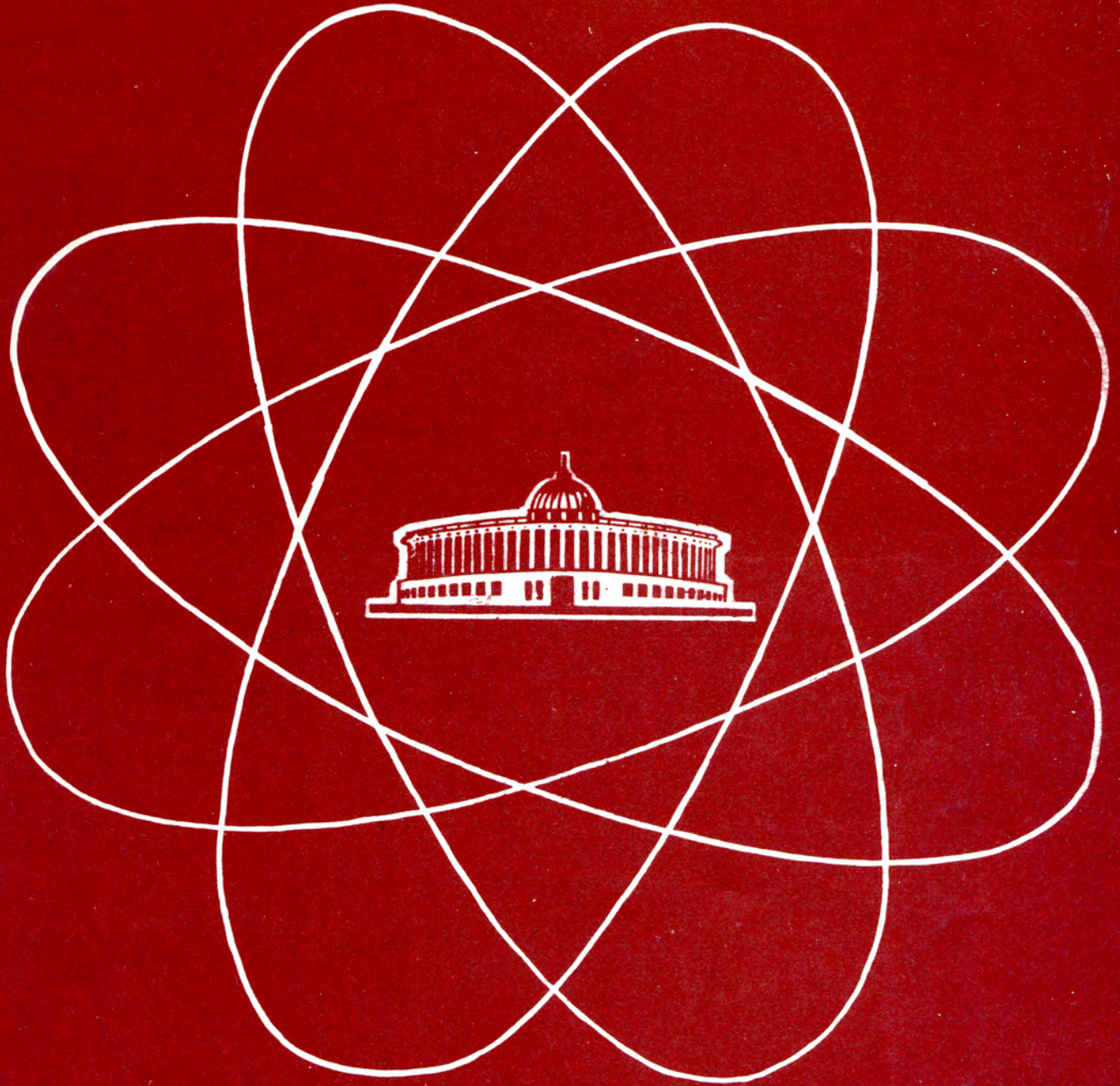


ДУБНА · 1986

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1986 · DUBNA

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Коллектив Лаборатории высоких энергий в 1986 г. выполнил обширную программу исследований, сконцентрировав усилия на традиционных для лаборатории проблемах физики сильных взаимодействий, проверке предсказаний квантовой хромодинамики, исследованиях проявлений кварковых степеней свободы во взаимодействиях адронов, лептонов и ядер при высоких энергиях, поиске новых фундаментальных закономерностей физики микромира.

В экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ, синхротронах ИФВЭ (Протвино) и ЦЕРНа, а также при обработке и анализе накопленной информации получен ряд новых ярких физических результатов, высоко оцененных на крупнейших международных конференциях года.

Среди наиболее значимых результатов следует отметить наблюдение сотрудничества БИС-2 экзотических мезонных резонансов, анализ \bar{N} -взаимодействий, подтвердивший универсальность характеристик струй адронов в пространстве четырехмерных относительных скоростей, результаты совместного ОИЯИ — ЦЕРН эксперимента NA-4 по исследованию структурных функций нуклонов и ядер, новые данные по исследованию кумулятивного рождения частиц и первые

физические результаты на пучках поляризованных дейтронов синхрофазотрона.

Большой объем работ выполнен по созданию новых физических установок, по проектам ДЕЛФИ (ЛЭП, ЦЕРН), "Меченые нейтрино", ЧАРМ, "Парус", СВД, ТПК-2М (У-70, УНК ИФВЭ (Протвино)), "Сфера", "Слон" (синхрофазотрон ОИЯИ). Велись проработки по созданию универсального калориметрического детектора для исследований на встречных пучках УНК.

Крупным достижением лаборатории явилось получение первого оборота пучка протонов в сверхпроводящем режиме на модельном сверхпроводящем синхротроне СПИН.

Значительные по масштабу и трудоемкости работы проведены в рамках создания нуклотрона.

Совершенствовался вычислительный центр лаборатории. Ряд новых разработок в области электроники, детекторов и криогеники выполнен для физических экспериментов и прикладных задач.

Синхрофазотрон успешно эксплуатировался, существенно повышена эффективность использования пучков.

Научно-исследовательская деятельность лаборатории велась в условиях широкого международного сотрудничества.

МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

1. В экспериментах, проведенных с помощью спектрометра БИС-2, на серпуховском ускорителе наблюден мезонный резонанс с отрицательной странностью $U(3100)$, образованный в нейтрон-ядерных взаимодействиях при среднем импульсе нейтронов

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

~ 40 ГэВ/с^{1/2}. В качестве ядерных мишеней использовались углерод, алюминий и медь. Для поиска $U(3100)$ анализировались спектры инвариантных масс, построенные для событий, содержащих Λ^0 и \bar{p} и заряженные пионы, или K_s^0 , p , \bar{p} и заряженные пионы. Λ^0 и K_s^0 идентифицировались по их распадам на $p\pi^-$ и $\pi^+\pi^-$ среди реконструированных нейтральных вилок. Всего было выделено $\sim 8,5 \cdot 10^4$ событий с Λ^0 и $4,5 \cdot 10^4$ — содер-

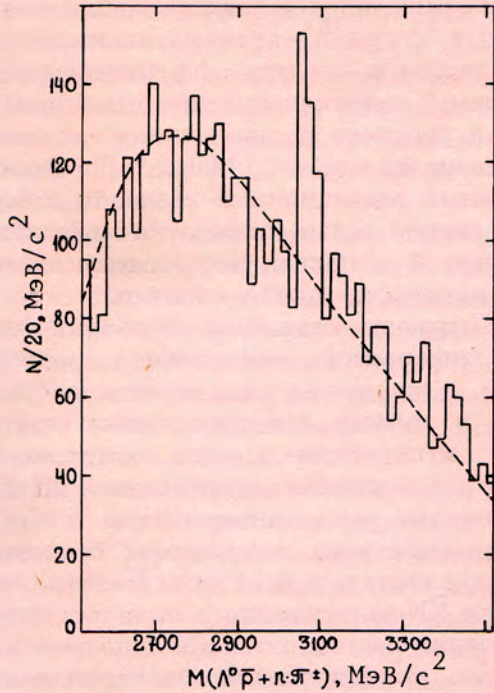


Рис. 1. Спектр инвариантных масс для событий, содержащих Λ^0 , \bar{p} и заряженные пионы.

жащих K_S^0 . Среди событий, содержащих Λ^0 , анализировались спектры инвариантных масс для конфигураций, соответствующих возможным распадам:

$$U^+ \rightarrow \Lambda^0 \bar{p} \pi^+ \pi^-, \quad (1)$$

$$U^0 \rightarrow \Lambda^0 \bar{p} \pi^+, \quad (2)$$

$$U^0 \rightarrow \Lambda^0 \bar{p} \pi^+ \pi^+ \pi^-, \quad (3)$$

$$U^- \rightarrow \Lambda^0 \bar{p} \pi^+ \pi^-, \quad (4)$$

$$U^{--} \rightarrow \Lambda^0 \bar{p} \pi^-. \quad (5)$$

Суммарный спектр инвариантных масс, полученный для всех конфигураций (1 ÷ 5), показан на рис. 1. Пик в области масс $3030 \div 3090$ $\text{МэВ}/c^2$ содержит ~ 130 событий $U(3100)$ над уровнем фона (~ 270 событий), что соответствует статистической значимости более 8 стандартных отклонений. Среди этих событий наибольшая доля (~ 75 событий) обусловлена распадами по каналу (2). Детальный анализ показал, что имеет место двухчастичный распад:

$$U^0 \rightarrow \Lambda^0 \Delta(1700), \quad (6)$$

через который реализуется около половины всех наблюдаемых распадов.

Из анализа спектров $\Lambda^0 \bar{p} \pi^+$ для событий, зарегистрированных в экспозициях с различными мишенями (C, Al, Cu), определена A-зависимость $U(3100)$, которая в рамках параметризации $\sigma \sim A^a$ характеризуется значением показателя степени $a = 0,6 \pm 0,3$.

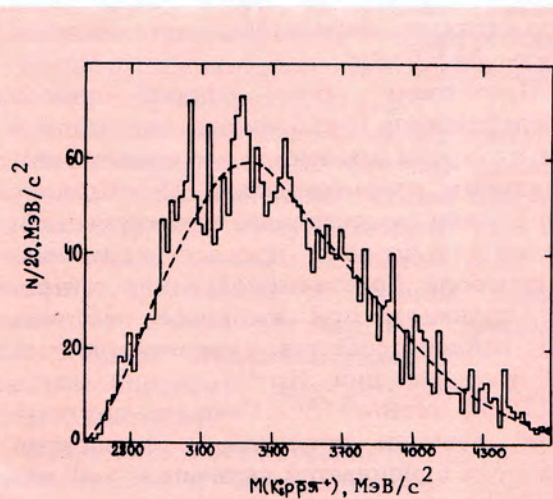
Среди событий, содержащих K_S^0 , был восстановлен спектр инвариантных масс системы $K_S^0 \bar{p} \pi^+$. При этом в интервале масс $3030 \div 3090$ $\text{МэВ}/c^2$ имеется пик (рис. 2), содержащий ~ 50 событий над уровнем фона. Наличие такого пика может свидетельствовать о наблюдении распадов $U^+ \rightarrow K_S^0 \bar{p} \pi^+$ и $U^+ \rightarrow K_S^0 \bar{p} \pi^+$.

Таким образом, зарегистрировано ~ 180 событий рождения узкого ($\Gamma \leq 20$ $\text{МэВ}/c^2$) резонанса с отрицательной странностью, распадающегося на барион, антибарион и мезоны. Среднее значение массы резонанса $M = (3068 \pm 40)$ $\text{МэВ}/c^2$. Впервые наблюдаются новые каналы распада $U(3100)$: $\Lambda^0 \bar{p} \pi^+$, $\Lambda^0 \Delta(1700)$, $\Lambda^0 \bar{p} \pi^-$, $K_S^0 \bar{p} \pi^+$.

Изотопический спин резонанса равен $3/2$. Произведение сечения рождения резонанса в области $x_F > 0,5$ на вероятность его распада по каждому из наблюдаемых каналов составляет от 1 до 10 мкб на ядро углерода. Для описания основных свойств наблюдаемого резонанса в рамках кварковой структуры требуется не менее четырех валентных кварков.

2. Продолжался анализ экспериментального материала БИС-2 по исследованию рождения очарованных Λ_c^+ -барионов на углеродной, алюминиевой и медной мишенях. Най-

Рис. 2. Спектр инвариантных масс системы $K_S^0 \bar{p} \pi^+$.



дено, что параметр, характеризующий А-зависимость сечения инклюзивного рождения Λ_c^+ в кинематической области $0,5 < x_F \leq 1$ и $p_{\perp} \leq 1$ ГэВ/с, равен $\alpha = 0,73 \pm 0,20^{1/2}$.

3. В последнее десятилетие большое внимание уделяется вопросам поляризации инклюзивно рожденных гиперонов. Ряд теоретических моделей, дающих не только качественные, но и количественные оценки этого явления, объясняют поляризацию как результат спин-орбитального взаимодействия кварков в поле сил, связывающих их в адроны. Одним из важных направлений исследований сотрудничества БИС-2 является изучение поляризационных эффектов. В 1986 г. в эксперименте, проведенном на серпуховском ускорителе, измерена поляризация Ξ^- -гиперонов, рожденных инклюзивно нейтронами со средним импульсом ~ 40 ГэВ/с^{3/}. Регистрация Ξ^- осуществлялась по каскадному распаду: $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
 $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$.

Всего было выделено $\sim 1,6 \cdot 10^5$ распадов $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$, а для изучения поляризации Ξ^- — 1267 событий из интервала масс $M(\Xi^-) = (1321,3 \pm 8)$ МэВ/с². Кинематическая область регистрации Ξ^- : $0 < p_{\perp} < 1,3$ ГэВ/с, $\langle x_F \rangle = 0,45$. Анализ показал, что Ξ^- -гипероны, образованные при данных условиях, поляризованы отрицательно ($\mathcal{P} = -0,3 \pm 0,2$) вдоль нормали к плоскости их рождения, определяемой векторным произведением импульсов первичного нейтрона и Ξ^- в лабораторной системе. Параметр асимметрии распада $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$: $\alpha(\Xi^-) = -0,43 \pm 0,16$. Измеренная поляризация Ξ^- согласуется с поляризацией Λ^0 , измеренной в этом же эксперименте, а также с поляризацией Ξ^- , образованных протонами с импульсом 400 ГэВ/с, но противоположна по знаку поляризации Ξ^- , рожденных отрицательными каонами с импульсом 5 ГэВ/с.

4. Предложен новый способ поиска и идентификации Н-дибариона, основанный на том, что среди множества различных каналов сильных взаимодействий Н-дибариона в ядре должен существовать специфический, присущий только ему, процесс конверсии в два гиперона. Во взаимодействиях нейтронов с пропаном при импульсе нейтрона 7 ГэВ/с найдено событие, удовлетворяющее кинематике реакции $Np \rightarrow \Lambda\Lambda p$ при массе $M = 2173,94$ МэВ/с²^{4/}. Сечение двухступенчатой реакции рождение — конверсия Н-дибариона оценивается величиной > 40 нб.

5. Продолжалось детальное исследование узких особенностей, обнаруженных в пр-взаимодействиях при облучении однометро-

вой жидководородной камеры монохроматическими нейтронами. С целью проверки модели вращающихся соединенных ориентированных струн^{5/}, предсказывающей ряд узких пиков в спектре эффективных масс рр-системы, предприняты прецизионные измерения упругого рр-рассеяния. Ожидаемое разрешение по массе < 1 МэВ/с². Для поиска возможных радиационных распадов дибарионных систем велась обработка материалов облучения 2 м пропановой камеры дейтронами с идентификацией γ -квантов.

6. Сотрудничеством по обработке फिल्मовой информации, накопленной при облучении 2 м жидководородной камеры "Людмила" в пучках сепарированных дейтронов и антидейтронов, на серпуховском ускорителе получены распределения по множественности заряженных частиц в $\bar{p}p$ - и пр-взаимодействиях и процессах $\bar{p}p$ -аннигиляции при импульсе 6,1 ГэВ/с^{6/}. Показано, что доля $\bar{N}N$ -аннигиляции в полном неупругом сечении составляет 40% для всех изоспиновых конфигураций. Экспериментальные данные демонстрируют также явное указание на выполнение соотношения $\Delta\sigma(\bar{p}p) < \sigma_a(\bar{p}p) = \sigma_a(p\bar{p}) < \Delta\sigma(p\bar{p})$, которое вытекает из ряда теоретических схем.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1. В 1986 г. завершена работа^{7/}, в которой предложен метод построения полиэдров (многогранников) в пространстве относительных 4-скоростей, дающий полное описание множественных процессов:

$$I + II \rightarrow 1 + 2 + 3 + \dots, \quad (7)$$

где I и II — сталкивающиеся частицы, а 1,2,3,... — частицы-продукты реакции. В отличие от инклюзивного подхода данный метод позволяет использовать при анализе всю получаемую в эксперименте информацию о процессе.

Основными величинами, от которых зависят распределения вероятностей (сечения), при этом считаются положительные релятивистски-инвариантные величины b_{ik} ($i, k = I, II, 1, 2, 3, \dots$), имеющие смысл относительных расстояний в пространстве 4-скоростей. Задание всех b_{ik} для всех частиц процесса (1) содержит полную информацию об этом процессе. В более ранних работах показано, что в области $b_{ik} \gg 1$ адроны утрачивают роль квазичастиц ядерной ма-

тери, и взаимодействие переходит на кварк-глюонный уровень, сформулирован принцип ослабления корреляций, дано новое определение струй адронов и показана универсальность свойств струй, рассматриваемых как кластеры в пространстве b_{ik} для широкого класса процессов (π^-p , π^-C , pp , $\bar{p}p$, pC , pTa) в диапазоне энергий от 6 до 205 ГэВ.

В работе /7/ показано, как пользоваться переменными b_{ik} , когда их число превышает число степеней свободы, предложен регулярный метод обработки экспериментальных данных для процессов типа (7) произвольной множественности, предсказаны некоторые новые закономерности, основанные на новом описании.

2. На основе описанного подхода в 1986 г. получены характеристики адронных струй в "жестких" процессах — глубоконеупругих $\bar{\nu}N$ -соударениях, в которых, как известно, образуются "изолированный" цветной кварк и дикварк, дающие две струи адронов. Данные по $\bar{\nu}N$ -взаимодействиям при средней энергии $\langle E_{\nu} \rangle \sim 35$ ГэВ, предоставленные коллаборацией: ИФВЭ (Протвино) — ИТЭФ (Москва) — ФНАЛ (Батавия, США) — Мичиганский университет (США), получены на ускорителе ФНАЛ с помощью 15-футовой пузырьковой камеры, наполненной смесью неона и водорода (статистика ~ 8000 событий).

Рассматривалось распределение пионов в струях по величине

$$b_k = -(u_k - v)^2,$$

где v — единичный 4-вектор, определяющий ось струи, $u_k = p_k/m_k$ — 4-скорость пионов.

В результате проделанного анализа показано /8/, что значения $\langle b_k(\pi^-) \rangle$ для струй, образующихся в жестком процессе, совпадают в пределах однократной ошибки с величиной $\langle b_k(\pi^-) \rangle$ для струй, образующихся в мягких адронных и адрон-ядерных соударениях при одинаковых значениях энергии ($\sqrt{s} = w$) в с.ц.м., и при $\sqrt{s} \geq 6$ размер струи в пространстве b_{ik} остается приблизительно постоянным (рис. 3). Наблюдаемая универсальность означает, что свойства адронных струй не зависят от происхождения и свойств фрагментирующей кварковой системы и определяются взаимодействием цветного заряда с вакуумом.

3. На установке ДИСК-3 проведен цикл экспериментов по исследованию кумулятивного рождения K^{\pm} -мезонов на легчайших

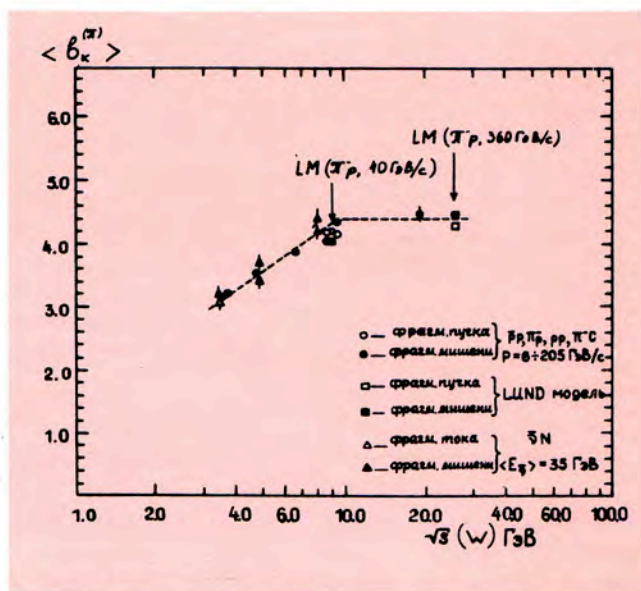


Рис. 3. Зависимость средних значений $\langle b_k \rangle$ π^- -мезонов в струях, образующихся в различных процессах, от энергии в с.ц.м.

ядрах (дейтерий, гелий) /9/. Легчайшие ядра выбраны как простейшие ядерные системы с точки зрения теоретического описания, в то же время их использование позволяет "выйти" в кумулятивную область и исследовать различные мультикварковые конфигурации. Полученные результаты показывают, что при одинаковом значении масштабной переменной (кумулятивного числа) величины отношений сечений рождения пионов к сечениям рождения K^{\pm} -мезонов в несколько раз превышают величину этого отношения на ядрах алюминия и свинца (рис. 4).

Из данных по кумулятивному рождению K^- -мезонов следует важный с нашей точки зрения вывод о том, что сечение рождения K^- -мезонов так же, как и сечение рождения π -мезонов, пропорционально кварк-партоновой структурной функции ядра.

4. Предложен единичный алгоритм вычисления инклюзивных сечений рождения частиц с большими поперечными импульсами и адронов кумулятивного типа /10/. Возможность единого описания этих процессов обусловлена в данном подходе введением нового аргумента — минимальной энергии сталкивающихся конституэнтов, необходимой для рождения наблюдаемой частицы.

5. Продолжалось изучение процессов множественного и инклюзивного рождения частиц на материалах 2 м пропановой камеры. Исследованы инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятивных

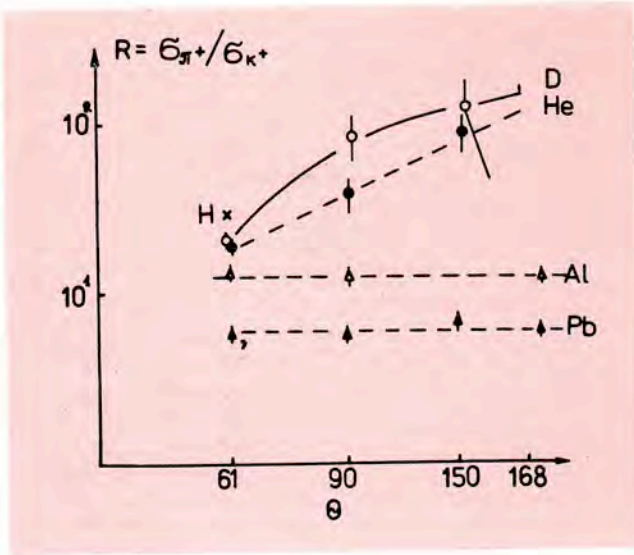


Рис. 4. Отношение сечений рождения π^+ -мезонов и K^+ -мезонов с импульсом 500 МэВ/с в зависимости от угла наблюдения при взаимодействии протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с с различными ядрами.

π^- -мезонов и протонов в рС- и π^- С-взаимодействиях при импульсах $p_p = 10$ ГэВ/с и $p_\pi = 40$ ГэВ/с^{/11/}. Показано, что угловая зависимость параметров, определяющих наклон инклюзивных спектров кумулятивных π^- -мезонов (в отличие от кумулятивных протонов), одинакова для рС- и π^- С-столкновений.

В работе^{/12/} проанализированы характеристики вторичных частиц (импульсы, углы вылета, быстроты), образованных в π^- С-взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с, как функции массы мишени, и показано, что характеристики кумулятивных частиц не зависят от величины массы мишени.

Получены оценки "температуры" T и плотности ρ ядерной материи, образующейся в СС-неупругих многонуклонных взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон^{/13/}. Для определения T и ρ использовались данные по рождению протонов. В многонуклонных СС-столкновениях средние значения искомым величин составили: $T_0 \approx 180$ МэВ, $\rho/\rho^{\text{норм}} = 3,6^{+1,8}_{-1,2}$.

6. Ряд результатов получен при исследовании ядро-ядерных взаимодействий. В работе^{/14/} продолжалось исследование множественности, импульсных и угловых характеристик протонов, образующихся во взаимодействиях легких ядер (p, d, α, C) с ядром углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Показано, что средняя множест-

венность протонов растет с увеличением массы ядра-снаряда, причем А-зависимость множественности быстрых протонов сильнее, чем медленных. Кроме того, возрастает доля протонов, вылетающих под малыми углами, их импульсные спектры становятся более жесткими. Экспериментальные результаты в основном удовлетворительно описываются дубненским вариантом каскадной модели (ДКМ). При исследовании взаимодействий d и C с тяжелым ядром (тантал) при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон показано, что ДКМ не описывает распределения вторичных протонов по поперечному импульсу (в области $p_\perp > 1$ ГэВ/с наблюдается значительное превышение числа протонов над предсказаниями модели).

При исследовании угловых распределений наиболее медленных заряженных частиц — продуктов расщепления ядра-мишени во взаимодействиях ядер ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при импульсе 4,1 ГэВ/нуклон обнаружены широкие максимумы, проявляющиеся более отчетливо с уменьшением параметра удара^{/15/}. Из 243 центральных столкновений ядер неона с ядрами серебра и брома выделено 18 случаев, в которых при большом числе быстрых заряженных частиц (~ 40) не наблюдается вылета таких частиц до углов $6 \div 12^\circ$ относительно направления первичного ядра^{/16/}. Ряд других результатов, полученных фотоэмульсионной методикой, изложен в работах^{/17-19/}.

На материалах 2 м пропановой камеры изучалось распределение по множественности π^0 -мезонов в многонуклонных СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Наблюдается большая дисперсия этого распределения по сравнению с распределением по числу π^- -мезонов в этих процессах^{/20/}.

7. Ряд работ по исследованию ядерных взаимодействий выполнен электронной методикой.

С помощью спектрометра из двух сцинтилляционных телескопов типа $\Delta E-E$, состоящих из четырех счетчиков с кристаллами CsI(Tl), установленных под углами 37 и 90° к оси пучка, исследовались центральные и периферические взаимодействия ядер ^{12}C ($E = 3,6$ ГэВ/нуклон) с ядрами Cu и Pb ^{/21/}. Измерены выходы протонов, дейтронов и тритонов с выделением центральных и периферических взаимодействий.

Получены данные по инклюзивным сечениям испускания фрагментов ^6He и $^{6,7,8}\text{Li}$ под углами $45, 90$ и 135° в л.с.к. при взаимо-

действии ^4He с ядрами-мишенями Ag и Au при кинетической энергии пучка $3,33 \text{ ГэВ/нуклон}^{/22/}$. С учетом полученных ранее результатов для выходов фрагментов с $A = 1 \div 4$ сделан вывод, что фрагменты с $A = 1 \div 8$ образуются благодаря сосуществованию двух механизмов: медленные фрагменты ($T < 50 \text{ МэВ}$) в основном испаряются из ядра-остатка, а быстрые возникают в результате слипания вторичных нуклонов, испускаемых движущимся источником. Качественной разницы между процессами формирования легчайших фрагментов ($A = 1 \div 4$) и фрагментов средних масс ($A = 6 \div 8$) не наблюдается.

Продолжалось исследование Δ -изобарных возбуждений ядерной материи в реакции ($^3\text{He}, t$) перезарядки. С помощью спектрометра "Альфа-3С" получены новые данные по инвариантным дифференциальным сечениям реакции ($^3\text{He}, t$) Δ^{++} при импульсе $18,3 \text{ ГэВ/с}^{/23/}$.

Анализ дифференциальных сечений реакции $p(^3\text{He}, t)$ при импульсе от $4,4$ до $10,8 \text{ ГэВ/с}$, измеренных в зависимости от переданной энергии $Q = E_{^3\text{He}} - E_t$ с точностью до абсолютной нормировки $8 \div 13\%$, показывает, что реакция на протонах идет практически полностью через возбуждение Δ -изобар в мишени. В окрестности $Q \sim 300 \text{ МэВ}$ наблюдается хорошо выраженный пик, форма которого описывается Δ -резонансной линией, искаженной фактором гелия-3. Брейт-вигнеровские параметры пика — положение $\omega_0 = (1234 \pm 3) \text{ МэВ}$ и ширина $\Gamma_0 = (116 \pm 7) \text{ МэВ}$ — соответствуют известным значениям, определяемым при описании спектров эффективных масс πN -системы в области Δ -резонансного пика. При достаточно больших импульсах (выше 9 ГэВ/с), когда кинематически возможно рождение более тяжелых изобар с изотопическим спином $3/2$, они также дают вклад в сечение реакции $p(^3\text{He}, t)$ в области $Q > 500 \text{ МэВ}$. Оцененный без учета возможного нерезонансного фона, этот вклад составляет $\sim 30 \div 35\%$ по отношению к интегральному сечению реакции $p(^3\text{He}, t)$ с вылетом тритона "вперед" при импульсе ядра гелия-3 $p = 18,3 \text{ ГэВ/с}$.

8. Проанализированы неспектаторные события безмезонного развала дейтрона при

импульсе $3,3 \text{ ГэВ/с}$, полученные на 1 м жидководородной пузырьковой камере^{/24/}. Проведены расчеты, учитывающие диаграммы однопионного обмена с поглощением виртуального π -мезона дейтроном. Показано, что наблюдаемый в спектре эффективных масс двух протонов пик при $M_{pp} = 2010 \text{ МэВ/с}^2$ может быть объяснен только при наличии особенности в поведении внеэнергетической амплитуды реакции $\pi^+ d \rightarrow pp$ вблизи порога, а пик при $M_{pp} = 2160 \text{ МэВ/с}^2$ обусловлен, в основном, образованием Δ -изобары в промежуточном состоянии при поглощении π -мезона дейтроном.

Сотрудничеством, работающим на 1 м жидководородной камере, по результатам изучения реакций $^4\text{He} p \rightarrow ddp$ и $^4\text{He} p \rightarrow dppp$ при импульсе налетающей альфа-частицы $8,6 \text{ ГэВ/с}$ и $13,5 \text{ ГэВ/с}$ сделан вывод, согласно которому быстрые дейтроны образуются в результате взаимодействия в конечном состоянии нейтрона и протона "отдачи" в процессе двукратного рассеяния лидирующего протона^{/25/}.

9. Выполнен ряд работ по развитию и использованию метода корреляций тождественных частиц. Проанализирована зависимость парных корреляций нуклонов с близкими импульсами от формы короткодействующего потенциала взаимодействия в конечном состоянии^{/26/}, а также при различных предположениях о пространственно-временных размерах и форме области генерации (сферически-симметричное и сферически-несимметричное гауссово распределение, равномерное распределение по объему шара и сферической поверхности, в рамках модели "коррелированной" трубки)^{/27/}. В экспериментальных работах на материалах $\pi^- \text{Xe}$ -взаимодействий при импульсе $3,5 \text{ ГэВ/с}$ впервые получены данные о размерах области испускания π^0 -мезонов ($r = (1,2 \pm 0,3) \text{ фм}$)^{/28/}, детально исследовались pp -корреляции^{/29,30/}.

10. Продолжались исследования взаимодействий пион — ксенон. Изучалась эмиссия нуклонов^{/31/}, предложен способ определения плотности ядерной материи с использованием адронов в качестве пробных частиц и получены данные по распределению материи в ядре ксенона^{/32/}.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПУЧКАХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНОВ

В 1986 г. был проведен третий сеанс работы физических установок на пучках релятивистских поляризованных дейтронов синхрофазотрона, частично завершена обработка полученного ранее материала. Первые результаты исследований доложены на Международном симпозиуме по спиновым явлениям в физике высоких энергий (Протвино, 22-27 сентября 1986 г.).

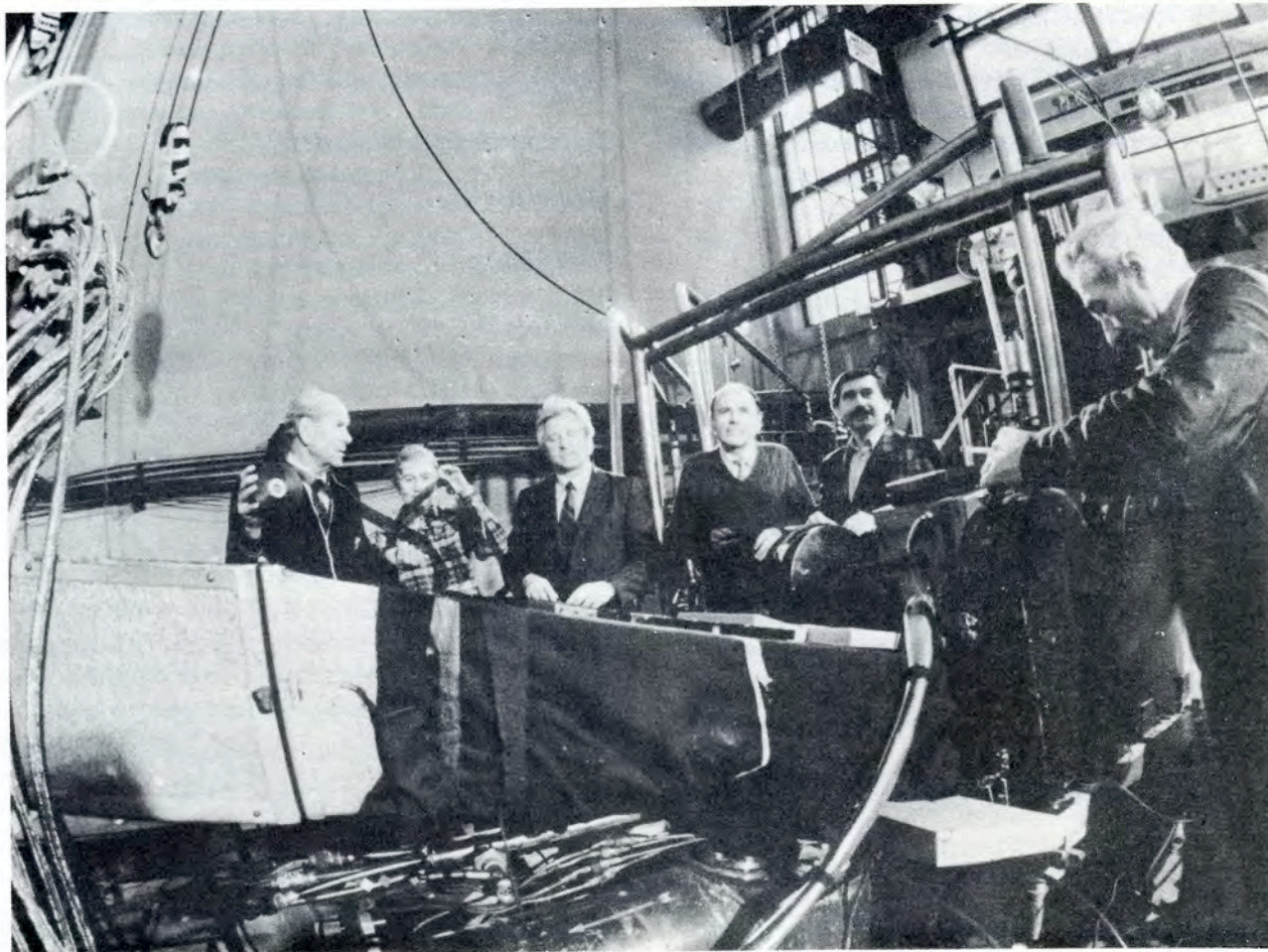
1. На спектрометре ядер отдачи измерена векторная поляризация дейтронов с положительным и отрицательным значением величины P_z . При импульсе $p_d = 2,8$ ГэВ/с, где известна анализирующая способность реакции упругого $d\text{-}p$ -рассеяния, получено $P_z = 0,50 \pm 0,05$.

Впервые измерена векторная анализирующая способность реакций упругого рассеяния и дифракционной диссоциации $d\text{-}p$, $dd \rightarrow dd$, $dd \rightarrow dx$ и $d\text{-}p \rightarrow dx$ в интерва-

ле импульсов $P_{d\uparrow} = 2 \div 11$ ГэВ/с. Для упругого $d\text{-}p$ -рассеяния получена зависимость анализирующей способности от импульса налетающего дейтрона $A(p) \sim p^{-(1,04 \pm 0,18)}$. В $\uparrow dd$ -взаимодействии анализирующая способность по своей величине близка к $\uparrow d\text{-}p$ -реакции, как для упругого канала, так и канала с развалом налетающего дейтрона.

2. На основе снимков с однометровой жидководородной камеры проведены отбор и измерение более 10 тыс. событий, соответствующих реакциям $\uparrow d\text{-}p \rightarrow p\text{-}rx$ и $\uparrow d\text{-}p \rightarrow d\text{-}p$. Из анализа азимутальных распределений протонов процесса $d\text{-}p \rightarrow p\text{-}pn$ сделана оценка векторной поляризации дейтронов $P_z = 0,50 \pm 0,12$. Этот результат свидетельствует об отсутствии заметной деполаризации в процессах ускорения и быстрого вывода.

Участники рабочего совещания по экспериментам на однометровой водородной камере знакомятся с первыми снимками, сделанными в пучке поляризованных дейтронов.



3. С помощью установки "Альфа-3С" получены данные о величине тензорной поляризации (P_{zz}) дейтронов в двух постановках эксперимента:

а) Измеренная в упругом $\uparrow dp$ -рассеянии (180° в с.ц.м.) при импульсе 3 ГэВ/с величина тензорной поляризации оказалась равной $P_{zz} = -(0,45 \div 0,58) \pm 0,13$.

б) В реакции фрагментации $d \rightarrow p$ под 0° при импульсе 9 ГэВ/с с использованием

участка пика фрагментации, соответствующего внутренним импульсам нуклонов в дейтроне $|k| \leq 150$ МэВ/с, для которого анализирующая способность $d \rightarrow p$ процесса вычисляется, величина тензорной поляризации составила $P_{zz} = -0,31 \pm 0,07$.

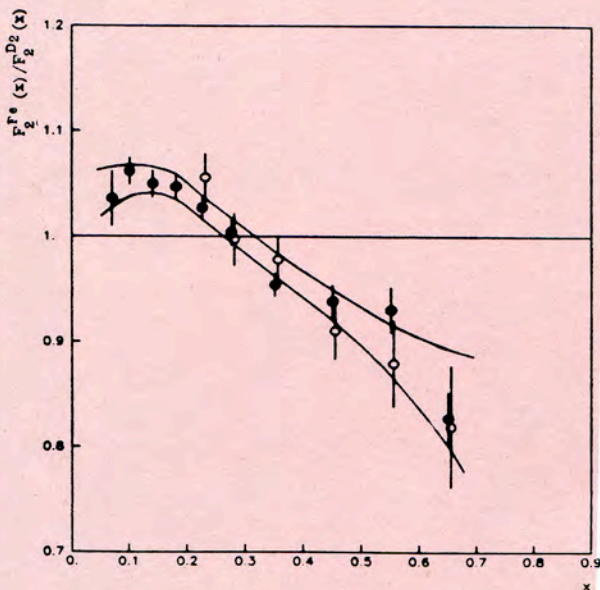
Впервые изучена зависимость величины тензорной анализирующей способности реакции $d \rightarrow p$ фрагментации под 0° от k в области $|k| \leq 250$ МэВ/с.

ЭКСПЕРИМЕНТ НА-4

В совместном ОИЯИ — ЦЕРН эксперименте на основе данных по исследованию глубоконеупругого рассеяния мюонов на ядрах получен ряд новых результатов.

1. Измерено отношение $R(x)$ структурных функций нуклонов на ядрах железа и дейтерия в кинематической области $0,06 < x < 0,7$, $14 < Q^2 < 70$ ГэВ². Благодаря использованию экспериментальной методики, создающей оптимальные условия для относительных измерений, а также процедуре анализа, проверенной на многочисленных калибровках экспериментальной установки, величина систематических погрешностей в отношении $R(x)$ не превышает 2%. Такой низкий уровень систематической ошибки достигнут впервые в экспериментах этого

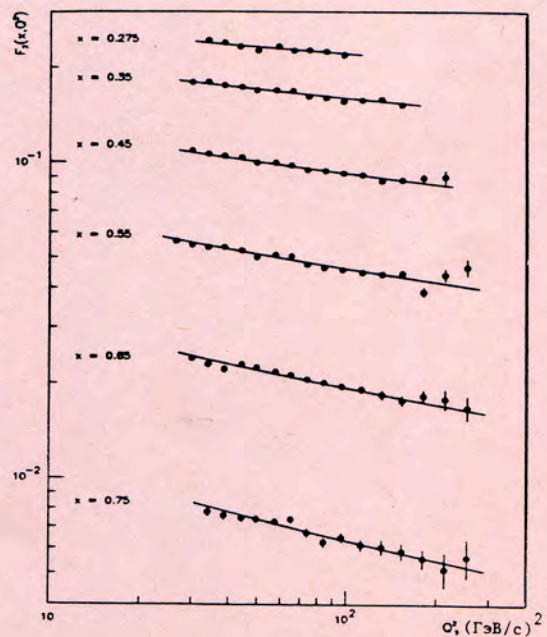
Рис. 5. Отношение структурных функций нуклонов на ядрах железа и дейтерия, полученное в эксперименте НА-4 (новые результаты показаны закрытыми точками).



типа. Существенно снижена также и статистическая ошибка. Полученные результаты (рис. 5) хорошо согласуются с ранее опубликованными данными НА-4 и других экспериментов в области $x > 0,3$. При меньших x отношение $R(x)$ имеет форму плато или широкого максимума на уровне 1,05, что существенно отличается от результата, полученного в первом эксперименте коллаборации EMC^{/33/}.

2. Получены новые предварительные данные о структурных функциях нуклонов из измерений на ядрах углерода (рис. 6) и структурных функциях протонов со статистикой, превышающей всю мировую в несколько раз^{/34/}.

Рис. 6. Результаты измерения структурной функции $F_2(x, Q^2)$ из экспериментов по глубоконеупругому рассеянию на углероде.



3. Совместно с сотрудниками ЛТФ ОИЯИ обоснован и исследован новый метод анализа структурных функций нуклонов в рамках КХД с помощью их разложения в ряд по полиномам Якоби. Метод позволит получить наиболее точное значение параметра Λ . Предварительный результат для углеродных дан-

ных NA-4: $\Lambda = (225 \pm 20_{\text{стат.}} \pm 60_{\text{сист.}}) \text{ МэВ}$.

4. С учетом новых требований эксперимента NA-4 по точности пересмотра процедура учета радиационных поправок. Учтены все поправки, дающие вклад в сечение больше одного процента.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА, СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1. В рамках совместного ОИЯИ—ЦЕРН эксперимента ДЕЛФИ на комплексе встречных пучков ЛЭП (ЦЕРН) специалисты лаборатории участвовали в производстве, испытаниях и монтаже детекторов адронного калориметра.

Введена в действие ЭВМ СМ-4 на линии с прототипом адронного калориметра ДЕЛФИ, расположенным в корпусе 1Б на пучке синхрофазотрона. Проведено два сеанса работы на ускорителе, подобран наиболее надежный режим работы детекторов адронного калориметра, выработаны рекомендации на параметры адекватной считывающей электроники. Велась подготовка к испытаниям полномасштабного прототипа модуля адронного калориметра ДЕЛФИ на пучке синхрофазотрона. Выполнен большой объем

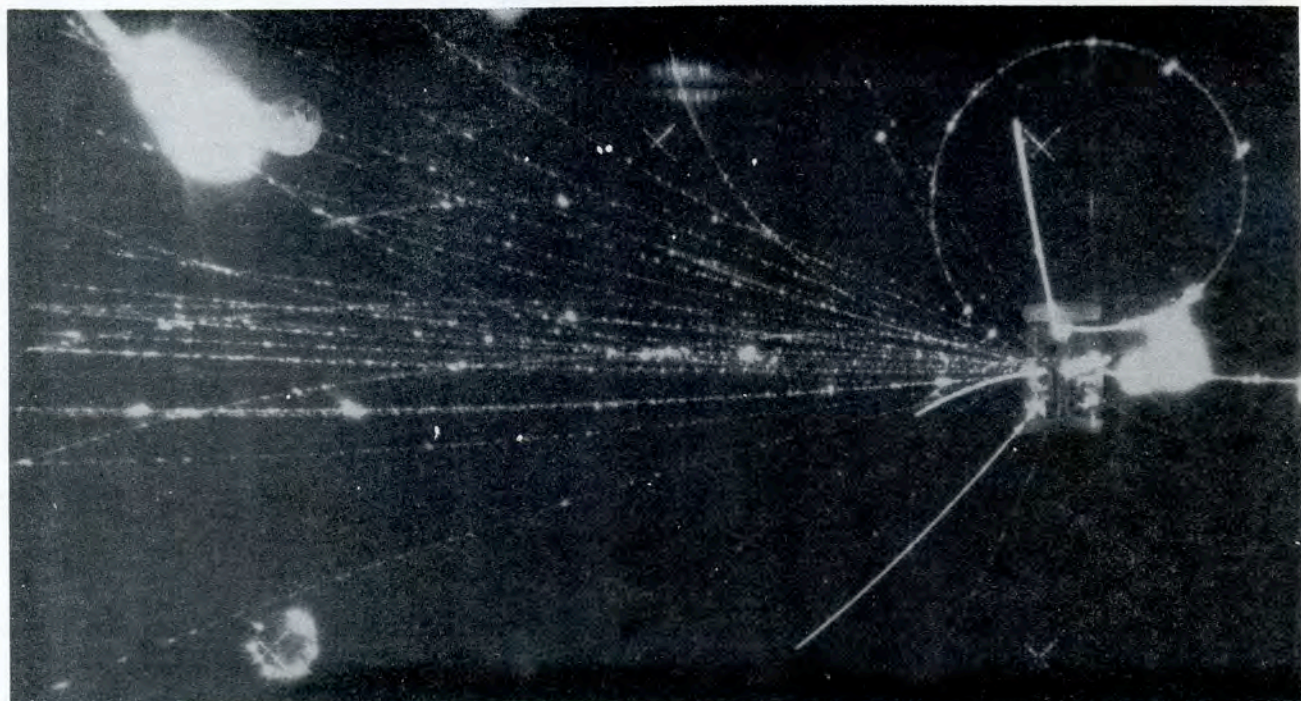
работ по созданию и адаптации программ моделирования и анализа данных. Проводятся работы по созданию интерактивной графической станции. Прорабатывалась программа физических исследований на установке ДЕЛФИ.

2. Проведена предварительная проработка трековой части универсального калориметрического детектора УКД для экспериментов на встречных пучках УНК ИФВЭ с учетом возможности ее изготовления в лаборатории. Проработан первоначальный вариант регистрирующей электроники.

Подготовлен проект предложения экспериментов на встречных пучках УНК.

3. По проекту "Меченые нейтрино" изготовлены и испытаны 80 обмоток магнитов мюонного спектрометра и мюонной защиты.

Рис. 7. Взаимодействие $Mg + Mg$ при импульсе налетающего ядра 4,5 ГэВ/с с образованием нейтральной вилки, зарегистрированное на установке ГИБС.



Завершены работы по конструированию безжелезного магнита станции мечения, по проектированию фермы и модулей адронного калориметра. Создан опытный образец модуля координатной плоскости.

4. Продолжались работы по системе накопления атомарного поляризованного водорода с целью создания струйной мишени для установки "Парус". Совершенствовались узлы криостата откачки ^3He и рефрижератора растворения ^3He в ^4He .

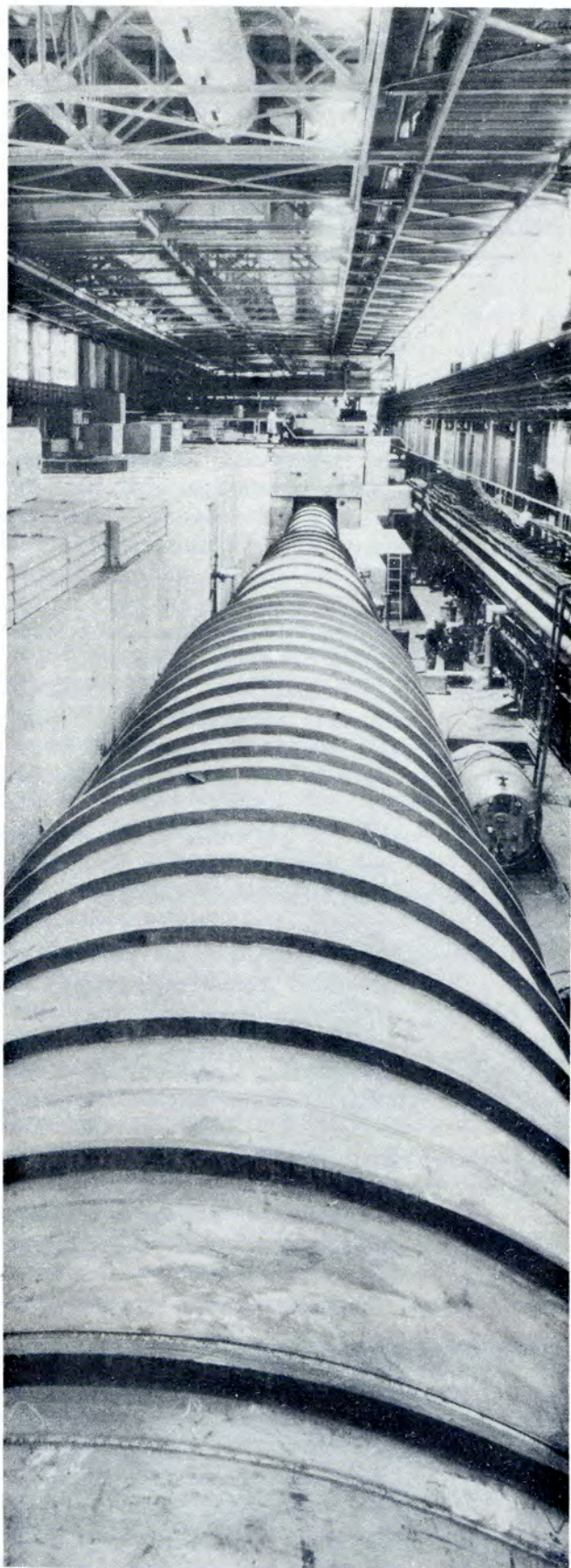
5. Создана и исследована система идентификации заряженных адронов с помощью двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков (МПГЧС-1 и МПГЧС-2 на спектрометре БИС-2), позволяющая выделить процессы с участием заряженных каонов и более чем в два раза понизить уровень фона в процессах, содержащих нейтральные вилки. Описан ряд других систем и методик, применявшихся на спектрометре БИС-2, в частности, программируемые трековые процессоры для отбора событий $^{36}/$, система запуска спектрометра $^{37}/$, а также методика восстановления энергетических спектров нейтронов по калориметрическим измерениям на канале нейтральных частиц серпуховского ускорителя $^{38}/$.

6. Изготовлено около 200 сцинтилляторов размером $5 \times 40 \times 1000 \text{ мм}^3$ для годоскопов установки "Сфера". Испытаны на пучке синхрофазотрона счетчики сцинтилляционных годоскопов с сцинтилляторами размерами $5 \times 40 \times 1000 \text{ мм}^3$ и $5 \times 40 \times 2000 \text{ мм}^3$, изготовленными методом экструдирования. Собран сцинтилляционный годоскоп размером $1 \times 1 \text{ м}^2$. Изготовлен ряд деталей сверхпроводящего магнита, проведены криогенные испытания.

7. На установке ГИБС проведены работы по улучшению однородности стримерных следов, улучшен высоковольтный генератор наносекундных импульсов $^{39}/$. Подготовлен опытный образец триггера, регистрирующего образование и распад легких гиперядер.

Выполнен просмотр более 10 тыс. снимков ядро-ядерных взаимодействий, измерено более 300 снимков с V^0 -событиями (рис.7).

Рассмотрены методические вопросы отбора, идентификации и анализа V^0 -событий, зарегистрированных в двухметровой пропановой пузырьковой камере при облучении ее пучком ядер углерода $^{40}/$.



В экспериментальном зале ИФВЭ (Протвино) идут работы по созданию установки "Меченые нейтрино". На снимке: распадный канал установки.

8. Выполнены исследования высокоразрешающих методов регистрации и оптической обработки следов частиц с использованием лазерного излучения. Получены фотографии макетов треков (стекловолоконные нити) на светлом и темном поле с разрешением $10 \div 20$ мкм^{/41/}. При освещении рабочего объема импульсным азотным лазером можно регистрировать в жидководородной камере пузырьки с диаметром ~ 4 мкм без потери информации о треке на глубине поля $10 \div 20$ мкм.

Предложен и исследован метод частично-когерентной голографии Фурье, позволяющий при регистрации следов частиц в пузырьковых и стримерных камерах увеличить глубину резко изображаемого на плоскость пространства до размеров рабочего объема детектора при сохранении поперечного разрешения на уровне дифракционного предела^{/42/}. Причем сравнительно просто осуществляется сопряжение со схемами оперативного просмотра и обработки изображений на стандартном оборудовании. На рис. 8 показаны восстановленные голограммы Фурье с макетами треков (стекловолоконных нитей $\varnothing 16$ мкм) при глубине резкости 25 мм.

9. На пучке π^- -мезонов с импульсом 3 ГэВ/с, содержащем 2,8% электронов, исследовалась возможность подавления фона адронов с помощью системы, состоящей из "активного конвертора" из свинцового стекла, черенковских гамма-спектрометров из свинцового стекла и одного сцинтилляционного счетчика, работающего в режиме dE/dx ^{/43/}. Постановка данной работы связана с необходимостью улучшения селективности спектрометра МАССЕР-130 при изучении электромагнитных распадов векторных мезонов. Показано, что использование системы счетчиков позволяет увеличить подавление адронов примерно в 5 раз по сравнению с подавлением только счетчиками полного поглощения. Эффективность регистрации электронов при этом $\sim 100\%$.

10. Выполнен большой объем работ по созданию установки для облучения ядерных фотоэмульсий в сильном магнитном поле (проект "Слон"). Разработан и отлажен ряд систем электроники контроля и управления работой установки, в частности модуль синхронизации, обеспечивающий получение стандартных синхроимпульсов по трем независимым каналам с задержкой до 500 мкс и шагом регулировки 50 нс^{/44/}.

11. Продолжались исследования поведения ряда материалов при низких темпера-

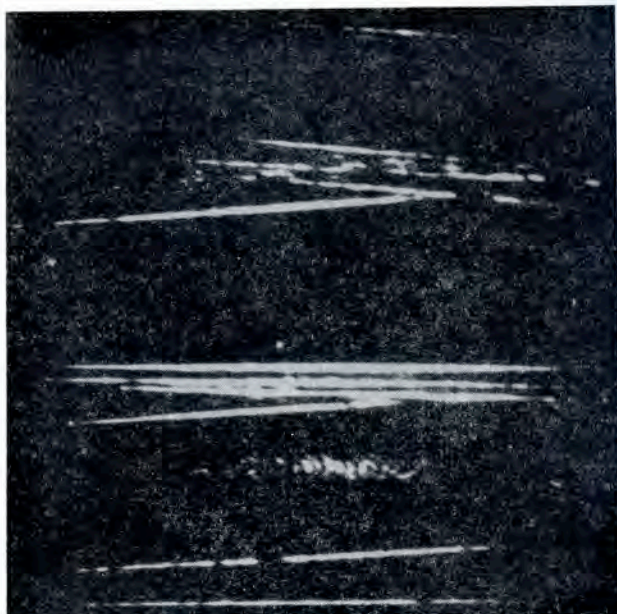


Рис. 8. Макеты следов, полученные с помощью метода частично-когерентной голографии.

турах. Измерены теплопроводность монокристаллов KH_2PO_4 , DLiTiT и TGS в области температур от 0,1 до 4 К^{/45/}, теплопроводность и диэлектрическая восприимчивость поликристаллических образцов системы $(\text{Pb}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}$ для $0 \leq x \leq 1$ ^{/46/}, на основе результатов измерений диэлектрических свойств кристаллических сегнетоэлектриков сформулирован новый феноменологический подход к описанию отклонений от теории Дебая^{/47/}.

Выполнены измерения полевой, временной и температурной зависимости остаточной намагниченности образцов из тефлона и оргстекла^{/48/}.

Магнитный момент измерялся на образцах объемом $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ см³ при $T = 4,2$ К в нулевом поле после намагничивания при $T = 293$ К в поле до 4 кЭ. Типичные значения остаточного магнитного момента составили $\sim 10^{13}$ магнетонов Бора.

С целью минимизации количества вещества стенок криогенных мишеней, применяемых в экспериментах, разработана мишень, вакуумный кожух которой выполнен из пенополистирола (пенопласт ПС-1) без дополнительного покрытия^{/41/}. Минимальные толщины ПС-1, при которых не наблюдается прямых вакуумных течей, составили 2 мм, время стабилизации уровня вакуума составило $\sim 1,5$ часа для гелия и водорода и $\sim 30 \div 35$ часов для азота при толщине стенок 3 мм.

12. Продолжались исследования превращения в атомы медленных высокозарядных

ионов при их соприкосновении с поверхностью твердого тела. Получены экспериментальные данные об энергиях и вероятностях переходов в К-серии рентгеновского излучения при соударении ионов криптон-35 и голых ядер криптона с энергией $(0,1 \div 20) / Z$ кэВ (Z — зарядность иона) с медной и алюминиевой мишенями ^{50/}. Ионы генерировались в электронно-лучевом источнике КРИОН-2, рентгеновское излучение регистрировалось под углом 90° к оси пучка ионов с помощью полупроводникового спектрометра с детектором на основе сверхчистого германия. В экспериментах использовалась автоматизированная многофункциональная система

МИКРО, выполненная в конструктиве КАМАК, обладающая высокой отказоустойчивостью ^{51/}.

13. Продолжалось совершенствование вычислительного центра лаборатории на базе ЭВМ ЕС-1040/ЕС-1055М. Расширена сеть индивидуальных терминалов, введен в действие матричный процессор. Развивалось программное обеспечение, в частности, предложен способ расширения команд оператора в операционной системе ЕС без изменения модулей оперативной системы ^{52/}.

Для спектрометров "Сфера" и ДЕЛФИ разрабатывалась электронная аппаратура в стандартах ФАСТБАС и VME.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

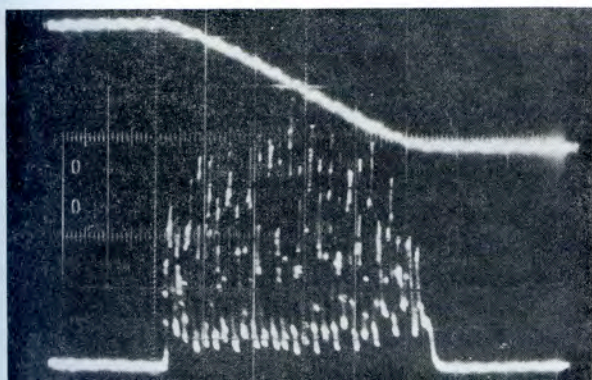
1. Выполнен ряд работ по совершенствованию синхрофазотрона как ускорителя релятивистских и поляризованных ядер. Достигнуто существенное улучшение временной структуры выведенных пучков протонов и ядер посредством подавления микробанчировки, обусловленной частотой ускоряющего напряжения, и уменьшения низкочастотных модуляций ^{53/}. Пульсации в магнитном поле уменьшены совместным действием схем асинхронного управления вентильным преобразователем (\sim в 5 раз) и активного фильтра (\sim в $5 \div 8$ раз). Относительная величина пульсаций в магнитном поле составила $\sim 10^{-6}$ на уровне 10 кГс. Обратная связь по току выводимого пучка дополнена системой стабилизации скорости развития резонанса, что позволило уменьшить модуляцию в токе пучка еще в $3 \div 4$ раза. В итоге обеспечено уменьшение мо-

дуляции в токе выведенного пучка до $30 \div 40\%$ (рис.9) и повышение скорости набора статистики физическими установками в десять и более раз.

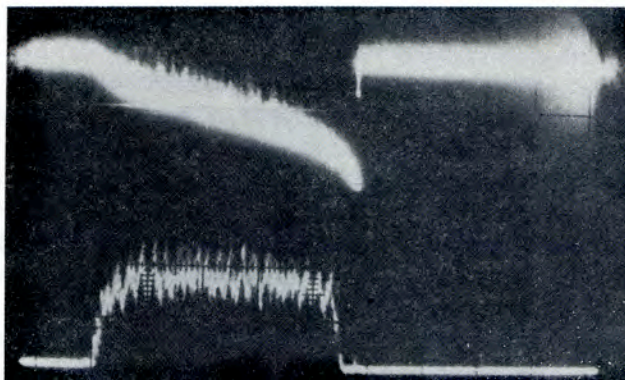
Проведены работы по дальнейшему совершенствованию источников многозарядных ионов и ядер, включая источник поляризованных дейтронов ПОЛЯРИС. На лазерном источнике ионов отлажена методика измерения температуры лазерной плазмы. Проведена модернизация электронно-лучевого источника КРИОН-2 и впервые получены водородоподобные ионы и ядра ксенона (Xe^{53+} , Xe^{54+}). Создана более совершенная система управления источником ПОЛЯРИС при работе на форинжекторе синхрофазотрона, состоящая из управляющего микропроцессора, находящегося под высоким ($\sim 500 \div 800$ кВ) потенциалом, и микроЭВМ "Электроника-60" на пульте управления. Связь между ними

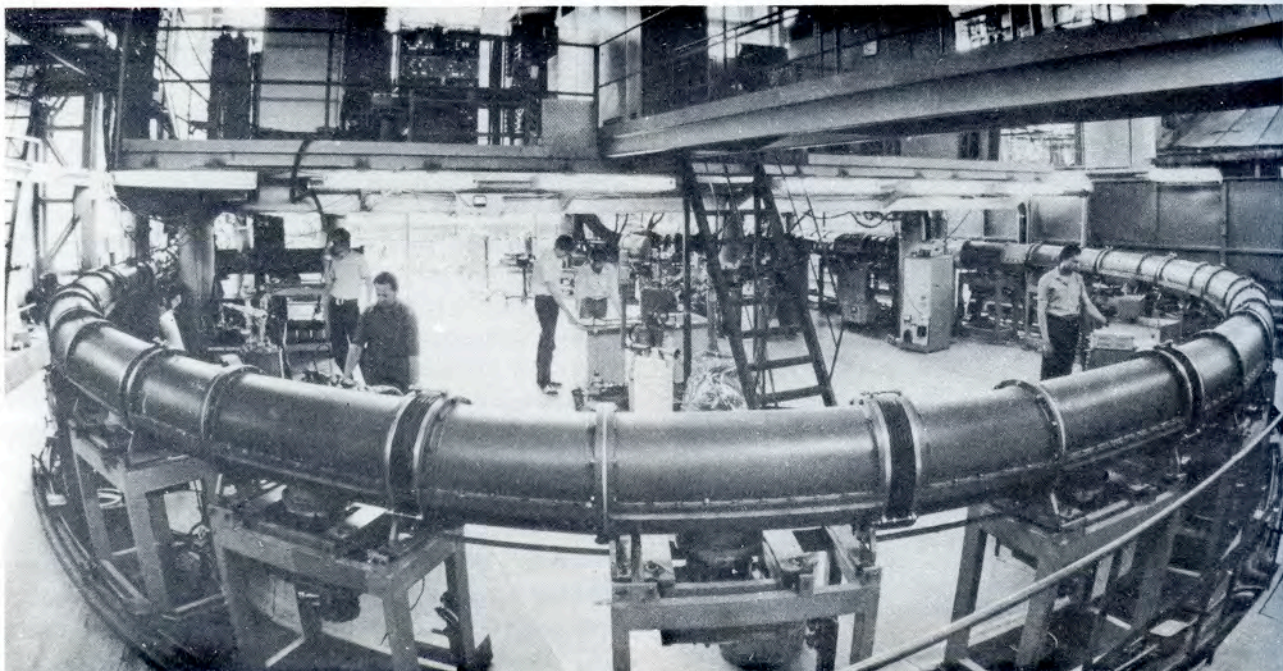
Рис. 9. Осциллограммы тока выведенного пучка: а) — до введения систем подавления пульсаций, б) — в режиме с подавлением пульсаций (нижний луч).

а



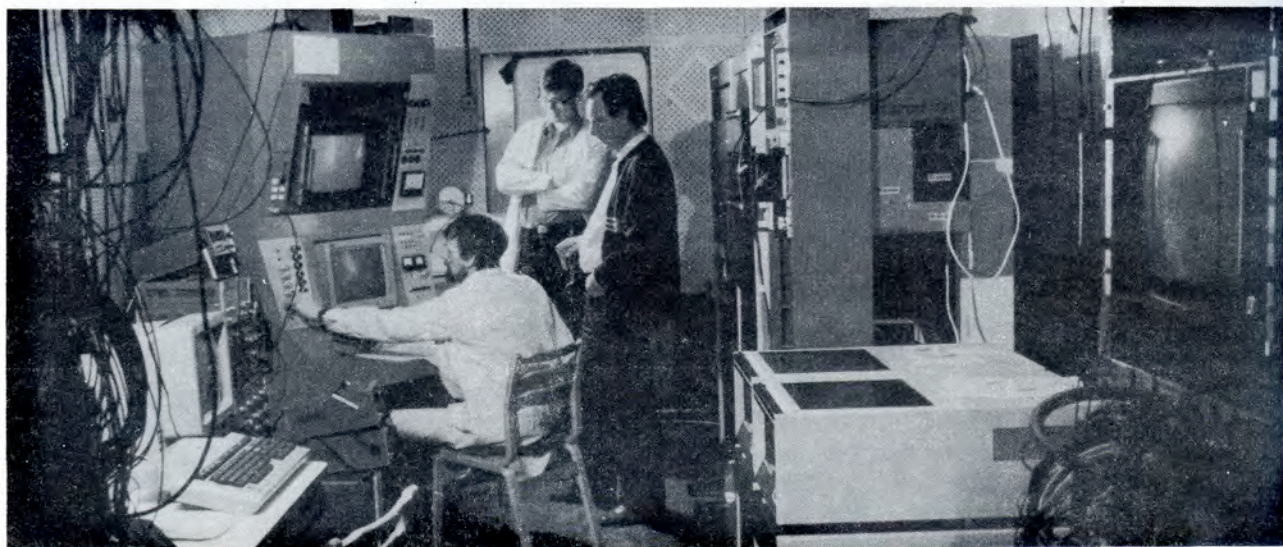
б





Модельный сверхпроводящий синхротрон СПИН.

На пульте управления СПИНа.

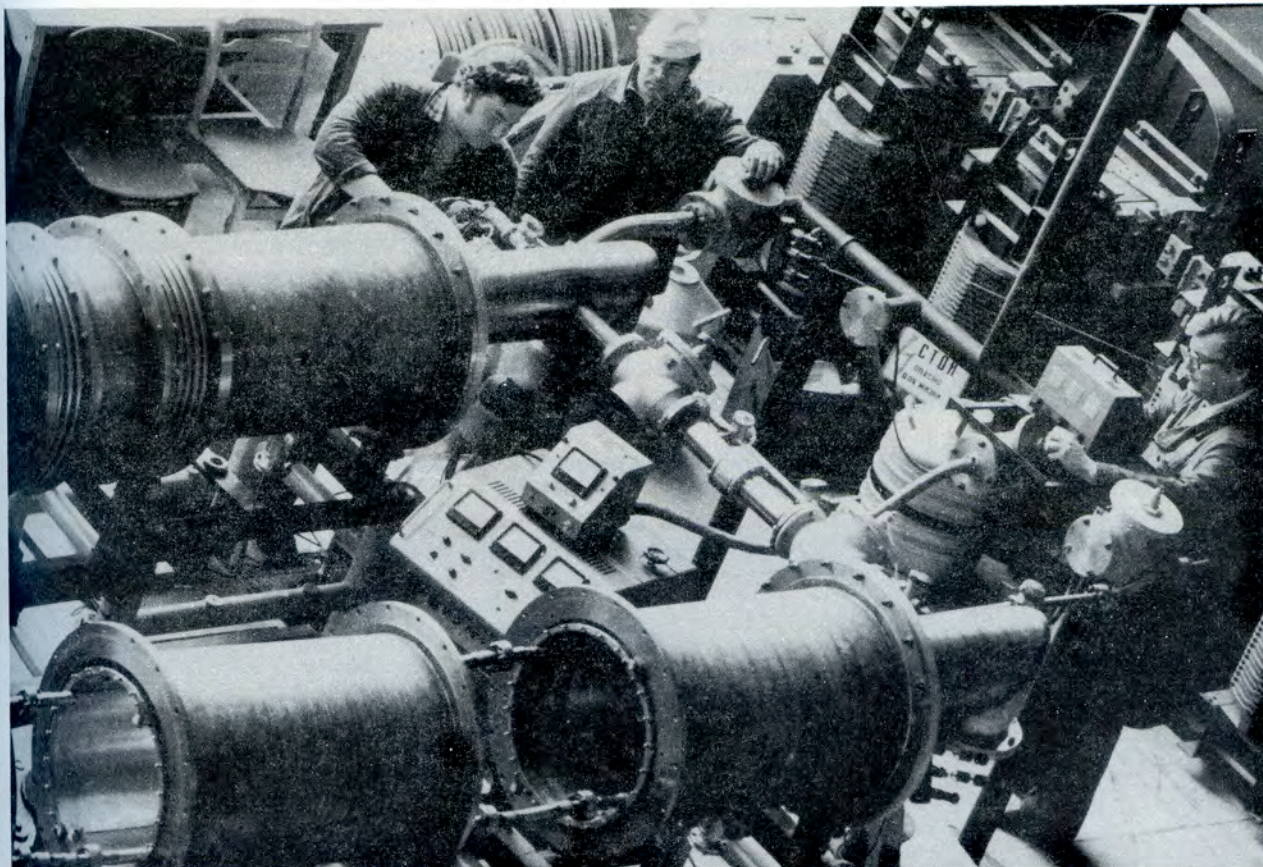


осуществляется двумя волоконно-оптическими линиями связи /54,55/.

Повышена надежность работы системы ВЧ-ускорения на второй кратности — простой из-за отказа этой системы не превысили 0,3% планового времени работы синхрофазотрона.

Расширено использование малых ЭВМ (СМ-3, СМ-4) для контроля режимов работы систем синхрофазотрона, продолжалось развитие системы автоматизированного дозиметрического контроля.

2. Проведены комплексные криогенные испытания модельного сверхпроводящего синхротрона СПИН с магнитным полем, формируемым железными сердечниками. В сентябрьском десятидневном сеансе устойчиво поддерживалось сверхпроводящее состояние магнитной системы. Проведены эксперименты по инъекции пучка протонов и получен первый оборот пучка в сверхпроводящей магнитной системе. Исследовались режимы охлаждения, заведения токов в магниты и линзы, отлаживались системы



Вакуумно-криостатные модули магнитной системы нуклотрона на испытаниях.

диагностики пучка, первичная электроника которых работает при гелиевых температурах, а также системы криогенного гелиевого оживителя КГУ-1600/4,5^{/56/}.

3. Изготовлено более 3/4 вакуумно-криостатной системы сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер — нуклотрона. Создана технологическая цепочка и начато производство дипольных магнитов. Проведены подготовительные работы для

монтажа гелиевых оживителей и др. оборудования, существенные работы проведены по подготовке туннеля для размещения магнитной системы ускорителя. Выполнен ряд расчетно-теоретических работ, в частности, по оценке допустимых интенсивностей пучков при настройке сверхпроводящих ускорителей релятивистских ядер^{/57/} и по системе медленного вывода пучка из камеры нуклотрона^{/58/}.

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Исследованы возможности использования многоступенчатой лавинной камеры (МСЛК) для анализа распределения радиоактивности ^{32}P — меченых олигонуклеотидов^{/59/}. Ранее было показано, что использование МСЛК позволяет резко уменьшить количество образца и/или радиоактивность при анализе соединений, меченных ^{125}I , а также существенно сократить при этом время анализа.

Используемая в данной работе измерительная система состояла из МСЛК, сопряженной с мини-ЭВМ СМ-4 посредством блоков электроники в стандарте КАМАК. Программное обеспечение позволяло производить анализ препарата и обработку полученной информации в диалоговом режиме.

Пространственное разрешение системы определялось при помощи искусственно сформированных зон ^{32}P круглой формы

диаметром 1 мм. При детектировании получено разрешение $\sim 2,5 \div 3,5$ мм (FWHM).

Измерительная система надежно обнаруживала наличие радиоактивности на уровне $10 \div 20$ пК·см⁻². В результате испытаний, выполненных совместно со специалистами Института биоорганической химии АН СССР и Института молекулярной биологии АН СССР, показано, что система на основе МСЛК позволяет более чем в сто раз сократить время анализа и на 2÷3 порядка уменьшить количество исследуемого вещества по сравнению с традиционно используемой

радиоавтографией. В настоящее время разработанная измерительная система успешно используется в работах по исследованию структуры и функционирования рибосом, определению первичной структуры олигонуклеотидов.

Совместно с ЦИМЭТ (Йена, ГДР) создан и испытан одномерный сканирующий радиохроматограф. Велась разработка и ряда других приборов на основе многопроволочных координатных детекторов для решения задач в области биотехнологии, молекулярной биологии и медицинской диагностики.

Двумерный радиохроматограф РД-1 в Институте молекулярной генетики АН СССР.



ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

Синхрофазотрон отработал в 1986 г. 4100 часов, из которых 3381 час использован для проведения физических экспериментов и 512 часов — для работ по совершенствованию систем ускорителя. Коэффициент одновременности работы физических установок на пучках протонов и дейтронов составил 4,3. В результате отладки режимов

работы инжектора — линейного ускорителя ЛУ-20 достигнуто увеличение интенсивности ускоренных пучков ядер углерода (до $2 \cdot 10^9$ ядер/цикл) и лития-7 (до $4 \cdot 10^9$ ядер/цикл).

Пучки ускорителя использовались 20 группами экспериментаторов (ОИЯИ, ИЯИ (Троицк), ИАЭ (Москва), МГУ и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алеев А.Н. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 19-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.16.
2. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, Д1-86-422, Дубна, 1986.
3. Алеев А.Н. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 19-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.6.
Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, Д1-86-550, Дубна, 1986.
4. Шахбазян Б.А. и др. ОИЯИ, Р1-86-626, Дубна, 1986.
5. Троян Ю.А. ОИЯИ, Р1-86-35, Дубна, 1986.
6. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, Р1-86-839, Дубна, 1986.
7. Балдин А.М., Балдин А.А. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 17-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.19.
8. Балдин А.М. и др. — В сб.: Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, Д1,2-86-668, т.1. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.302.
9. Бондарев В.К. и др. — В сб.: Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, Д1,2-86-668, т.1. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.243.
10. Ставинский В.С. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 18-86, Дубна: ОИЯИ, 1986, с.5.
11. Копылова Д.К. и др. ОИЯИ, Р1-86-109, Дубна, 1986.
12. Баатар Ц. и др. ОИЯИ, Р1-86-721, Дубна, 1986.
13. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, Р1-86-639, Дубна, 1986.
14. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, Р1-86-263, Дубна, 1986.
15. Андреева Н.П. и др. ОИЯИ, Р1-86-8, Дубна, 1986.
16. Краснов С.А. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 16-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.11.
17. Шабратова Г.С. и др. ОИЯИ, Р1-86-303, Дубна, 1986.
18. Лескин В.А., Толстов К.Д. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 17-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.5.
19. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, Р1-86-117, Дубна, 1986.
20. Гулканян Г.Р. и др. ОИЯИ, Р1-86-640, Дубна, 1986.
21. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, Р1-86-733, Дубна, 1986.
22. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, Р1-86-664, Дубна, 1986.
23. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, Р1-84-435, Дубна, 1986.
24. Dolidze M.G. et al. JINR, E1-86-58, Dubna, 1986.
25. Glagolev V.V. et al. JINR, E1-86-78, Dubna, 1986.
26. Гмитро М. и др. ОИЯИ, Р2-86-252, Дубна, 1986.
27. Аллабердин М.Л. и др. ОИЯИ, Р2-86-731, Дубна, 1986.
28. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, Р1-86-585, Дубна, 1986.
29. Bartke J. et al. JINR, E1-86-332, Dubna, 1986.
30. Павляк Т. и др. ОИЯИ, Р1-86-238, Дубна, 1986.
31. Strugalski Z. JINR, E1-86-579, Dubna, 1986.
32. Strugalski Z. et al. JINR, E1-86-642, Dubna, 1986.
33. Benvenuti A.C. et al. JINR, E1-86-591, Dubna, 1986.
34. Benvenuti A.C. et al. JINR, E1-86-650, Dubna, 1986.
35. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, Р1-86-248, Дубна, 1986.
36. Арефьев В.А. и др. ОИЯИ, 13-86-738, Дубна, 1986.
37. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, Р1-86-427, Дубна, 1986.
38. Баландин В.П. и др. ОИЯИ, Р7-86-403, Дубна, 1986.
39. Аксиненко В.Д. и др. ОИЯИ, 13-86-149, Дубна, 1986.
40. Йовчев К.Й., Кладницкая Е.Н. ОИЯИ, Р1-86-166, Дубна, 1986.
41. Иванов И. и др. ОИЯИ, Р1-86-185, Дубна, 1986.
42. Быковский Ю.А. и др. ОИЯИ, Р1-86-669, Дубна, 1986.
43. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, Р1-86-254, Дубна, 1986.
44. Буриев Н.Т. и др. ОИЯИ, Р13-86-422, Дубна, 1986.
45. Fischer E. JINR, E8-86-213, Dubna, 1986.
46. Fischer E. JINR, E8-86-236, Dubna, 1986.
47. Fischer E. JINR, E8-86-241, Dubna, 1986.
48. Владимирова Н.М. и др. ОИЯИ, 14-86-690, Дубна, 1986.
49. Голованов Л.Б. и др. ОИЯИ, 8-86-580, Дубна, 1986.
50. Донец Е.Д. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 20-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.27.
51. Дудников В.Г. ОИЯИ, Р10-86-751, Дубна, 1986.
52. Трофимов В.В., Штрайт Э. ОИЯИ, Р10-86-49, Дубна, 1986.
53. Глущенко В.Г. и др. ОИЯИ, 9-86-437, Дубна, 1986.
54. Романов Ю.И., Турзо И. ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
55. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-86-566, Дубна, 1986.
56. Романов А.Б. и др. ОИЯИ, 8-86-711, Дубна, 1986.
57. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, 9-86-4, Дубна, 1986.
58. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 9-86-511, Дубна, 1986.