

ДУБНА · 1977

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1977 · DUBNA

Проблемно-тематический план Объединенного института ядерных исследований на 1977 год

Научная деятельность Объединенного института ядерных исследований проводилась в соответствии с Проблемно-тематическим планом научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества лабораторий Института, утвержденным Ученым советом ОИЯИ на его XLI сессии.

При утверждении плана Ученый совет отметил как наиболее важные следующие направления.

Лаборатория теоретической физики

1. В области квантовой теории поля и теории элементарных частиц:

- исследование глубоконеупругих процессов с большим переданным импульсом;
- изучение динамики кварков и составных кварковых моделей элементарных частиц;
- исследование ультрафиолетовых асимптотик и разработка методики аналитических вычислений на ЭВМ в теории поля и теории конденсированных сред.

2. В области развития теории атомного ядра и ядерных реакций:

- изучение структуры ядерных состояний с промежуточной и высокой энергией возбуждения;
- развитие теории взаимодействия электронов и ядерных частиц с ядрами;
- исследования по релятивистской ядерной физике.

3. Развитие теории конденсированных сред.

Лаборатория высоких энергий

1. Физические исследования на ускорителях:

- исследования закономерностей множественного образования частиц с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры, камеры "Людмила", метровой водородной пузырьковой камеры; поиск новых частиц с помощью установки БИС и фотоэмульсий;
- исследование поведения амплитуд бинарных реакций с использованием материалов по

π^- -р-рр-, рd- и рHe-рассеянию в широкой области энергий от 4 до 500 ГэВ, полученных с помощью установки "Фотон" на синхрофазотроне и в экспериментах на ускорителе НУЛ /Батавия/;

- исследования по релятивистской ядерной физике с помощью материалов, полученных на установках "Диск-2", "Альфа", СКМ-200, спектрометре ядер отдачи, двухметровой пропановой и метровой жидководородной пузырьковых камерах;

- исследование электромагнитной структуры элементарных частиц с использованием материалов, полученных в эксперименте по π^+e^- и K^+e^- -рассеянию при высокой энергии.

2. Методические исследования:

- развитие синхрофазотрона как релятивистского ускорителя ядер, формирование инжекционного комплекса;

- улучшение качества пучков синхрофазотрона и источников многозарядных ионов, развитие системы каналов частиц в корп. 205 на основе медленного вывода;

- проведение проектных и исследовательских работ по жесткофокусирующему ускорителю релятивистских ядер - нуклотрону;

- разработка и внедрение в эксперимент современной электроники и детекторов, запуск ЕС-1040;

- развитие криогенных систем, создание сверхпроводящих магнитов для ускорительно-накопительного комплекса и нуклотрона.

Лаборатория

ядерных проблем

1. Физические исследования на ускорителях:

- исследование структуры частиц, проверка законов сохранения и симметрий взаимодействий;

- исследование процессов взаимодействий мезонов и протонов с нуклонами и ядрами, в том числе поиск сверхплотных атомных ядер;

- исследование мезоатомных и мезомолекулярных процессов на мезонных пучках синхроциклотрона, включая изучение подбарьерного механизма диффузии положительных мюонов в металлах;

- изучение свойств средних и тяжелых ядер в экспериментах по программе ЯСНАПП, в том числе изучение угловых корреляций излучений с помощью прототипа установки "Спин";

- завершение набора статистики в исследованиях дифракционной диссоциации пионов

и каонов на ядрах с помощью МИС и начало массовой обработки экспериментального материала;

- поиск новых нестабильных частиц с квантовым числом "шарм" и супергиперфрагментов при взаимодействии нейтрино и протонов высокой энергии с ядрами;

- исследование поляризационных явлений в нуклон-нуклонном и мезон-протонном рассеяниях.

2. Методические исследования:

- проведение работ по созданию новых установок /АРЕС, СПИН, ГОДЕСК/ и аппаратуры для ядерно-физических и медико-биологических исследований на установке "Ф";

- разработка современной электронной аппаратуры, в том числе в стандарте КАМАК, и оснащение ею экспериментов, проводимых на синхроциклотроне и 70-ГэВ синхротроне; освоение ЭВМ ЕС-1040 и расширение использования малых ЭВМ для работы на линии с экспериментальной аппаратурой;

- завершение работ по созданию узлов установки РИСК и начало монтажа ее в ИФВЭ;

- проведение работ по созданию ряда крупных узлов установки "Гиперон" и отладка пучковой части спектрометра;

- разработка большой "замороженной" поляризованной мишени для поляризационных экспериментов.

3. Разработки в области ускорительной техники:

- обеспечение работ по созданию установки "Ф", проведение механических и радиотехнических испытаний вариатора частоты;

- разработка и конструирование системы электростатического вывода пучка и системы управления установкой, разработка поляризованного источника ионов;

- запуск ускорителя У-120М в Институте ядерной физики ЧСАН;

- проведение исследовательских работ по суперциклотрону.

Лаборатория

ядерных реакций

1. Работы по созданию ускорителя тяжелых ионов У-400.

2. Синтез и изучение физических и химических свойств сверхтяжелых элементов / $Z = 110-116$ / на пучках ионов кальция-48.

3. Синтез и изучение свойств тяжелых изотопов трансурановых элементов с $Z \geq 104$.

4. Поиск сверхтяжелых элементов в природе.

5. Синтез и изучение свойств ядер, удаленных от линии бета-стабильности.

6. Изучение механизма взаимодействия сложных ядер.

7. Проверка принципиальных вопросов квантовой электродинамики в условиях сверхсильных электромагнитных полей, возникающих при столкновении тяжелых ядер.

8. Практическое использование тяжелых ионов для решения научно-технических задач с учетом интересов стран-участниц ОИЯИ.

9. Работы, связанные с запуском циклотрона У-200П для Варшавского университета.

10. Улучшение параметров циклотрона У-300.

Лаборатория нейтронной физики

1. Завершение подготовки и осуществление физического пуска реактора ИБР-2 /без натриевого контура охлаждения/ и подготовка к энергетическому пуску ИБР-2; проведение экспериментально-конструкторских разработок по комплексу ИБР-2 с инжектором ЛИУ-30, курирование строительно-монтажных работ.

2. Экспериментальная проверка, проектирование, макетирование, изготовление и наладка отдельных систем ускорителя ЛИУ-30.

3. Изготовление физической аппаратуры первой очереди для исследований на ИБР-2.

4. Создание первой очереди измерительно-вычислительного центра ИБР-2 с целью обеспечения первоочередных физических экспериментов к энергетическому пуску ИБР-2.

5. Изучение атомных ядер с помощью нейтронов и заряженных частиц.

6. Изучение свойств ультрахолодных нейтронов и фундаментальных свойств нейтрона.

7. Изучение конденсированных сред, а также сложных соединений биологических объектов с помощью нейтронов.

8. Подготовка и развитие прикладных исследований.

Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

1. Развитие и эффективное использование центрального вычислительного комплекса:

- разработка проекта увеличения памяти на магнитных дисках ЕС-5061 для ЭВМ БЭСМ-6;

- создание первой очереди сети терминальных устройств на базе малой ЭВМ и БЭСМ-6;

- проведение на ЭВМ БЭСМ-6 модификации операционной системы в связи с подключением терминалов и их концентратора.

2. Развитие и эффективное использование автоматических и полуавтоматических систем измерений камерных снимков /НРД, АЭЛТ, СИ, ПУОС-САМЕТ-БЭСМ-4/:

- разработка на спиральных измерителях режима фильтрации данных в реальном времени, разработка аппаратуры и программного обеспечения для автоматизации просмотра;

- проведение на АЭЛТ-2 методических измерений снимков с МИС.

3. Разработка методов расчета и создание систем обработки экспериментальных данных:

- создание и развитие математического обеспечения для установок БИС-2, "Фотон" и "Альфа";

- продолжение работ по созданию и развитию системы программ модульной структуры, а также по математическому обеспечению системы обработки спектрометрической информации;

- разработка и применение новых методов численного решения нелинейных и квазианалитических физических задач;

- разработка новых алгоритмов и развитие библиотеки программ решения задач, связанных с исследованиями, проводимыми в Лаборатории теоретической физики.

4. Исследования по релятивистской ядерной физике и физике резонансов:

- изучение ядерных процессов при релятивистских энергиях при помощи магнитного спектрометра с искровыми камерами и установки СКМ-200;

- изучение процессов множественного образования частиц в пион-нуклонных, нейтрон-протонных и в пион-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях.

Отдел новых методов ускорения

Ускорение тяжелых ионов в прототипе УТИ.

Научно-
исследовательские
работы,
выполненные
лабораториями ОИЯИ
в 1977 году



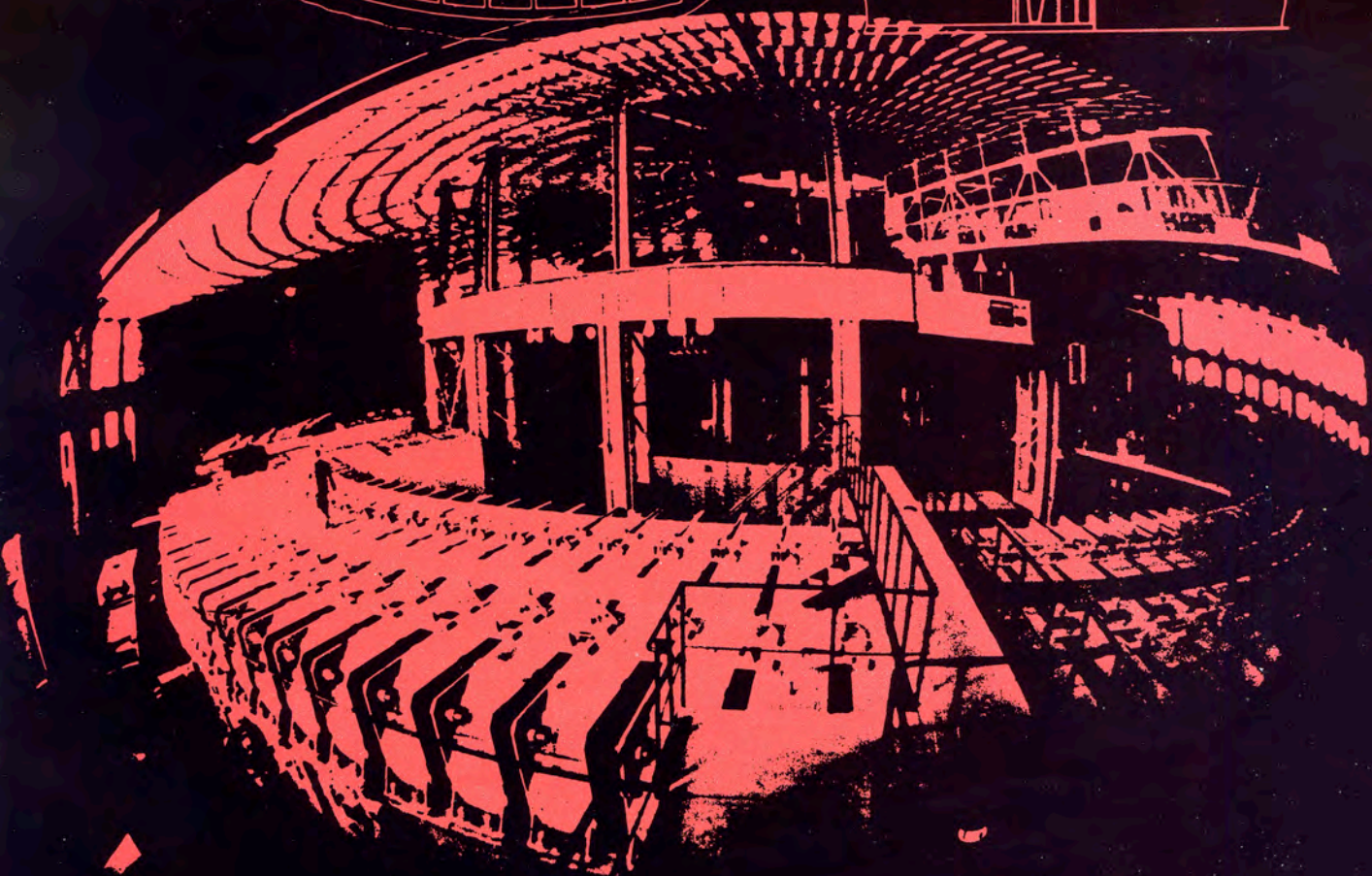
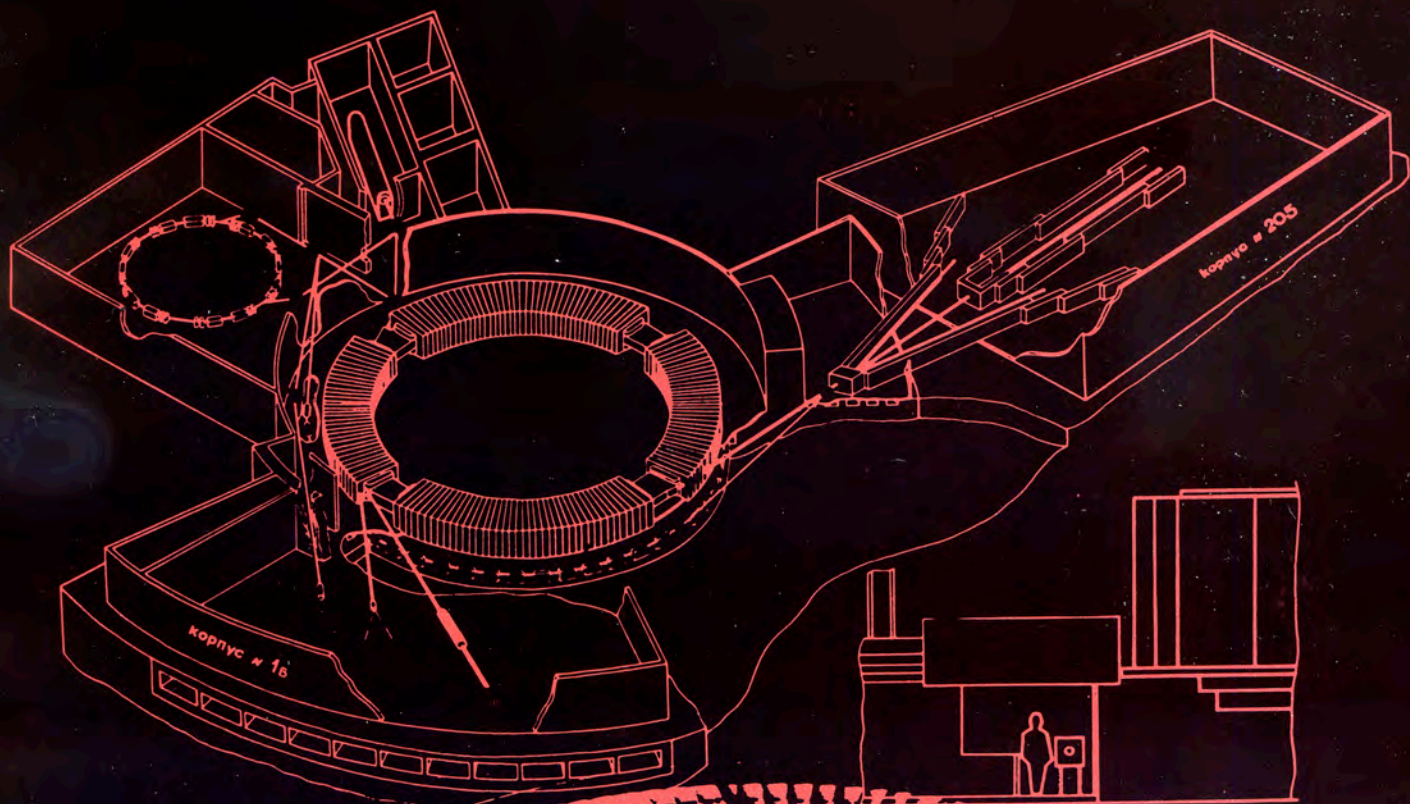
Лаборатория высоких энергий

В лаборатории проводились научные исследования в области физики элементарных частиц, релятивистской ядерной физики, работы по созданию новых приборов для физических экспериментов, по совершенствованию методики проведения экспериментов, по расширению возможностей синхрофазотрона как релятивистского ускорителя ядер. Важная часть научной программы лаборатории была связана с экспериментами на серпуховском ускорителе и ускорителе в Батавии. На синхрофазотроне лаборатории большинство экспериментов проводилось по программе исследований в области релятивистской ядерной физики. Продолжалась разработка проекта ускорительного комплекса тяжелых ионов.

Научно-исследовательские работы

Поведение амплитуд рассеяния
в зависимости от энергии
взаимодействующих частиц

Закончен набор статистики в эксперименте по изучению упругого pp - и pd -рассеяния в области интерференции кулоновского и ядерного рассеяния при энергиях 50-400 ГэВ на ускорителе НУЛ /Батавия/. Измерены дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ упругих процессов при 6 значениях энергии для pp -рассеяния и величинах $|t| = 0,0005 \div 0,03$ /ГэВ/с², а также при 8 значениях энергии для pd -рассеяния



чинах $|t|$ обнаружен заметный минимум, указывающий на существенную роль амплитуды, с изменением спиральности /рис. 3/.

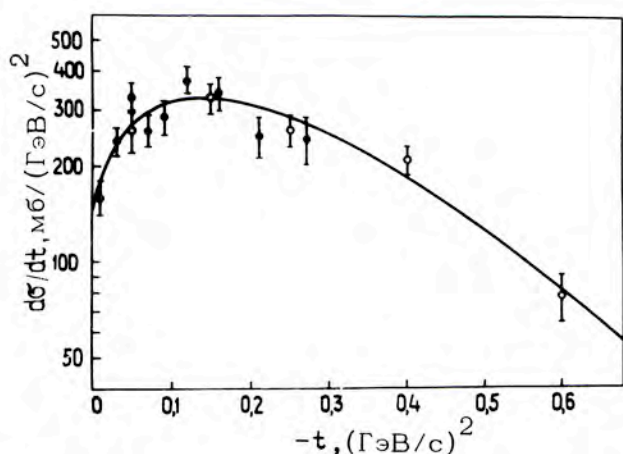


Рис. 3. Дифференциальное сечение реакции $\pi^-p \rightarrow \pi^0 n$ / \bullet - данные эксперимента ОИЯИ/.

Механизм рождения и распада частиц и резонансов.

Продолжен анализ результатов поиска очарованных частиц на материалах облучения установки БИС на серпуховском ускорителе пучком нейтронов с импульсом 45 ГэВ/с. Обработаны предполагаемые случаи распада новых частиц $\Lambda\pi^+\pi^-$, ΛK^+K^- , $\Lambda K^+\pi^-$, $\Lambda K^-\pi^+$. В системе ΛK^+K^- обнаружена особенность с массой 2790 МэВ, шириной около 15 МэВ и сечением образования $\sim 0,5$ мкб /рис. 4/.

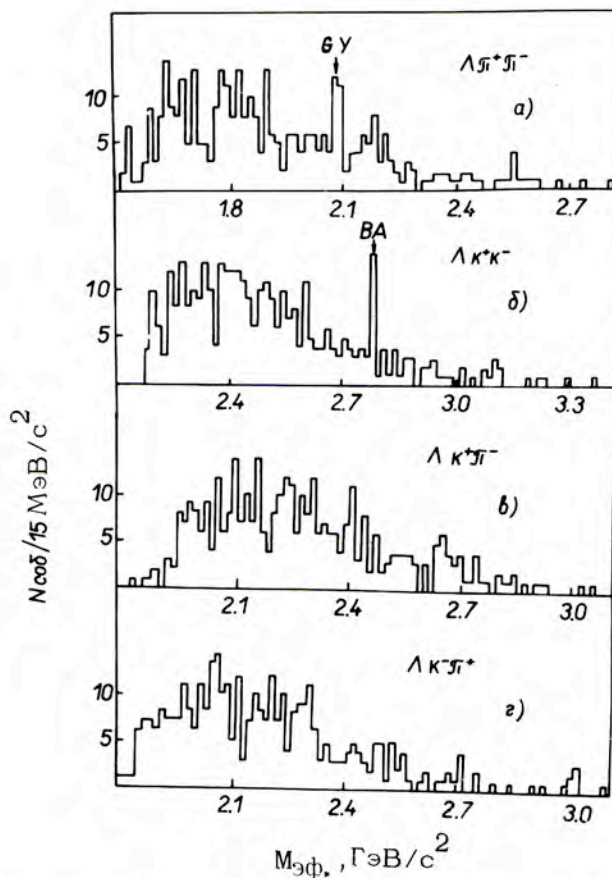


Рис. 4. Распределения эффективных масс в системах $\Lambda\pi^+\pi^-$, ΛK^+K^- , $\Lambda K^+\pi^-$, $\Lambda K^-\pi^+$, полученные с помощью установки БИС-2 на серпуховском ускорителе.

Проанализированы 24 тыс. звезд, образованных в ядерных фотоэмульсиях протонами с энергией 70 ГэВ и π^- -мезонами с энергией 60 ГэВ. Найдены 4 случая, которые могут быть интерпретированы как лептонные распады новых частиц с временем жизни $\sim 10^{-14}$ с и сечением их образования в пересчете на pN -взаимодействия около 5 мкб.

Закончен набор статистики в совместных ОИЯИ-США-экспериментах по изучению неупругих pp -, pd - и pHe -взаимодействий при энергиях $40 \div 400$ ГэВ на ускорителе НУЛ /Батавия/. Получены дифференциальные сечения инклюзивных дифракционных процессов $pp \rightarrow pX$ и $pd \rightarrow dX$ в области недостающих масс $M_x^2 = 0,1 \div 5,0$ ГэВ² при малых переданных импульсах $|t| = 0,005 \div 0,06$ /ГэВ/с² для pp -и при $|t| = 0,025 \div 0,17$ /ГэВ/с² для pd -рассеяния. Показано, что если рассматривать дейтрон как целое, то в области $(1-x) < 0,05$ отношение сечений дифракционного к упругому не зависит от сорта мишени / p или d / в пределах 5%, что хорошо согласуется с представлением о факторизуемом помероне. При сравнении pp - и pd -сечений при одной энергии налетающего протона показано, что общий ход зависимости отношения

$$R = \left(\frac{d^2\sigma}{dt dx} / \frac{d\sigma_{el}}{dt} \right)_{pp} / \left(\frac{d^2\sigma}{dt dx} / \frac{d\sigma_{el}}{dt} \right)_{pd}$$

от $(1-x)$ /рис. 5/ хорошо объясняется

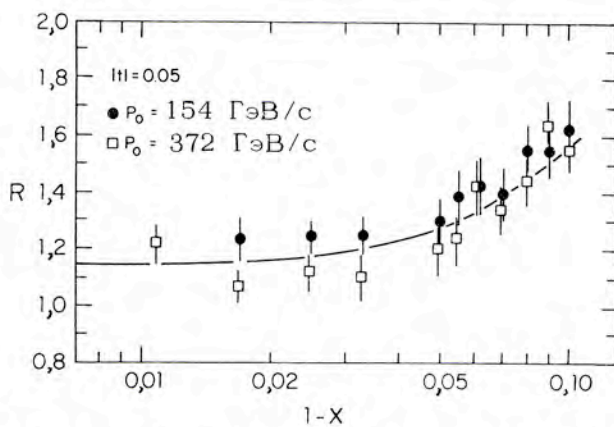


Рис. 5. Зависимость отношения нормированного сечения pp -рассеяния к нормированному сечению pd -рассеяния в дифракционной области от величины $(1-x)$, где $1-x = M_x^2 / S - m_p^2 / S$.

рассеянием системы M_x^2 на втором нуклоне дейтрона и вкладом π -мезонного обмена в неупругое pp -рассеяние. В первом приближении оценено сечение упругого рассеяния системы M_x^2 на нуклоне, равное $\sigma_{xN} = 43 \pm 10$ мб.

За счет существенного улучшения углового разрешения аппаратуры /до $0,8$ мрад/ при регистрации частицы отдачи удалось наблюдать дифракционное возбуждение протона до уровня масс $1400, 1520$ и 1680 МэВ.

Сотрудники 16 лабораторий стран-участниц продолжали вести обработку и анализ взаимодействий отрицательных пионов с импульсом 40 ГэВ/с с протонами и ядрами углерода на материале облучения двухметровой пропановой камеры в пучке серпуховского ускорителя 70 ГэВ. Изучены корреляции по быстрой и распределения по разности азимутальных углов π -мезонов из πC -взаимодействий. Определен размер области образования вторичных π -мезонов $R = 4,5 \pm 1,0$ Фм и длительность процесса их образования $\tau = 1,7 \pm 0,7 / x \cdot 10^{-23}$ с. Исследование $\pi^- p$ -взаимодействий, в которых имеются вторичные π -мезоны с большими поперечными импульсами $P_{\perp} > 0,8$ ГэВ/с, показало, что по своим характеристикам такие взаимодействия отличаются от остальных взаимодействий и указывают на наличие "струй" пионов, сопровождающих частицы с большими поперечными импульсами. Получены и проанализированы экспериментальные данные о двухчастичных корреляционных функциях S и R для гамма-квантов в инклюзивных и полуинклюзивных πC -распределениях. Получено, что доля π -мезонов, образующихся в результате распада ρ^- , ω - и f -мезонов, составляет 45% от полного числа всех вторичных π -мезонов. Сделан вывод о доминирующей роли резонансов в изученных про-

цессах. Изучение зависимости зарядовой асимметрии показало, что асимметрия увеличивается с ростом поперечного импульса вторичных частиц, что согласуется с кварковым подходом к π^-p -взаимодействию.

На материалах, полученных при облучении установки "Людмила" пучком антипротонов с импульсом 23 ГэВ/с на серпуховском ускорителе, было найдено, что величина зарядовой асимметрии в передней и задней полусферах в с.ц.м. растет с увеличением величины P_{\perp} и этот результат наблюдается в аннигиляционном и неаннигиляционном каналах. Для пар тождественных π -мезонов наблюдался эффект интерференции, из анализа которого определена величина области испускания π -мезонов $R = /3,0 \pm 0,5/ \Phi_m$ и время их образования $\tau = /3,1 \pm 1,6/ \cdot 10^{-23} \text{ с}$.

На основе анализа 14 тыс. событий изучено инклюзивное и полуинклюзивное образование ρ^0 -мезонов и Δ^{++} -изобар. Распределение по продольной быстрой показывает, что ρ^0 -мезон образуется преимущественно в центральной области /рис. 6/. Для образования Δ^{++} -изобары получено указание на существенный вклад однопионного обмена с поглощением. На основе анализа 2000 событий получено указание на совместное образование изобар Δ^{++} и $\bar{\Delta}^{++}$.

Резонансные пики в спектрах эффективных масс $\Lambda\Lambda/2336 \text{ МэВ/}$ и $\Lambda p/2256$ и 2128 МэВ/ , найденные при обработке событий, полученных с помощью пропановой пузырьковой камеры, облученной пучком нейтронов со средним импульсом 7,0 ГэВ/с на синхрофазотроне, получили удовлетворительное объяснение в рамках модели Джаффе. Эмпирически найденное правило отбора для существо-

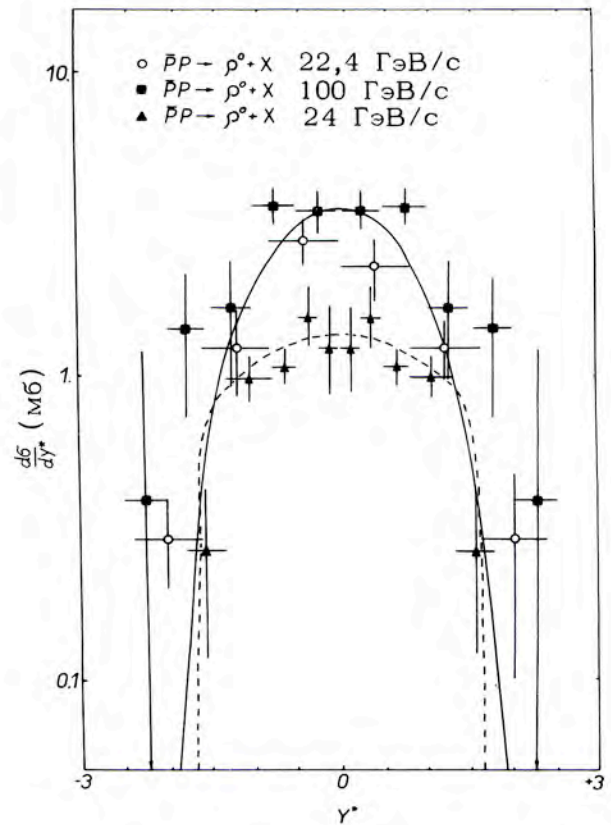


Рис. 6. Зависимость сечения образования ρ^0 -мезона от величины продольной скорости в с.ц.м. реакции в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при импульсе 23 ГэВ/с.

вания адронных резонансов по гиперзаряду $Y \leq 1$ интерпретируется как необходимое условие существования "кваркового мешка". Ввиду ненаблюдаемости кварков размеры и объем "мешков" должны мало зависеть от природы объектов /внутри "мешков"/. Это приводит к тому, что двух- и многобарионные резонансы должны являться сверхплотными объектами с конечным временем жизни, а неравенство $Y \leq 1$ может являться необходимым условием образования сверхплотного состояния ядерной материи.

Продолжалось изучение реакции $dp \rightarrow ppp$ с помощью метровой жидководородной камеры, облученной дейтронами с импульсом $3,3 \text{ ГэВ/с}$ на синхрофазотроне. На основе анализа 50 тыс. событий получены спектры нуклонов и π -мезонов в широкой области переданных импульсов. Наблюдалось изменение наклона в распределениях инвариантного сечения $f(T)$ в районе $T \sim 0,03 \text{ ГэВ}$ для нуклонов и π -мезонов, где T -кинетическая энергия частиц, летящих в заднюю полусферу в системе налетающего дейтрона. Полученные данные не противоречат образованию части нуклонов и π -мезонов с проявлением кумулятивного эффекта. При исследовании реакции $dp \rightarrow pp(n)$, идущей с перезарядкой, показано, что около 20% случаев в области эффективных масс (pp) могут быть объяснены эффектом промежуточной Δ -изобары. Получено, что pp -перезарядка в области малых углов идет с переворотом спина.

При изучении pp -взаимодействий, зарегистрированных с помощью метровой жидководородной камеры в пучке нейтронов на синхрофазотроне, определены сечения различных каналов реакций в пятилучевых звездах при импульсах $5,10 \pm 0,17 \text{ ГэВ/с}$. Показано, что в реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при импульсе $5,1 \text{ ГэВ/с}$ с вероятностью 95% происходит образование нуклонных изобар и нет указания на образование бозонных резонансов. В канале $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ получено указание на образование ω -мезона с сечением $\sigma = 0,023 \pm 0,002 \text{ мб}$ /рис. 7/, но основную долю рожденных резонансов составляет изобара $\Delta^{++}(1236)$. Для канала $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ характерно образование нуклонных изобар $\Delta^{++}(1236)$ и $\Delta^-(1236)$ в 84% случаев. Совместное образование обеих изобар происходит в 10% случаев этого канала реакции.

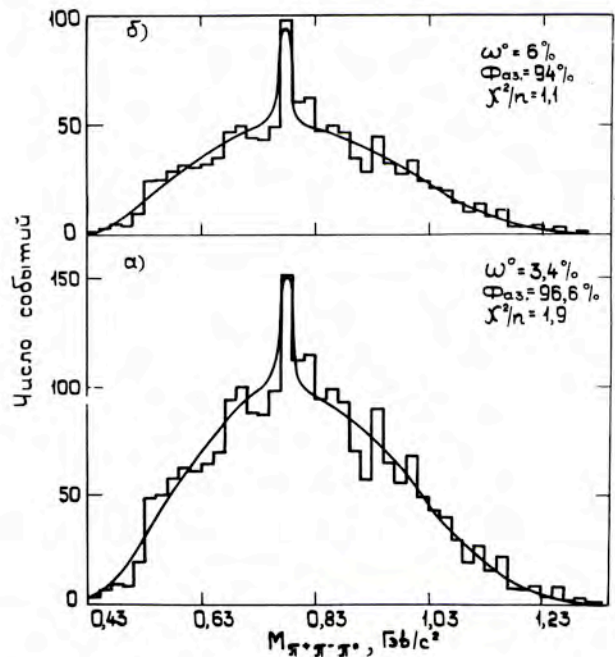


Рис. 7. Распределение эффективных масс системы $\pi^+\pi^-\pi^0$ из реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при импульсе нейтронов $5,1 \text{ ГэВ/с}$; "а" - для всех событий, "б" - после вычитания ложной комбинации.

Исследованы угловые и энергетические распределения протонов, зарегистрированных во взаимодействиях положительных π -мезонов с ядрами ксенона при импульсе $2,34 \text{ ГэВ/с}$ с помощью пузырьковой ксеноновой камеры на синхрофазотроне. На основе анализа экспериментального материала оценена величина функции $f(P_F)$ для распределения плотности вероятности импульсов внутриядерных нуклонов ядра ксенона /рис. 8/. В области $P_F \leq 500 \text{ МэВ/с}$ функция $f(P_F)$ удовлетворительно описывается фермиевским распределением. В области $P_F = 500 \div 1000 \text{ МэВ/с}$ проявляется в основном влияние вторичных внутриядерных взаимодействий протонов отдачи.

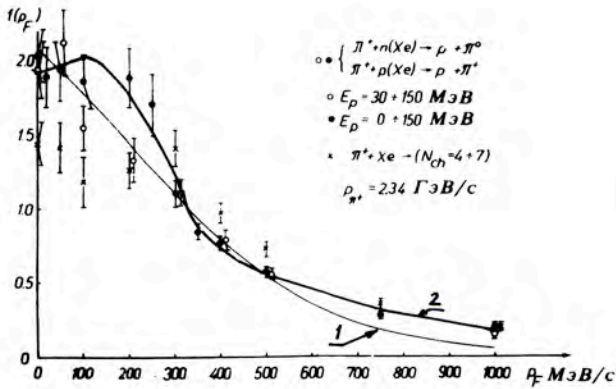


Рис. 8. Значения функции $I(p_F)$ - импульсного распределения нуклонов внутри ядра ксенона. Аппроксимация экспериментальных данных проведена кривой с фермиевским распределением /кривая 2/. Чувствительность аппроксимации оценивается с помощью кривой 1, соответствующей реакции с образованием от 4 до 7 заряженных частиц.

Электромагнитная структура элементарных частиц

Уточнен электромагнитный формфактор π -мезона в эксперименте по прямому рассеянию отрицательных π -мезонов с импульсом 100 ГэВ/с на электронах в жидководородной мишени: $r_\pi = 0,56 \pm 0,04 \text{ м}$. После модернизации спектрометра с помощью системы из 32 дрейфовых камер, изготовленных в ЛВЭ, проведены измерения и набрана статистика по каон-электронному и пион-электронному рассеянию при энергии 250 ГэВ . С помощью тех же дрейфовых камер на ускорителе в Батавии проведен эксперимент при энергии 250 ГэВ с целью обнаружения эффекта каналирования частиц высокой энергии. Получены предварительные положительные результаты.

Релятивистская ядерная физика

На синхрофазотроне ОИЯИ осуществляется широкая программа экспериментов в области релятивистской ядерной физики. Исследование ведется в 9 группах физиков.

На установке "Диск-2" набран большой экспериментальный материал по изучению образования кумулятивных частиц. В пучках протонов и дейтронов с импульсом $8,6 \text{ ГэВ/с}$ зарегистрировано 460 тыс. взаимодействий на мишенях из 14 ядер

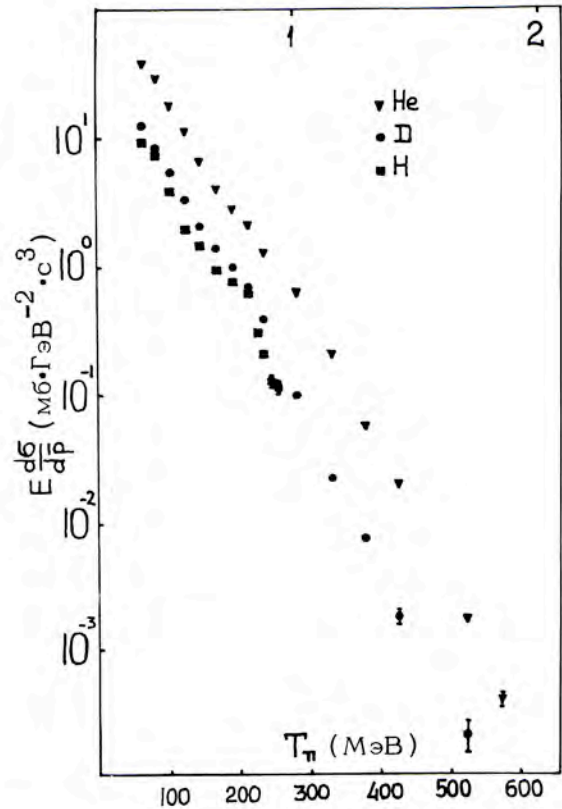


Рис. 9. Энергетическая зависимость инвариантных сечений образования положительных π -мезонов на мишенях H, D, He.

от дейтерия до урана с образованием пионов, каонов и протонов, а также фрагментов d , α и других с импульсами от 150 до 1800 МэВ/с и кумулятивным числом больше 1,5. Изучены энергетические выходы положительного π -мезона на мишенях H, D, He /рис. 9/, протона на мишенях He и D, дейтрона на мишени He, угловые зависимости выхода положительных π -мезонов на мишенях H, D, He, протонов на мишенях D и He, дейтронов на гелиевой мишени /рис. 10/.

На ядрах-мишенях C, Al, Cu, Pb получены энергетические зависимости выхода протонов, дейтронов и ядер трития, удовлетворяющих отбору частиц при кумулятивном числе $Q = 1,5 \div 5$. Для этих же частиц получена зависимость от величины заряда ядра-мишени.

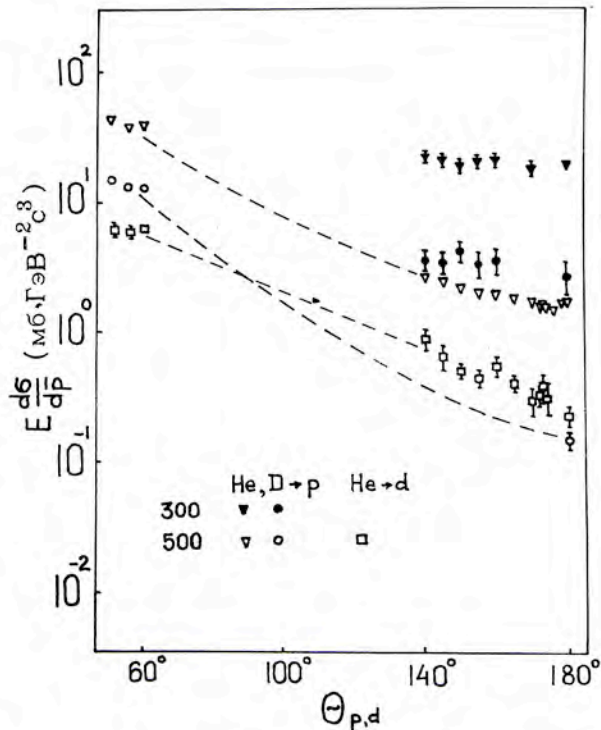


Рис. 10. Угловая зависимость выхода протонов на мишенях D, He и дейтронов на гелиевой мишени в кумулятивной области их образования.

На полученном ранее материале по дифракционному рассеянию альфа-частиц при импульсе 4,5 ГэВ/нукл. на протонах и ядрах He, C, Al, Cu с помощью установки "Альфа" на синхрофазотроне уточнены данные по угловому распределению альфа-частиц. Это позволило сделать оценки сечений σ_{tot} , σ_{el} и радиусов αA -взаимодействий, определить абсолютные величины дифференциальных сечений рассеяния альфа-частиц в дифракционной области и величины наклонов дифракционных конусов /рис. 11 и таблица/.

Сравнение экспериментальных данных о наклонах конусов в pA- и αA -рассеяниях для событий с большими $|t| > 0,1$ /ГэВ/с² приводит к указанию, что αA -рассеяние лучше интерпретировать как квазиупругое рассеяние не на отдельных нуклонах ядра, а на кластерах α или d в ядре.

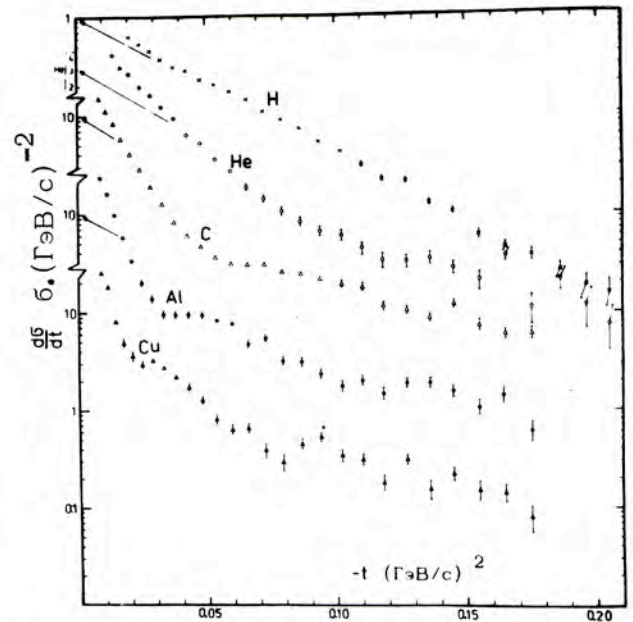


Рис. 11. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ для упругого рассеяния на ядрах альфа-частиц с импульсом 4,5 ГэВ/нукл.

Таблица

Мишень	Интервал $ t $, (ГэВ/с) ²	Наклон конуса (ГэВ/с) ⁻²
H ₂	0,0206 - 0,102	32,1±0,3
He	0,0141 - 0,0656	10,2±0,7
C	0,0088 - 0,0244	37,9±0,8
Al	0,0088 - 0,0244	97±5
Cu	0,0088 - 0,0172	308±40

Проведен монтаж установки "Альфа" в варианте с твердыми мишенями. В сеансах на синхрофазотроне в пучках протонов, релятивистских дейтронов и альфа-частиц набрано $1,4 \times 10^6$ событий рассеяния на ядрах C, Al, Cu, Pb в интервале углов $20 \div 60$ мрад.

С помощью установки "Спектрометр ядер отдачи" на синхрофазотроне исследована фрагментация ядра-мишени углерода. Получены дифференциальные сечения образования изотопов H, He, Li и Be в реакции $d + {}^{12}\text{C}$ при импульсах дейтерия 1,1; 1,5; 1,9; 2,0; 2,4; 3,1; 3,7 и 4,6 ГэВ/нукл. /рис. 12/ и в реакции $\alpha + {}^{12}\text{C}$ при импульсе 2,5 ГэВ/нукл. под углом 90° в лабораторной системе. Эксперимент проводился на внутренней полиэтиленовой мишени толщиной от 1 до 5 мкм. Вторичные заряженные частицы регистрировались системой из ΔE -E телескопов, в состав которых входили кремниевые детекторы с энергетическим разрешением $50 \div 80$ КэВ. В диапазонах кинетической энергии фрагментов $5 \div 30$ и $30 \div 70$ МэВ спектры хорошо описываются зависимостью $a \cdot \exp[-E/b]$. Анализ величин компонент энергетического

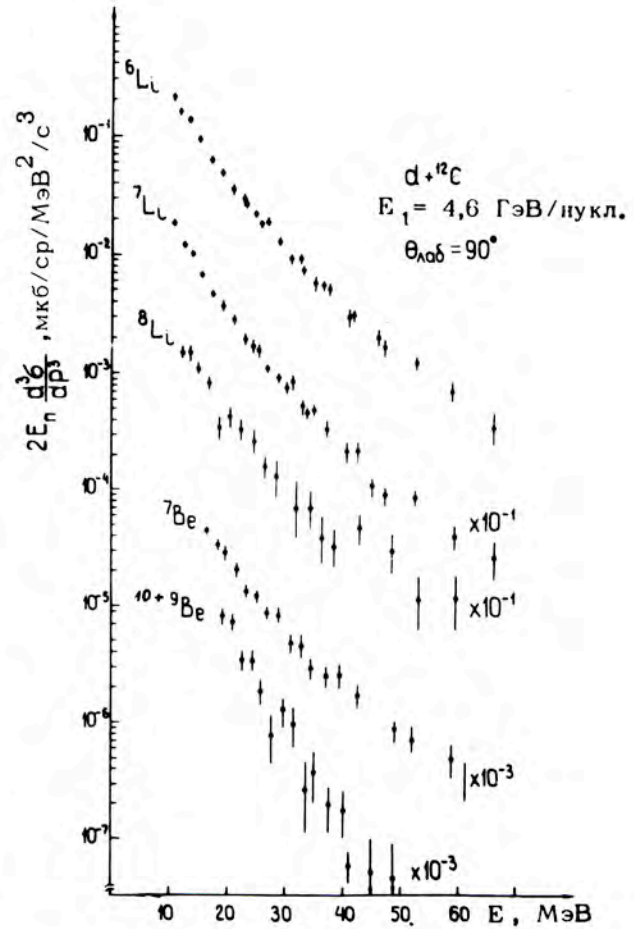


Рис. 12. Инвариантные дифференциальные сечения $2E_n \frac{d^3\sigma}{dp^3}$ выходов изотопов Li и Be в зависимости от кинетической энергии E фрагментов в реакции $d + {}^{12}\text{C}$ при импульсе дейтронов 4,6 ГэВ/нукл. / E_n - полная энергия фрагментов/.

спектра в обеих областях связан с определенным механизмом образования фрагментов. При энергии пучка больше 600 МэВ/нукл. параметр "b" не зависит от энергии, что указывает на проявление "ядерной" масштабной инвариантности.

На основе анализа материалов взаимодействия альфа-частиц с ядрами Li, C, Ne, Al, Cu и Pb с помощью установки СКМ-200 в пучке альфа-частиц с импульсом 4,5 ГэВ/нукл. показано подобие топологических сечений рождения отрицательных пионов альфа-частицами и в элементарных pp-взаимодействиях в области импульсов от 4 до 400 ГэВ/с. Хорошо совпали зависимости дисперсий распределения по множественности отрицательно заряженных частиц от средней множественности отрицательных частиц для αA - и pp-взаимодействий /рис. 13/. Изучены характеристики процесса фрагментации альфа-частиц на ядре лития и определены сечения различных каналов этого процесса, отмечен большой выход изотопов ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ с сечением $\sigma = 40 \pm 3$ мб.

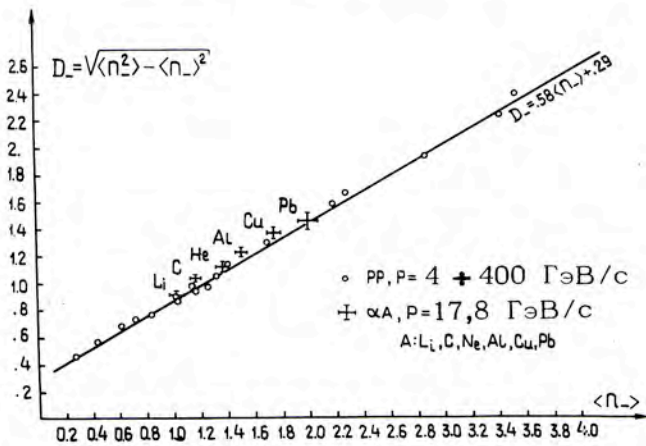


Рис. 13. Сравнение зависимости дисперсии D_- от среднего числа отрицательных частиц $\langle n_- \rangle$ для αA -взаимодействий при импульсе 4,5 ГэВ/нукл. и для pp-взаимодействий в области 4-400 ГэВ/с.

Проведено облучение установки СКМ-200 в пучке альфа-частиц с импульсом 4,5 ГэВ/нукл., получено 33 тыс. фотографий.

Изучены двухлучевые взаимодействия ${}^4\text{He} + p$ при импульсе 2,15 ГэВ/нукл. с помощью метровой жидководородной камеры на синхрофазотроне. Упругое (${}^4\text{He} + p$)-рассеяние характеризуется большой величиной наклона конуса $b = 274 \pm 15$ /ГэВ/с/ 2 , а для событий с образованием одного пиона величина b составляет $11,4 \pm 1,9$ /ГэВ/с/ 2 /рис. 14/. Для реакции с развалом ${}^4\text{He}$ выделены события со спекторами ${}^3\text{He}_s$ или n_s . Для виртуального рассеяния $p + {}^3\text{He} \rightarrow p + {}^3\text{He}$ и

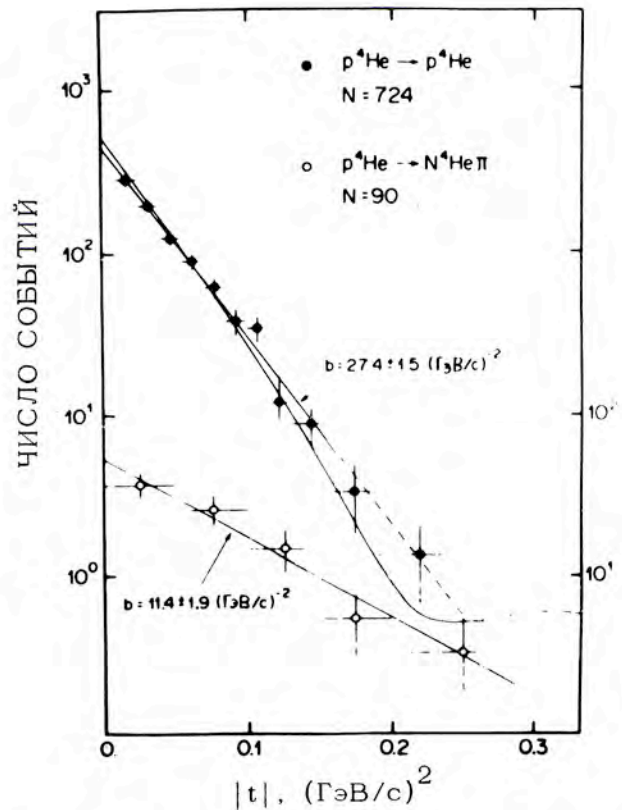


Рис. 14. Распределение числа событий в реакциях ${}^4\text{He} + p \rightarrow {}^4\text{He} + p$ и ${}^4\text{He} + p \rightarrow {}^4\text{He} + N + \pi$ в зависимости от величины переданного импульса $|t|$ при импульсе ядер гелия 2,15 ГэВ/нукл.

$p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}$ определены распределения энергии в с.ц.м., характер которых обусловлен ферми-движением. Параметр асимметрии угла Треймана-Янга зависит от величины импульса частицы-спектратора, что не может быть объяснено кинематическим эффектом. В сеансе на синхрофазотроне получено 65 тыс. фотографий в пучке альфа-частиц с импульсом $3,5 \text{ ГэВ/нукл.}$

В сеансах на синхрофазотроне с помощью двухметровой пропановой камеры в пучках протонов, дейтронов, альфа-частиц и ядер углерода получено 156 тыс. фотографий /рис. 15/. Определена средняя множественность отрицательных пионов, g -частиц и протонов в интервале импульсов пучка от 2 до 5 ГэВ/нукл. Проведен сравнительный анализ изменения средних множественностей в зависимости от сорта и энергии налетающего ядра. Найдено, что увеличение средней множественности для пионов, g -частиц и быстрых протонов при переходе от pW -к αW -взаимодействиям различно и максимально для быстрых протонов /рис. 16/. Определено среднее число взаимодействовавших нуклонов $n_p = 2,7 \pm 0,1$ в αW -событиях при импульсе $4,2 \text{ ГэВ/нукл.}$

Для работы с материалами, получаемыми с помощью двухметровой пропановой камеры на синхрофазотроне в пучках релятивистских ядер, организовано сотрудничество ученых 18 лабораторий НРБ, ВНР, МНР, ПНР, ЧССР, СССР.

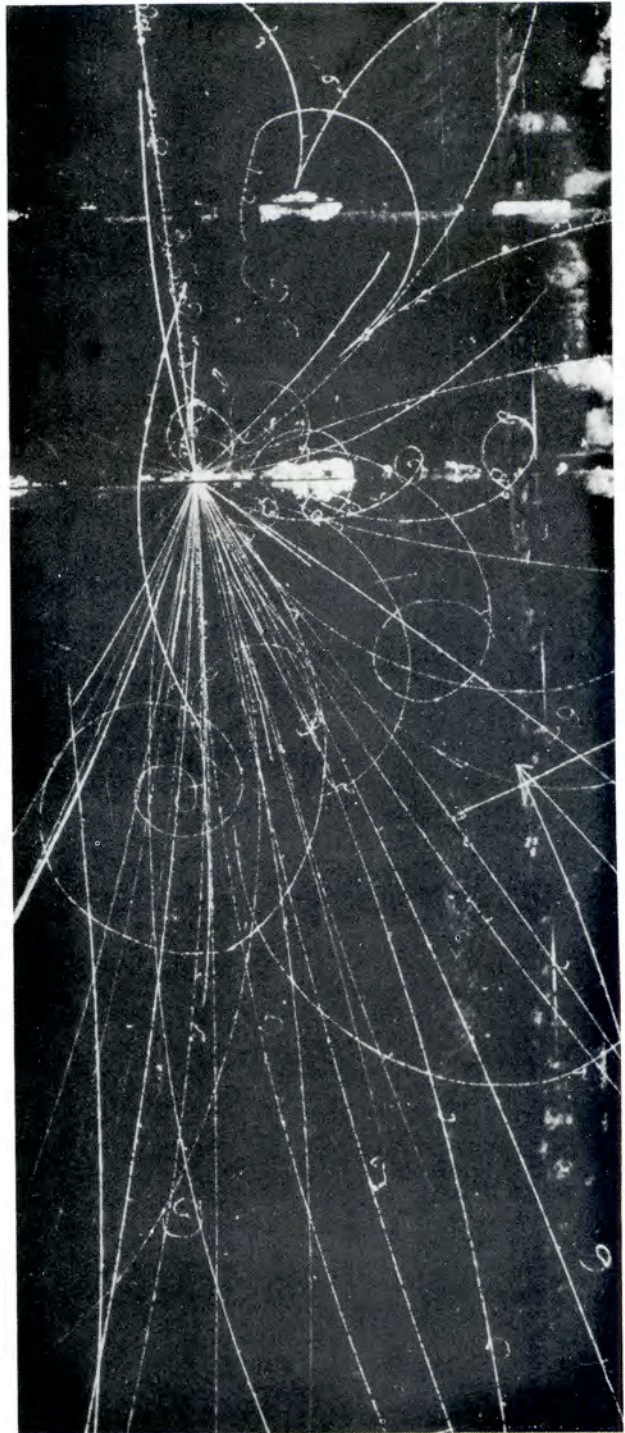


Рис. 15. Случай взаимодействия ядра углерода с энергией 50 ГэВ с пластинкой из тантала, зарегистрированного в двухметровой пропановой пузырьковой камере.

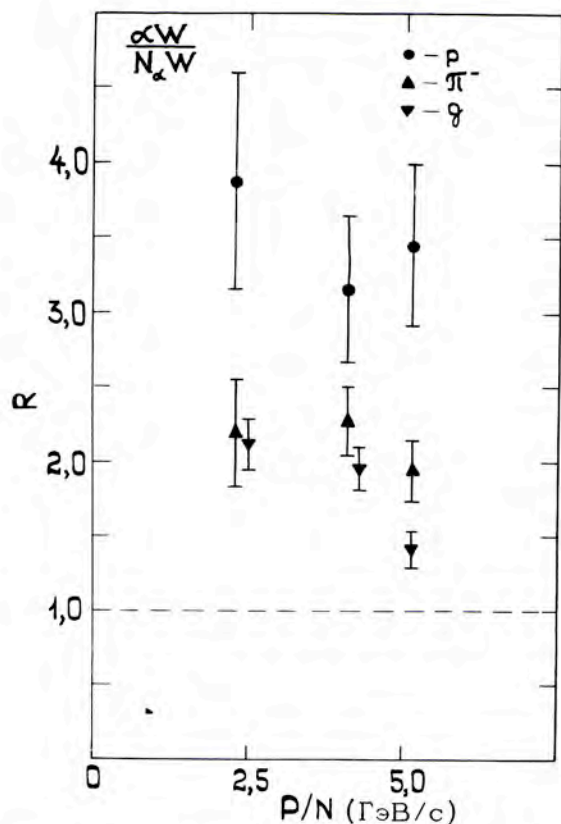


Рис. 16. Энергетическая зависимость роста отношения средних множественностей образования вторичных частиц при переходе от pW - к αW -взаимодействию.

С помощью фотоэмульсий, облученных пучком ядер углерода с энергией 50 ГэВ на синхрофазотроне, исследовались неупругие взаимодействия углерод-ядро. Показано, что средние множественности, рассчитанные на один нуклон налетающего ядра, совпадают с аналогичными данными для взаимодействий альфа-ядро и дейтрон-ядро. В 90% случаев наблюдаются заряженные фрагменты ядра углерода. Обнаружено дифракционное расщепление ядра углерода на три альфа-частицы с вероятностью 2%. Угловые распределения фрагментов ядра мишени слабо зависят от атомного номера налетающего ядра.

Обработку событий ведут физики 8 лабораторий Дубны, Москвы, Ленинграда, Ташкента, Бухареста, Варшавы и Кошице.

Совершенствование действующих и разработка новых физических приборов и установок

Разработана и прошла испытания на стенде пропорциональная камера для эффективной регистрации ядер размером 50×60 мм², работающая в режиме низкого давления $20 \div 200$ мм рт.ст. Специально разработанная регистрирующая электронная аппаратура помогла обеспечить рекордное пространственное разрешение - 40 мкм. Энергетическое разрешение камеры для альфа-частиц с энергией 5,2 МэВ составило 17%.

Для создания расширенной системы диагностики пучка при облучении установки "Людмила" на серпуховском ускорителе разработаны, исследованы и введены в строй 8 двухкоординатных пропорциональных камер размером 50×50 мм² и 2 камеры размером 150×150 мм². Регистрация информации с камер осуществляется с помощью электронной аппаратуры по 912 каналам. Система математического обеспечения создана на базе ЭВМ ТРА-1 и позволяет выводить на дисплей и телетайп профили пучка по двум координатам в 10 сечениях канала частиц. В несколько раз сократилось время настройки канала частиц, идущих на установку "Людмила".

На основе пропорциональных камер создан прибор для изучения биологичес-

ки активных веществ, меченных радиоактивными изотопами, который предназначен для использования в молекулярной биологии и биохимии. Прибор обеспечивает измерение пространственного распределения изотопов на поверхности объекта /хроматограммы/ размером $200 \times 200 \text{ мм}^2$ с точностью $1 \div 2 \text{ мм}$. Система подключена к ЭВМ, визуальная регистрация распределения делается с помощью телевизора. Имеется возможность идентификации изотопов ^3H , ^{14}C , ^{32}P в одном цикле измерений. Прибор обеспечивает скорость 10^5 измерений за секунду, чувствительность - не хуже 10 пКи/см^2 . По своим возможностям и характеристикам прибор значительно превосходит существующие аналогичные устройства.

Для автоматизации контроля и управления физическими установками и дальнейшего развития спектрометров физики высоких энергий разработан и изготовлен ряд новых электронных блоков. Общее число разработанных блоков разных типов доведено до 120.

Налажен интерфейс ЭВМ ЕС-1040, позволяющий принимать от физических спектрометров до 100 триггеров за цикл работы ускорителя. Созданы системы на линии с ЭВМ ТРА-70 для измерений низких температур при охлаждении магнитов, для измерения энергетических потерь в сверхпроводниках. Изготовлена 10-канальная система для измерения малых уровней интенсивности циркулирующего пучка ядер в синхрофазотроне.

Разработана микропроцессорная система на основе контроллера в стандарте КАМАК с микропроцессором фирмы Интел. Начата эксплуатация ЭВМ ЕС-1040.

В области разработки и создания систем быстрой электроники завершен этап перехода на интегральные схемы,

что привело к улучшению эксплуатационных показателей электронных блоков. В области многоканальных логических узлов отбора и регистрации сигналов наносекундного диапазона разработано 8 типов блоков, среди которых: универсальный годоскоп-шифратор, быстродействующий процессор для отбора событий в реальном времени эксперимента, усилитель-дискриминатор для дрейфовых камер. В области преобразования информации создано 4 блока, в том числе 16-канальный преобразователь аналоговой информации в цифровой код, генератор наносекундных импульсов с управлением от ЭВМ. Для съема информации с физических установок созданы усилитель-формирователь для электронных умножителей, 4-канальный линейный приемник-усилитель сигналов с удаленных датчиков; разработана специализированная гибридная интегральная схема для регистрации импульсов с пропорциональных камер.

В области создания и совершенствования приборов и устройств криогенной техники проведены следующие работы:

а/ Создана гелиевая струйная мишень для проведения эксперимента по рНе-рассеянию на ускорителе НУЛ /Батавия/. Количество гелия, образующееся при работе мишени, составило 10^{-7} г/см^2 при ширине струи 5 мм, что дало возможность успешно набрать статистический материал в эксперименте на ускорителе.

б/ Для создания систем криостатирования больших физических установок исследована возможность применения гелиевого струйного насоса как криогенного эжектора для работы сверхпроводящих магнитных систем.

в/ при исследовании влияния ориентации плоской сверхпроводящей шины на

потери энергии в импульсно работающих соленоидах было показано, что при ориентации шины параллельно магнитному полю соленоида существенно уменьшаются суммарные потери и деградация критического тока при скоростях изменения магнитного поля до $7,8 \text{ Т/с}$. Изучены зависимости величины критического тока от диаметра изгиба сверхпроводящей шины и от степени плоской деформации. На пучке ядер с энергией 8 ГэВ проведены подготовительные работы и ведется исследование влияния радиационного нагрева на величину критического тока в сверхпроводниках.

Совершенствование синхрофазотрона, работы по проекту нуклотрона

На синхрофазотроне проведены работы по повышению эффективности его использования для физических экспериментов и совершенствованию его параметров.

За счет ввода в эксплуатацию системы прецизионной связи частоты с магнитным полем, получения расчетной амплитуды ускоряющего напряжения в линейном ускорителе ЛУ-20, использования группирователя на входе ЛУ-20 и модулятора энергии разгруппирователя после ЛУ-20 и после перевода ускорения частиц на вторую кратность частоты обращения возросла интенсивность пучка дейтронов до 3×10^{11} в импульсе и пучка альфа-частиц до 3×10^{10} в импульсе.

Проведены длительные испытания криогенного источника ионов "Крион-1" на синхрофазотроне. Удалось ускорить ядра углерода до энергии 60 ГэВ , ядра азота до энергии 70 ГэВ , ядра кислоро-

да до энергии 80 ГэВ и ядра неона до энергии 100 ГэВ . На первом этапе работы "Крион-1" интенсивность ядер углерода в канале медленного вывода составила $2,8 \times 10^4$ в импульсе и ядер кислорода 5×10^3 в импульсе. Это позволило провести облучение двухметровой пропановой камеры, установки СКМ-200 и нескольких пачек ядерной фотоэмульсии.

В варианте источника "Крион-2" достигнут фактор ионизации $3 \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$ при энергии электронов $6,5 \text{ кэВ}$. Впервые получены ядра Ag^{+18} и Xe^{+37} .

Проведен заключительный этап отработки режима совмещения медленного и быстрого выводов в одном цикле работы ускорителя для их длительного применения. Длительность медленного вывода доведена до 300 мс , а быстрого - до 600 мкс . Получен режим, позволяющий производить в одном цикле быстрый и медленный выходы как при одной, так и при разных энергиях ускоряемых частиц. Проведены эксперименты по облучению физических установок в совмещенном режиме.

Осуществлен вывод ядер с энергией 400 МэВ/нукл. для проведения исследований в области лучевой терапии.

По проекту жесткофокусирующего ускорителя релятивистских ядер нуклотрона проделаны следующие работы. Создана первая очередь стенда для проведения теплофизических исследований малых импульсных магнитов, в котором будут использоваться гелиевые криостаты диаметром 150 и 300 мм . Ведется сборка и наладка стенда для исследования потерь в коротких образцах сверхпроводников. Проведены испытания сверхпроводящего магнита с диаметром 250 мм и сердечником из железных пластин. Определена величина критического тока в статическом и импульсном

режимах, измерены потери, снята карта магнитного поля. Спроектированы и изготовлены два сверхпроводящих магнита длиной 400 мм с использованием сверхпроводящего кабеля, изготовленного в лаборатории. Проведено испытание сверхпроводящего магнита со сплошным стальным сердечником на поле 2,5 Т с обмотками коррекции. Разработаны и изготовлены две сверхпроводящие квадрупольные линзы. Проведены их испытания и измерены величины критического тока, потери при различной длительности цикла питания и градиента магнитного поля.

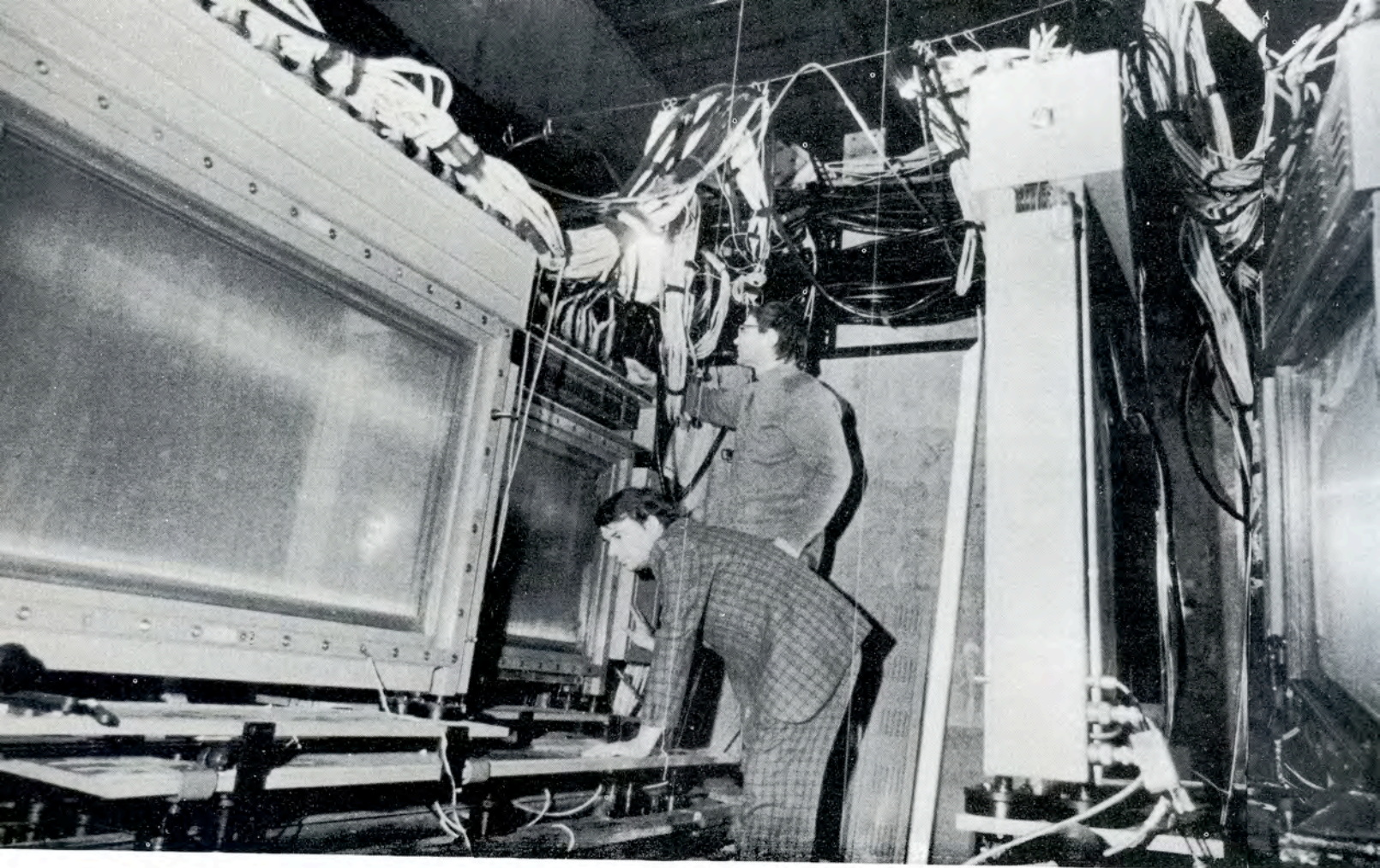
Эксплуатация синхрофазотрона

Запланированное время работы ускорителя - 4149 часов.

Ускоритель работал:

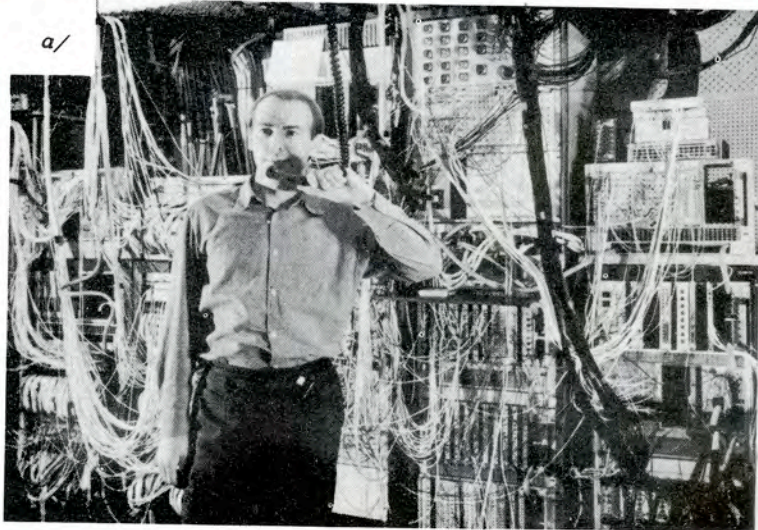
а/ на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3288 часов со средней интенсивностью $3,3 \times 10^{11}$ ускоренных протонов, $1,1 \times 10^{11}$ дейтронов, 6×10^9 альфа-частиц, 10^4 ядер углерода за один цикл ускорителя.

б/ на совершенствование систем ускорителя - 629 часов.

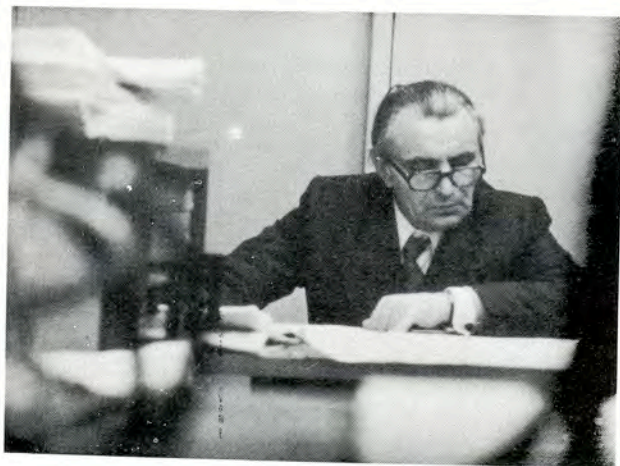


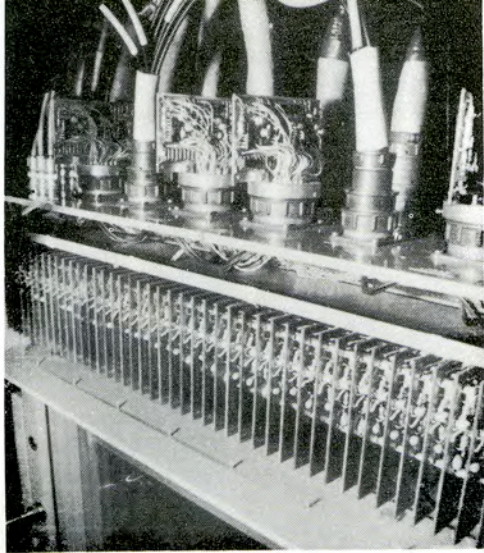
Продолжается поиск "очарованных" частиц с помощью установки БИС-2 на нейтронном пучке серпуховского ускорителя. Эксперимент проводится на линии с ЭВМ ЕС-1040.
 Во время очередного сеанса по набору статистики: а/ электронная аппаратура установки; б/ за пультом управления ЭВМ ЕС-1040.

а/

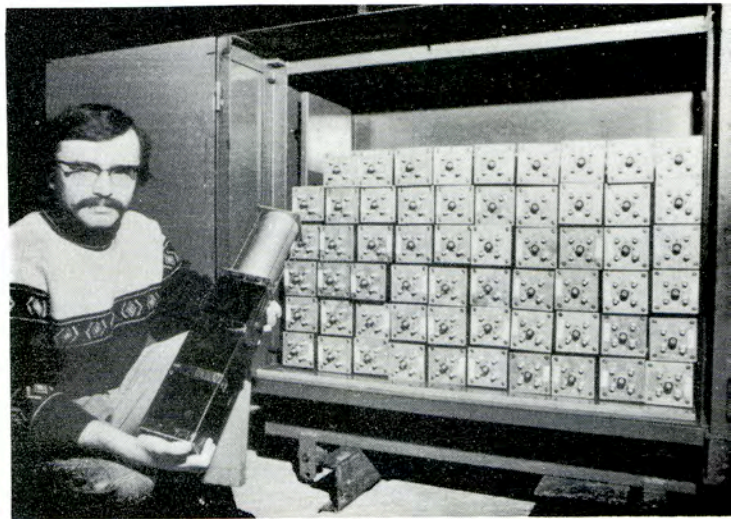


б/

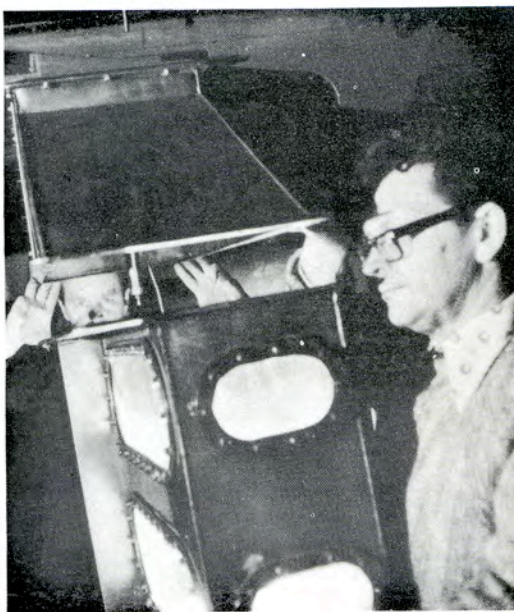




Проверка надежности монтажа пропорциональных камер.



Модули черенковских счетчиков полного поглощения.



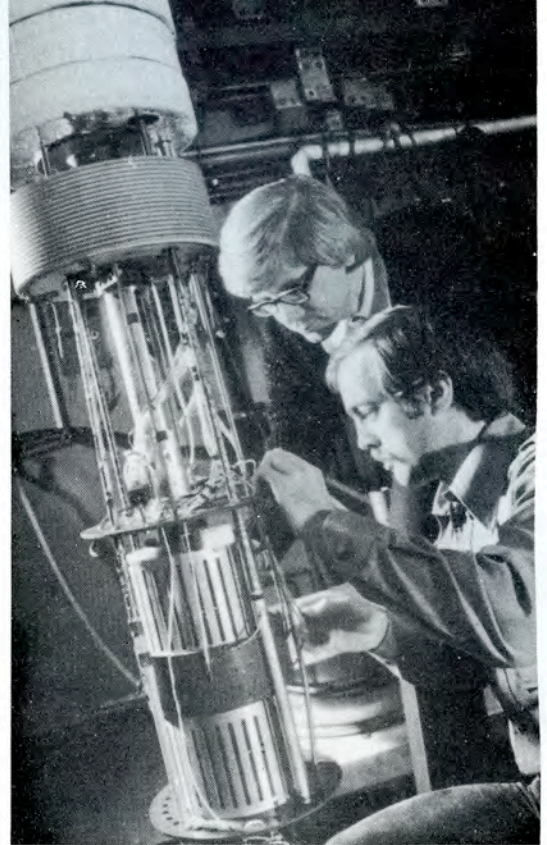
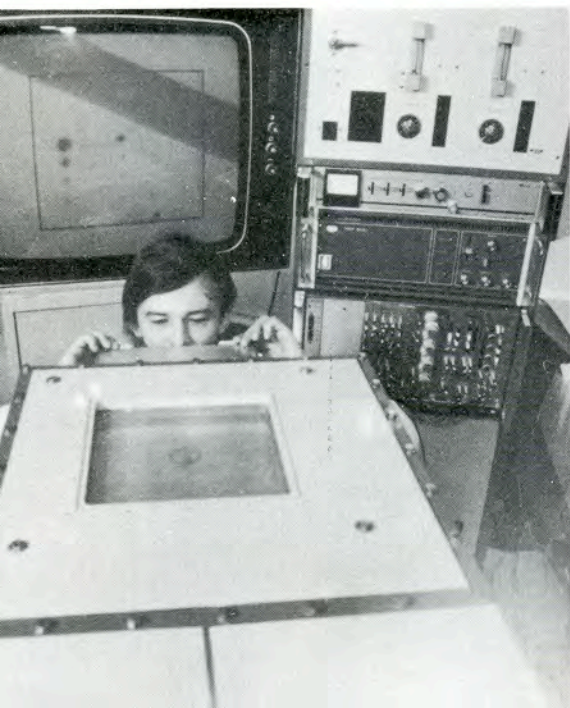
В сеансах на синхрофазотроне в пучках протонов, релятивистских дейтронов и альфа-частиц набрано свыше 1 млн. событий рассеяния на ядрах. Эксперимент ведется в помощьу установки "Альфа", работающей на линии с ЭВМ ЕС-1010.





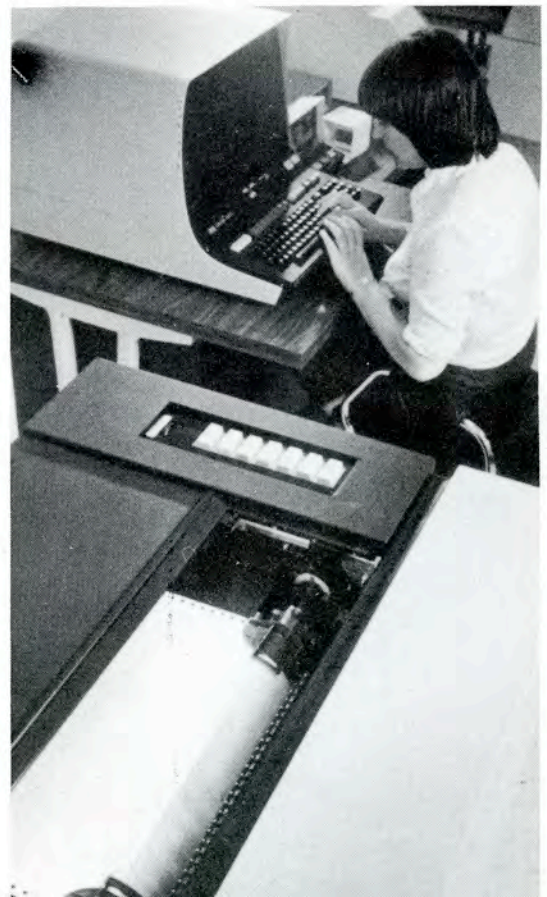
Для ряда экспериментальных установок созданы оригинальные криогенные мишени. На снимке: набор криогенных мишеней /g-H, He, D / для установки "Диск-2".

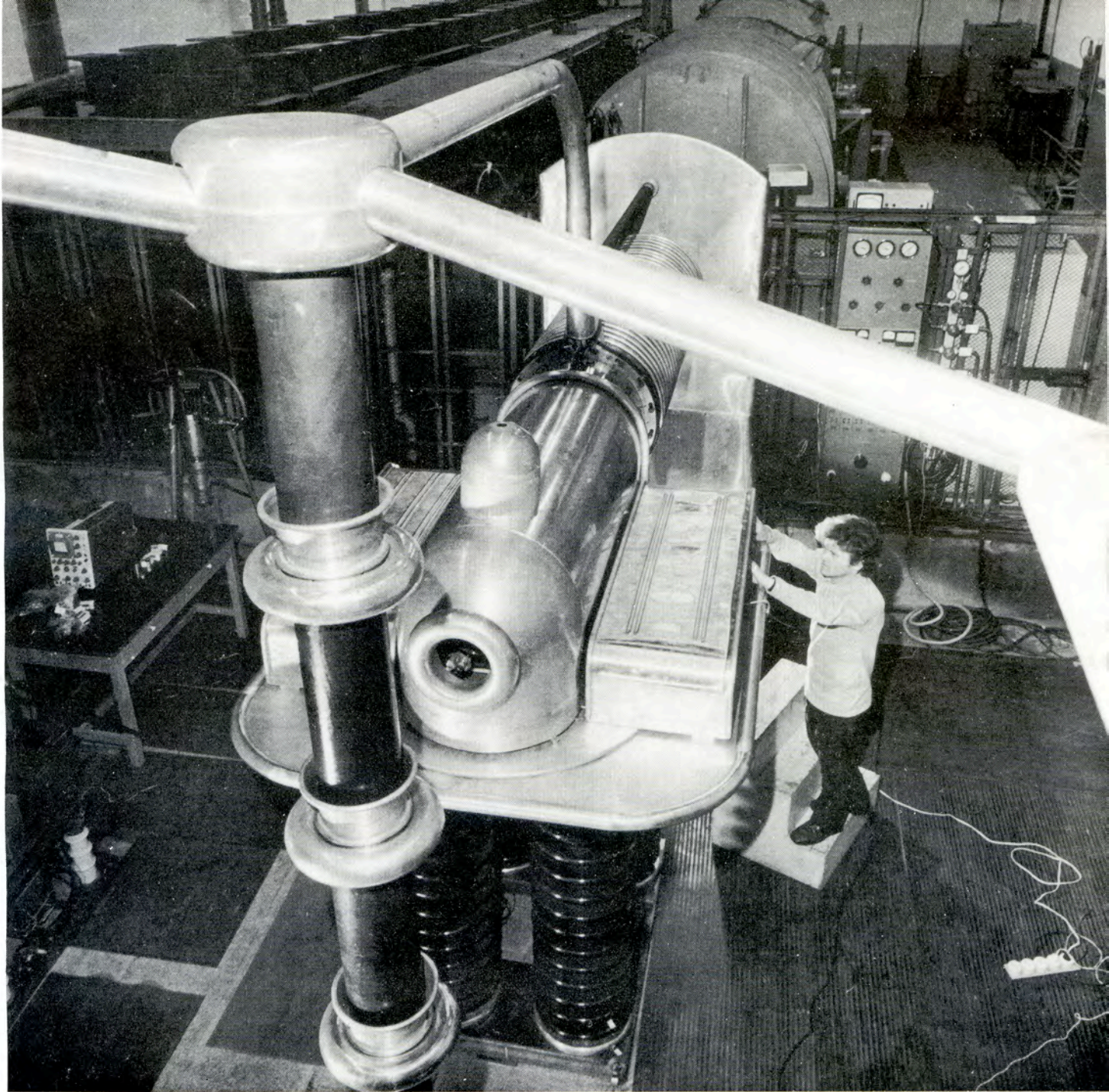
Для изучения биологических объектов, меченных радиоактивными изотопами, создан прибор на основе пропорциональной камеры.



Для исследований, связанных с проектом жесткофокусирующего ускорителя релятивистских ядер, создан сверхпроводящий магнит, предназначенный для калибровки датчиков магнитного поля. Напряженность поля составляет 8 Т при неоднородности 10^{-5} .

Одно из терминальных устройств ЭВМ CDC-6500, обеспечивающих передачу программ из Лаборатории высоких энергий на базовую ЭВМ.





На синхрофазотроне проведены длительные испытания криогенного источника ионов нового типа "Крион", позволившего ускорить ядра углерода, азота, кислорода и неона до энергии 5 Гэв/нукл.

