМАЛОН с полной идентификацией

всех фрагментов вплоть до гелия и массовым разрешением до 0,09 а.е.м. (рис. 8) выгодно отличается от методики черенковского спектрометра, на котором ведутся систематические исследования и где легкие фрагменты не разделяются по заряду для всех реакций [19].

В течение 1992 года проводилась обработка материала, набранного в сеансах установки УПК (универсального поляризационного калориметра) на пучке векторнополяризованных дейтронов с импульсом 3,35 ГэВ/с. На магнитные ленты суммарных результатов в дополнение к ранее полученным данным добавлено около 40000 событий. Ведется анализ результатов.

Анализ результатов ведется также на материалах, накопленных ранее по экспериментам  $\text{O}-p$ ,  $\text{He}-p$ ,  $\text{He}-p$ ,  $d-p$ . Получены и опубликованы новые результаты по фрагментации ядра кислорода, в том числе изотопный состав вторичных ядер гелия. Показано, что существующие теоретические модели требуют значительной доработки.

Накоплен материал по развитию каскада ядерных взаимодействий в водородной среде. Один метр жидкого водорода при рабочих параметрах прибора (5 атм, 28 К) соответствует  $4 \cdot 10^7$  световых лет при плотности межзвездного водорода. Получены результаты по инклюзивным дифференциальным сечениям протонов из  $dp$ -взаимодействий в трех угловых интервалах в диапазоне  $90-180^\circ$  при 3,35 ГэВ/с. Изучены пространственные корреляции в реакциях безмезонной дезинтеграции легких ядер, связанные со взаимодействием в конечном состоянии. Показана идентичность поведения корреляций на легчайших ядрах ( $d$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ), а также на поляризованных дейтронах. Сделан вывод, что величины корреляций велики, и результаты для поляризованных и неполяризованных дейтронов совпадают в пределах погрешностей. Эти данные могут быть полезны для стимулирования реакций термоядерного синтеза.

С помощью установки МАСПИК структура ядра и механизм ядерных реакций исследуются методом измерения спектров фрагментов легких релятивистских ядер в области поперечных импульсов фрагментов от 0,5 до 1 ГэВ/с. Именно благодаря постоянно присутствующей большой поперечной компоненте импульса получаемые данные обладают высокой чувствительностью к малым межнуклонным расстояниям в ядре [39—41].

Для подготовки к экспериментам на пучке поляризованных дейтронов был выполнен анализ поляризационных аспектов ядерной фрагментации релятивистских дейтронов с вылетом протонов под ненулевыми углами. В рамках динамики светового фронта в релятивистском импульсном



приближении вычислены тензорные анализирующие способности  $T_{20}$  и  $T_{22}$  реакции  $dp \rightarrow pX$  при энергии 9 ГэВ/с, которые представляют собой независимое средство зондирования структуры дейтрона на малых расстояниях. Рассмотрен вопрос об изменении поляризации нуклона в быстро движущемся дейтроне. Показано, что вектор поляризации нуклона поворачивается на определенный угол. Экспериментальное исследование этого эффекта предоставляет еще одну возможность сделать выбор между динамиками мгновенной формы и светового фронта.

В рамках темы велись теоретические исследования. Разработана модель релятивистского дейтрона для описания процессов с участием поляризованного дейтрона:  $dp$ -фрагментации, упругого  $pd$ -рассеяния, упругого и глубоконеупругого  $ed$ -рассеяния. В рамках непертурбативной КХД развита модель протона, учитывающая инстантонные флуктуации вакуума, для расчета поляризационных характеристик (структурные функции, асимметрии) в лептон-протонных, протон-протонных и протон-ядерных взаимодействиях.

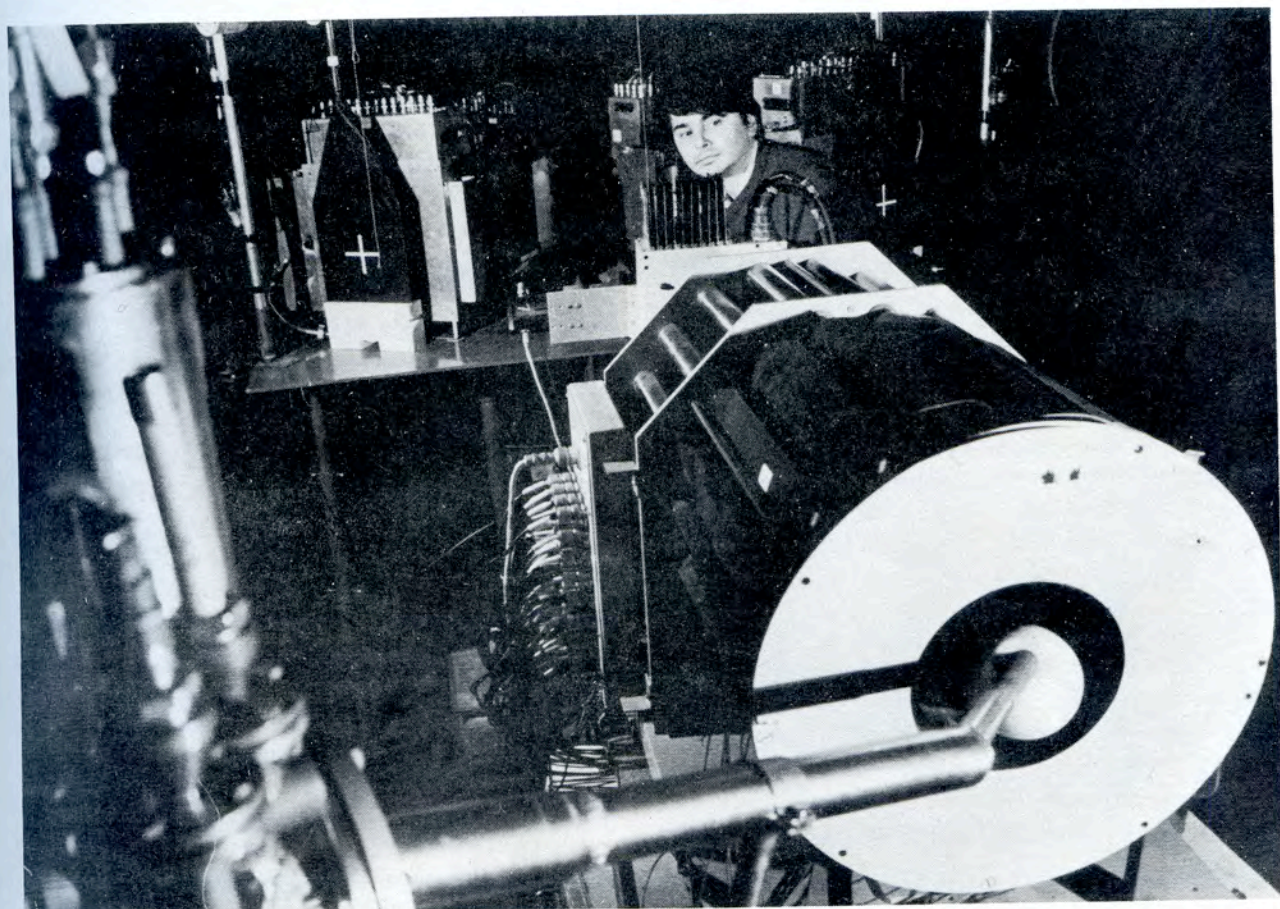
## РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

### УСТАНОВКИ, ДЕТЕКТОРЫ

Проделана большая работа по развитию переднего детектора установки СФЕРА. Подготовлены к работе ряд сцинтилляционных годоскопов больших размеров и 90-канальный электромагнитный калориметр. На пучках синхрофазотрона проводились исследования ячейки

электромагнитных калориметров на основе тяжелых кристаллов ( $BaF_2$ ) [2]. Заканчиваются работы по монтажу большого газового черенковского счетчика.

Создана и введена в эксплуатацию криогенная мишень для установки СФЕРА, позволяющая изучать продукты реакций в  $4\pi$ -геометрии. Внутренний сосуд мишени, заполняемый жидким во-



Установка СФЕРА. На переднем плане — водородная мишень



дородом, имеет форму сферы диаметром 70 мм. Он изготовлен из лавсановой пленки толщиной 800 мкм. Вакуумный кожух также имеет форму сферы и изготовлен из пенопласта. Комплексные криогенные испытания показали, что расход жидкого гелия составляет 1 л/час, время заполнения мишени водородом 40 мин. В конце октября был проведен первый сеанс установки СФЕРА с жидководородной мишенью.

В настоящее время в ЛВЭ имеется пять жидководородных мишеней на установках СФЕРА, ИНЕСС—АЛЬФА, АНОМАЛОН, ДИСК, КАСПИЙ. В 1992 г. криогенные мишени работали на следующих установках: ИНЕСС—АЛЬФА (3 сеанса — 264 часа), АНОМАЛОН (1 сеанс — 264 часа), СФЕРА (1 сеанс — 48 часов).

Для струйной поляризованной мишени МСП-5 были разработаны и отданы в производство крионасос и криоловушка в варианте криоконденсации при температуре ниже 4 К, разработана документация на вакуумные системы откачки с использованием ротационных насосов и форвакуумного насоса, в опытном производстве изготовлены ramпы, вакуумные кожухи мишени, в ЛСВЭ завершается изготовление шестиполусных магнитов.

Для изучения вопросов получения поляризованной струи водорода в условиях откачки газа криопанелями ( $T = 4$  К) в сочетании с турбомолекулярными насосами готовится к испытаниям стенд на базе ранее изготовленных узлов. Цель — получение поляризованной газовой струи с длительностью импульса до 1 секунды.

Полностью подготовлен к испытаниям в рабочих условиях сверхпроводящий соленоид СПМ-1 центрального детектора первой очереди установки СФЕРА. Разработаны основные узлы сверхпроводящей магнитной системы СПМ-2 центрального детектора второй очереди установки. Завершены доработка и сборка СПМ-1, установка подготовлена к испытаниям в рабочих условиях в корп. 203А. Проведены испытания азотной, вакуумной и термометрической систем, а в декабре — рабочие испытания. Закончен монтаж основных азотных и гелиевых трубопроводов СПМ-1 в корп. 205. Проведены испытания дистанционно управляемых силовых контактов для систем электропитания магнита. Выпущены рабочие чертежи основных узлов СПМ-2, на ЭВМ проведены расчеты топографии магнитного поля и максимальной температуры обмотки при ее переходе в нормальное состояние. Проведены расчеты и эскизное проектирование СПМ с ультратонким в радиационном отношении (менее  $0,2L_{rad}$ ) соленоидом для выпускаемого в ЦЕРН «Letter of Intent».

В плане подготовки к исследованиям в области столкновений ядер при сверхвысоких энер-

гиях сотрудниками группы СФЕРА выполнены тестовые испытания прототипа модуля времяпролетной системы для эксперимента NA49 на пучке ядер свинца (SPS, ЦЕРН). Достигнуто очень хорошее временное разрешение (60 пс) с использованием сцинтилляторов производства ЛВЭ и фотоумножителей ФЭУ-87 [3]. Ведется проработка времяпролетной системы для экспериментов с тяжелыми ионами на ЛНС в ЦЕРН.

В рамках заключенного в августе 1992 г. соглашения между Брукхейвенской национальной лабораторией (США) и ОИЯИ велись работы по созданию прототипа элементов времяпролетной системы для эксперимента PHENIX на RHIC. Выполнен большой объем работ по подготовке экстрадера, позволяющего вытягивать сцинтилляционные полосы различных сечений и длиной поглощения свыше 2 метров. В сотрудничестве с МЭЛЗ разработаны фотоумножители с улучшенными временными характеристиками.

В 1992 г. успешно развивалось сотрудничество с Институтом ядерных исследований и ядерной энергетики (София). Для высоковольтного питания электромагнитных калориметров, сцинтилляционных годоскопов и пропорциональных камер установки СФЕРА в счет вноса Болгарии в ОИЯИ разработаны и частично изготовлены электронные блоки, управляемые компьютером.

Завершено конструирование станции внутренних мишеней на нуклотроне. Разработан проект системы сбора информации для эксперимента СЯО. Сотрудничеством СФЕРА совместно с группой ИЯИ РАН предложено использование двухплечевого гамма-спектрометра для постановки эксперимента по наблюдению прямых лептонных пар в ядро-ядерных соударениях на внутренней мишени [4,5].

На установке ДИСК велись работы по освоению методики использования различных типов безмагнитных адронных спектрометров (БАС). Обработывался материал, накопленный в предыдущих сеансах работы установки. Создана система сбора информации на базе РС АТ 386/387 и магнитофона СМ 5309, что позволило отказаться от работы в on-line режиме с ЕС-1055. Продолжались работы по исследованию ядерной фрагментации на установке «Нейтронный детектор».

Столкновения тяжелых ионов при ультрарелятивистских энергиях позволяют изучать сильновзаимодействующую материю при экстремальных плотностях. Статистическая квантовая хромодинамика предсказывает, что при достаточно высоких плотностях будет происходить переход адронной материи в плазму, состоящую из кварков и глюонов. Такой переход в обратном направлении произошел при образовании Вселенной через  $10^{-5}$  секунд после Большого Взрыва.



Сотрудники ЛВЭ участвуют в подготовке предложения эксперимента для исследования ядерно-ядерных взаимодействий при энергии сталкивающихся ядер свинца 1236 ТэВ. В 1992 году работа велась по следующим направлениям:

- физическое моделирование событий по программам HIJING и VENUS для физического обоснования эксперимента;

- моделирование установки по программе GEANT;

- расчеты магнитного поля и проектирование сверхпроводящей магнитной системы с учетом экспериментальных условий;

- конструирование времяпролетной системы на основе газовых искровых счетчиков;

- проработка вариантов конструкции передних адронных калориметров;

- проработка регистрирующей электроники вершинного детектора;

- моделирование и исследование возможностей регистрации электронных пар в эксперименте.

Работы ведутся в рамках коллаборации с ЦЕРН, ГСИ (Дармштадт), ИНФН (Турин, Рим, Бари).

В рамках подготовки к исследованиям на LHC группа сотрудников ЛВЭ включилась в эксперимент WA89 «Large Acceptance Hadron and Photon Spectrometer», который будет проводиться в 1994—96 гг. В нем будут изучаться процессы, происходящие при столкновениях ядер свинца с энергиями 40, 80 и 160 А·ГэВ.

Одной из главных характеристик события является поток энергии в направлении вперед. Он позволяет оценить число нуклонов, непосредственно участвовавших в столкновении и, следовательно, дает информацию о прицельном параметре. Эта величина будет измеряться с помощью переднего адронного калориметра, который будет также определять триггер установки на центральное столкновение. В настоящее время ведутся следующие работы:

- моделирование калориметра с целью оптимизации его характеристик и параметров;

- проработка конструкции калориметра;

- радиационные испытания разных типов пластических сцинтилляторов с целью выбора наиболее радиационно стойкого;

- изучение возможностей размещения заказов на материалы и изготовление деталей и узлов калориметра.

Завершение работ по созданию переднего адронного калориметра планируется в марте 1994 года.

Развивается сотрудничество с коллаборацией NA-45/CERES (Cherenkov Ring Electron Spectrometer) по исследованию рождения  $e^+e^-$ -пар в

$pA$ - и  $AA$ -взаимодействиях [44]. Разработаны и реализованы алгоритмы обработки экспериментальных данных с RICH и кремниевых детекторов, позволившие восстановить вершину взаимодействия и подавить основной фоновый процесс — конверсию. Разработанные алгоритмы и программы использованы при поиске векторных мезонов в  $pA$ -взаимодействиях при энергиях SPS ЦЕРН. Полный пакет программ обработки установлен в вычислительном центре ОИЯИ.

Разработана методика исследования статических характеристик однокоординатных микростриповых детекторов, создана установка для исследования однокоординатных и двухкоординатных микростриповых детекторов. Создается чистая комната для проведения измерений [42]. Разработаны и изготовлены фотошаблоны однокоординатных детекторов и опытные экземпляры фотошаблонов для двухкоординатных детекторов. Предложена технология изготовления опытной партии двухсторонних детекторов. Ведутся работы по компьютерному моделированию микростриповых детекторов как детекторов излучений [43] и как сложной полупроводниковой структуры. Для проекта SDC планируется изучение радиационной стойкости детекторов. Начато исследование возможности применения детекторов для измерений в рентгеновском диапазоне для использования в медицине и дефектоскопии.

## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Создан ряд элементов электронной аппаратуры для организации параллельных ветвей считывания данных с установки СФЕРА. Проведена модернизация программного обеспечения системы сбора данных с установки СФЕРА [7].

Изготовлено 69 плат КАМАК с золочением разъемов, 350 плат без золочения разъемов, 80



Станция связи сети Ethernet в Лаборатории высоких энергий



блоков КАМАК, 2 модуля ФАСТБАС, 60 блоков в других конструктивах, 400 делителей для ФЭУ. Блоки настроены и эксплуатируются на установках.

Испытан в сеансе 64-разрядный регистр в стандарте ФАСТБАС для установки СФЕРА. Создан интерфейс персональный компьютер — система ФАСТБАС [23].

Разработаны два типа модулей в стандарте VME. Разработано унифицированное программное обеспечение по организации работы аппаратуры в стандарте КАМАК на линии с ПЭВМ и опробовано для системы управления, изготавливаемой по теме «Нуклотрон», и для системы сбора данных, создаваемой по теме «Солитон».

Изготовлен универсальный программатор для программирования запоминающих устройств: ПЗУ, ППЗУ, ПЛУ, ПЛМ и т.д. Проводилось периодическое обслуживание системы измерения интенсивностей на синхрофазотроне ОИЯИ и системы автоматизации КГУ.

## РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

### СООРУЖЕНИЕ НУКЛОТРОНА

В феврале 1992 г. проведен пробный пуск первых двух октантов ускорителя. Время, затраченное на охлаждение 28 дипольных и 11 квадрупольных магнитов до температуры жидкого гелия 4,2 К, составило 86 часов. Время охлаждения азотных экранов до 87 К — 16 часов. Для контроля температуры было использовано около 300 датчиков. Охлаждение велось от одной установки КГУ-1600 при среднем значении потока гелия 2 л/час через каждый магнит. В дипольные и квадрупольные магниты был введен ток, соответствующий полю инжекции (94,1 А и 79,6 А соответственно). В этих условиях общий теплоприток составил около 600 Вт. Нарушений рабочих режимов за исключением незначительных неполадок в работе компрессоров не было. Криостатирование и работа магнитов были устойчивыми. Давление в вакуумной камере ускорителя составило менее  $10^{-10}$  торр.

Из линейного ускорителя была осуществлена инжекция пучка поляризованных дейтронов с энергией 5 МэВ/нуклон при интенсивности на входе в кольцо  $2 \cdot 10^9$  част./имп. Измерение интенсивности производилось в начале первого и второго октантов и в конце второго. Потерь пучка при его прохождении двух октантов в пределах погрешностей обнаружено не было.

Перспективы связаны с разработкой функционально новых модулей электроники и с переводом регистрирующей электроники в стандарт VME, а также с созданием многопроцессорной системы в стандарте VME, предназначенной для параллельного решения задач сбора и обработки данных с установки СФЕРА в реальном масштабе времени [23]. Созданы программы для одноплатной ЭВМ типа TSVME 120 по организации взаимодействия с драйвером ветви КАМАК, выполненным в стандарте VME. Разработаны математические средства, обеспечивающие подготовку программ для одноплатной ЭВМ на ПЭВМ.

Введена в эксплуатацию локальная сеть Ethernet ЛВЭ, обеспечивающая доступ пользователей к институтской сети. Сеть объединяет персональные компьютеры как в физических корпусах, так и на экспериментальных установках в корпусе выведенных пучков. Она открывает возможность активного участия исследователей из зарубежных научных центров в экспериментах на ускорительном комплексе ЛВЭ.

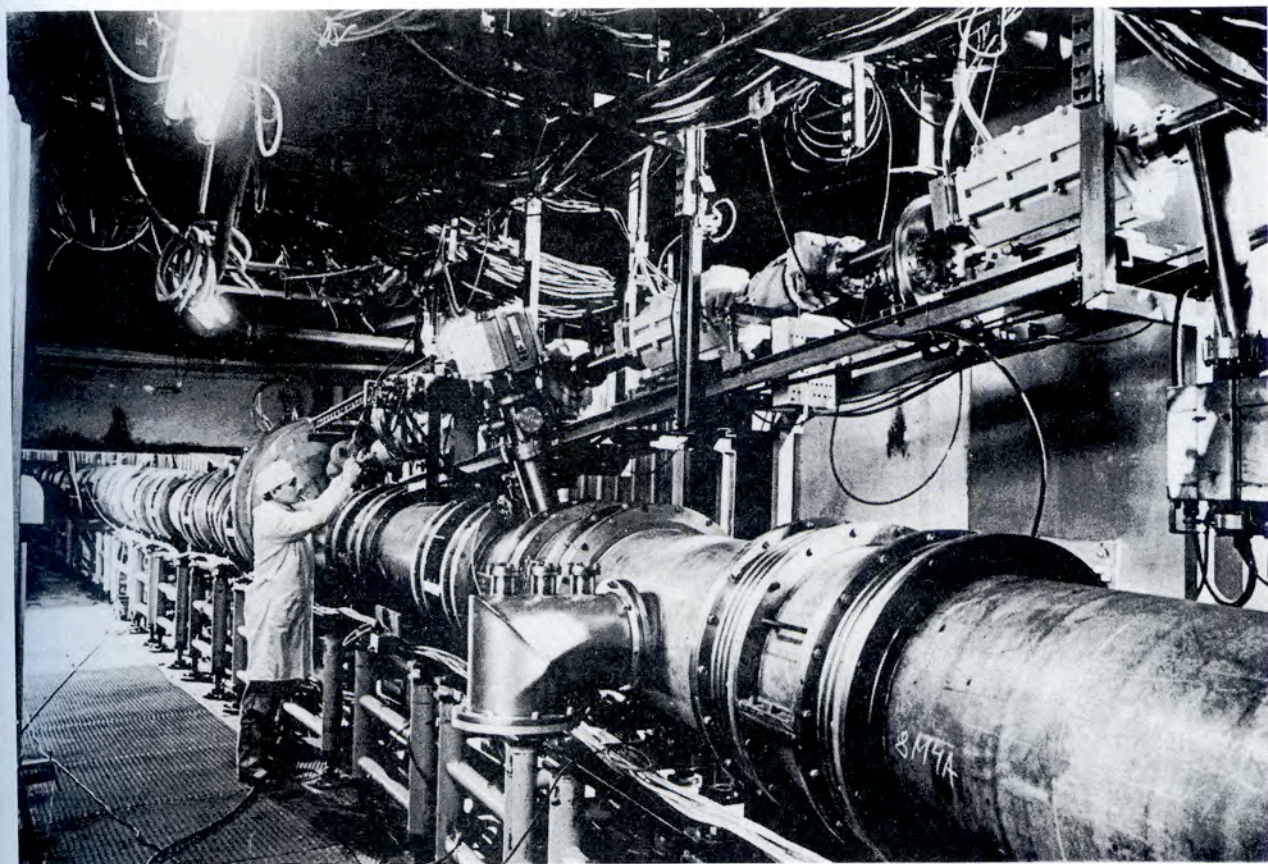
Продолжались испытания изготовленных элементов кольца нуклотрона. Всего выполнено с 1 января по 25 ноября 1992 г. 96 испытаний. В последние месяцы проводилось в среднем за 5 рабочих дней 3,5 испытания. Впервые испытывались и отлаживались ускоряющие станции, квадрупольные и секступольные линзы медленного вывода, сборки с тоководными узлами. Проведен комплекс испытаний первой секции магнита Ламбертсона. Выполнены ресурсные испытания двух гелиевых рефрижераторов КГУ-1600. Достигнута их производительность в режиме ожигения на уровне 5000 л/час. Полностью отлажена на кольце нуклотрона первая высокочастотная ускоряющая станция.

Завершены исследования влияния процессов старения на потери энергии в переменном магнитном поле в Nb—Ti композитных сверхпроводниках. Обнаружено уменьшение потерь в 1,4—3,4 раза для образцов с различными параметрами, что можно объяснить увеличением эффективного поперечного сопротивления.

## РАЗВИТИЕ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

В начале 1992 г. осуществлена подготовка, а в феврале — марте проведен сеанс с поляризованным пучком дейтронов на синхрофазотроне. По-





Инжекционный участок нового ускорителя ОИЯИ — нуклотрона

становка корректирующих катушек на входе и выходе ВЧ-ячейки позволила повысить векторную поляризацию пучка  $P_z^+$  до 0,45,  $P_z^-$  до 0,43 соответственно. Во время сеанса установка ПОЛЯРИС работала стабильно, без промежуточных степеней для сублимации криоосадков. Физические исследования с поляризованным пучком проводились на установках АЛЬФА, СФЕРА, АНОМАЛОН, СМС (МГУ). На этапе запуска установки пучок из ПОЛЯРИСа был пропущен через 1/4 нуклотрона. Интенсивность ускоренного пучка в 1992 г. в кольце синхрофазотрона  $1,3 \cdot 10^9$  част./имп.

В соответствии с планом работ по повышению интенсивности пучка разработаны и изготовлены сферическое зеркало спин-процессора для поворота пучка на  $90^\circ$ , узел крепления, позволяющий использовать электростатическую оптику для лучшего согласования установки ПОЛЯРИС с ускорительной трубкой ФИ ЛУ-20. Проведены работы по упрощению конструкции планируемого в будущем ионизатора на перезарядке для источника ПОЛЯРИС.

В рамках программы подготовки источника высокозарядных тяжелых ионов для нуклотрона был проведен сеанс работы источника КРИОН-С

на линейном ускорителе. Отработан режим устойчивого получения и ускорения ионов серы на ЛУ-20.

## РАБОТА СИНХРОФАЗОТРОНА

В 1992 году исполнилось 35 лет со дня запуска синхрофазотрона. В свой юбилейный год из-за финансовых ограничений он отработал, к сожалению, всего лишь 1023 часа. Это наименьшее количество часов из отработанных им ежегодно до сих пор.

Тем не менее ускоритель находится на хорошем эксплуатационном уровне, его надежность за последние 15—20 лет значительно возросла: простои не превышают 6—7% от запланированного времени работы. До последних лет, когда персонал полностью включился в работы по сооружению нуклотрона, шло постоянное усовершенствование синхрофазотрона. По существу, усовершенствование отдельных частей ускорительного комплекса продолжается и сейчас, но оно ведется на узлах, которые будут работать в комплексе нуклотрона. Чтобы не снижать темпы работ по сборке и испытаниям кольца нуклотрона, работа синхрофазотрона проводилась в вечернее и ноч-



ное время. В течение 1992 г. было проведено два сеанса работы синхрофазотрона: на поляризован-

ных дейтронах (февраль—март — 631 час) и на ядрах (октябрь — 392 часа).

## ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Сотрудничеством Дубна — Марбург — Страсбург — Тессалоники — Пекин проведены измерения на пучках релятивистских ядер фтора и углерода для поиска аномального взаимодействия ядерных фрагментов. С помощью твердотельных ядерных детекторов изучены полные сечения взаимодействия релятивистских ядер углерода и магния с различными ядрами. Облучены пластиковые фольги толщиной 3 мм для получения ядерных фильтров при энергии пучка 350 МэВ/нуклон.

На пучках релятивистских ядер гелия, лития, углерода выполнен цикл работ по исследованию генерации нейтронов в массивных мишенях для обоснования электроядерного способа получения энергии (проект «Энергия»). Установлено, что легкие ядра более эффективны для генерации нейтронов, чем протоны; число генерированных нейтронов линейно растет с увеличением энергии ядер; величина энергозатрат на генерацию одного нейтрона составляет  $32 \pm 5$  МэВ [37,38]. Эти результаты применимы для создания защиты от нейтронов на ускорителях и спутниках, для моделирования электроядерного способа получения атомной энергии, для создания интенсивных нейтронных генераторов, для решения проблемы трансмутации радиоактивных продуктов атомной энергетики.

Продолжены работы по влиянию облучения тяжелыми ионами на критические токи ВТСП [24—27]. Проведены сеансы облучения образцов на ускорителе У-400 (ЛЯР), в том числе очень успешный — на ядрах  $^{84}\text{Kг}$ . Обнаружено, что рост критического тока  $J_c$  в результате облучения ионами  $^{84}\text{Kг}$  существенно выше (в 2—3 раза), чем при облучении  $^{40}\text{Ag}$ , и наблюдается при более высоких температурах (практически до  $T_c$ ). При оптимальных условиях  $J_c(\text{обл.})/J_c(\text{необл.}) = 200$ . В результате расчетно-теоретических работ (совместно с ЛВТА) по пространственно-временным распределениям температуры вблизи трека от тяжелого иона в ВТСП установлено, что «опасные» для ВТСП перегревы (более  $800^\circ\text{C}$ ) возникают в области 100—200 А. Возможно, этот тепловой механизм образования протяженных квазицилиндрических областей вдоль треков от быстрых заряженных частиц является доминирующим (по крайней мере для тяжелых ионов)

в возрастании пиннинга вихрей и, следовательно, роста  $J_c$  после облучения ВТСП.

Проведены прецизионные измерения зависимости сопротивления от температуры серии ВТСП-керамик  $\text{MВaCuO}$  (M есть Y, Ho, Gd, Er, Dy). Показано хорошее согласие экспериментальных данных с теорией Блоха — Грюнайзена. Измерены потери энергии для ВТСП-керамики. Прделана серия измерений электромагнитных свойств ВТСП-образцов в рамках совместных с ЛНФ ОИЯИ работ: изучения магнитной структуры ВТСП с помощью поляризованных нейтронов; увеличения токонесущей способности ВТСП с помощью создания центров пиннинга в процессе регулируемого отжига.

Проводился физический и теоретический анализ полученных экспериментальных данных электромагнитных характеристик ВТСП, в том числе по изучению влияния топологических структур на макроскопические свойства нерегулярной сетки джозефсоновских контактов. Создана установка для измерения комплексной магнитной восприимчивости.

В рамках темы «Детекторы изображений» ведутся разработки новых газовых и твердотельных координатных детекторов частиц для исследований в ядерной физике и в смежных областях науки. Выполнены следующие основные работы:

— разработаны двухкоординатные мини-дрейфовые камеры, работающие в СГС-режиме (см. рис.9). Пространственное разрешение по точной координате — 100 мкм, по второй координате — 250 мкм. С помощью современной технологии поверхностного монтажа созданы усилители-формирователи для пропорциональных и дрейфовых камер, которые могут конкурировать с аналогичными разработками западных фирм. Эти разработки выполнены совместно с фирмой «Физические научные приборы» (Дармштадт);

— совместно с ИЛЛ (Гренобль) и ИФ (Баку) ведутся разработки микростриповых газовых детекторов на основе подложек из стекла с ионной и электронной проводимостью. Такие детекторы позволяют получать пространственное разрешение 100 мкм, обеспечивают высокое быстродействие и значительно дешевле кремниевых;

— совместно с ИК РАН (Москва), ФИ РАН (Москва), ИСМ РАН (Черноголовка), ИБОХ (Киев), ИМХ (Прага) проведены разработки



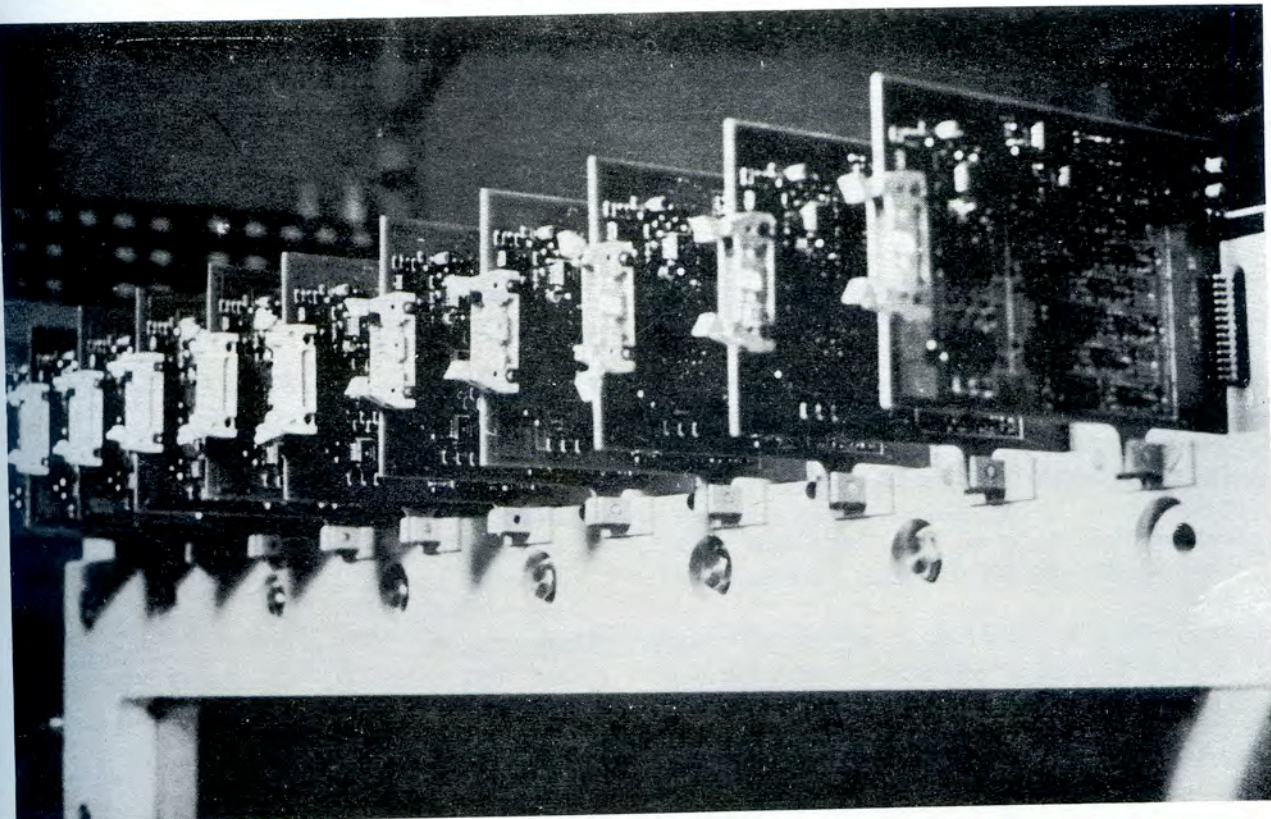


Рис. 9. Минидрейфовые камеры с двухкоординатным считыванием, работающие в СГС-режиме. Электроника считывания выполнена с применением технологии поверхностного монтажа

одномерных и двумерных детекторов высокого разрешения для регистрации рентгеновского излучения и медленных нейтронов [28—32]. Детекторы предназначены для структурных исследований белков, жидких кристаллов, вирусов и др.;

— совместно с лабораториями ИНФН (Феррара, Неаполь, Пиза) ведутся разработки аппара-

туры считывания информации с микроstriповых кремниевых детекторов.

Разрабатываемые по данной теме детекторы успешно использовались для обучения молодых физиков на 3-й и 4-й Международных школах ИКФА по аппаратуре в физике элементарных частиц (Рио-де-Жанейро, 1990; Триест, 1991). Подготовлена аппаратура для 5-й Школы в Бомбее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Afanasiev S.V. et al. — In: *Proceedings of XXVI International Conference on High Energy Physics, Dallas, USA, Aug. 5—9, 1992.*  
Afanasiev S.V. et al. — *XI International Seminar on High Energy Physics Problems. Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics, Dubna, Russia, Sept. 7—12, 1992. Abstracts, p.49.*  
Afanasiev S.V. et al. — In: *JINR Rapid Communications, N1 [58]-93, Dubna, 1993, p.21.*  
Afanasiev S.V. et al. — In: *Proc. of II International Conference on Particle Production Near Threshold, Uppsala, Sweden, Aug. 26—30, 1992 (To be published in «Physica Scripta»).*
2. Kozma P. et al. — *NIM, 1992, A314, p.26.*
3. Afanasiev S.V. et al. — In: *JINR Rapid Communications N4 [55]-92, Dubna, 1992, p.12.*
4. Pentia M. et al. — *XI Intern. Seminar on High Energy Physics Problems. Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics, Dubna, Russia, Sept. 7—12, 1992. Abstracts, p.95.*  
Pentia M. et al. — In: *JINR Rapid Communications N4 [55]-92, Dubna, 1992, p.31.*
5. Slowinski B., Rogulski J. — In: *JINR Rapid Communications N4 [55]-92, Dubna, 1992, p.19.*
6. Bondarev V.K. et al. — *XI International Seminar on High Energy Physics Problems. Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics,*



- Dubna, Russia, Sept. 7—12, 1992. Abstracts, p.47.
- Bondarev V.K. et al. — In: *JINR Rapid Communications N1 [58]-93*, Dubna, 1993, p.35.
7. Anisimov Yu.S. et al. — In: *Proceedings of Open Bus Systems'92 in Research and Industry, October 13—15, 1992, Zurich, Switzerland*, p.381.
- Afanasiev S.V. et al. — In: *Proc. of Conference on Computing in High Energy Physics — 1992 (CHEP-92)*, Annecy, France, Sept. 21—25, 1992.
8. Litvinenko A.G. et al. — *XI International Seminar on High Energy Physics Problems. Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics, Dubna, Russia, Sept.7—12, 1992. Abstracts*, p.46.
- Litvinenko A.G. et al. — In: *JINR Rapid Communications N1 [58]-93*, Dubna, 1993, p.27.
9. Peresedov V.F., Zolin L.S. — In: *Proc. of II International Conference on Particle Production Near Threshold, Uppsala, Sweden, Aug. 26—30, 1992 (To be published in «Physica Scripta»)*.
10. Gavrishchuk O.P. et al. — In: *JINR Rapid Communications N4 [55]-92*, Dubna, 1992, p.4.
- Zolin L.S. — In: *Proceed. of Intern. Confer. on Nucl. Phys. INPC-92, Wisebaden, FRG, 1992*.
11. Avramenko S.A. et al. — *Nuclear Physics, 1992, A547*, p.95.
12. Avramenko S.A. et al. — *JINR Rapid Communications N3 [54]-92*, Dubna, 1992, p.13.
13. Авраменко С.А. и др. — *Письма в ЖЭТФ*, 1992, 55, с.676.
14. Dzikowski T. et al. — In: *Proc. of Deuteron-91 Workshop, Dubna, June 11—13, 1991. JINR, E2-92-25*, Dubna, 1992, p.181.
15. Lykasov G.I. — *ibid.*, p.218.
16. Borzunov Yu.T. et al. — *ibid.*, p.185.
17. Golutvin I.A. et al. — In: *Proc. of 10-th Symposium on High Energy Spin Physics, Nagoya, November 9—14, 1992*.
18. Kobushkin A.P. — *ibid.*
19. Webber W.R. et al. — *Proc. 18-th ICRC, Bangalore, 1983, vol.2*, p.202.
20. Ableev V.G. et al. — In: *JINR Rapid Communications N1 [52]-92*, Dubna, 1992, p.5.
21. Ableev V.G. et al. — In: *JINR Rapid Communications N1 [52]-92*, Dubna, 1992, p.10.
22. Abraamyan K.U. et al. — *JINR Preprint E1-92-307*, Dubna, 1992.
23. Базылев С.Н., Смирнов В.А. — В сб.: *XV Международный симпозиум по ядерной электронике и Международный семинар КАМАК-92, Варшава, Польша, 29 сентября — 2 октября 1992. ОИЯИ, Д13-92-581*, Дубна, 1993, с.188.
- Никифоров А.С. — *ibid.*, с.149.
- Пиляр А.В. — *ibid.*, с.167.
- Парфенов А.Н. — *ibid.*, с.172.
24. Булдаковский В.М., Дьячков Е.И., Черников В.И. — В сб.: *Труды 13 совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 13—15 окт. 1992. ОИЯИ, Д9-92-455*, Дубна, 1993, т.2.
25. Владимирова Н.М., Дробин В.М., Дьячков Е.И. — *Препринт ОИЯИ P8-92-223*, Дубна, 1992 (работа принята в «Cryogenics»).
26. Zhukov A.A. et al. — In: *Intern. Conf. «Critical Currents in HTSC»*, Wien, 22—24 April, 1992, p.58.
27. Сулковски Ч. и др. — *Препринт ОИЯИ P14-92-65*, Дубна, 1992.
28. Zanevsky Yu.V. et al. — *Physica Medica, 1992, vol.VIII, N1*, p.76.
29. Chernenko S.P. et al. — In: *Proc. of the European Workshop on X-Ray Detectors for Synchr. Rad. Sources, Aussois, France, September 30 — October 4, 1992*, p.82.
30. Заневский Ю.В. и др. — *ОИЯИ, 13-92-180*, Дубна, 1992 (направлено в журнал «Кристаллография»).
31. Cheremikhina G.A. et al. — *JINR, E13-92-52*, Dubna, 1992 (Submitted to «Nucl. Instr. and Meth.»).
32. Netusil T. et al. — In: *Proc. Wire Chamber Conf., Vienna, 1992 (To be published in «Nucl. Instr. and Meth.»)*.
33. Adamovich M.I. et al. — *Z. Phys. C, 1992, 55*, p.235.
34. Adamovich M.I. et al. — *Phys. Rev. Lett., 1992, 69*, p.745.
35. Vilkes R.I. et al. — *Nucl. Phys. A, 1992, 544*, p.153.
36. Воронко В.А. и др. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ N2 [53]-92*, Дубна, 1992, с.5.
37. Дьяченко В.М. и др. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ N2 [53]-92*, Дубна, 1992, с.45.
38. Толстов К.Д. — *ОИЯИ, 18-92-303*, Дубна, 1992.
39. Azhgirey L.S., Ignatenko M.A., Yudin N.P. — *Z. Phys. A, Hadrons and Nuclei, 1992, v.343*, p.35.
40. Azhgirey L.S. et al. — In: *Proc. of the Internat. Workshop Deuteron-91, E2-92-98*, Dubna, 1992, p.126.
41. Azhgirey L.S., Yudin N.P. — In: *Proc. of the XI Internat. Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, September, 1992*.
42. Astakhov V.I. et al. — *NIM, 1992, A311*, p.296.
43. Batyunia B.V. — *SDC Note SDC-92-364*, 1992.
44. Kovalenko A.D. et al. — *JINR, E1-92-249*, Dubna, 1992.
45. Hirzebruch S.E. et al. — *Phys. Rev. C, 1992, v.46, N 4*, p.1487.
46. Baldin A.A. et al. — In: *JINR Rapid Communications N3 [54]-92*, Dubna, 1992, p.20.
47. Балдин А.А. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ N3 [54]-92*, Дубна, 1992, с.27.