

ДУБНА · 1983

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1983 · DUBNA

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Усилия коллектива сотрудников Лаборатории высоких энергий были направлены на проведение научных исследований в актуальных областях физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физики. При изучении процессов множественного образования частиц проверялись следствия, вытекающие из кварковых моделей, уточнялись механизмы образования частиц, велись поиски новых систем частиц и изучение их свойств. В области релятивистской ядерной физики проведено выяснение закономерностей кумулятивного образования частиц и легких фрагментов ядер, а также отдельных свойств ядро-ядерных взаимодействий.

Проведены работы по дальнейшей автоматизации базовых и физических установок лаборатории.

Усовершенствован ряд систем синхротрона по программе превращения его в ускоритель релятивистских и поляризованных ядер. Проводились подготовительные и исследовательские работы по созданию модели сверхпроводящего синхротрона.

Деятельность Лаборатории высоких энергий осуществлялась в условиях широкого международного сотрудничества.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

В соответствии с предсказаниями кварковых моделей проведены поиски дибарионных состояний с узкой шириной. С помощью пузырьковой камеры в пр-и (${}^4\text{He}+\text{p}$)-взаимодействиях при высоких энергиях на синхротроне найдены указания на 4 узких дибарионных состояния в системе протон-протон с массами 1936 ± 2 , 1962 ± 2 , 2035 ± 15

и 2137 ± 15 МэВ. Их положение относительно порога рождения и достаточно малая ширина (около 10 МэВ для первых двух и 30-50 МэВ для вторых двух) свидетельствуют в пользу шестикварковой структуры обнаруженных состояний/1/.

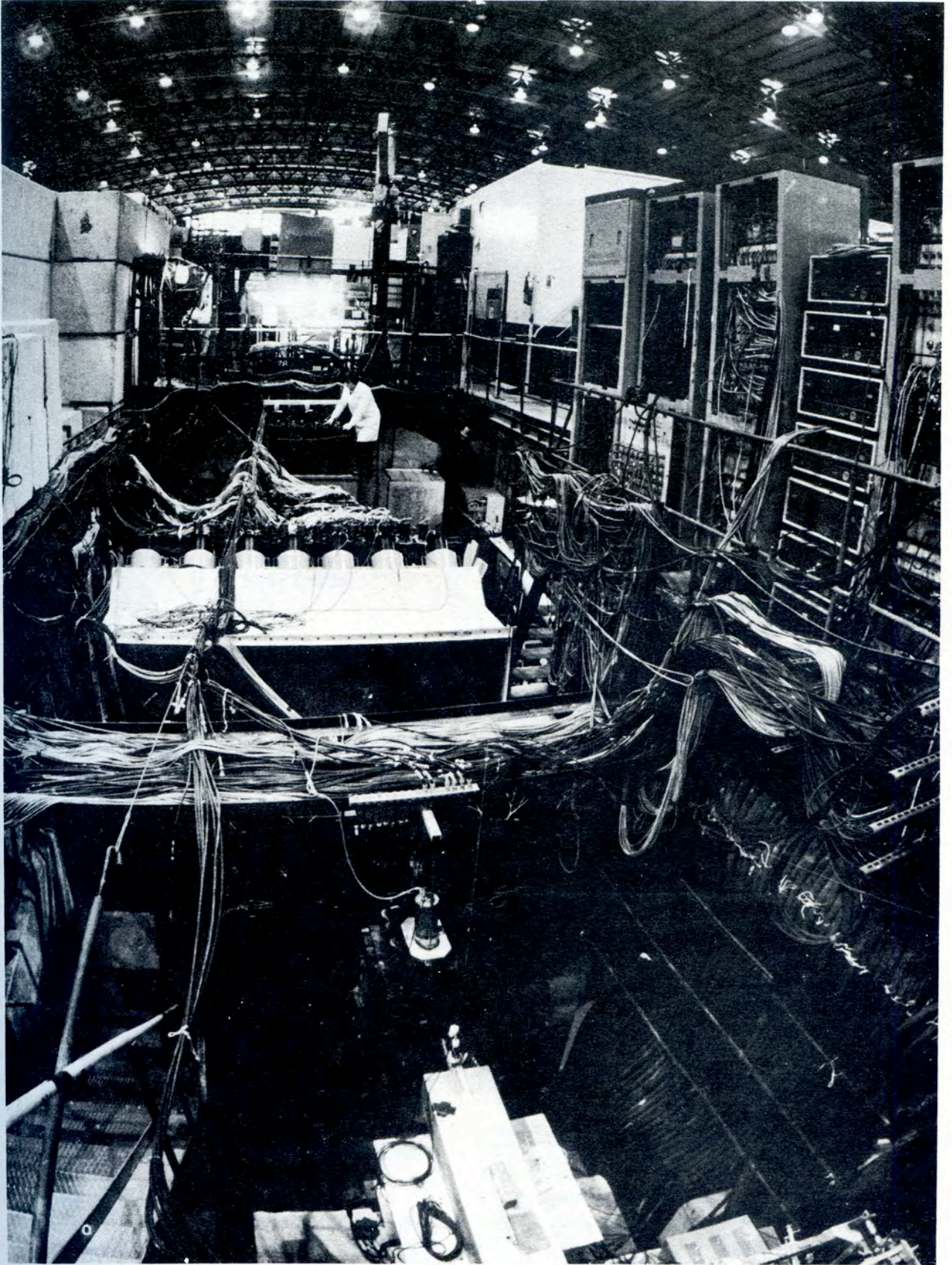
Для обнаруженного ранее очарованного узкого бариона Λ_c^+ по модам его распада на ($\bar{K}_S^0\pi^+\pi^-$) и ($\Lambda^0\pi^+\pi^+\pi^-$) уточнена величина массы $M = 2266\pm 4$ МэВ. Произведение сечения рождения на вероятность распада при $x_F > 0,5$ равны для моды $\bar{K}_S^0\pi^+\pi^-$ $\sigma = 6,2\pm 1,3$ мкб, для моды $\Lambda^0\pi^+\pi^+\pi^-$ $\sigma = 2,0\pm 0,6$ мкб на ядро углерода при энергии пучковых нейтронов около 58 ГэВ/2/.

При увеличении статистики во взаимодействии нейтронов с ядром углерода при средней энергии 40 ГэВ уточнены данные о свойствах узкого барионного резонанса N_ϕ . Его масса $M=1956 + 8$ МэВ и ширина $\Gamma = 14\pm 12$ МэВ. Найдено, что N_ϕ образуется в процессе дифракционной диссоциации нейтронов на ядре углерода. Произведение сечения рождения на вероятность распада $N_\phi \rightarrow \Sigma^-(1385)+K^+$ оценена равной $0,22\pm 0,04$ мкб/нукл. Спин-четность N_ϕ удовлетворяет значению из набора $5/2^+$, $7/2^-$ и т.д./3/.

С учетом новой дополнительной информации на основе анализа 1 млн событий уточнен вклад состояния шестикварковой компоненты в дейтроне в реакции рассеяния дейтрона на водороде при импульсе 4,45 ГэВ/с/нуклон. При обработке данных получено: доля б q -состояния $10\pm 1\%$, радиус б q -состояния $0,93\pm 0,02$ фм/4/.

На экспериментальном материале, полученном с помощью двухметровой пропановой камеры, в пучке π^- -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с исследованы пространственные размеры области излучения вторичных отрицательных пионов,

Продолжалось исследование характеристик очарованного бариона Λ_c^+ , обнаруженного ранее с помощью установки БИС-2. Спектрометр БИС-2 на пучке ускорителя ИФВЭ (Протвино).



струйные характеристики S (сферичность) и T (вытянутость) от γ -фактора. Оказалось, что экстремальные значения S (максимум) и T (минимум) наблюдаются не в с.ц.и. π^-p -взаимодействий, а в "кварковой" системе отсчета при уравнивании: $\vec{P}_p = -\frac{3}{2}\vec{P}_{\pi^-}$, т.е. при $\gamma = 1,02$. Уменьшение среднего размера области излучения от $2,2 \pm 0,4$ Фм (с.ц.и. в обычной системе π^-p) до $1,3 \pm 0,3$ Фм (с.ц.и. в системе π^-p по главным осям струи в событии) связано с проявлением динамики в процессах множественного образования. При малой множественности образования частиц ($n \leq 4$) события интерпретируются как взаимодействие обоих кварков пиона с одним кварком протона, при средней множественности ($n = 6,8$) – как однокварковые взаимодействия пиона с протоном, при большой множественности ($n > 10$) – как многокварковые взаимодействия адронов/5/.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1. Проведен анализ и обобщены результаты исследования кумулятивного образования адронов и легких ядер в столкновениях протонов и дейтронов с импульсом 8,9 ГэВ/с с ядрами Al, Cu, Pb и др. с помощью установки ДИСК-2 на синхрофазотроне.

Обнаружено, что образование p , d , t , ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ с большими энергиями не подтверждает эмпирическую гипотезу "ядерного скейлинга" при сравнении результатов взаимодействия протонов с энергиями 9 и 400 ГэВ с тяжелыми ядрами. Однако зависимость инклюзивного сечения рождения ядерных фрагментов от переменной $(X-B)$ (X – кумулятивное число, B – барионное число) имеет масштабно-инвариантный характер (рис.1), и этот факт свидетельствует о пропорциональности сечений величине кварк-партоновой структурной функции ядра. Для параметра наклона зависимости инвариантных сечений ядерных фрагментов от величины $(X-B)$ найдено значение $\langle X \rangle = 0,14 \pm 0,15$.

Установлены универсальные свойства структурных функций ядер как независимых объектов в широкой области

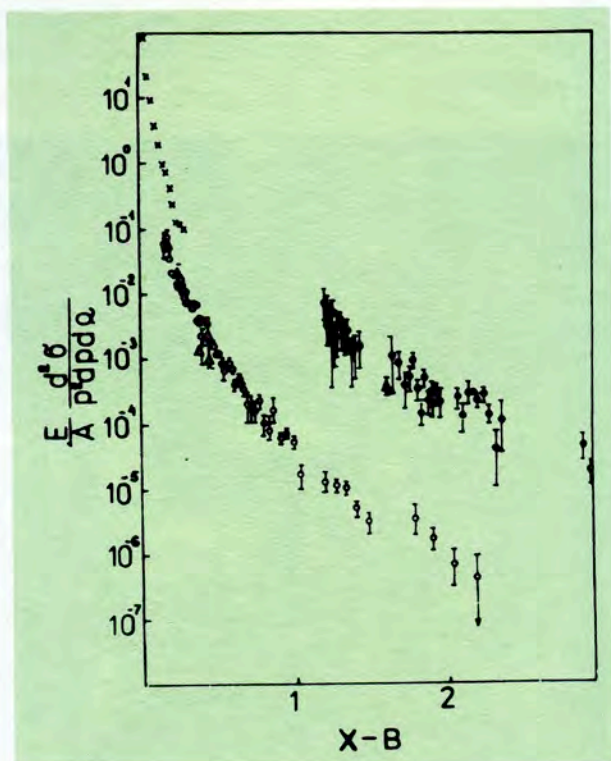


Рис.1. Зависимость инклюзивного сечения рождения ядер ${}^4\text{He}$ от переменной $(X-B)$ в реакции $pA \rightarrow {}^4\text{He} + \dots$

• о	9 ГэВ/с	Δ о для угла 90° ▲ ● для угла 168°
▲ Δ	400 ГэВ/с	
х	7,5 ГэВ/с	

изменения величин атомного веса A , четырехмерного переданного импульса Q^2 и кумулятивного числа X . Найденные свойства структурных функций дают доказательство существования мультикварковых конфигураций в ядрах. В свободных нуклонах и легких ядрах вплоть до $A = 20$ мультикварковые конфигурации существенно отличаются от аналогичных конфигураций в тяжелых ядрах (свинец и др.). Часть свойств структурных функций получила подтверждение в экспериментах по глубоконеупругому рассеянию мюонов и электронов при высокой энергии (рис.2). Одним из главных итогов исследования кумулятивного рождения частиц можно считать обнаружение новой характеристики атомного ядра – его кварк-партоновой структурной функции и выяснение ее свойств/6/.

2. С помощью пропановой пузырьковой камеры изучена связь особенностей рождения кумулятивных частиц с про-

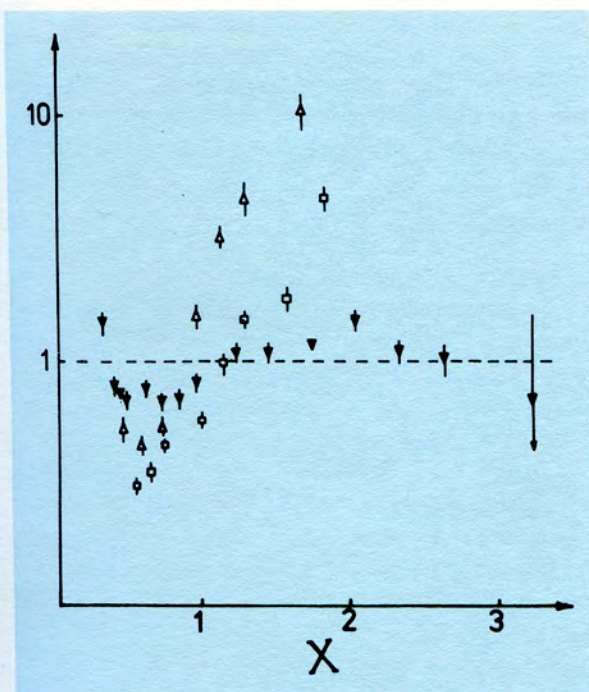


Рис.2. Зависимость отношений выходов частиц на различных ядрах от величины кумулятивного числа X.

$$\Delta \pi \text{ для } \frac{\sigma(\text{Pb})}{A(\text{Pb})} / \frac{\sigma(\text{D})}{A(\text{D})},$$

$$\nabla \pi \text{ для } \frac{\sigma(\text{Pb})}{A(\text{Pb})} / \frac{\sigma(\text{Al})}{A(\text{Al})},$$

$$\square \pi \text{ для } \frac{\sigma(\text{Pb})}{A(\text{Pb})} / \frac{\sigma(\text{He})}{A(\text{He})}.$$

цессами обычного множественного образования частиц. Анализ различных физических характеристик в $(p + C)$ - и $(p + \text{Ta})$ -взаимодействиях при импульсе 10 ГэВ/с с рождением и без рождения кумулятивных частиц не позволил обнаружить зависимости изученных характеристик от величины кумулятивного числа как протонов, так и пионов. Однако события с кумулятивными протонами имеют повышенную множественность протонов (на ~55%) и события с кумулятивными пионами имеют повышенную множественность пионов (на ~30%). Зависимость инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов и пионов от величины переменной $(X-B)$ имеет экспоненциальный вид с универсальной константой наклона экспоненты, равной 0,14/7/.

Изучены π^-C -взаимодействия при импульсе 40 ГэВ/с, в которых рождаются

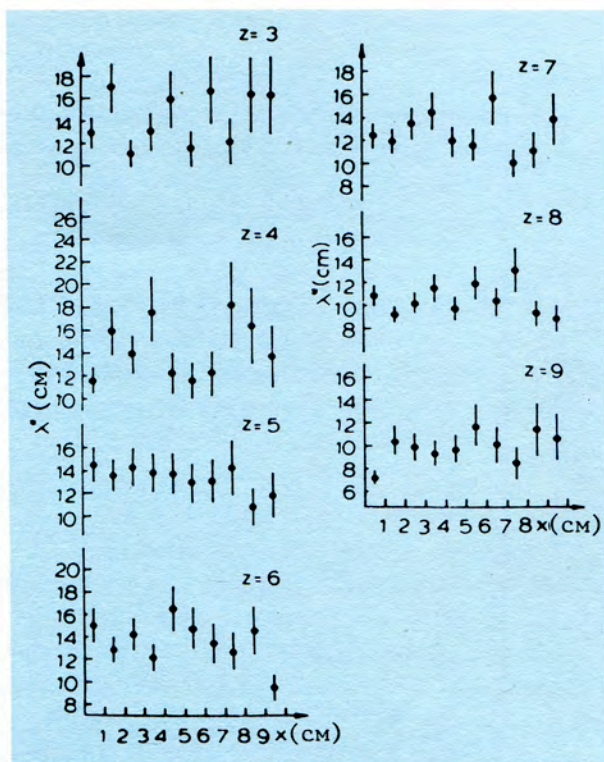


Рис.3. Зависимость среднего пробега до взаимодействия фрагментов с зарядами от 3 до 9 от величины расстояния между точками образования фрагмента и его взаимодействия.

кумулятивные частицы при наличии струйного механизма образования частиц. Оказалось, что найденные величины по множественности частиц, продольные и поперечные импульсные распределения адронов относительно оси струй, летящих по направлению движения первичного пиона, в кумулятивных π^-C -событиях совпадают с аналогичными распределениями адронов в e^+e^- -столкновениях и в π^-p -взаимодействиях при близкой энергии в с.ц.и. Из полученного результата следует, что формирование струй пионов в кумулятивных адрон-ядерных взаимодействиях происходит в основном за пределами ядра/8/.

3. Продолжено изучение проблемы более вероятного взаимодействия легких фрагментов (аномалонов) в фотоэмульсиях. На большом статистическом материале для ядерных фрагментов с зарядом 1, образованных во взаимодейст-

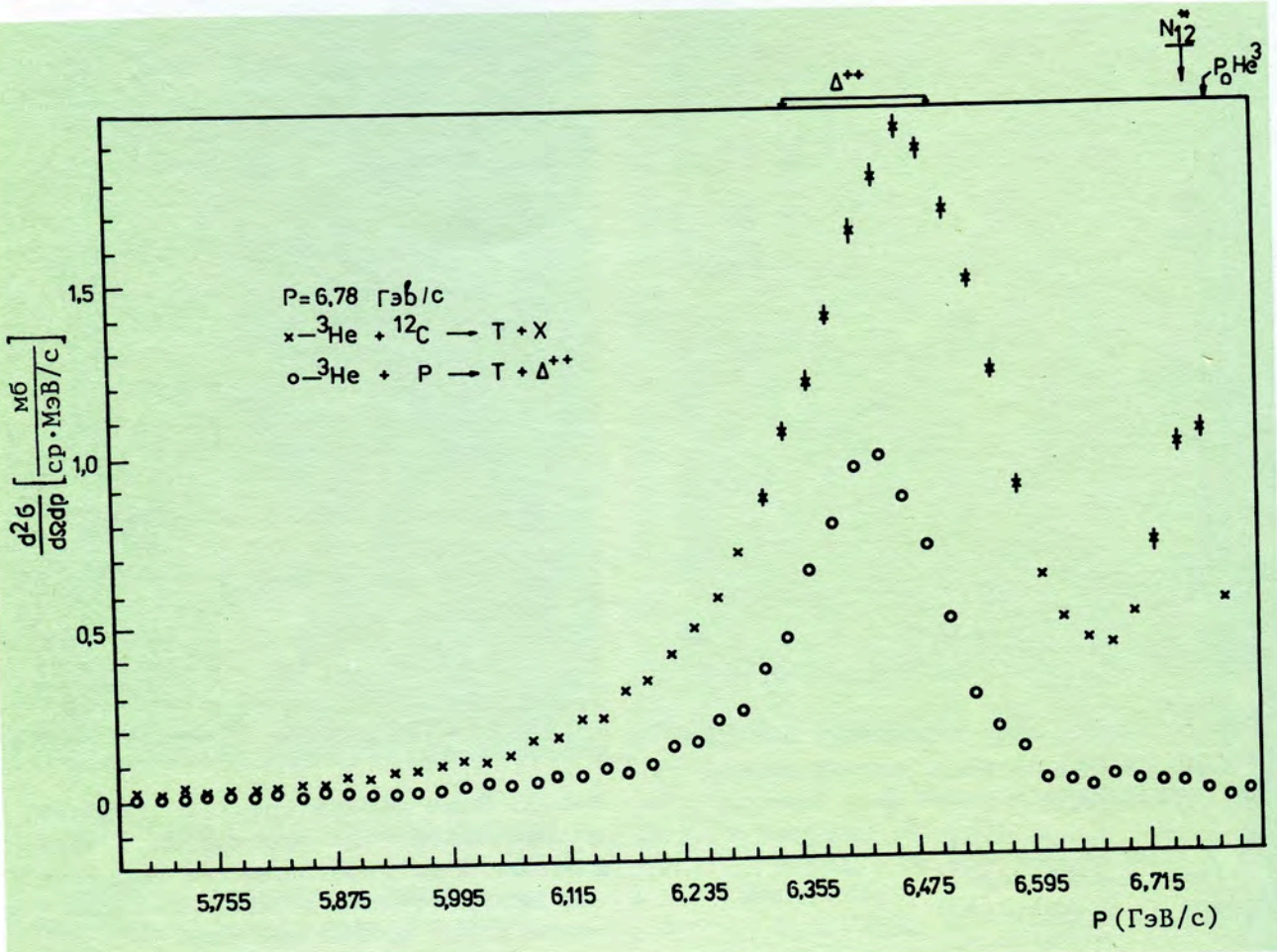


Рис.4. Энергетическое распределение ядер трития, образованных в реакции рассеяния гелия-3 на углеводе.

виях ядер гелия-3 с углеродом при импульсе 3,5 ГэВ/с/нукл., и для фрагментов с зарядом от 3 до 9, образованных во взаимодействиях ядер ${}^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии, не обнаружено эффекта более вероятного взаимодействия "молодых" ядерных фрагментов вблизи точки взаимодействия, из которого они образовались (рис.3).

4. Проведено изучение механизма появления максимума в энергетическом распределении ядер трития при рассеянии ядер гелия-3 на водороде и углеводе с помощью установки "Альфа" при

импульсах 1,45; 2,18 и 3,6 ГэВ/с/нукл. Анализ выявил важную роль механизма с возбуждением Δ -степени свободы в ядре углерода при импульсах 1,2 ГэВ/с/нукл., который при импульсах более 3 ГэВ/с/нукл. становится основным в образовании трития. Возрастание сечения образования Δ -изобары в 7 раз при увеличении импульса от 1,45 до 3,6 ГэВ/с/нукл. и небольшой сдвиг положения " Δ -пика" в реакции на ядре углерода относительно его положения в реакции на водороде указывают на коллективную (кварковую) природу Δ -возбуждения в ядре углерода (рис.4).

5. Метод определения пространственно-временных характеристик области излучения вторичных частиц на основе интерференции тождественных пионов применен к ядро-ядерным взаимодействиям при импульсе $4,2 \text{ ГэВ/с/нукл.}$ При исследовании в пропановой пузырьковой камере взаимодействий легких ядер $d, \text{ He, C}$ с ядром Ta установлено, что размер области излучения пионов в лабораторной системе координат равен от $2,2 \pm 0,5$ до $3,4 \pm 0,3 \text{ фм}$ с увеличением атомного номера налетающего ядра. Однако эти размеры остаются меньше размера ядра-мишени Ta , у которого $r = 6,1 \text{ фм}$. В многонуклонных взаимодействиях размер области излучения пионов возрастает до $4,1 \pm 0,8 \text{ фм/9/}$.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Продолжалась работа по автоматизации экспериментальных установок физики высоких энергий, стендов для проведения исследований по ускорительной технике, криогенных установок.

В физических экспериментальных установках для повышения надежности и улучшения параметров годоскопических систем используется разработанный четырехканальный время-цифровой преобразователь для измерения временных интервалов с пикосекундным разрешением. Для более быстрого отбора количества частиц, одновременно прошедших через годоскопическую плоскость детектора, предложен параллельный счетчик, имеющий 31 вход, который расширяет возможности мажоритарных схем совпадений. Усовершенствовано устройство считывания и преобразования данных в многоканальных детекторах заряженных частиц с помощью более эффективного способа преобразования унитарного кода в двоичный/10/. Для более эффективного использования вычислительной техники предложен новый контроллер, который не ограничивает возможностей расширения объема подключаемой к ЭВМ аппаратуры КАМАК, увеличивает возможность обработки запросов прерывания и ускоряет передачу

массивов данных в режиме программного управления/11/.

На базовой ЭВМ ЛВЭ ЕС-1040 повышена эффективность работы операционной системы с помощью расширения внешней памяти прямого доступа при том же количестве хранителей информации/12/.

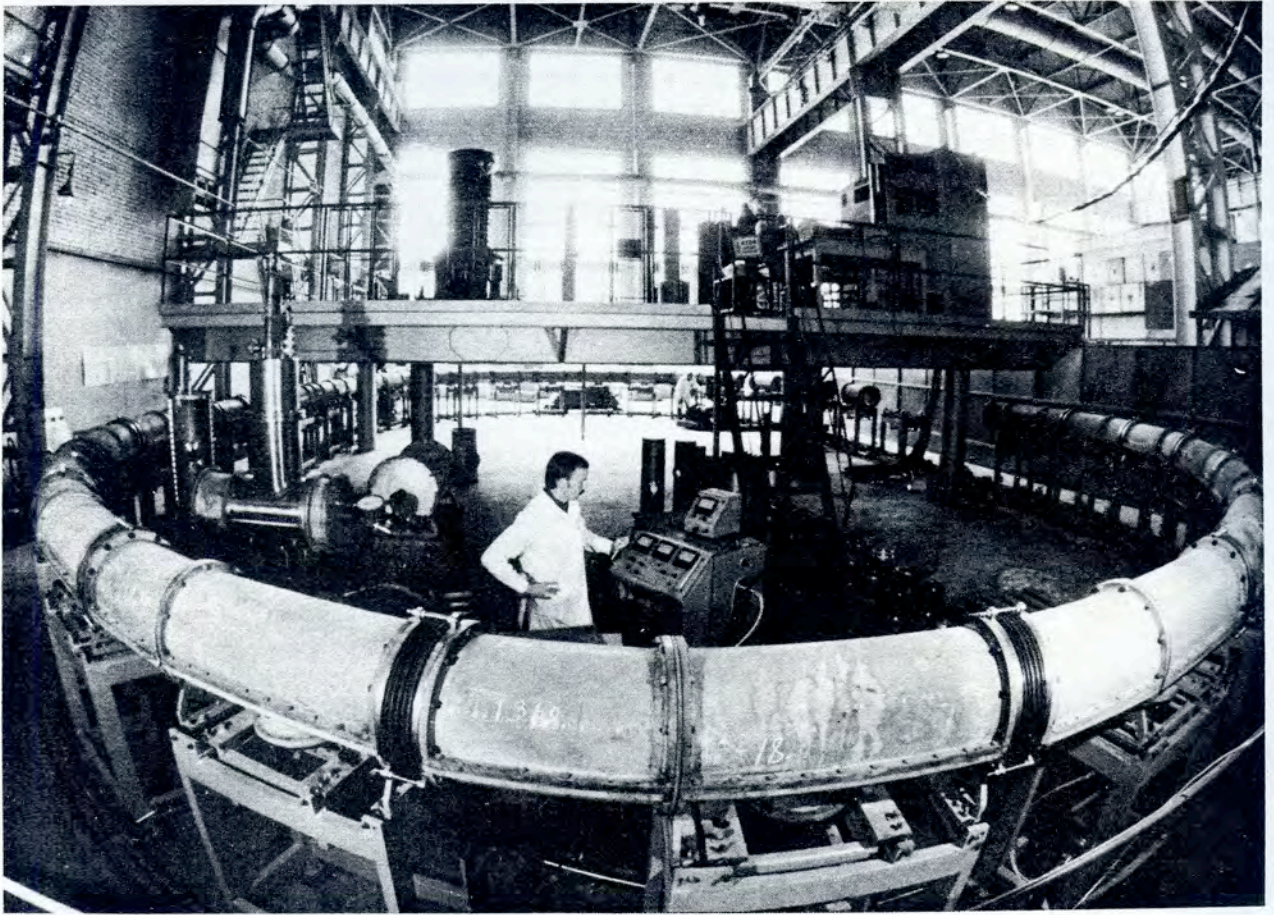
Для обеспечения работ, проводимых при температурах жидкого азота и жидкого гелия, проведена исследовательская работа и созданы электронные блоки (усилители сигналов), успешно работающие при криогенных температурах/13/.

2. Для решения некоторых медико-биологических задач, нуждающихся в точности регистрации до 1 мм и скорости набора информации порядка сотен кГц, разработан специальный временной процессор для предварительного отбора информации с пропорциональных камер с использованием линий задержек. Чтобы эффективно использовать быстродействие пропорциональной камеры (10^6 отсчетов за 1 с) разработана система блоков цифрового кодирования, обладающая хорошей точностью ($\sigma = 0,6 \text{ нс}$) и практически нулевым мертвым временем/14/.

3. Для расширения возможностей физических установок разработан газовый детектор заряженных частиц на базе пропорциональной камеры с дрейфовым промежутком. С помощью детектора восстанавливается пространственная картина движения ионизирующих частиц (точность 2 мм), измеряется плотность ионизации на траектории частиц, энергия (точность $0,7\%$) и масса нуклида (точность 3%). Параметры детектора обеспечивают идентификацию легких ядер с энергией $10 \text{ МэВ/нуклон/15/}$.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК

1. На синхрофазотроне выполнен ряд работ по совершенствованию систем



Общий вид модельного сверхпроводящего синхротрона.

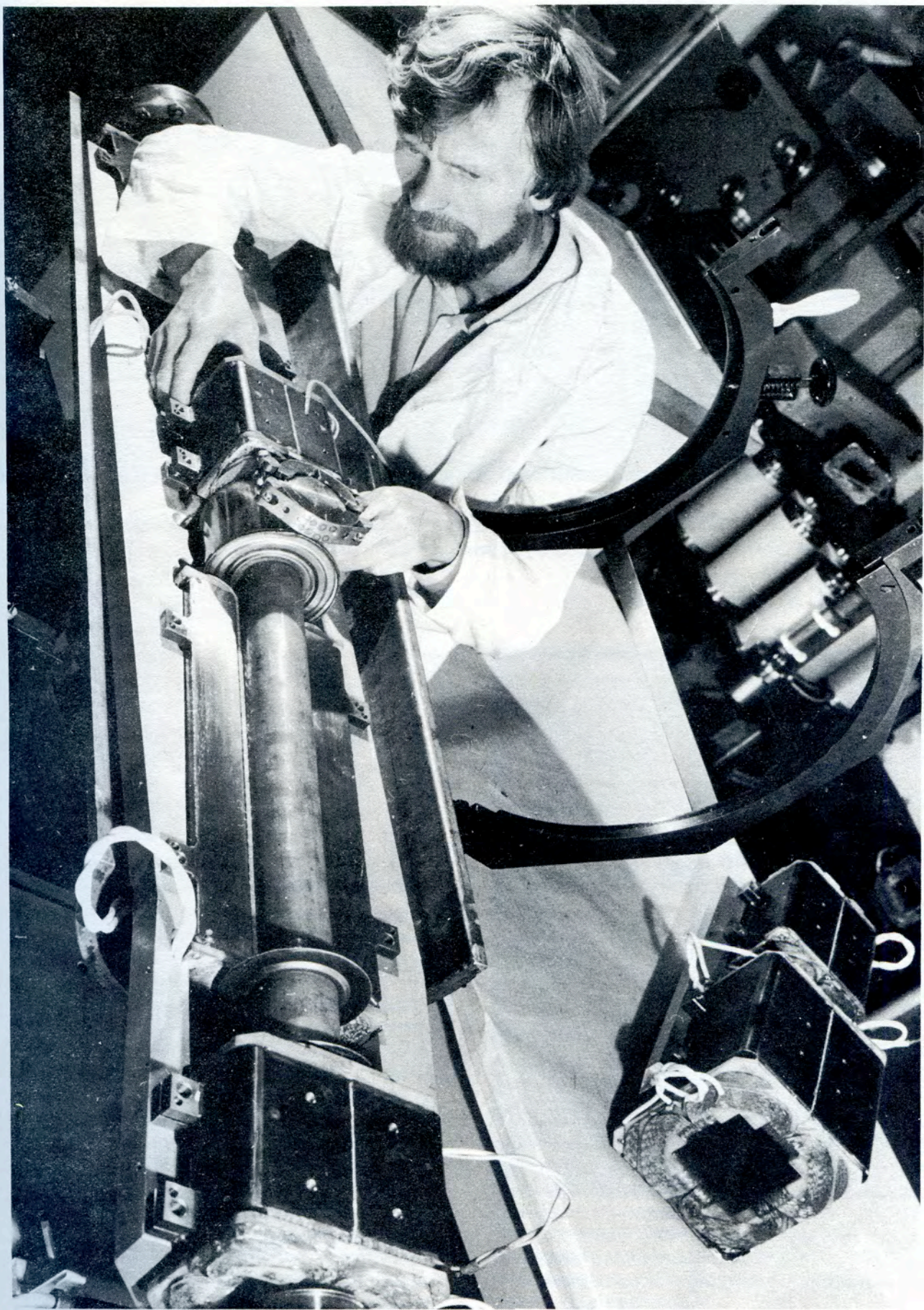
Монтаж квадрупольной линзы одного из периодов магнитной системы модельного сверхпроводящего синхротрона.

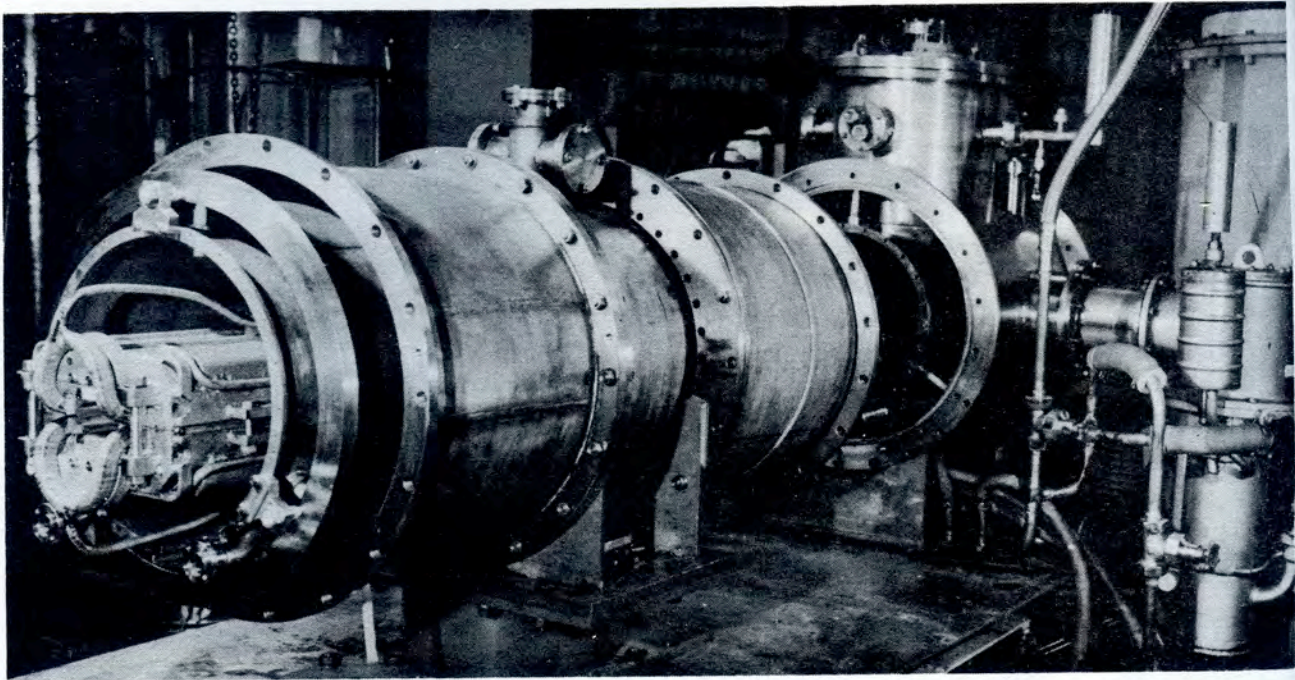
и превращению его в ускоритель релятивистских и поляризованных ядер. К числу ускоряемых ядер добавлен изотоп гелия ^3He . С помощью лазерного источника в 100 раз увеличена интенсивность ядер C^{+6} , впервые получены интенсивные пучки Li^{+3} (2 изотопа) и Mg^{+12} с энергией 4 ГэВ/нуклон. Эти достижения существенно увеличивают возможности проведения экспериментов в области релятивистской ядерной физики. На выведенных пучках этих ядер с помощью систем медленного и быстрого выводов набрана экспериментальная информация на нескольких физических установках.

Продолжено совершенствование источника поляризованных ядер "Полярис".

В методическом сеансе на ускорителе измерена векторная поляризация дейтронов после линейного ускорителя ЛУ-20, которая оказалась равной $24 \pm 2\% / 16\%$.

Для наладки режимов ускорения и контроля за составом пучка после линейного ускорителя ЛУ-20 и после медленного вывода из синхрофазотрона производится измерение зарядового состава пучка ядер /17/.





Испытательный стенд 1,5-метрового сверхпроводящего магнита с железным ярмом и обмоткой из трубчатого сверхпроводника.

В связи с переходом на ускорение ядер и для получения интенсивных ядерных пучков завершена реконструкция ускоряющей системы. Переход на вторую кратность ускорения позволил повысить интенсивность пучков ускоряемых ядер в 2 раза по сравнению с ускорением на первой кратности и дополнительно повысить надежность ускорения частиц/18/.

В синхрофазотроне успешно проведен пробный запуск криогенной системы откачки на одном квадранте ускорителя. Вакуум в камере улучшился на порядок и достиг величины 2×10^{-7} Тор, что позволит в будущем существенно расширить набор ускоряемых в синхрофазотроне ядер без заметных потерь.

2. В лаборатории продолжалось сооружение модельного сверхпроводящего синхротрона на энергию 1,5 ГэВ, предназначенного для получения опыта в сооружении и эксплуатации сверхпроводящих ускорителей в рамках разработки технического проекта нуклотрона. Уже изготовлены все магниты (на поле 2,27 Т) и линзы с градиентом 87,5 Т/м). Такие магниты и линзы представляются наиболее экономичными и технологически простыми по сравнению с обычными теплыми магнитами и с безжелезными сверхпроводящими магнитами на 5 Т. Для ускорителя разработаны и изготовлены высокочастотный генератор, вакуумная камера, гелиевые криостаты типа кипящей ванны, источники питания, многоамперные (до 8 кА) криогенные тоководы и другие системы/19/.

В рамках работ по нуклотрону проведено успешное исследование режимов работы 1,5-м полномасштабного сверхпроводящего магнита с железным ярмом и обмоткой из трубчатого сверхпроводника. Охлаждение магнита проводится двухфазным парожидкостным гелием. Неоднородность магнитного поля на уровне 2Т составила 4×10^{-4} . В магнитах этого типа нет гелиевого криостата и, возможно, не потребуется вакуумная камера ускорителя, что существенно упрощает конструкцию и облегчает доступ к магнитной системе ускорителя, уменьшает количество гелия в системе и повышает криогенную безопасность/20/.

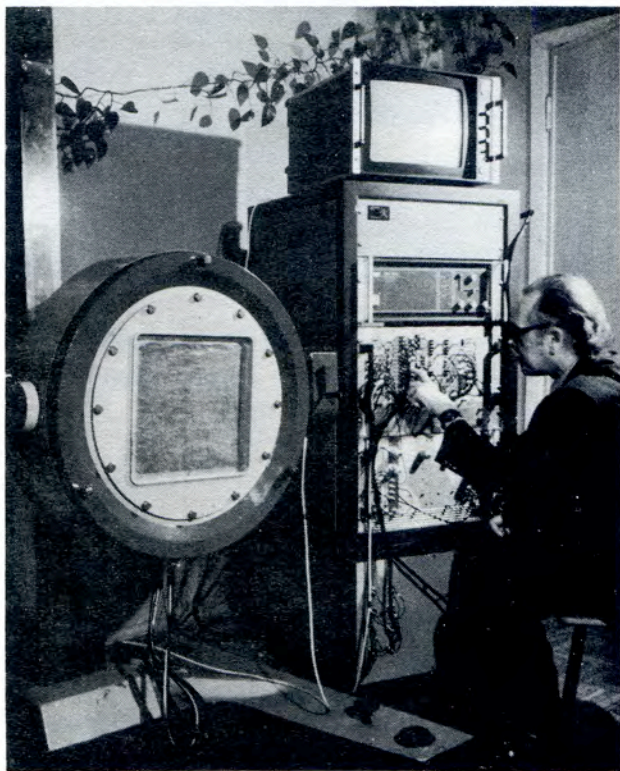
Тщательному исследованию подвергается явление образования ограниченной нормальной зоны в сверхпроводящих обмотках магнитных систем от внешнего локального источника тепла или от повышенной радиационной нагрузки. Экспериментально исследовано изменение неоднородности поля в апертуре магнита типа "оконная рама" при подкритичном локальном импульсном нагреве обмотки/21/.

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Создан прибор и система сбора данных для анализа монокристаллов белков. Проводится параллельное измерение интенсивности одновременно возникающих дифрагированных лучей при исследовании белков с периодом решетки 50-150Å (разрешение 3Å) при помощи плоской многопроволочной пропорциональной камеры. Значительное увеличение скорости позволяет работать с нестабильными объектами и применять меньшую степень радиационного повреждения/22/. Проведены съемки 23 монокристаллов белка.

С помощью установки УРАН, в основу которой положено использование многопроволочной камеры, показана возможность проведения экспресс-анализа смеси белков, в которые введен радиоактивный иод. При чувствительности метода лучше 200 отсчетов/мин на 1 см^2 и пространственном разрешении около 1 мм время проведения анализа сокращено с нескольких суток до десятков минут/23/.

Создана и используется на линии с ЭВМ высокочувствительная установка УРАН-2 для неразрушающего экспресс-анализа β^- -активных тонкослойных радиохроматограмм и электрофореграмм. Контроль разделения веществ в одном или двух направлениях проводится с разрешением 1,5 мм (введен ^3H), 6 мм (введен ^{14}C), 4 мм (введен ^{32}P) при чувствительности $5 \div 10 \text{ пКи/см}^2$. Время эксперимента по определению контура



Гамма-камера нового типа с высоким пространственным разрешением, предназначенная для изучения структуры органов человека.

радиоактивных зон в веществе уменьшено с нескольких дней и недель до десятков минут. Детектор УРАН-2 "умеет" различать распады ^3H , ^{14}C , $^{32}\text{P}/^{24}\text{I}$.

Проведены клинические испытания созданной в ЛВЭ гамма-камеры ГKM на основе многопроволочного газового детектора. Камера имеет повышенную точность (1-2 мм) определения структуры органов человека (почки, легкие, сердце), работает на линии с мини-ЭВМ, изображение выводится на цветной дисплей (рис.5).

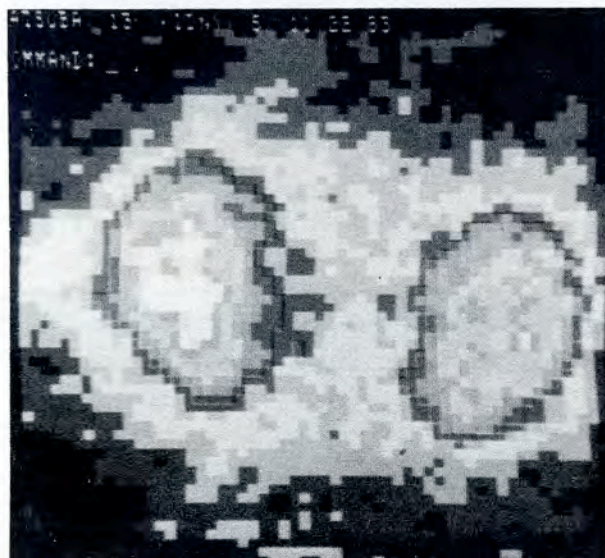


Рис.5. Изображение распределения излучения от введенного радиоактивного элемента в почке человека.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

Ускоритель работал:

а) на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 2810 часов с достигнутой интенсивностью 2×10^{12} ускоренных протонов, $1,2 \times 10^{12}$ дейтронов; 3×10^{10} ядер гелия-3; 2×10^{10} гелия-4; $1,5 \times 10^8$ ли-

тия-6; 2×10^9 лития-7; 5×10^8 углерода-12; 1×10^5 кислорода-16; 1×10^3 изотопа неона-22; 1×10^5 магния-24 за один цикл ускорения с энергией более 4 ГэВ/нукл.,

б) на совершенствование систем ускорителя - 640 часов.

ЛИТЕРАТУРА *

1. Бешлиу К. и др. ОИЯИ, 1-83-815, Дубна, 1983; Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, Е1-83-59, Дубна, 1983.
2. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-417, Дубна, 1983.
3. Алеев А.Н. ОИЯИ, Д1-83-602, Дубна, 1983.
4. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, Е1-83-487, Дубна, 1983.
5. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, Р1-83-309, Дубна, 1983.
6. Балдин А.М. ОИЯИ, Е2-83-415, Дубна, 1983; Балдин А.М. и др. ОИЯИ, Р1-83-431, Дубна, 1983.
7. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, Р1-83-327, Дубна, 1983.
8. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, Р1-83-483, Дубна, 1983.
9. Агакишиев Г.М. и др. ОИЯИ, Р1-83-252, Дубна, 1983.
10. Маньяков П.К. и др. ОИЯИ, 13-83-343, Дубна, 1983; Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, 10-83-714, Дубна, 1983.
11. Ефимов Л.Г. ОИЯИ, 10-83-760, Дубна, 1983.
12. Риднер А. и др. ОИЯИ, 10-83-41, Дубна, 1983.
13. Маньяков П.К. и др. ОИЯИ, 13-83-70, Дубна, 1983.
14. Иванов А.Б. и др. ОИЯИ, Р10-83-383, Дубна, 1983.

*Цитируются избранные работы.

15. Будилов В.А. и др. ОИЯИ, 1-83-609, Дубна, 1983.
16. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, 13-84-20, Дубна, 1984.
17. Баландикова А.Н. и др. ОИЯИ, 9-83-317, Дубна, 1983.
18. Бровко О.И. и др. ОИЯИ, 9-83-540, Дубна, 1983.
19. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-582, Дубна, 1983.
20. Смирнов А.А. и др. ОИЯИ, 9-83-625, Дубна, 1983.
21. Василев П.Г. и др. ОИЯИ, Р9-83-394, Дубна, 1983.
22. Андрианова М.Е. и др. ОИЯИ, 18-83-48, Дубна, 1983.
23. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, 18-83-534, Дубна, 1983.
24. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-83-668, Дубна, 1983.