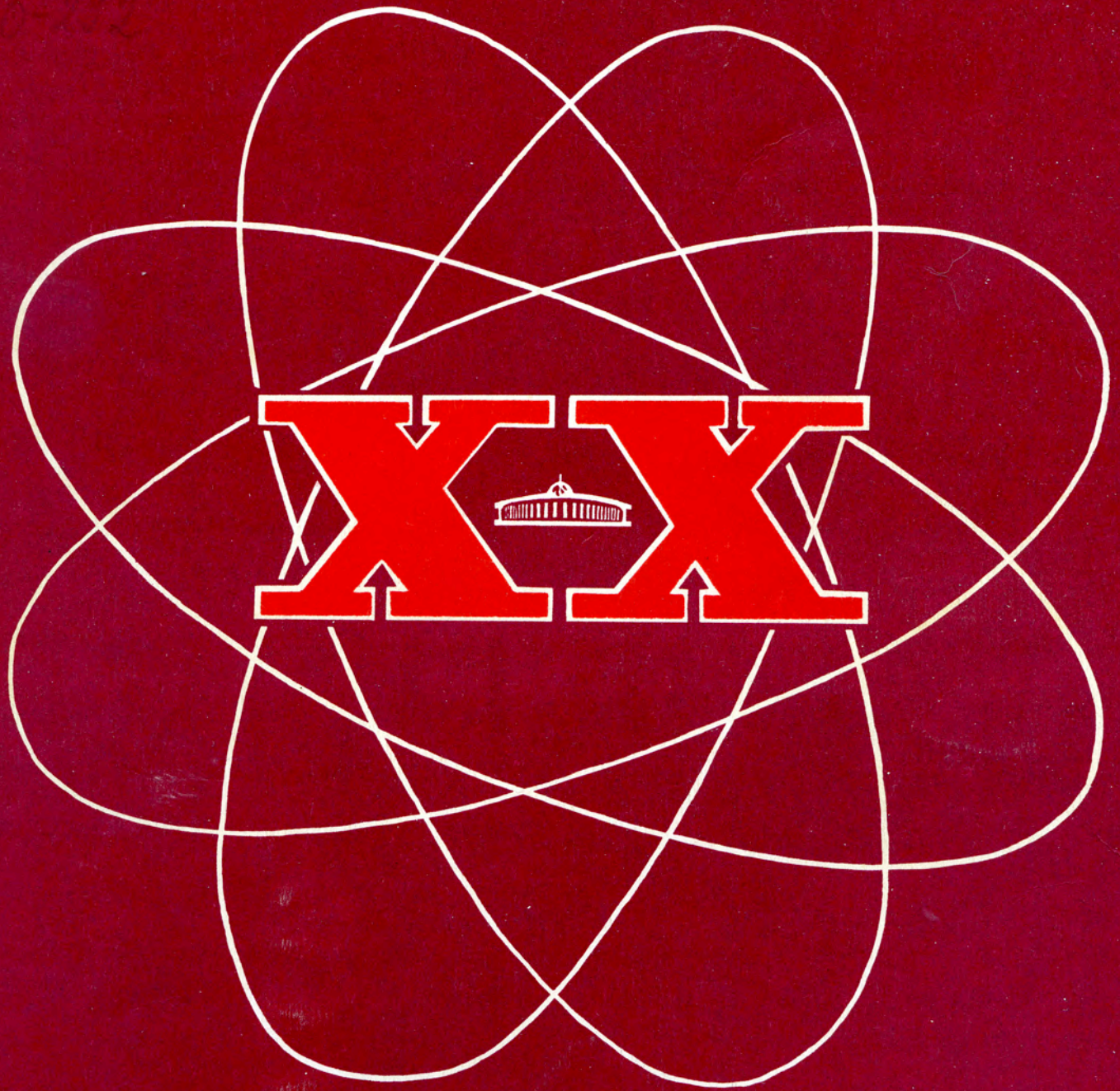


# ДУБНА · 1976

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1976 · DUBNA

## 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 жесткофокусирующего ускорителя ядер - нуклотрона.

## Научно-исследовательские работы

Поведение  
амплитуд рассеяния  
в зависимости от энергии  
взаимодействующих частиц

*Завершена обработка данных и получены окончательные результаты по регенерации нейтральных каонов на дейтерии и углероде в интервале импульсов каонов 14-50 ГэВ/с с помощью установки БИС на серпуховском ускорителе.*

Прямым способом показано наличие интерференции в двухпионных распадах  $K_L^0$ -мезонов и регенерированных ими в жидком дейтерии  $K_S^0$ -мезонов. Установлено, что модуль модифицированной



трансмиссионной амплитуды и дифференциальное сечение регенерации изменяются с импульсом в соответствии с предсказаниями модели комплексных угловых моментов, учитывающих выполнение теоремы Померанчука. Получено, что модуль амплитуды  $|F_{21}|_D \sim P^{-0,55 \pm 0,08}$ , где  $P$  - импульс каонов,  $ГэВ/с$ . Фаза амплитуды регенерации каонов на дейтерии не зависит от импульса каонов в области  $10-50 ГэВ/с$  и ее средняя величина равна  $-131 \pm 3^\circ$ , что согласуется с предсказаниями модели комплексных угловых моментов с учетом вклада в амплитуду  $\omega$ -полюса и выполнимости теоремы Померанчука, а также служит безмодельным указанием на то, что амплитуда трансмиссионной регенерации удовлетворяет требованиям аналитичности и перекрестной симметрии.

С использованием оптической теоремы вычислены разности полных сечений взаимодействий нейтральных каонов и антикаонов на дейтерии. Их абсолютные величины и энергетические зависимости находятся в хорошем согласии с соответствующими величинами для заряженных каонов, что является новым экспериментальным доказательством изоспин-инвариантности взаимодействия каонов.

С использованием данных о регенерации на водороде и дейтерии вычислены модуль амплитуды и разности полных сечений нейтральных каонов и антикаонов на нейтронах. Показано, что их импульсная зависимость аналогична импульсной зависимости этих величин для водорода и дейтерия, а разность полных сечений нейтральных каонов и антикаонов на нейтронах совпадает со значениями, полученными в экспериментах с заряженными каонами на протонах, т.е. с данными для изотопически сопряженных реакций.

Найдено, что

$$\sigma(\bar{K}^0 n) - \sigma(K^0 n) = (2,1 \pm 0,1) [\sigma(K^- p) - \sigma(K^+ p)].$$

Согласно предсказаниям, сделанным на основе модели кварков с учетом спинов, это означает выполнимость соотношения Джонсона-Треймана для регенерации на дейтерии и водороде в интервале импульсов  $10 \div 50 ГэВ/с$ . Отношение разности сечений каонов на протонах и нейтронах, равное  $2,1 \pm 0,1$ , хорошо согласуется со следствиями, вытекающими из равенства фаз амплитуды регенерации на протонах и нейтронах.

Экспериментально показано существование дифракционной регенерации  $K_S^0$ -мезонов с помощью  $K_L^0$ -мезонов на водороде и дейтерии. В рамках обобщенной формулы Гуда определен наклон дифференциального сечения процесса, равный  $A = 15 / ГэВ^{-2}$ , и показана его независимость от импульса в области  $10-50 ГэВ/с$ . Полученные результаты по упругой регенерации согласуются с параметризацией  $\omega$ -траектории:  $a_\omega(t) = a_\omega(0) + a'_\omega(t)$ . Для  $a'_\omega(t)$  получено:  $a'_\omega(t) = /0,93 \pm 0,21/ / ГэВ^{-2}$ .

На основе анализе 7366 событий регенерации  $K_L^0 \rightarrow K_S^0$  на углероде в интервале импульсов от  $10$  до  $30 ГэВ/с$  определена зависимость модуля амплитуды регенерации  $|F|_c \sim P^{-0,62 \pm 0,14}$ . Фаза амплитуды не зависит от величины импульса каона в интервале  $10 \div 30 ГэВ/с$  и равна  $\phi_c = -126 \pm 14^\circ$ . Параметризация  $\omega$ -траектории при  $|t| = 0$  приводит к величине  $a_\omega(0) = 0,40 \pm 0,16$ . Экспериментальные данные по регенерации каонов на углероде согласуются с простой моделью комплексных угловых моментов, учитывающей  $\omega$ -полюс и выполнимость теоремы Померанчука.

Результаты получены в совместной работе ученых ОИЯИ, ИЯИЯЭ и ВХТИ БАН /София/, ЦИФИ ВАН /Будапешт/.

ИФВЭ АН ГДР /Цойтен/, ФИ ЧСАН /Прага/, ТГУ/Тбилиси/.

Исследовано упругое  $\alpha p$ -рассеяние при импульсах альфа-частиц 1,75; 2,51 и 4,13 ГэВ/нукл. с помощью спектрометра ядер отдачи на синхрофазотроне ОИЯИ. На основе анализа  $0,5 \times 10^6$  событий исследовалась область передач по  $|t|$  от 0,002 до 0,041 ГэВ/с<sup>2</sup>, включающая кулон-ядерную интерференцию /рис. 1/. Для величин  $\rho$  /отношение реальной части амплитуды рассеяния к

мнимой части/ и  $b$  /наклон зависимости дифференциального сечения  $d\sigma/dt$  от  $t$ / получены значения:

при 1,75 ГэВ/нукл.  $b = 27,4 \pm 0,8$ ,

при 2,51 ГэВ/нукл.  $b = 28,7 \pm 0,7$ ,

при 4,13 ГэВ/нукл.  $b = 29,7 \pm 0,7$ ,

$\rho = -0,16 \pm 0,05$ ;

$\rho = -0,20 \pm 0,05$ ;

$\rho = -0,25 \pm 0,09$ .

Величины сечения  $\alpha p$ -рассеяния обработаны по модели Глаубера для извлечения значений  $\rho$  и  $b$  протон-нуклонного взаимодействия. Полученные значения  $\rho_{pN}$  и  $b_{pN}$  хорошо согласуются с известными значениями  $\rho_{pp}$  и  $b_{pp}$  для  $pp$ -рассеяния. Полученные результаты свидетельствуют о том, что модель Глаубера применима для описания дифференциальных сечений упругого  $\alpha p$ -рассеяния, а спинозависящие члены в амплитуде  $A_{pN}$  малы.

В получении и обработке экспериментальных данных принимали участие физики ОИЯИ, ВХТИ /София/, ИЯИ /Варшава/, РИ им.В.Г.Хлопина /Ленинград/.

Измерены дифференциальные сечения упругого  $pp$ -и  $pd$ -рассеяния на очень малые углы в области кулон-ядерной интерференции при энергии 50-400 ГэВ на ускорителе НУЛ /Батавия/. В эксперименте были использованы газовые криогенные струйные мишени. Проведены измерения в области передач  $|t|$  от 0,0005 до 0,007 ГэВ/с<sup>2</sup> для  $pp$ -рассеяния и от 0,001 до 0,012 ГэВ/с<sup>2</sup> для  $pd$ -рассеяния. На основе анализа большого статистического материала определена реальная часть амплитуды упругого рассеяния вперед для  $pp$ - и  $pd$ -взаимодействия и полное сечение  $\sigma_t(pp)$ .

Работа проводилась группами ученых ОИЯИ, ИЯИ /Варшава/, Аризонского университета /Таксон/, НУЛ /Батавия/ и Рочестерского университета /Нью-Йорк/.

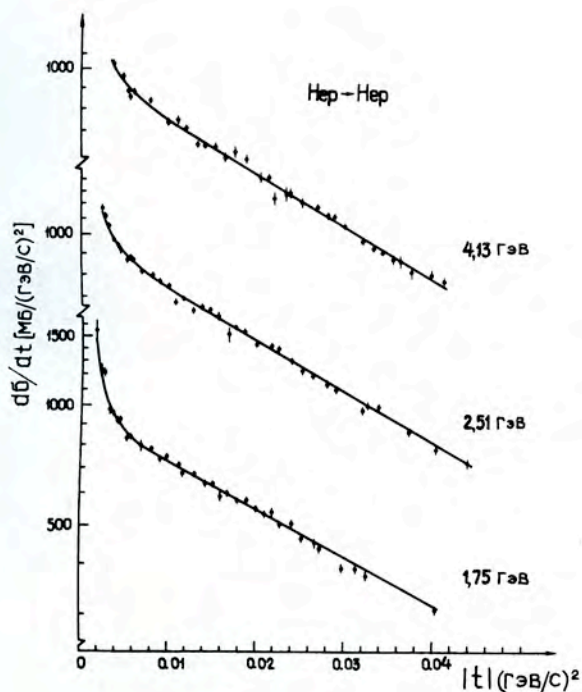


Рис. 1. Дифференциальные сечения упругого рассеяния альфа-частиц на протонах при импульсах 1,75; 2,51 и 4,13 ГэВ/нукл., приведенные к абсолютной шкале с помощью формулы Бете при  $\sigma(\alpha p)_{tot} = 133$  мб.

### Механизм рождения и распада частиц и резонансов. Поиск новых резонансов

Проведен предварительный анализ результатов поиска очарованных частиц на материалах облучения установки БИС пучком нейтронов с импульсом 50 ГэВ/с на серпуховском ускорителе. На первом этапе эксперимента набрано около 3 миллионов событий. Получены следующие результаты для сечения рождения искоемых частиц, умноженного на долю распада на указанные каналы:

$$\sigma R(C^+ \rightarrow \Lambda^0 \pi^+) < 2 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$$

в районе масс 2,2 ГэВ,

$$\sigma R(D^{\pm} \rightarrow K_S^0 \pi^{\pm}) < 6 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2$$

в районе масс 1,9 ГэВ,

$$\sigma R(\bar{D}^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-) < 3 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2$$

в районе масс 1,9 ГэВ,

$$\sigma R(C^0 \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^-) < 6 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$$

в районе масс 2,3 ГэВ.

В распределении эффективных масс системы  $\Lambda^0 \pi^+ \pi^-$  наблюдалось отклонение с массой  $M = 2087 \text{ МэВ}$ , шириной  $\Gamma \leq 23 \text{ МэВ}$  и сечением  $\sim 0,5 \text{ мкб}$ , которое интерпретируется как указание на существование очарованного бариона. Проводится анализ этого выброса и проверка его устойчивости на различные критерии отбора событий.

В работе принимали участие сотрудники ОИЯИ, ИФВЭ АН ГДР /Цойтен/, ИЯИЯЭ и ВХТИ /София/, ЦИФИ /Будапешт/.

*Измерено неупругое протон-протонное взаимодействие  $pp \rightarrow pX$  на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/ при помощи газовой криогенной струйной ми-*

шени и набора полупроводниковых детекторов. При изменении импульса пучка протонов от 50 до 400 ГэВ/с измерено дифференциальное сечение образования недостающей массы  $M_x^2$  от 0,88 до 4,0 ГэВ<sup>2</sup> в области передач  $|t|$  от 0,0025 до 0,025 /ГэВ/с<sup>2</sup>. Изучена  $s$ - и  $t$ -зависимость максимума в районе массы  $M = 1,4 \text{ ГэВ}$  и дифракционных состояний  $N^*$  с меньшими массами.

Работа проведена группой ученых ОИЯИ, ИЯИ /Варшава/, Аризонского университета /Таксон/, НУЛ /Батавия/ и Рочестерского университета /Нью-Йорк/.

*Получены предварительные данные по когерентным процессам  $dp \rightarrow Xd$  на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/. В эксперименте использована дейтериевая струйная мишень. Изучалась область малых передач  $|t|$  от 0,02 до 0,18 /ГэВ/с<sup>2</sup> при изменении импульса пучка от 65 до 370 ГэВ/с, что соответствовало изменению величины недостающей массы  $M_x^2$  от 2,44 до 83,47 /ГэВ/с<sup>2</sup>. Установлено, что дифференциальное сечение  $d^2\sigma/dt dx$  в зависимости от величины  $1-x \approx M_x^2/S$  уменьшается с ростом  $M^2(x)$ , практически не зависит от изменения импульса пучка в области  $122 \leq S \leq 698 \text{ ГэВ}^2$  и уменьшается при увеличении  $|t|$  /рис. 2,3/. Из графиков, построенных для фиксированных значений  $|t|$  0,03 и 0,13 /ГэВ/с<sup>2</sup>, следует, что при больших  $M_x^2$  дифференциальное сечение не описывается простой зависимостью  $1/M_x^2$ , независимо от величины  $|t|$ .*

В работе принимали участие физики ОИЯИ, ИЯИЯЭ /София/, ИЯИ /Варшава/, НУЛ /Батавия/, Рочестерского и Рокфеллеровского университетов /Нью-Йорк/, Аризонского университета /Таксон/.

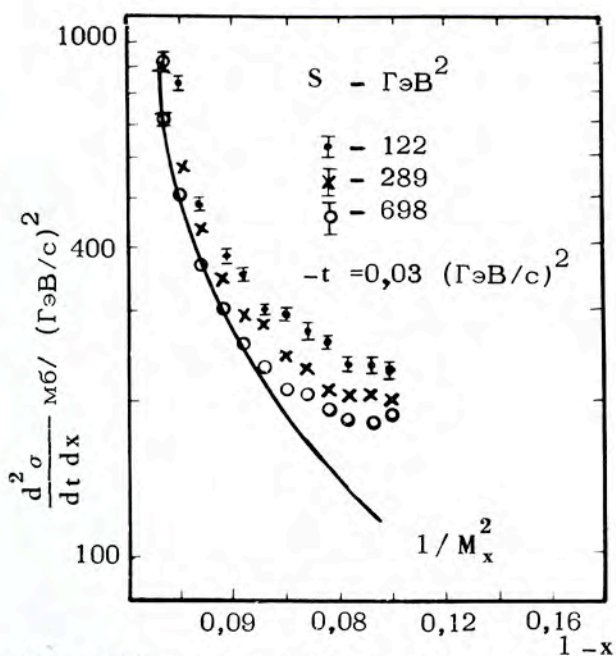


Рис. 2. Зависимость дифференциального сечения  $d^2\sigma/dt dx$  от  $1-x$  для когерентной реакции  $p d \rightarrow X d$  при  $s = 122, 289, 698 \text{ ГэВ}^2$ . Плавная кривая представляет зависимость  $1/M_x^2$ , которая согласуется с экспериментальными данными при  $1-x < 0,05$ . Величина  $|t| = 0,03 \text{ ГэВ}/c^2$ .

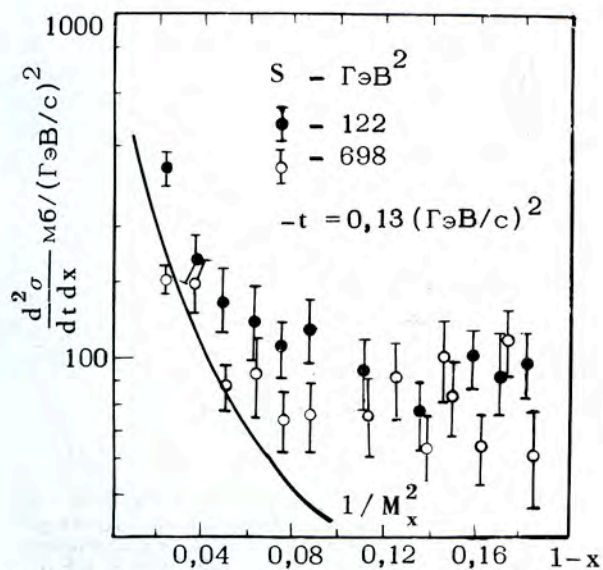


Рис. 3. Зависимость дифференциального сечения  $d^2\sigma/dt dx$  от  $1-x$  /аналогично рис. 2/ при  $|t| = 0,13 \text{ ГэВ}/c^2$ .

Получила дальнейшее развитие теория двухчастичных корреляций. Проведено ее сопоставление с появившимися в последние годы экспериментальными данными по определению размеров области излучения частиц и времени испускания частиц. Предложен другой способ определения времени жизни ядерных взаимодействий и проанализировано влияние времени жизни на процесс тормозного излучения.

Продолжалась обработка снимков неупругих  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействий при импульсе  $40 \text{ ГэВ}/c$ , сделанных с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной на серпуховском ускорителе. На основе анализа  $15000 \pi^-N$ - и  $12000 \pi^-C$ -взаимодействий, а также  $29000$  гамма-квантов получены следующие результаты.

1. Изучены корреляции заряженных пионов и гамма-квантов, гамма-гамма корреляции по продольным быструтам  $Y$  и азимутальным углам. В центральной области при  $Y \sim 0$  наблюдались ближние корреляции в  $(\gamma\pi^-)$ - и  $(\gamma\gamma)$ -системах. Получены значения корреляционной функции  $R$  в  $\pi^-p$ -взаимодействиях:  $R_{\gamma\gamma}(0,0) = 0,60 \pm 0,14$  и  $R_{\gamma\pi}(0,0) = 0,31 \pm 0,08$ . Во всех типах взаимодействий обнаружен эффект увеличения вероятности образования двух гамма-квантов при малых значениях угла между ними и  $|\Delta Y^*| \leq 1$ . Сравнение полученных данных с мультипериферической моделью показало, что эта модель дает только качественное описание механизма корреляции.

2. Сделаны оценки сечения рождения  $\rho^-$ -,  $\omega^-$ -,  $f^-$ - и  $\Delta^-$ -резонансов в  $\pi^-p$ -взаимодействиях. Оказалось, что доля пионов, образованных в результате распада резонансов, составляет  $80\%$  от всех вторичных пионов.

3. С использованием явления интерференции тождественных частиц определены размеры области излучения частиц. Для  $\pi^-p$ -взаимодействий радиус области  $R = /1,3 \pm 0,3/ \text{ Фм}$ , для  $\pi^-C$ -взаимодействий  $R = /5,0 \pm 1,5/ \text{ Фм}$ .

4. Установлено, что одночастичные инклюзивные распределения заряженных пионов в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при  $x > 0,2$  совпадают с аналогичными данными для  $\pi^-p$ -взаимодействий при  $40 \text{ ГэВ/с}$ . Сделан вывод о том, что быстрые вторичные частицы "слабо" взаимодействуют с нуклонами ядра углерода.

Исследования проводились объединенной группой ученых из ОИЯИ, ИЯИЯЭ и ВМЭИ /София/, ЦИФИ /Будапешт/, Лейпцигского и Ханойского университетов, ИФТ /Улан-Батор/, ИЯИ /Сверк/, Варшавского университета, ИЯФ и ИЯТ /Краков/, ИАФ /Бухарест/, ФИ ЧСАН и Карлова университета /Прага/, ФНИИЯФ МГУ /Дубна/, НИИЯФ МГУ /Москва/, ТГУ /Тбилиси/, ФТИ и ИЯФ /Ташкент/, ИФВЭ /Алма-Ата/.

На основе мировых данных о  $t$ -зависимости элементов матрицы плотности для  $\rho^-$ ,  $K^{*0}$ - и  $\Delta^{++}$ -резонансов при энергиях от 2,8 до 17  $\text{ГэВ}$  для каждого эксперимента определен полюс пучка прямых Лобачевского. Этот пучок описывает совокупность направлений динамической оси квантования спина  $\rho^-$ ,  $K^{*0}$ ,  $\Delta^{++}$ -резонансов /оси квантования Донахью-Хогаасена/ в интервале передач  $|t|$  от 0 до 4  $/\text{ГэВ/с}/^2$ . Собственные значения матрицы плотности в этом случае получили смысл вероятностей определенных поляризационных состояний резонансов. Получено указание, что изменению механизма образования  $\rho^0$ - и  $K^{*0}$ -резонансов /т.е. изменению наклона зависимости дифференциальных сечений  $d\sigma/dt$  от  $t$  для этих резонансов/

соответствует изменение величин вероятностей поляризационных состояний этих резонансов.

Проводилась обработка снимков  $\bar{p}p$ -взаимодействий, полученных с помощью жидководородной пузырьковой камеры "Людмила", облученной пучком антипротонов с импульсом 23  $\text{ГэВ/с}$  на серпуховском ускорителе. В результате анализа 20 тыс. событий получены следующие результаты.

1. В инклюзивных распределениях при изучении корреляционных явлений обнаружен максимум в центральной области при  $Y=0$ . Появление максимума объясняется динамическим различием процессов при различных множественностях.

2. На основе исследований интерференционных явлений тождественных частиц с помощью  $\Delta\Delta$ -распределений /рис. 4/ сделаны оценки среднего радиу-

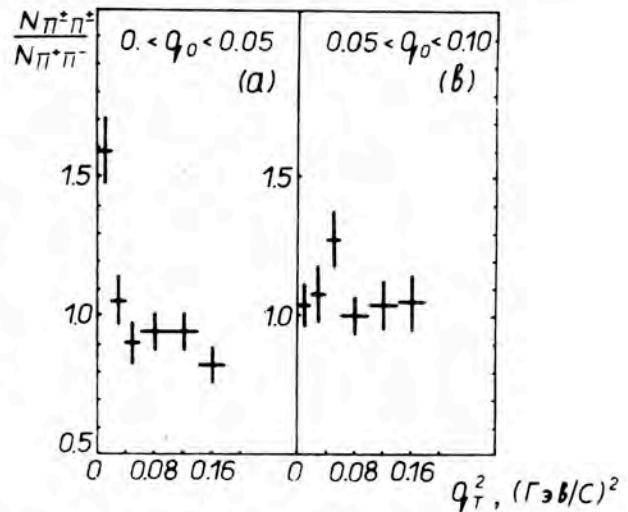


Рис. 4. Зависимость отношения плотности пар тождественных и нетождественных частиц от величины  $q_T^2$  для двух интервалов по  $q_0$  в  $\bar{p}p$ -взаимодействиях при импульсе 23  $\text{ГэВ/с}$ , где  $q_0 = |E_1 - E_2|$ .

$$q_T^2 = (\vec{p}_1 - \vec{p}_2)^2 - [(\vec{p}_1 - \vec{p}_2) \frac{(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|}]^2$$



са области излучения частиц:  $R = /3,1 \pm 0,5/ \Phi_m$ , продольного:  $R = /3,7 \pm 0,9/ \Phi_m$  и поперечного:  $R = /1,8 \pm 0,4/ \Phi_m$  радиусов.

3. Показано, что зарядовая асимметрия частиц растет с увеличением поперечного импульса частиц, что может быть объяснено в рамках кварковой модели.

4. Определены характеристики образования странных частиц  $\Lambda^0$ ,  $K^0$  и  $\pi^0$ -мезонов. Проведены работы по выделению эксклюзивных каналов реакций.

Исследования проведены группой сотрудников ОИЯИ, ФИ ЧСАН и Карлова университета /Прага/, ИЭФ и университета в Кошице, Хельсинкского университета, ИТЭФ /Москва/, ТГУ /Тбилиси/, ФИАН /Москва/, НИИЯФ МГУ /Москва/, ИФВЭ /Алма-Ата/.

*Исследован механизм образования пиков в спектрах эффективных масс  $\Lambda p$  по результатам обработки событий в пропановой пузырьковой камере, облученной пучком нейтронов со средним импульсом 7,0 ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Исследование механизма образования  $\Lambda p$ -системы сделано в рамках разработанной модели, основанной на импульсном приближении.*

На основании проведенного анализа описан спектр эффективных масс  $\Lambda p$ -системы с обнаруженными пиками, сечение упругого  $\Lambda p$ -рассеяния с его особенностями в области изменения импульсов  $\Lambda$ -гиперонов от 0,1 до 2,0 ГэВ/с /рис. 5/. Кроме того, установлено, что:

а/ пик вблизи порога  $\Lambda p$ -системы обусловлен эффектом отрицательной длины рассеяния при низких энергиях и, следовательно, возможность существования связанных состояний исключается;

б/ пики при 2127 и 2257 МэВ, вероят-

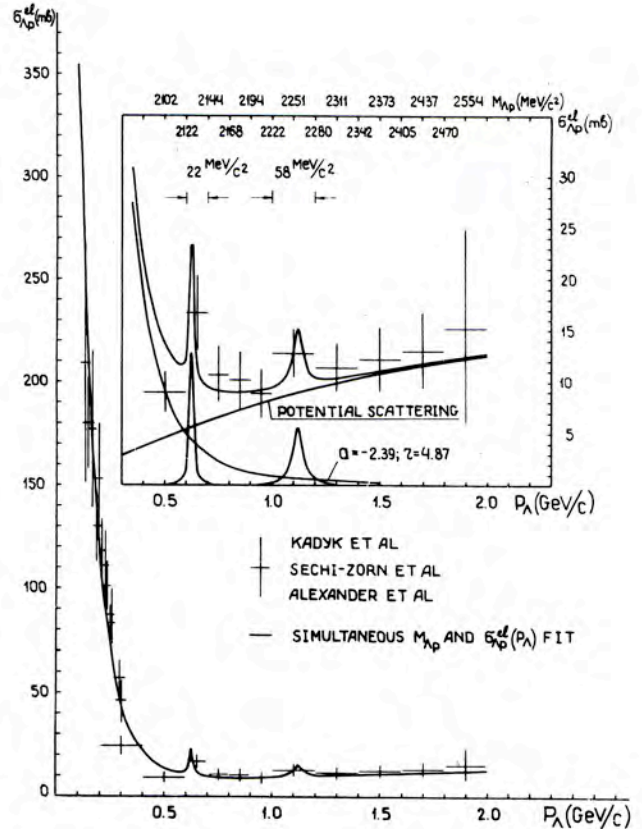


Рис. 5. Описание сечения упругого  $\Lambda p$ -рассеяния в области импульсов  $\Lambda$ -гиперонов от 0,1 до 2,0 ГэВ/с по результатам обработки пС-событий со средним импульсом нейтронов 7 ГэВ/с.

нее всего, обусловлены узкими упругими резонансами  $\Lambda p$  при относительных импульсах  $\Lambda$ -гиперонов  $p = 620$  и  $1120$  МэВ/с и сечениях 12,86 и 5,61 мб, соответственно;

в/ особенность вблизи 2184 МэВ вызвана двухступенчатым каскадным процессом:  $nC \rightarrow \Sigma N +$  что угодно и  $\Sigma N \rightarrow \Lambda p$ ;

г/ средний радиус взаимодействия  $\Lambda p$  близок к 0,66 Фм.

Компоненты средней поляризации  $\Lambda$ -гиперона, которые предполагаются продуктами распада  $\Lambda p$ -системы, вдоль направления пучка, вдоль нормали к плоскости рождения и вдоль нормали к обоим

этим направлениям в пределах погрешностей опыта равны нулю.

Уточнены данные для определения формфакторов  $K$ -мезонов на основе обработки 47 000  $K_{e3}^0$ -распадов и 82 000  $K_{\mu 3}^0$ -распадов, полученных при облучении установки БИС на серпуховском ускорителе в пучке нейтральных каонов.

Найдено, что формы матричных элементов  $K_{\mu 3}$  — и  $K_{e3}$ -распадов согласуются с предсказаниями (V-A) -теории слабых взаимодействий, а вклады скалярного и тензорного формфакторов пренебрежимо малы.

Зависимость формфакторов от величины переданного лептонной паре 4-импульса  $|t|$  в пределах изменения  $|t| = 0-0,1$  /ГэВ/с<sup>2</sup> оказалась линейной:

$$f_+(t) = f_+(0) (1 + \lambda_+ t/m_\pi^2),$$

$$f(t) = f(0) (1 + \lambda_0 t/m_\pi^2).$$

В рамках линейного разложения формфакторов по  $|t|$  для  $K_{e3}$ -распада вычислено значение  $\lambda_+ = 0,032 \pm 0,004$ , для  $K_{\mu 3}$ -распада получено:  $\lambda_+ = 0,038 \pm 0,005$  и  $\lambda_0 = 0,046 \pm 0,007$ .

Хорошее согласие величины  $\lambda_+$  для  $K_{e3}$  и  $K_{\mu 3}$ -распада согласуется с принципом  $(\mu - e)$ -универсальности. Из совместного анализа  $K_{e3}$ - и  $K_{\mu 3}$ -распада получено:  $\lambda_+ = 0,0337 \pm 0,0033$  и  $\lambda_0 = 0,0485 \pm 0,0076$ .

В работе приняли участие сотрудники ОИЯИ, ИЯИЭ /София/, ТГУ /Тбилиси/.

Продолжалось изучение реакции  $d p \rightarrow p p n$  с помощью метровой жидководородной камеры, облученной дейтронами с импульсом 3,3 ГэВ/с на синхрофазотроне. Проведена обработка 52 000 событий.

В реакции  $d p \rightarrow p p n$  обнаружена сильная корреляция между направлением вылета нуклона-спектатора и направлением рассеянного нуклона, особенно в области малых переданных 4-импульсов. Расчеты указывают на существенную долю взаимодействий в конечном состоянии, приводящих к восстановлению дейтрона.

Показано, что в интервале импульсов нуклонов-спектаторов до 200 МэВ/с для реакций  $d p \rightarrow p_s p p n^-$ ,  $d p \rightarrow p_s p n \pi^+ \pi^-$  и  $d p \rightarrow n_s d_f \pi^+$  основные черты угловых распределений могут быть описаны в рамках спектаторной модели с учетом энергетической зависимости сечения NN-взаимодействия.

Получены данные об инвариантных величинах для нуклонов и  $\pi$ -мезонов, вылетающих в заднюю полусферу в системе покоя дейтрона /рис. 6/. Характерна значительная величина сечения в кумулятивной области вплоть до величин  $x = 1,0$ .

Результаты получены в совместной работе ученых ОИЯИ, Варшавского университета, ФИАН /Москва/ и ТГУ /Тбилиси/.

Проведено уточнение результатов исследования  $\pi^- p$ -взаимодействий при импульсе 5,0 ГэВ/с с помощью метровой жидководородной камеры. Найдено, что для реакции  $\pi^- p \rightarrow p \pi^+ \pi^- \pi^-$  при больших передачах  $|t| > 0,4$  /ГэВ/с<sup>2</sup> интегральное значение сечения, предсказываемое моделью OPER, примерно на 30% меньше экспериментального, а при описании угловых распределений частиц в  $t$ -канальной системе координат имеется только качественное согласие с экспериментом.

Предложен новый способ анализа этой реакции для выделения  $\rho^0$ -мезонов и  $\Delta^{++}$ -изобар с малыми и большими значениями переданных импульсов на основе

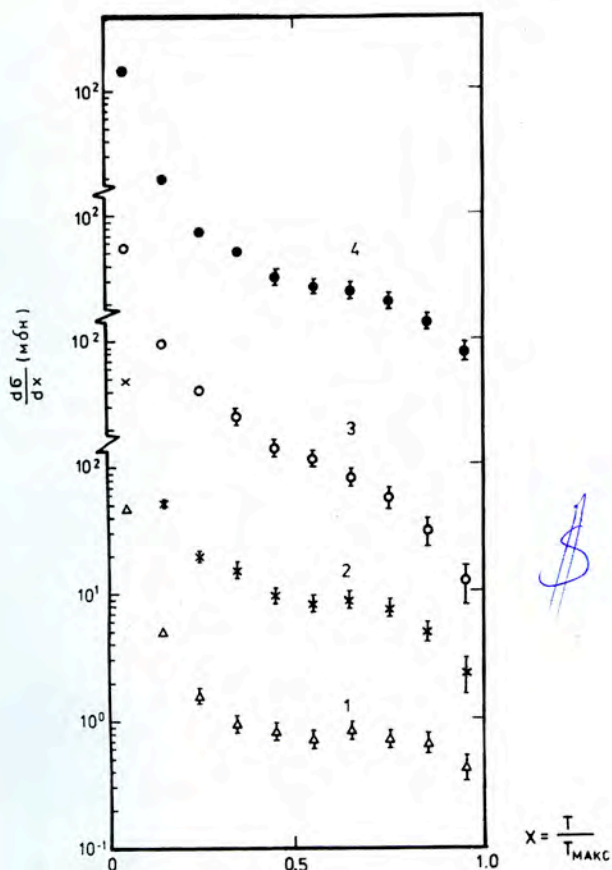


Рис. 6. Зависимость инвариантного сечения выхода нуклонов в заднюю полусферу для реакции  $dp \rightarrow ppn$  в системе покоя дейтрона при импульсе налетающих дейтронов 3,3 ГэВ/с /кривая 4/.

лоренц-инвариантного представления кинематики в пространстве скоростей Лобачевского.

В работе участвовали сотрудники ОИЯИ и ИТЭФ /Москва/.

Проводилась обработка данных по  $pn$ -взаимодействию при импульсах нейтронов от 1,25 до 5,1 ГэВ/с, полученных при облучении метровой жидководородной камеры. С помощью геометрической и фитирующей программ обработано око-

ло 30000 событий. В трех- и пяти-лучевых событиях при энергии нейтронов 5,1 ГэВ проведено разделение каналов, определены сечения реакции при импульсах от 1,25 до 5,1 ГэВ/с.

Исследовалось образование новых короткоживущих частиц в столкновениях протонов 70 ГэВ с ядрами фотоэмульсий, облученных на серпуховском ускорителе. В результате анализа 14000 звезд найдено три случая распада нейтральных частиц с вылетом электрона, адрона и нейтральной частицы, один случай распада заряженной частицы с испусканием электрона. Сечение образования новых частиц на ядре составляет около 5 мкб, среднее время жизни -  $3 \cdot 10^{-14}$  с, а масса -  $M_{\text{эф}} = 1,03$  ГэВ для распада на  $\pi e \nu$ ,  $M_{\text{эф}} = 1,21$  ГэВ для распада на  $Ke \nu$ ,  $M_{\text{эф}} = 1,56$  ГэВ для распада на  $pe \nu$ .

Работа выполнена группой физиков ОИЯИ, ИАФ /Бухарест/, ФИАН /Москва/, ФТИ /Ташкент/, ИФВЭ /Алма-Ата/, ФТИ /Душанбе/.

### Электромагнитная структура элементарных частиц

Измерен электромагнитный формфактор  $\pi$ -мезона в эксперименте по прямому рассеянию отрицательных  $\pi$ -мезонов с импульсом 100 ГэВ/с на электронах в жидководородной мишени. Эксперимент проводился на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/ с применением магнитного спектрометра с пропорциональными и магнитострикционными искровыми камерами. В результате анализа 10000 случаев упругого  $\pi e$ -рассеяния в области малых переданных 4-импульсов  $|t|$  от 0,03 до 0,07 /ГэВ/с<sup>2</sup> получена оценка электромагнитного радиуса  $\pi$ -мезона /рис. 7/:  $r_{\pi} = 0,57 \pm 0,06$  Фм.

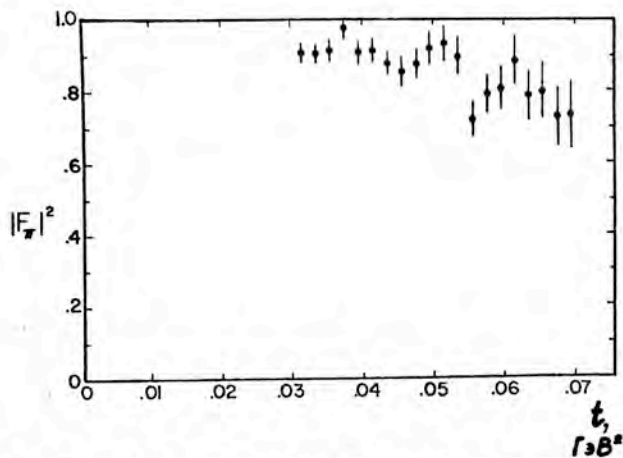


Рис. 7. Электромагнитный формфактор  $\pi$ -мезона в  $\pi^+e^-$ -рассеянии при импульсе 100 ГэВ/с.

Полученная величина радиуса хорошо согласуется с предсказаниями модели векторной доминантности.

В работе принимали участие ученые ОИЯИ, ИАФ /Бухарест/, НУЛ /Батавия/, университетов Лос-Анджелеса, Питтсбурга и Нотр-Дама.

Рассмотрены некоторые аспекты механизма прохождения заряженных элементарных частиц вдоль оси монокристаллов с точки зрения использования этого механизма в физике высоких энергий. Предсказан и рассчитан эффект быстрого подавления поперечных пространственных колебаний пучка частиц из-за возбуждения кристаллической решетки.

Выяснено, что пучок заряженных частиц пойдет через кристалл даже в случае деформации кристалла. Рассчитан минимальный радиус поворота пучка частиц в кристалле. При импульсе пионов 100 ГэВ/с критический радиус поворота частиц оценивается в 1,5 см /для вольфрама/.

## Релятивистская ядерная физика

Сделан обзор основных результатов и ближайших перспектив развития релятивистской ядерной физики. Рассмотрены вопросы взаимодействия с веществом быстрых многозарядных ионов в космических лучах и астрофизике, ядерной физике, физике сильных взаимодействий, биологических и медицинских исследованиях, а также вопросы получения пучков релятивистских ядер и создания соответствующей ускорительной базы в ОИЯИ.

С помощью одноплечевого спектрометра "Альфа", установленного в пучке ускоренных на синхрофазотроне ядер гелия, зарегистрировано свыше 1 млн случаев взаимодействия их с мишенями из водорода, гелия, углерода, алюминия, меди и свинца. Изучены процессы упругого и неупругого рассеяния пучковых альфа-частиц с импульсом от 1,7 до 4,2 ГэВ/нукл. Определены полные сечения взаимодействия  $\sigma_t$ , для процессов упругого рассеяния ядро-ядро впервые экспериментально обнаружены предсказанные теоретически осцилляции в зависимости дифференциального сечения  $d\sigma/dt$  от  $|t|$ . Наблюдался процесс фрагментации налетающей альфа-частицы. При изучении взаимодействия дейтронов с импульсом 4,2 ГэВ/нукл. с ядрами после сопоставления с расчетами по модели получено, что после первого взаимодействия в ядре свободный пробег дейтрона в ядерном веществе увеличивается в несколько раз.

В работе принимали участие ученые ОИЯИ, ВХТИ /София/, ИЯИ /Сверк/, НИИЯФ МГУ /Москва/, университета в Душанбе.

Проведены опыты по инклюзивному образованию фрагментов от протона до лития с помощью спектрометра ядер отдачи, установленного в пучке протонов и релятивистских ядер дейтрона и гелия на синхрофазотроне. В реакциях  $pC$ ,  $dC$  и  $\alpha C$  изучено образование фрагментов с энергией от 5 до 120 МэВ. Для описания спектров использована термодинамическая модель на меньшие энергии и модель с масштабной переменной для больших энергий фрагментов.

Изучены процессы множественного образования  $\pi$ -мезонов во взаимодействиях  $\alpha$ -частиц при импульсе 17 ГэВ/с с ядрами с помощью стримерной камеры СКМ-200 на синхрофазотроне. Получены следующие результаты:

а/ топологические сечения образования  $\pi$ -мезонов в  $\alpha Li$ - и  $pp$ -взаимодействиях совпадают;

б/ во взаимодействиях альфа-частиц с ядрами  $Li$  и  $Ne$  имеет место KNO-скейлинг;

в/ для  $\alpha Li$ -взаимодействий средние значения поперечных импульсов  $\pi$ -мезонов в преимущественно периферических /с углом  $\theta \leq 40^\circ$ / и преимущественно центральных взаимодействиях, в пределах ошибок, одинаковы;

г/ в распределении протонов, образованных в  $\alpha Li$ -взаимодействиях, видны два пика, соответствующие фрагментации ядра мишени и налетающего ядра.

Результаты получены в совместной работе ученых ОИЯИ, Варшавского университета, ЛГУ /Ленинград/, ИФ АН ГрССР /Тбилиси/, СГУ /Саратов/, ИФВЭ /Алма-Ата/.

На синхрофазотроне проведено облучение двухметровой пропановой пузырьковой камеры пучком протонов с импуль-

сами 2,23; 3,38; 5,10 и 9,40 ГэВ/с; дейтронами с импульсами 1,18; 2,23; 3,83 и 4,7 ГэВ/нукл.; альфа-частицами с импульсами 2,22; 3,82 и 4,7 ГэВ/нукл. В сеансах на ускорителе набрано 163000 фотографий. Для расширения возможностей физического эксперимента внутрь рабочего объема камеры были помещены пластинки из вольфрама.

С материалами, получаемыми с помощью двухметровой пропановой камеры, работает большая группа ученых из 18 лабораторий 8 стран-участниц ОИЯИ.

При облучении на синхрофазотроне внутренней мишени из  $Al$  дейтронами с импульсами 2,5; 3,46; 4,46; 7,66 и 10,2 ГэВ/с изучались характеристики нейтрона под углом  $0^\circ$  относительно первичного пучка. Найдено, что величина примеси стриппинга дейтронов в кумулятивной области не превышает 12% при всех энергиях. Инвариантная функция кумулятивно образованных нейтронов растет с увеличением энергии падающих дейтронов и при импульсах дейтронов больше 5,1 ГэВ/с выходит на плато /рис. 8/.

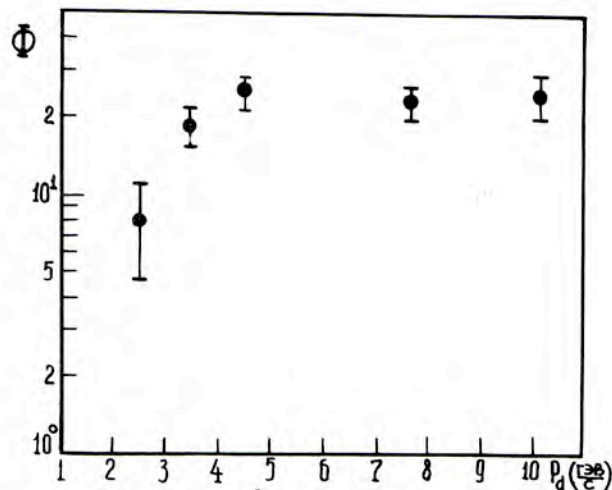


Рис. 8. Выход кумулятивных нейтронов в реакции  $d+Al \rightarrow n + \dots$  в зависимости от импульса дейтрона.

Изучено явление полного разрушения ядер Ag и Pb под действием протонов 70 ГэВ/с и альфа-частиц с импульсом 4,2 ГэВ/нукл. с помощью ядерных фотоэмульсий, облученных на серпуховском ускорителе протонами и на синхрофазотроне альфа-частицами.

Установлено, что тяжелые ядра в основном распадаются на отдельные нуклоны /рис. 9/. Вероятность полного разрушения ядер Ag и Pb протонами

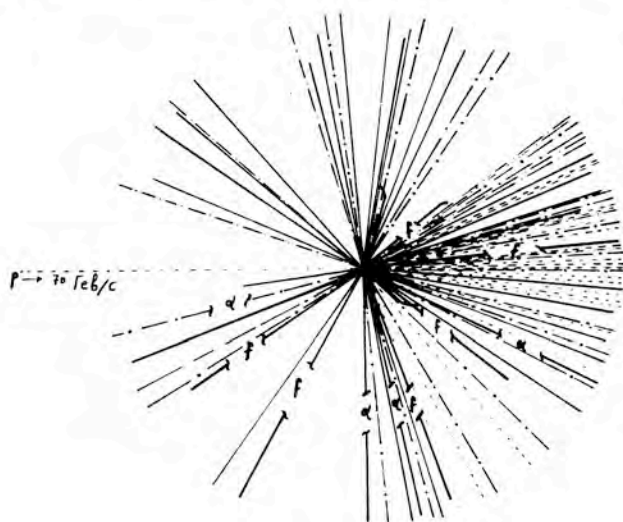


Рис. 9. Схема полного разрушения ядра Pb с зарядом 82 в фотоэмульсии под действием протона с импульсом 70 ГэВ/с с вылетом 66 заряженных частиц, не считая 22 заряженных релятивистских частиц.

70 ГэВ/с составляет 3,0 и 6,4%, а альфа-частицами - 7 и 10% соответственно.

Анализ углового распределения частиц с энергией  $E > 30$  МэВ, образованных в столкновениях протонов 70 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии, не подтверждает явления прохождения ударной волны в ядре.

Обработкой событий занимаются физики 8 лабораторий стран-участниц из Дубны, Бухареста, Варшавы, Кошице, Ленинграда, Москвы и Ташкента.

## Совершенствование действующих и разработка новых физических приборов и установок

Для проведения эксперимента по измерению электромагнитного формфактора  $K^-$ -мезона с помощью  $K^-e^-$ -рассеяния на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/ были изготовлены в ЛВЭ и испытаны на линии с ЭВМ HP2100A в НУЛ специальные дрейфовые камеры.

В результате испытаний установлено, что:

а/ эффективность отдельного дрейфового промежутка равна 98% при интенсивности  $5 \cdot 10^5$  част./с;

б/ пространственное разрешение в среднем составляет около 60 мкм /рис. 10/;

в/ степень подавления наводок достигает 50 раз.

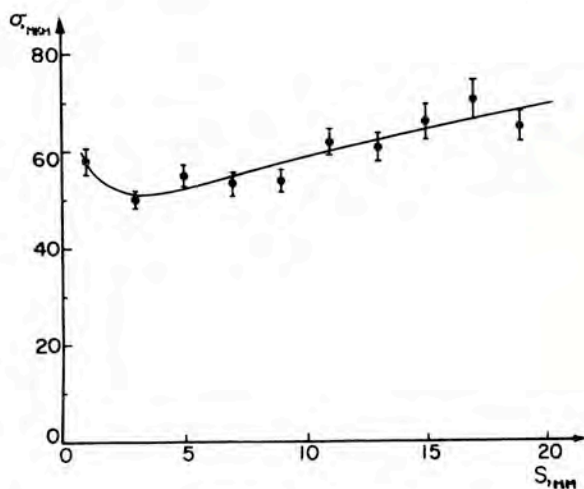


Рис. 10. Пространственное разрешение дрейфовых камер в зависимости от величины дрейфового промежутка для эксперимента по  $K^-e^-$ -рассеянию на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/.

Создан большой комплекс программного обслуживания работы магнитного спектрометра по  $K^-e^-$ -рассеянию. При импульсе  $K^-$ -мезонов  $250 \text{ ГэВ/с}$  за два месяца экспозиции зарегистрировано около 2000 случаев упругого  $K^-e^-$ -рассеяния.

В работе по созданию и исследованию дрейфовых камер приняли участие сотрудники ОИЯИ, ЦЕРНа и НУЛ.

*Продолжалась разработка пропорциональных и дрейфовых камер, предназначенных для проведения широкого круга исследований.*

Пять двухкоординатных пропорциональных камер установлено на канале частиц камеры "Людмила" с целью диагностики пучка.

Разработана и изготовлена пропорциональная камера с дрейфовым промежутком для регистрации ядер отдачи размером  $30 \times 15 \times 10 \text{ см}^3$ . Энергетическое разрешение для альфа-частиц с энергией от 5 до 7  $\text{МэВ}$  составляет  $\pm 1,5\%$ .

Разработана и изготовлена пропорциональная камера  $20 \times 20 \text{ см}$  для решения научно-технических и прикладных задач, в частности для радиографического исследования объектов. Путем облучения различных объектов малыми дозами фотонов с энергией 5,9 и 60  $\text{кэВ}$  получены их изображения на экране дисплея при работе на линии с ЭВМ ЕС-1010 /рис. 11/. Эта работа вызвала практический интерес биологов, биохимиков, кристаллографов в СССР, ЧССР, СРР.

*В области разработок по вычислительной технике и автоматизации научных исследований проведены следующие работы:*

1. Изготовлена регистрирующая электроника для 5000 каналов пропорциональных камер, сцинтилляционных

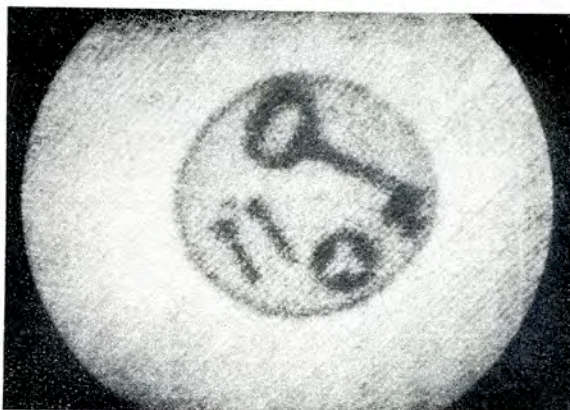
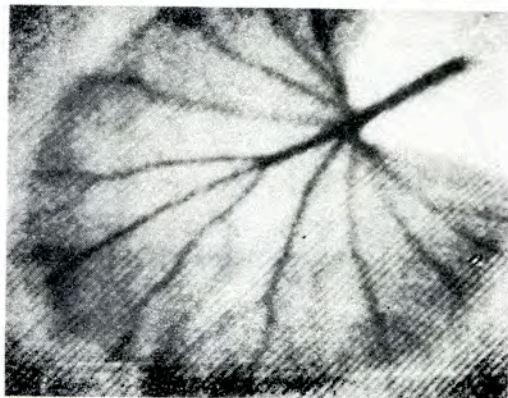


Рис. 11. Рентгенограммы, полученные с помощью специальной пропорциональной камеры на линии с ЭВМ /снимки с экрана дисплея/: а/ лист растения, б/ металлические предметы в жестяной коробке.

счетчиков, а также аппаратура для связи установки БИС-2 с ЭВМ ЕС-1040 в стандарте КАМАК.

2. Разработаны канал прямого доступа для подключения ЭВМ ЕС-1010 к установкам и интерфейс КАМАК-МОДЕМ.

3. Завершено создание системы управления медленным выводом, позволяющей измерять токи магнитных элементов медленного вывода частиц из синхрофазотрона, частоту ускоряющего напря-

жения, интенсивность и параметры пучка. Информация выдается на дисплей ВТ-340.

4. Создана система блоков быстрой электроники на интегральных схемах с улучшенными показателями надежности для обеспечения физических установок. Разработана и сдана в серийное производство большая гибридная интегральная схема "Сдвоенный канал регистрации для ионизационных детекторов", что позволяет использовать в эксперименте установки, имеющие несколько десятков тысяч каналов регистрации.

5. Создан специализированный быстрый цифровой процессор для установки БИС-2.

6. Разработан макет гибридной интегральной схемы "заряд - временной преобразователь" наносекундного диапазона для многоканальных спектрометров.

*Проводились работы по созданию и совершенствованию приборов и устройств криогенной техники.*

Для установки ДИСК-2 произведена сборка, наладка и комплексные испытания мишени с жидким водородом, дейтерием и гелием. Мишени использованы в работе установки.

Проведен комплекс испытаний источника поляризованных атомов с ионизатором. Получен и зарегистрирован пучок поляризованных дейтронов свыше 1 мкА.

Проведены исследовательские работы по оснащению гелиевого рефрижератора двухфазным детандером. Создан экспериментальный стенд для всестороннего испытания детандеров. Развивалась методика расчета криогенных систем на ЭВМ. Рассмотрен метод исследования нерасчетных режимов, основанный на совместном решении уравнений энергетического баланса и теплопередачи в теплообменниках рефрижератора.

Проведены экспериментальные исследования устройств для эвакуации энергии из сверхпроводящих магнитных систем. При токе 750А быстродействие устройства составило 2 мс. На электрическую прочность при низких температурах испытаны стеклотенты и эпоксидные компаунды.

Разработана методика расчета на ЭВМ сверхпроводящих, секционированных на цилиндрические секции с различной плотностью тока соленоидов с высокой однородностью магнитного поля и с уменьшенным расходом сверхпроводника.

Совершенствование  
синхрофазотрона,  
создание каналов частиц

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

Для дальнейшего повышения интенсивности пучков ускоренных частиц проведена юстировка ускоряющей системы линейного ускорителя ЛУ-20, введена динамическая коррекция азимутальной асимметрии магнитного поля синхрофазотрона. Для ускорения ядер в ЛУ-20 введена промежуточная медная стенка. Получены следующие максимальные значения величин интенсивностей:

для протонов	- $1,6 \cdot 10^{12}$ р/имп.,
для дейтронов	- $2,5 \cdot 10^{11}$ d/имп.,
для альфа-частиц	- $6 \cdot 10^9$ а/имп.,
для ядер углерода	- $10^6$ с/имп.

На линейном ускорителе ЛУ-20 проведены работы по ускорению многозарядных ионов. Впервые создан лазерный



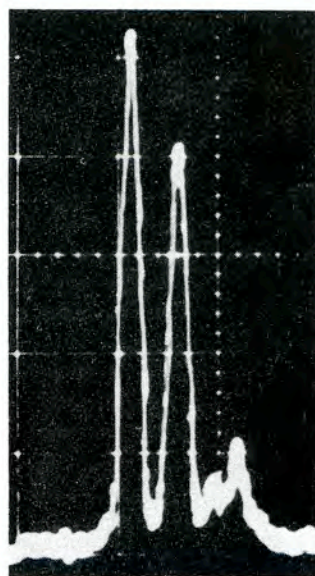
источник многозарядных ионов. Полученные из источника ядра углерода ускорены в синхрофазотроне до энергии 50 ГэВ и выведены по каналу медленного вывода. Для проведения физических исследований облучены ядерные фотоэмульсии. С помощью лазерного источника ускорены в ЛУ-20 до энергии 5 МэВ/нукл. ядра алюминия  $Al^{+13}$ . Работа выполнена специалистами ОИЯИ и МИФИ.

Существенно повышена эффективность использования синхрофазотрона за счет введения в эксплуатацию режима медленного /с длительностью 300-500 мс/ и быстрого /с длительностью 600 мкс/ выводов в одном цикле ускорения. Проведены сеансы совместных работ электронных и камерных установок.

На втором экземпляре ионного источника КРИОН-2 осуществлен полный электронный цикл. Реализован фактор ионизации  $j_{\tau} > 10^{20} \text{ см}^{-2}$  для энергий электронов 5-10 кэВ и плотности электронного тока до  $200 \text{ А/см}^2$ . С помощью этого источника получены пучки ионов элементов  $N^{+7}$ ,  $O^{+8}$ ,  $Ne^{+10}$ ,  $Ar^{+17}$  /рис. 12/.

По проекту жесткофокусирующего ускорителя релятивистских ядер - нуклотрона проделаны следующие работы:

1. Для проведения испытаний сверхпроводящих магнитов в импульсном и статическом режимах создан большой испытательный стенд. В составе стенда имеются два горизонтальных гелиевых криостата для испытания сверхпроводящих магнитов длиной до 70 см, а также вертикальные гелиевые криостаты для испытания малых импульсных магнитов /диаметром до 30 см/ и проведения теплофизических исследований. Для питания магнитов, эвакуации энергии и проведения электрических измерений собран силовой блок, проведен монтаж схем



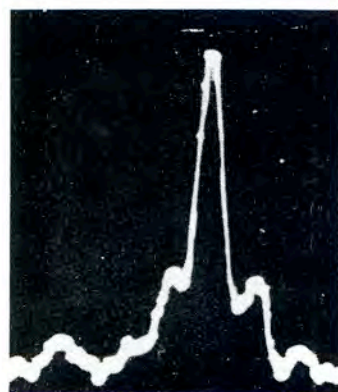
$$j_{\tau} = 8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$$

$$E_e = 5 \text{ кэВ}$$

а)

0 +8 +7 +6

б)



$$j_{\tau} = 2,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$$

$$E_e = 6,5 \text{ кэВ}$$

+18 +16 +14  
Ar +17 +15

Рис. 12. Спектры зарядов ионов, получаемых с помощью источника КРИОН-2: а/ ионов кислорода, б/ ионов аргона.

управления и системы для измерения потерь энергии.

2. Проведен расчет основных параметров предускорителя многозарядных ионов с отношением  $Z/A \geq 0,4$  и энергией на выходе  $2,4 \text{ МэВ/А}$ . Сделан расчет промежуточного кольцевого ускорителя /ПКУ/ инжекционного комплекса для ускорения ядер до энергии  $0,5 \text{ ГэВ/нукл}$ . С помощью ЭВМ исследованы режимы многооборотной инжекции из линейного ускорителя в промежуточный кольцевой ускоритель.

Проведены расчеты по определению параметров системы энергоснабжения ПКУ.

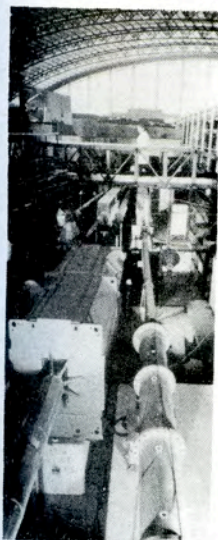
## Эксплуатация синхрофазотрона

Запланированное время работы ускорителя - 4429 ч.

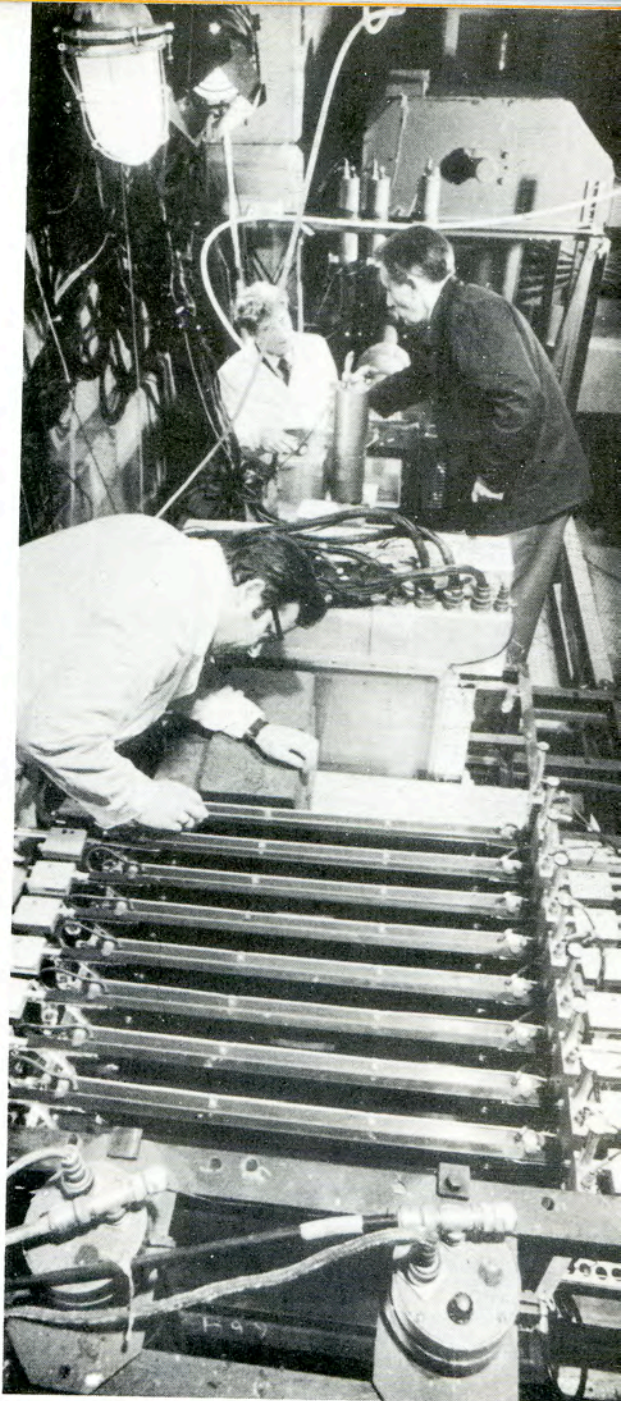
Ускоритель работал:

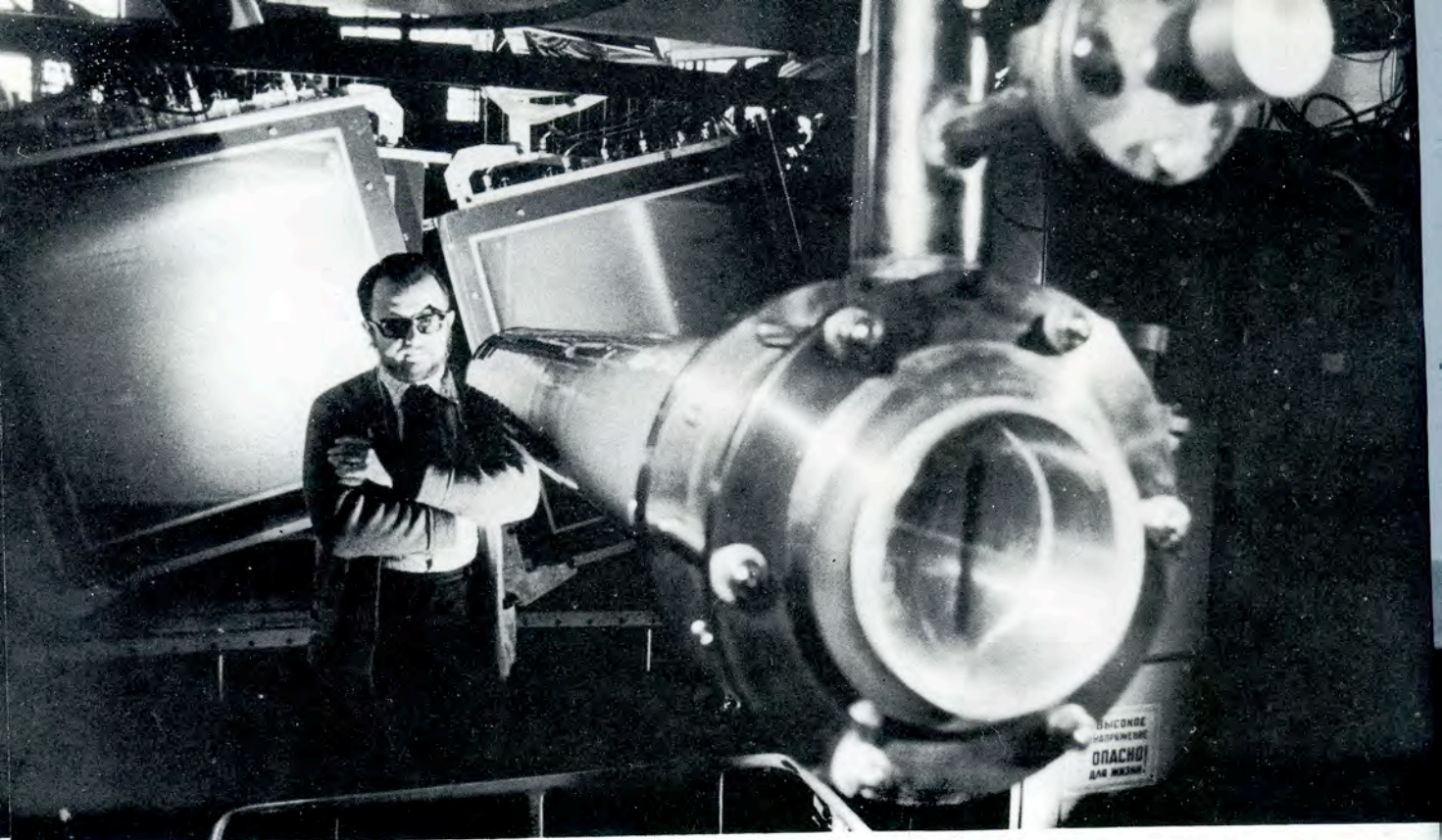
а/ на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3146 ч со средней интенсивностью  $1,4 \cdot 10^{11}$  ускоренных протонов,  $2 \cdot 10^{10}$  ускоренных дейтронов,  $3 \cdot 10^8$  ускоренных альфа-частиц,  $10^5$  ускоренных ядер углерода за цикл ускорения;

б/ на совершенствование систем ускорителя - 995 ч.



С помощью модернизированного бес-  
фильмового искрового спектрометра  
/БИС/ на нейтронном пучке 50 ГэВ  
серпуховского ускорителя ученые  
ОИЯИ ведут поиск "очарованных" час-  
тиц. Установка работает на линии с  
ЭВМ ЕС-1040, установленной в эк-  
спериментальном павильоне.





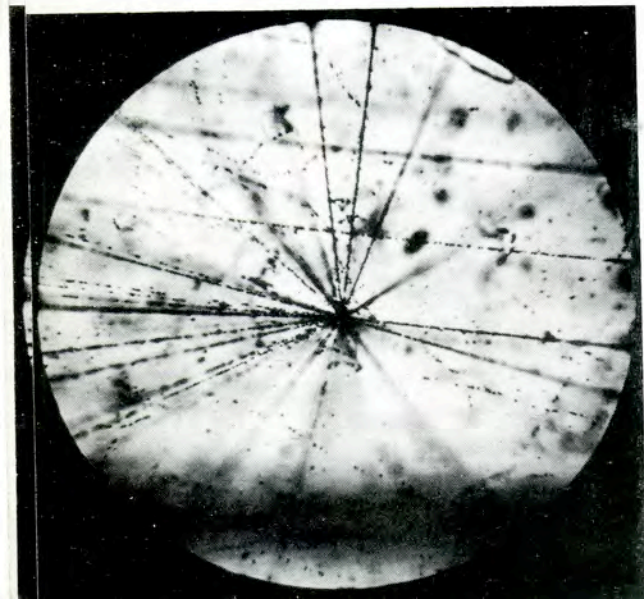
На 90-канальном черенковском масс-спектрометре "Фотон" ведется эксперимент по измерению дифференциального сечения реакции  $\pi^- p \rightarrow \eta^0 p$ . На снимке: 1-метровая жидководородная мишень и система 32 искровых камер размером  $1 \times 1 \text{ м}^2$ .

У пульта электронной аппаратуры "Фотона" в экспериментальном "домике".

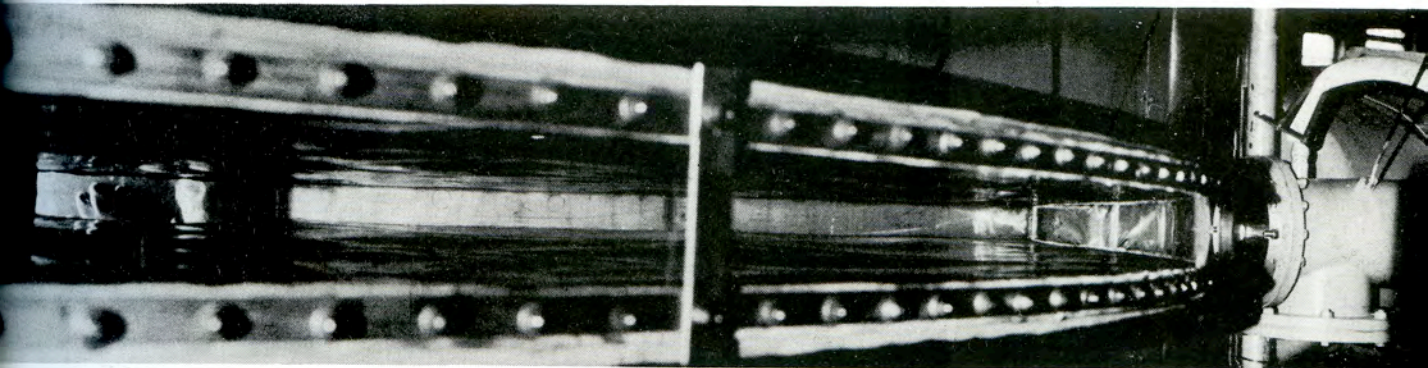
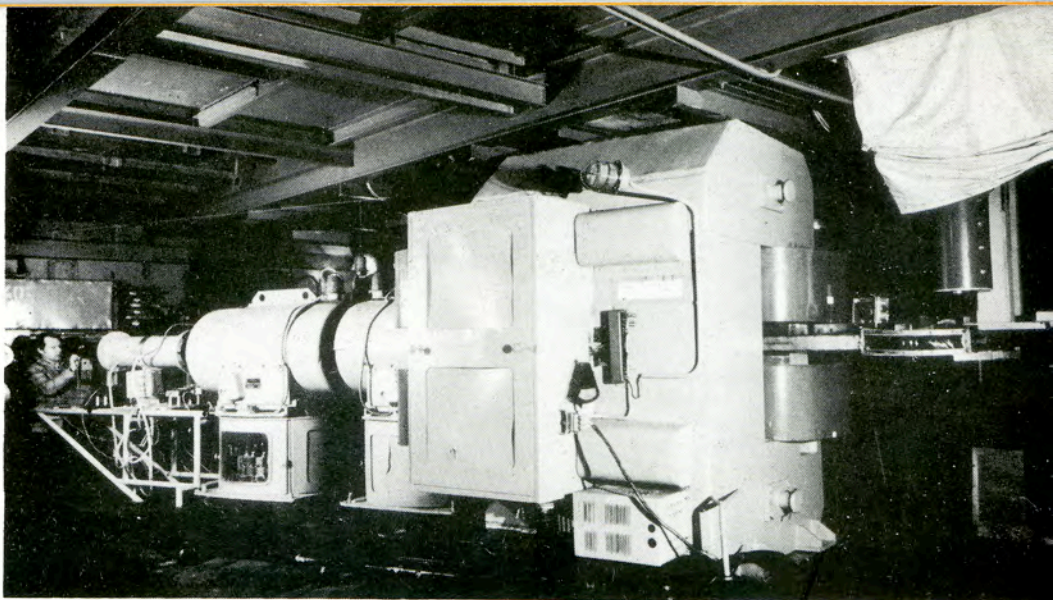
Изучаются процессы полного разрушения ядер серебра и свинца в ядерных фотоэмульсиях. На снимке: случай развала ядра серебра с вылетом 26 пионов под действием иона углерода с энергией 50 ГэВ.



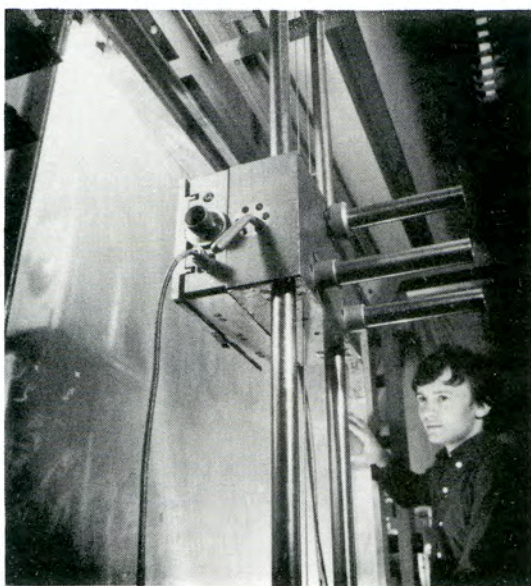
На основе широкого сотрудничества ученых ОИЯИ и национальных институтов стран-участниц исследуется образование новых короткоживущих частиц в столкновениях протонов 70 ГэВ с ядрами фотоэмульсии. На снимке: обсуждение доклада о поиске новых нестабильных частиц в фотоэмульсиях на заседании Фотоэмульсионного комитета ОИЯИ.



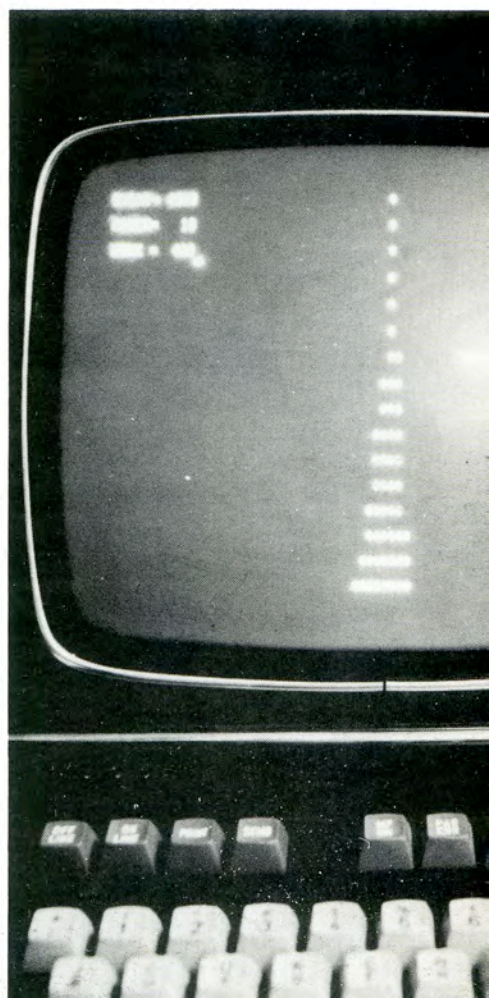
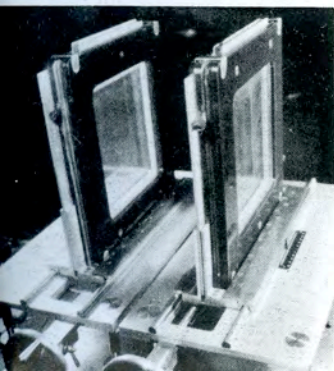
Создан новый вариант спектрометра для изучения кумулятивного образования мезонных и нуклонных систем - установка ДИСК-2. Спектрометр работает на линии с ЭВМ БЭСМ-4.

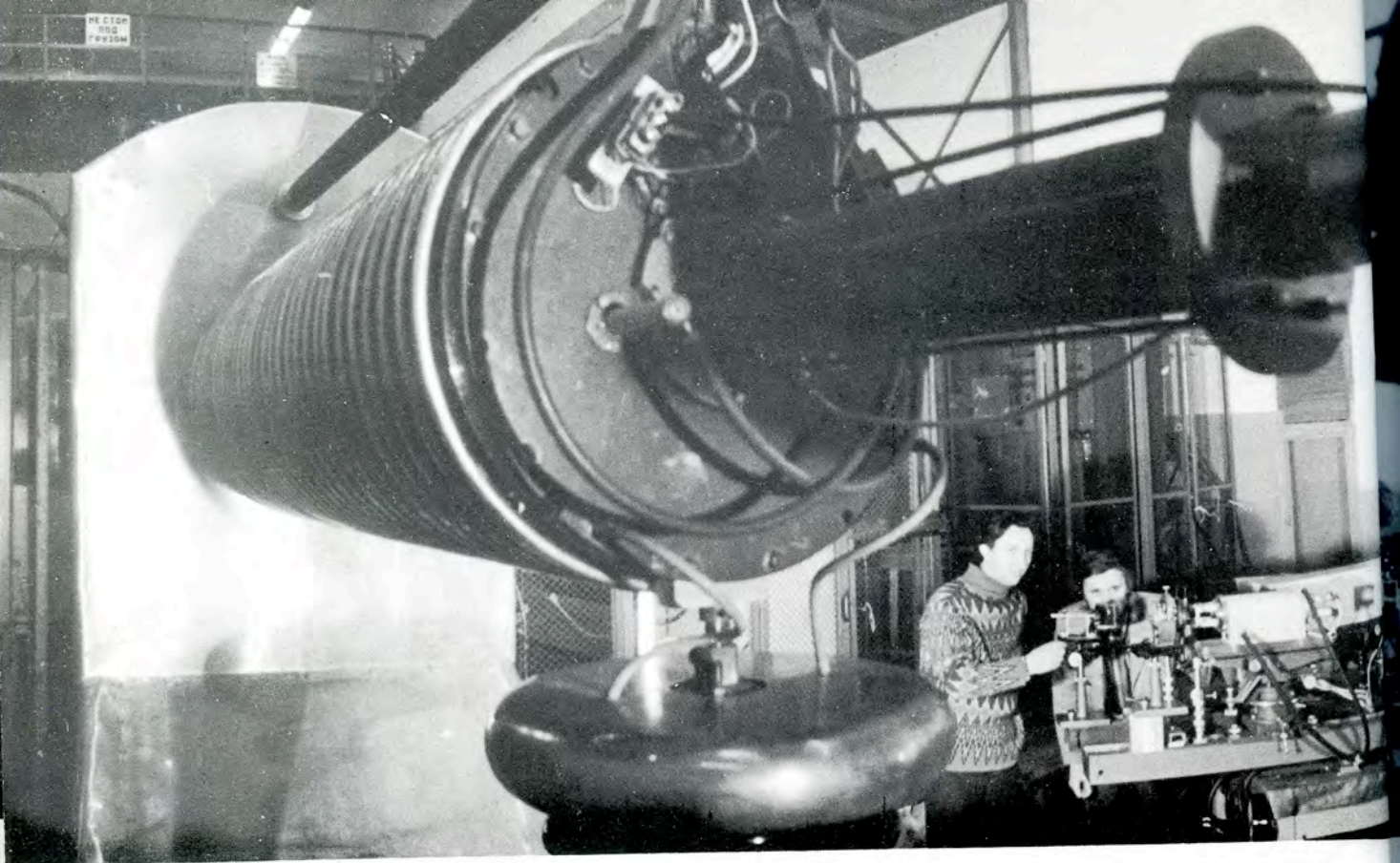


Образцы изготовленных в Институте дрейфовых камер размером  $20 \times 20$  см<sup>2</sup>.

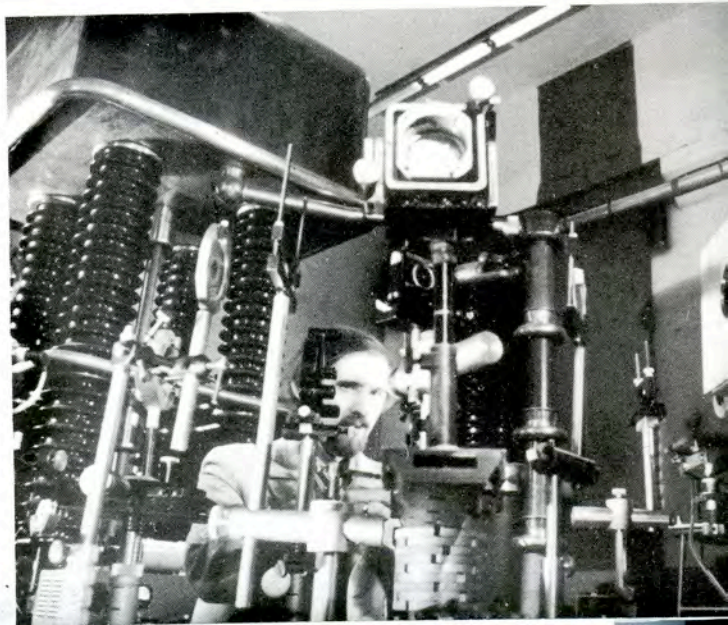


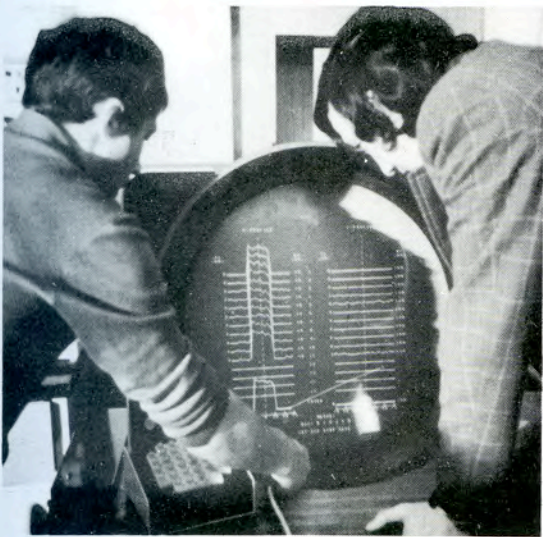
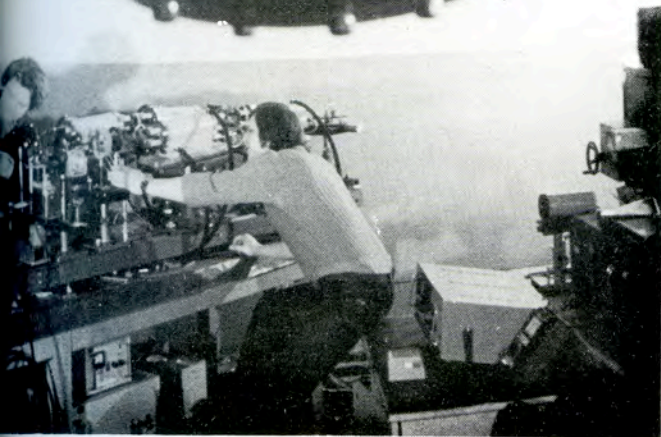
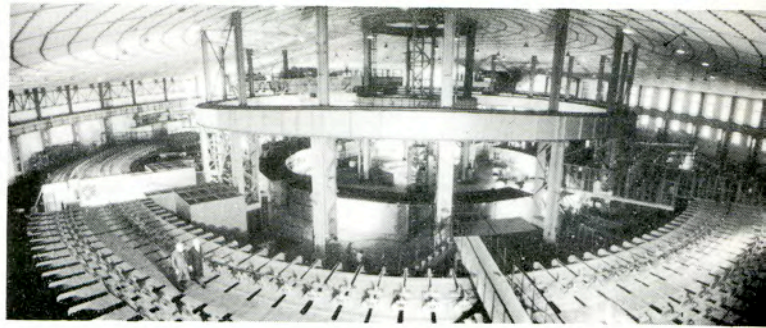
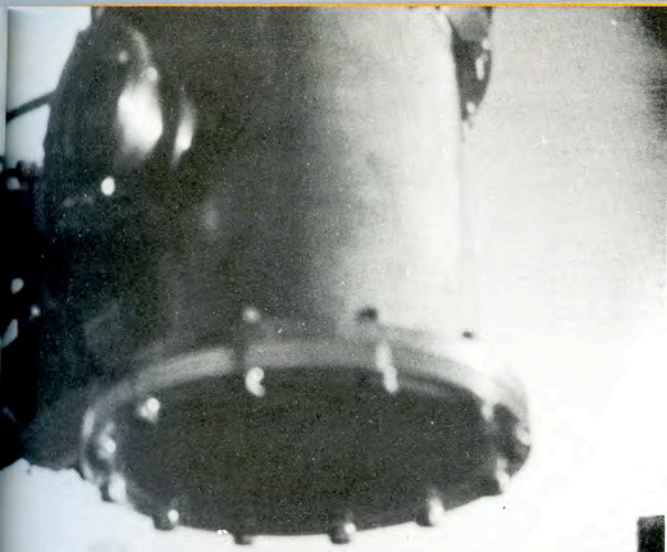
Испытания на стенде большой дрейфовой камеры размером  $1,5 \times 1$  м<sup>2</sup>. Для испытаний используется ЭВМ ЕС-1010, сигналы с камеры выводятся на дисплей.





*На синхрофазотроне ускорены ядра углерода. В качестве ионного источника впервые применен лазерный источник, установленный на форинжекторе. С помощью ЛУ-20 и синхрофазотрона пучок ядер углерода ускорен до энергии 50 ГэВ.*





*В экспериментах на синхрофазотроне используется система медленного /300-500 мс/ вывода ускоренного пучка.*

*На пульте управления и контроля системы вывода.*

*Начало тракта транспортировки выведенного пучка.*

