

# ДУБНА·1979

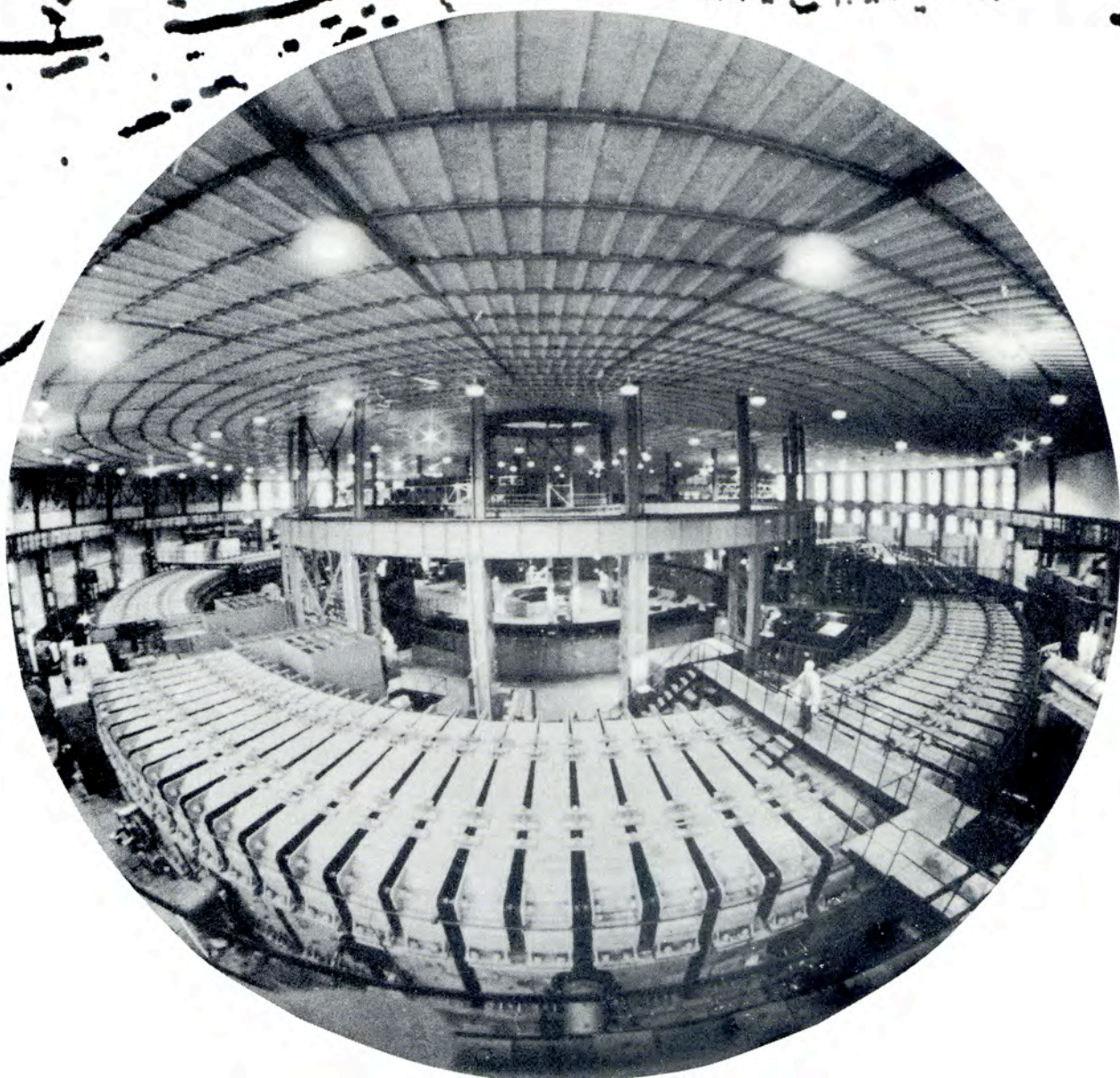
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1979 · DUBNA







# Лаборатория высоких энергий

Учеными лаборатории с помощью физических установок получена новая экспериментальная информация на синхрофазотроне ОИЯИ, серпуховском ускорителе, на 400-ГэВ ускорителе в ЦЕРНе. Продолжалась обработка полученного ранее экспериментального материала, совершенствовались и разрабатывались новые приборы и установки.

Большой объем работ выполнен по совершенствованию синхрофазотрона, освоению нового экспериментального корпуса, созданию проектов УКТИ, УНК, исследованию сверхпроводящих магнитов по проекту нуклотрона. Деятельность лаборатории осуществлялась в условиях широкого международного сотрудничества.

## Научно-исследовательские работы

Поведение амплитуд рассеяния в зависимости от энергии взаимодействующих частиц

Завершена обработка экспериментального материала, полученного в совместном эксперименте ОИЯИ-ФНАЛ по изучению упругого рассеяния протонов на ядрах гелия в интервале энергий 50-400 ГэВ. Исследованы малые передачи  $|t| = 0,003-0,52 (ГэВ/c)^2$ , включая области дифракционного пика, кулоновской интерференции, глауберовского минимума, второго минимума.

С помощью газовой струйной мишени из смеси водорода и гелия в заданной пропорции удалось измерить сечение взаимодействия протона с гелием в абсолютных единицах, в частности получить величину полного сечения. Оказалось, что при изменении энергии от 40 до 400 ГэВ полное сечение (p+He) возрастает на 4%, но остается на 7% (на 10 мб) меньше теоретической величины, вычисленной по модели Глаубера (рис.1).

Оценки показывают, что нуклоны в ядре гелия сильно затевают друг друга, а быстрый протон, пролетая через ядро

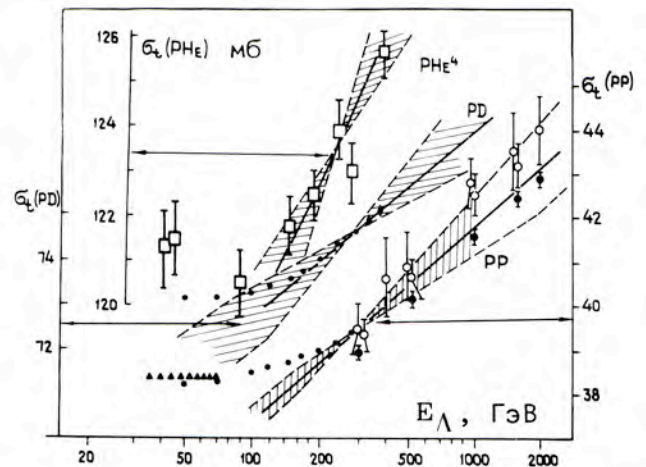


Рис. 1. Энергетическая зависимость полного сечения (p+He) - взаимодействия в области 50-400 ГэВ.

гелия, с большой вероятностью в промежуточных состояниях оказывается возбужденным.

С помощью чистой струи гелия определено дифференциальное сечение упругого (p+He)-рассеяния. Параметр наклона дифракционного конуса  $b = 24 \pm 1,13$  указывает на то, что скорость роста радиуса ядра гелия с увеличением энергии вдвое больше аналогичного роста радиуса протона. Эффект быстрого роста был обнаружен ранее также на ядре дейтерия. Качественно это указывает на

существенное взаимное экранирование нуклонов в ядре гелия (рис.2).

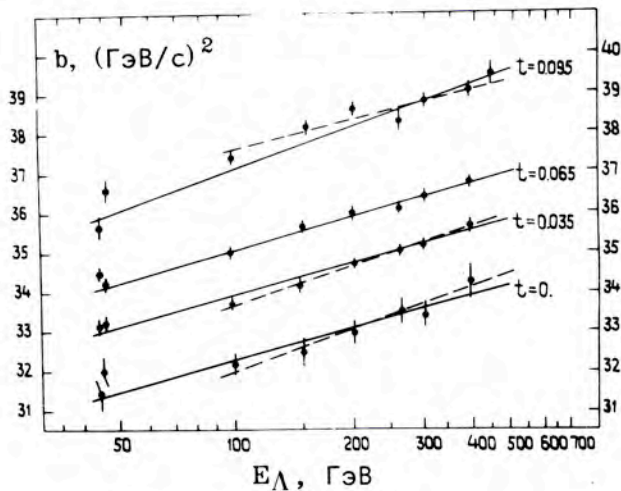


Рис. 2. Энергетическая зависимость параметра наклона для упругого (p+He)-рассеяния. Прямые - результат фитирования экспериментальных данных при фиксированном переданном импульсе.

На пучке альфа-частиц синхрофазотрона методом многократного прохождения внутреннего пучка ускорителя через тонкую мишень из дейтерированного полиэтилена толщиной 0,3-9,0 мкм изучено упругое (He+D)-рассеяние на малые углы при импульсах 2,25 и 4,95 ГэВ/с/нукл. Дейтроны отдачи регистрировались кремниевыми полупроводниковыми детекторами.

На основе полученных экспериментальных данных определены дифференциальные сечения упругого (He+D)-рассеяния в интервале передач  $|t| = 0,0028-0,168$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

Найдено полное сечение (He+D) ядерного рассеяния:  $\sigma_t = 258 \pm 8$  мб при 2,25 ГэВ/с/нукл. и  $\sigma_t = 256 \pm 5$  мб при 4,95 ГэВ/с/нукл. Параметр наклона дифракционного конуса и отношение реальной части амплитуды упругого рассеяния к мнимой части для импульса

2,25 ГэВ/с/нукл. равны соответственно  $b_1 = 5,2 \pm 0,3$  и  $\rho = -0,26 \pm 0,01$ , для импульса 4,95 ГэВ/с/нукл.

$b_1 = 7,9 \pm 0,3$  и  $\rho = -0,35 \pm 0,01$

(в пересчете на NN-взаимодействие). Эти величины близки к аналогичным для pp-взаимодействия. Полученные результаты показали, что в пределах ошибок модель Глаубера удовлетворительно описывает упругое (He+D) рассеяние в области  $|t| < 0,168$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

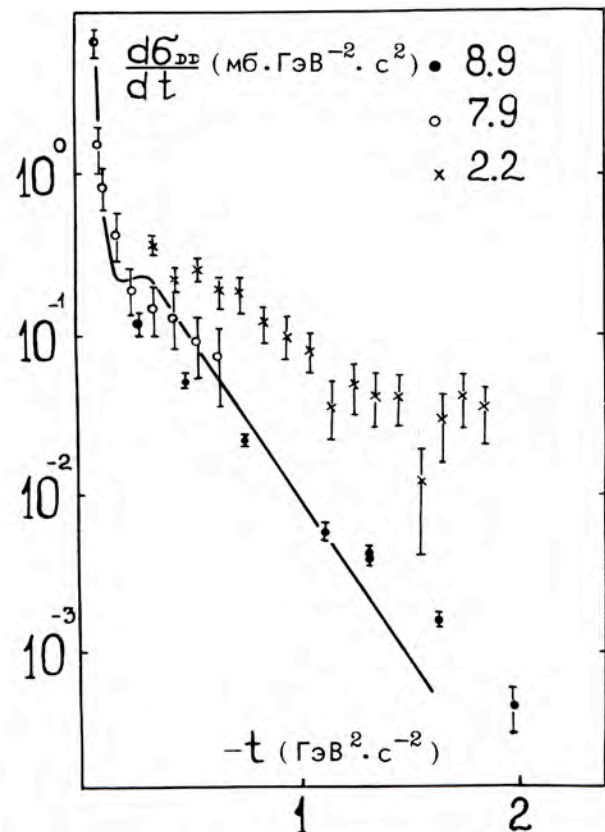


Рис. 3. Упругое дейтрон-дейтронное рассеяние при импульсе 8,9 ГэВ/с. Сплошной линией представлен результат расчета на основе механизма Глаубера для 7,9 ГэВ/с. Для сравнения приведены данные при 7,9 ГэВ/с и 2,2 ГэВ/с.



С помощью установки "Диск" на синхрофазотроне изучены дифференциальные упругие  $pp$ -,  $ND$ - и  $DD$ -рассеяния при больших передачах импульса  $|t| = 0,1-2,0$  ( $\text{ГэВ}/c$ )<sup>2</sup> и величинах импульсов  $8,9$   $\text{ГэВ}/c$  для  $p$  и  $D$  (рис.3).

В эксперименте анализировались частицы отдачи, образуемые в криогенных мишенях с жидким водородом, дейтерием и гелием.

Сопоставление полученных данных по  $ND$ - и  $DD$ -рассеянию показало, что они одного порядка при фиксированном значении переданного импульса и для близких значений энергии.

Механизм рождения и распада частиц и резонансов.

Поиск новых частиц

*Проанализирован экспериментальный материал*, полученный на снимках с двухметровой пропановой камеры, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $40$   $\text{ГэВ}/c$  на серпуховском ускорителе. Определены характеристики множественного образования частиц как доминирующего процесса во взаимодействии адронов при высоких энергиях.

Найдены коэффициенты перезарядки:  
 $K(p \rightarrow n) = 0,37 \pm 0,05$  и  
 $K(n \rightarrow p) = 0,36 \pm 0,06$ .

Исследование поведения поперечных импульсов многопионных систем показало их зависимость в основном только от величины эффективной массы многопионной системы и слабую зависимость от величины заряда пионной группы и типа

мишени ( $p, n$ ). Зависимости неинвариантного дифференциального сечения для резонансов и пионных групп от величины поперечной энергии описываются одной формулой. Это указывает на слабое влияние резонансов на общие характеристики многопионных систем.

Показано, что в  $pp$ -,  $\pi^-p$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействиях при высоких энергиях имеется подобие распределений по множественности образованных частиц для различных коэффициентов неупругости ("частный" КНО-скейлинг). Нарушение этого скейлинга в  $\pi^-p$ -реакциях при величине коэффициента неупругости  $K > 0,3$  в основном определяется влиянием лидирующих частиц. Экспериментальной проверке подвергалась модель Калинкина-Шмонина, по которой предсказывается образование пионного кластера, образующего при своем распаде основную долю частиц во взаимодействии. Наблюдалось хорошее согласие опытных данных с результатами расчетов модели по поведению парциальных коэффициентов неупругости, по свойствам быстрой и медленной компонент частиц, по множественности, по корреляции числа пионов и числа протонов, по распределению частиц по продольной быстрой.

Найдено, что импульсные и угловые распределения  $\Lambda$ -гиперонов и их средние числа в  $\pi^-p$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействиях совпадают в пределах ошибок. Это указывает на малое влияние ядра углерода на рождение  $\Lambda$ -гиперонов по сравнению с их образованием в  $\pi^-p$ -взаимодействиях.

*На основе анализа 21 тыс. неупругих  $pp$ -событий при импульсе  $22,4$   $\text{ГэВ}/c$ , полученных с помощью двухметровой жидководородной камеры "Людмила" на*

серпуховском ускорителе, показано подобие реакций  $\bar{p}p \rightarrow p$  (медл.) + X и  $pp \rightarrow p$  (медл.) + X при сравнимых энергиях и недостающих массах  $M(X) = 0 \div 4,7$  ГэВ.

Сопоставление характеристик  $\bar{p}p$ -взаимодействий с  $pp$ -взаимодействиями при близкой энергии по величине множественности, топологических сечений и относительных моментов множественности подтвердило предсказания схемы дуальной унитаризации с учетом кварков.

Обнаружена корреляция частиц и выстроенность импульсов в азимутальной плоскости  $\bar{p}p$ -взаимодействий, которую не удается объяснить наличием резонансов, лидирующих частиц, интерференцией тождественных частиц.

Изучены характеристики образования изобар  $\Delta^{++}(1232)$  и  $\Delta^{--}(1232)$ . Найдено, что помимо периферического механизма их образования имеется некоторый вклад изобар при  $y=0$ , от событий с большой множественностью, а наклон распределения изобар по величине  $p_{\perp}^2$  согласуется с наклоном аналогичного распределения при образовании векторных мезонов. Механизм образования изобар не противоречит модели однопионного обмена с поглощением.

*Расширен поиск резонансов во взаимодействиях на снимках с пропановой камеры, облученной пучком нейтронов со средним импульсом 7 ГэВ/с и  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 4 ГэВ/с. Проанализировано 49 систем частиц с квантовыми числами  $V=0 \div 6$ ,  $S=-2 \div 1$ ,  $Y=0 \div 6$ . Резонансные пики обнаруживаются в пяти системах с  $V=2$  и в четырех системах с  $V=1$ , причем все эти системы имеют  $Y \leq 1$ . Полученный результат указывает на существование правила отбора ад-*

ронных резонансов по величине гиперзаряда, который не может быть больше единицы.

Результаты приведены в табл.1.

Таблица 1

| Система              | M<br>МэВ | $\Gamma$<br>МэВ | Модель MIT<br>BAG |
|----------------------|----------|-----------------|-------------------|
| $\Delta p \pi^{\pm}$ | 2489     | 193             | Близкие значения  |
|                      | 2780     | 240             |                   |
|                      | 3079     | 188             |                   |
| $\Delta \pi^+ \pi^+$ | 2095     | 150             | 2120              |
|                      | 2595     | 100             | 2615              |

Величины масс в наблюдаемых пиках хорошо согласуются с расчетами, сделанными Де Свартом, Джаффе и Комбрюгге (рис. 4 и 5).

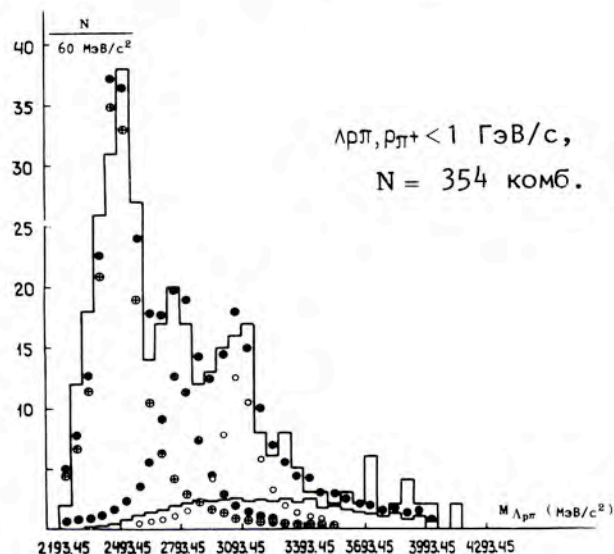


Рис. 4. Распределение по эффективным массам  $\Delta p \pi$ :  $\oplus$  - распределение Брейта-Вигнера для первого максимума,  $\circ$  - то же для второго максимума,  $\circ$  - то же для третьего максимума,  $\bullet$  - сумма распределений Брейта-Вигнера для трех максимумов с распределением для фона.



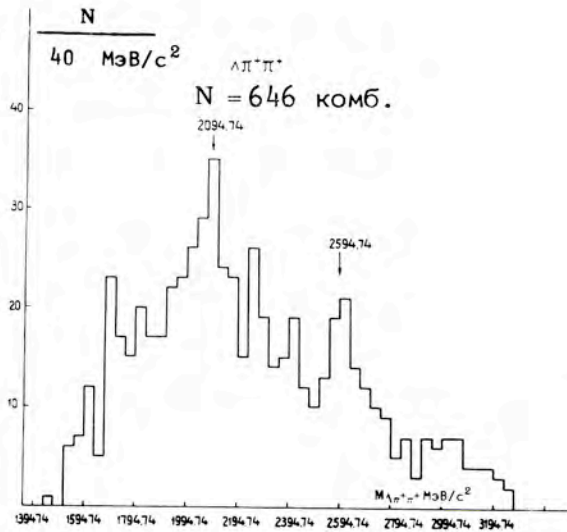


Рис. 5. Распределение по эффективным массам  $\Lambda\pi^+\pi^+$ .

С помощью установки "Диск" изучен процесс  $DD \rightarrow M(X) + D$  при переданном импульсе  $|t| = 0,5$  ( $\text{ГэВ}/\text{с}$ )<sup>2</sup> и импульсе первичных дейтронов  $8,9$   $\text{ГэВ}/\text{с}$  на синхрофазотроне. В зависимости двойного дифференциального сечения  $d\sigma/(dtdM(X))$  наблюдался пик упругого рассеяния и второй пик при  $\theta = 75^\circ$ , соответствующий упругому рассеянию одного из нуклонов налетающего дейтрона на дейтроне мишени, и при массе  $M(X) \approx 1880$   $\text{МэВ}$  (на  $\sim 400$   $\text{МэВ}$  больше массы дейтрона) обнаружена резонансная особенность.

На снимках, полученных с помощью однометровой жидководородной камеры на пучке дейтронов с импульсом  $3,33$   $\text{ГэВ}/\text{с}$  на синхрофазотроне, исследована реакция развала дейтрона. Получено, что в области импульсов нуклона-спектатора, кинематически запрещенной для  $NN$ -взаимодействия, механизм процесса может быть описан треугольной диаграммой с возбуждением изобары  $\Delta(1232)$  в промежуточном состоянии. Обнаружена корреляция между

азимутальными углами нуклона с наиболее вероятным расположением импульсов нуклонов в одной плоскости.

### Электромагнитная структура элементарных частиц

В совместном эксперименте ОИЯИ-ЦЕРН по глубоконеупругому рассеянию мюонов проводился набор экспериментального материала на углеродной мишени при энергии  $120$  и  $280$   $\text{ГэВ}$  и переданных импульсах  $|t| = 50-300$  ( $\text{ГэВ}/\text{с}$ )<sup>2</sup>.

Сравнение величин структурной функции при  $120$  и  $280$   $\text{ГэВ}$  показало их совпадение, что свидетельствует в пользу выполнения масштабной инвариантности (рис. 6). Исследован спектр масс

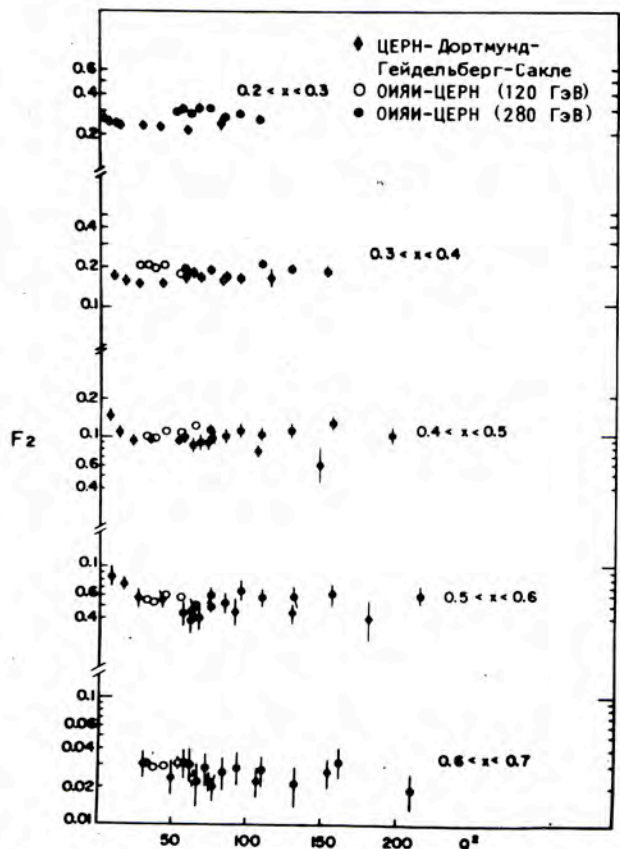


Рис. 6. Поведение структурной функции  $F_2$  в зависимости от величины переданного импульса  $Q^2$ .

двух мюонов. Для частицы  $\Upsilon(9,5)$  определена оценка ее рождения на уровне

$$\sigma \times BR(\Upsilon \rightarrow \mu^+ \mu^-) \leq 10^{-39} \text{ см}^2/\text{нукл.}$$

Отчетливо наблюдается пик в районе частицы  $J/\psi(3,1)$ .

### Релятивистская ядерная физика

С помощью спектрометра "Диск" на синхрофазотроне проведено исследование характеристик кумулятивного образования пионов, протонов, дейтронов и ядер трития. Экспериментальные данные получены в пучке протонов с импульсом  $8,9 \text{ ГэВ/с}$  с набором из 24 ядер при угле испускания  $168^\circ$  и кинетической энергии пионов от 50 до  $1000 \text{ МэВ}$ . В экспериментах удалось изучить кумулятивное мезообразование в недоступной ранее области энергий пионов, где сечение падает на 9 порядков величины. В области малых энергий пионов наблюдается структура, более проявляющаяся на мишенях из легких ядер.

Зависимость сечения образования кумулятивных пионов и барионных систем от атомного веса ядра-мишени изучена при импульсе вторичных частиц  $500 \text{ МэВ/с}$ . Выход кумулятивных протонов превышает выход кумулятивных пионов только при  $A > 20$ , причем для пионов инвариантное сечение их образования на нуклон ядра в области  $A > 20$  практически не зависит от величины атомного номера ядра-мишени.

С помощью камерной методики изучено рождение протонов, вылетающих в заднюю полусферу в реакциях взаимодействия нейтронов с импульсом  $\sim 7 \text{ ГэВ/с}$  и пионов с импульсом  $4 \text{ ГэВ/с}$  с ядром углерода. Анализ энергетических распределений подтверждает, что имеется по крайней мере 2 ме-

ханизма образования таких протонов. В этих же взаимодействиях определена поляризация кумулятивно рожденных  $\Lambda$ -гиперонов.

Исследование характеристик кумулятивных пионов в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при  $40 \text{ ГэВ/с}$  показало: в событиях с кумулятивными пионами наблюдается рост множественности всех вторичных частиц, поперечные импульсы больше средних в 2-2,5 раза, вероятность полного разрушения ядра углерода увеличивается в 5 раз и достигает величины 38%.

Закончен анализ по поиску тяжелого изотопа  $^{10}\text{He}$  в реакции  $D + ^{232}\text{Th}$  при импульсе дейтронов  $4,8 \text{ ГэВ/с/нукл.}$  с помощью установки "Спектрометр ядер отдачи" на синхрофазотроне. Показано, что на уровне  $1,5 \text{ мкб}$  изотоп  $^{10}\text{He}$  не образуется (рис. 7).

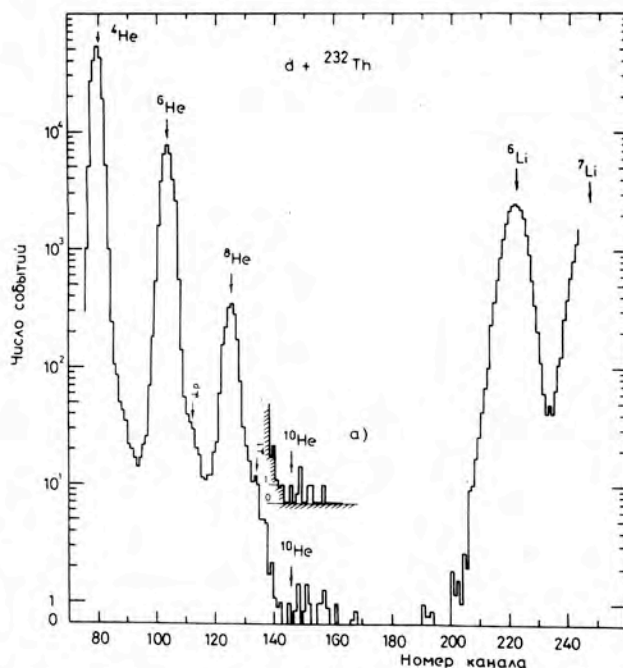


Рис. 7. Распределение по массам фрагментов, образованных в реакции  $D + ^{232}\text{Th}$  при импульсе дейтронов  $4,8 \text{ ГэВ/с/нукл.}$



В опытах на синхрофазотроне при облучении двухметровой пропановой камеры протонами, ядрами D, He и C с импульсом 4,2 ГэВ/с/нукл. изучены особенности процесса множественного образования частиц. Выяснено, что средняя множественность образованных частиц зависит главным образом от числа нуклонов падающего ядра, которые взаимодействуют с мишенью независимо. Проведено единое описание распределения отрицательных пионов в модифицированных КНО-переменных по топологическим сечениям образования  $\pi^-$ -мезонов в соударениях p, D, He и C с мишенями из C и Ta при 4,2 ГэВ/с/нукл. и в pp-взаимодействиях при энергии больше 60 ГэВ. Таким образом, в исследуемых реакциях (до  $\langle n_- \rangle$  меньше 2) не обнаружено проявлений коллективных эффектов при столкновении ядер. Для взаимодействий C+Ta найдено отклонение дисперсии отрицательных пионов от прямой зависимости Мальхотры-Врублевского, которая для pp, pTa, He+Ta выполняется (рис.8). На основе эффекта интерференции тождественных частиц сделана оценка размера области испускания отрицательных пионов в (C+Ta)-взаимодействиях, который оказался равным  $(3,3 \pm 0,6)$  Фм (рис.9).

С помощью стримерной камеры СКМ-200, облученной ядрами  $^{12}\text{C}$  с импульсом 4,5 ГэВ/с/нукл. на синхрофазотроне, определены сечения неупругих взаимодействий ядер углерода с ядрами C, Ne, Si, Cu и Zr. Неупругие сечения хорошо описываются формулой

Брандта-Петерса  $\sigma = \pi r_0^2 (A^{1/3} + A^{1/3} - b_0)^2$ , где  $r_0 = 1,30 \pm 0,01$  и  $b_0 = 0,61 \pm 0,01$ . Величины сечений даны в табл. 2.

Во взаимодействиях  $^4\text{He}$  с импульсом 4,5 ГэВ/с/нукл. с ядрами Li, C, Al, Cu определены сечения образования фрагментов  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$  от ядра

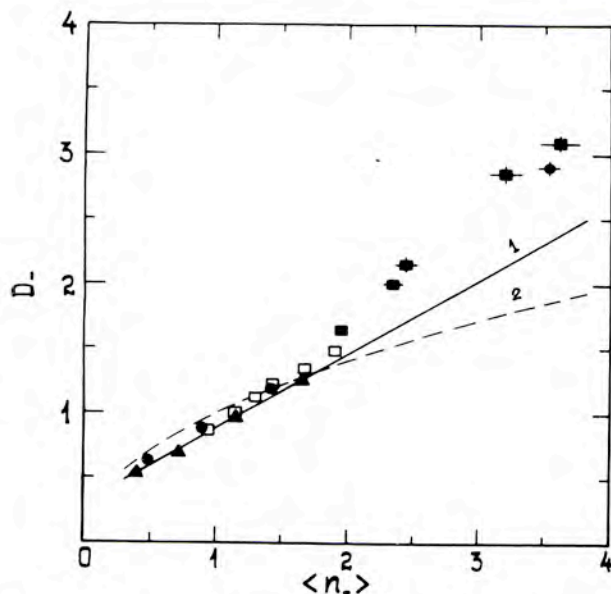


Рис. 8. Зависимость дисперсии  $D_-$  от средней множественности отрицательных пионов  $\langle n_- \rangle$  для взаимодействий релятивистских ядер с ядрами.

□ He+(Li,C,Ne,Al,Cu,Pb) } при импульсе  
 ■ C+(C,Ne,Si,Cu,Zr) } 4,5 ГэВ/с/нукл.  
 ▲ (p, D, He, C)+C } при импульсе 4,2 ГэВ/с/нукл.,  
 ● (p, D, He, C)+Ta } двухметровая пропановая камера.

1 - распределение Врублевского-Мальхотры в pp-взаимодействиях в диапазоне 4-400 ГэВ/с, 2 - распределение по закону Пуассона.

Таблица 2

|  | C            | Ne            | Si            | Cu            | Zr             |
|--|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| $\sigma_{\text{неупр.}}$ ,<br>$\sigma_{\text{мб}}$ | 805 $\pm$ 30 | 1100 $\pm$ 60 | 1200 $\pm$ 80 | 1770 $\pm$ 90 | 2025 $\pm$ 120 |



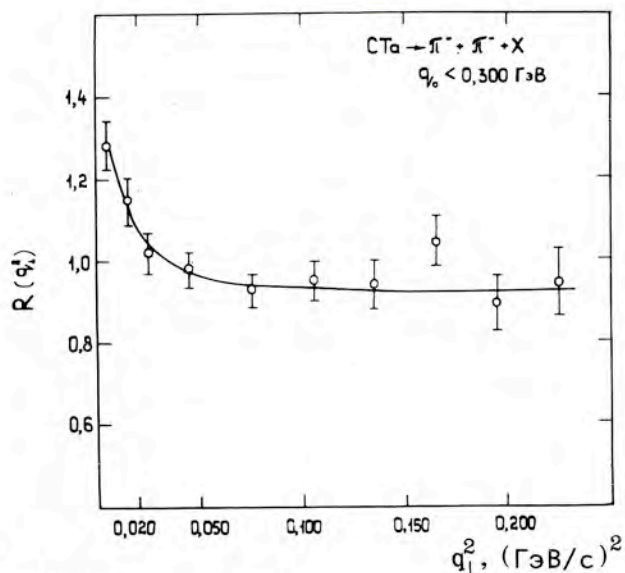


Рис. 9. Проявление эффекта интерференции (подъем при малых величинах  $q_{\perp}^2$ ) между двумя отрицательными пионами из реакции  $C+Ta \rightarrow \pi^- + \pi^- + \dots$  при импульсе ядер углерода 4,2 ГэВ/с/нукл. Величина  $R$  определяет отношение величины эффекта интерференции к фону.

$^4\text{He}$  и сечение образования нескольких фрагментов в одном взаимодействии. Определена зависимость этих сечений от числа нуклонов в ядре-мишени. Найдено, что средняя множественность отрицательных пионов  $\langle n_- \rangle$  в зависимости от массы ядра-мишени постоянна, если из ядра-снаряда  $^4\text{He}$  взаимодействовало не более двух нуклонов ( $N_{\text{int}} \leq 2$ ), и  $\langle n_- \rangle$  растет, если  $N_{\text{int}} > 2$ . Исследование фрагментации  $^4\text{He}$  на ядрах позволило исключить модель "коллективной трубки".

Обнаружено испускание нуклонов с кинетическими энергиями от 20 до 400 МэВ без сопровождения вторичными пионами во взаимодействиях пионов с импульсом 3,5 ГэВ/с с ядрами ксенона. Анализ взаимодействий указывает на монотонное испускание нуклонов, причем их число определяется числом нуклонов ядра, расположенных на пути падающей частицы. Нерегулярности в энергетическом спектре испущенных нуклонов при энергии 40, 140 и 220 МэВ указывают, что испускание нуклонов происходит двумя или более нуклонными системами.

Исследованы энергетические и угловые распределения вторичных частиц во взаимодействиях ядер углерода с импульсом 4,5 ГэВ/с/нуклон с ядрами фотоэмюльсии. Найдено, что в центральных взаимодействиях (включая события с полным разрушением ядер-мишени) средняя кинетическая энергия  $g$ -частиц не уменьшается по сравнению с периферическими взаимодействиями, а энергия  $b$ -частиц увеличивается. При увеличении массы налетающей частицы от протона до углерода в энергетических распределениях проявляется ряд особенностей, которые трудно объяснить в рамках обычной суперпозиционной модели. Полученные результаты не обнаруживают заметной роли простого механизма ударной волны, но указывают на появление эффектов коллективного взаимодействия сталкивающихся ядер.

## Развитие методики эксперимента

Обнаружено новое физическое явление - на пучке протонов с импульсом 8 ГэВ/с с помощью установки "Кристалл" зафиксировано отклонение пучка протонов изогнутым монокристаллом.

Протоны, захваченные в процесс плоскостного каналирования изогнутым монокристаллом кремния длиной 20 мм, отклонялись на угол 26 мрад (рис.10). Радиус траектории частиц составил



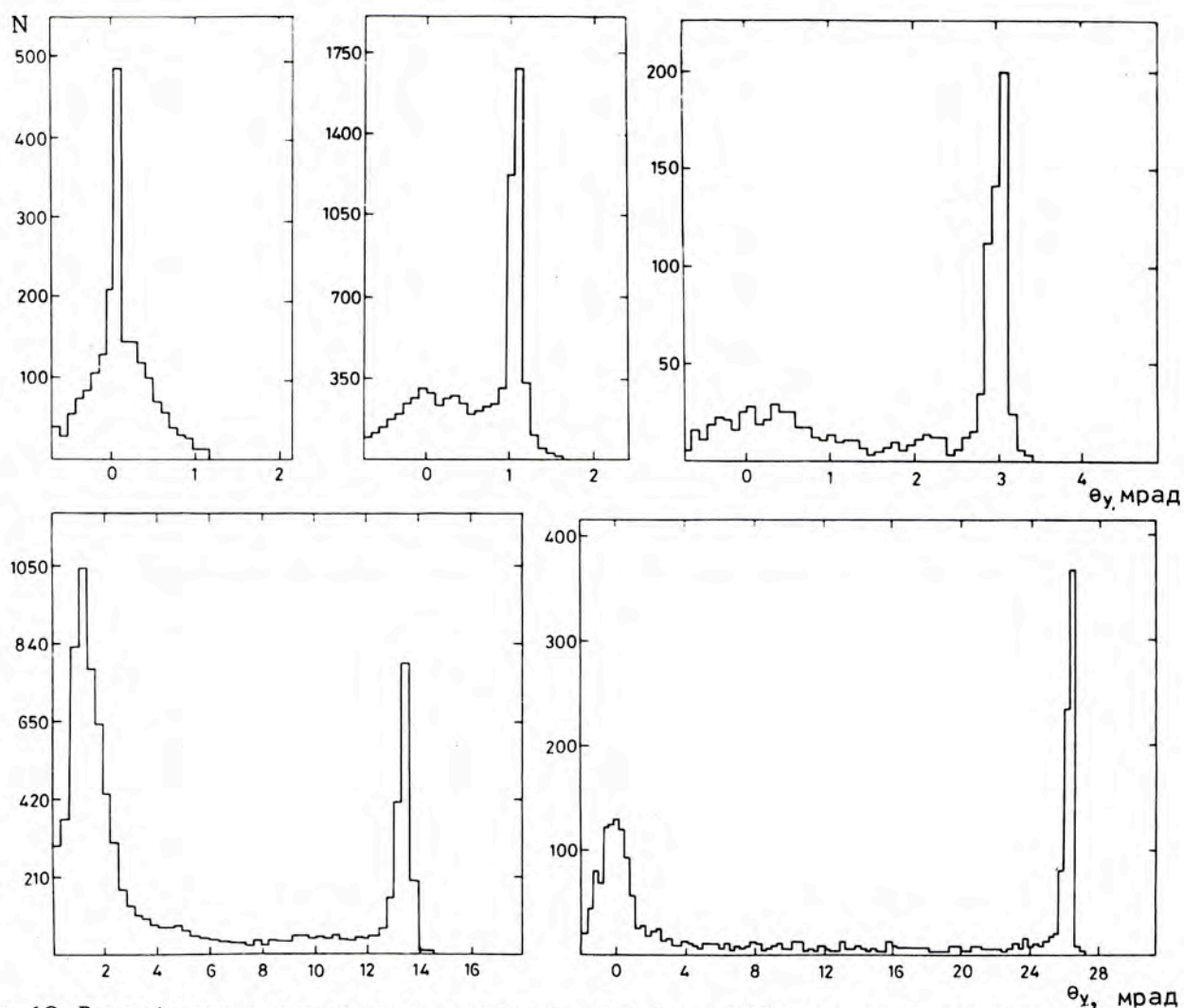


Рис. 10. Распределение протонов первичного пучка по углам выхода при изгибе кристалла на углы 0, 1, 3, 13 и 26 мрад.

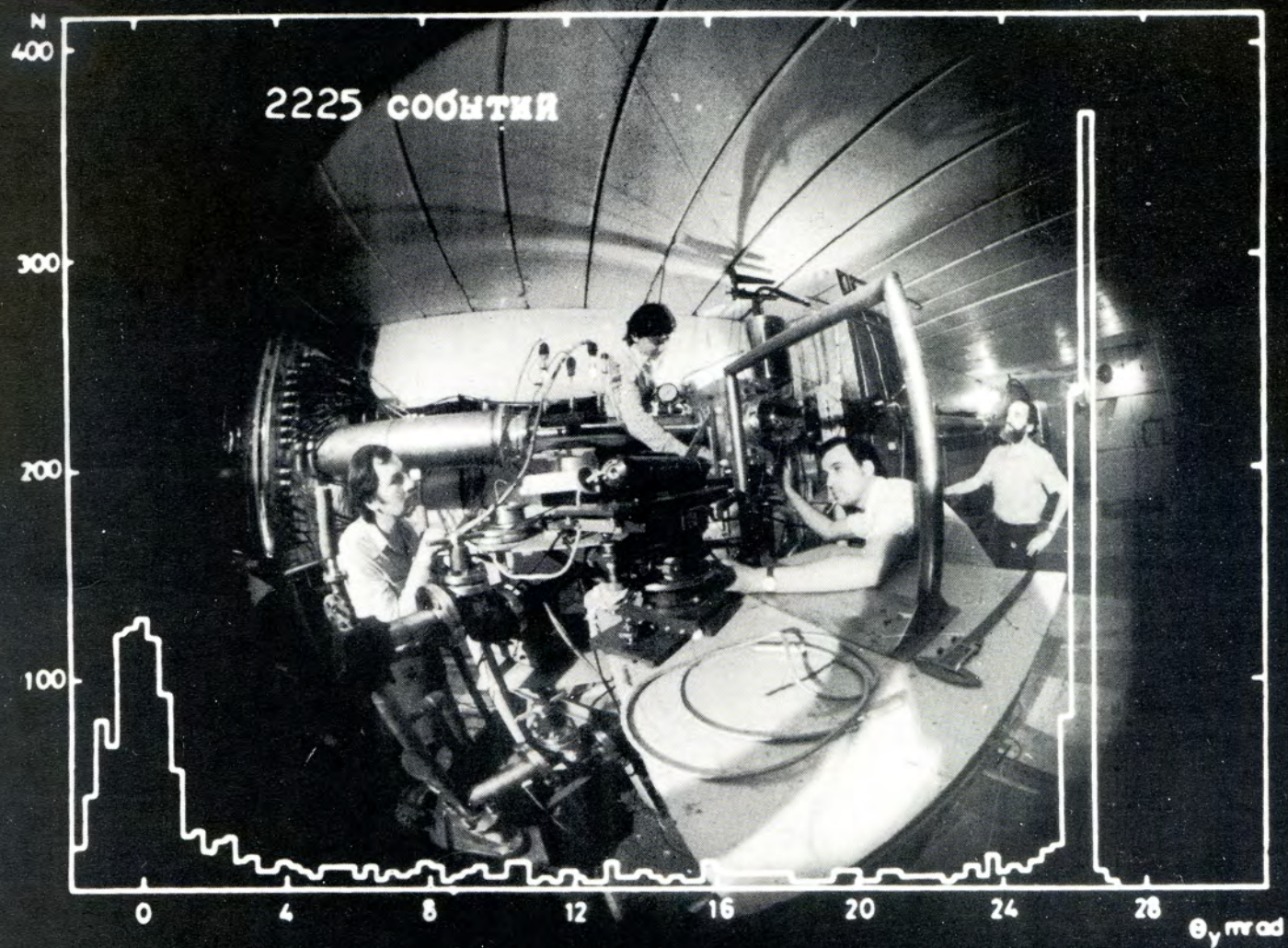
38 см, что эквивалентно воздействию на частицу магнитного поля с индукцией около 72 Т. В работе приняли участие сотрудники из стран-участниц ОИЯИ и США.

Для обеспечения работы физических установок на пучках гамма-квантов и ядер разработано и изготовлено несколько вариантов криогенных мишеней: водородно-дейтериевая и водородно-гелие-

вая. В каждой мишени третий сосуд является пустым и предназначен для фоновых измерений. Вакуум в мишени составляет  $10^{-4} - 10^{-5}$  Тор.

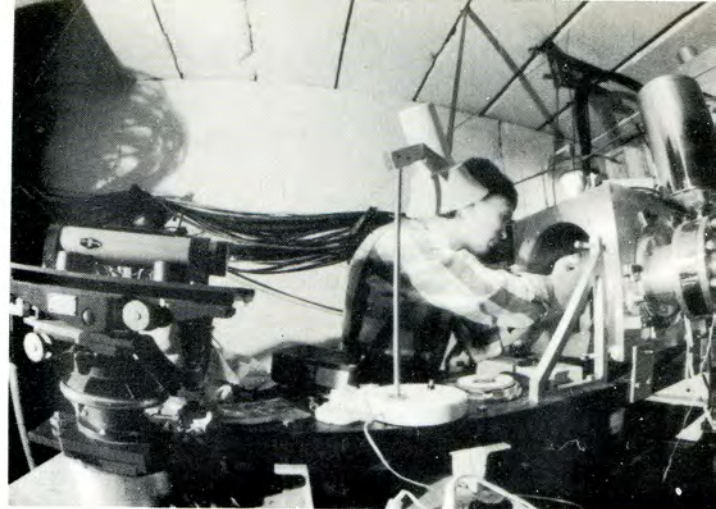
Разработан и создан двумерный детектор рентгеновского излучения, предназначенный для исследования монокристаллов. Пространственное разрешение детектора составляет  $\sim 1$  мм, быстродействие - около  $2 \times 10^5$  соб/с. Прибор





На установке "Кристалл" зафиксировано отклонение пучка протонов с импульсом 8 ГэВ/с изогнутым монокристаллом.





*Установка для исследования каналирования частиц высоких энергий создана при участии институтов Польской Народной Республики, Советского Союза и США.*





работает на линии с ЭВМ, информация передается на телевизионный монитор.

*Разработаны и изготовлены новые блоки вычислительной техники и электронные устройства:* интерфейс к ЭВМ "Эклипс С/200", аппаратура для повышения разрешающей способности ионизационных датчиков на синхрофазотроне, аппаратура для измерения энергетических потерь в импульсных сверхпроводящих магнитах и в коротких образцах сверхпроводящих кабелей, работающая на линии с ЭВМ ТРА-70. На основе микропроцессора Intel-8080 разработана система "Мишка", предназначенная для использования в качестве микро-ЭВМ при обработке физической информации или в качестве системы управления при ре-

шении задач в реальном масштабе времени. Система "Мишка" позволяет автоматизировать такие эксперименты, в которых из-за большой стоимости мини-ЭВМ применение средств вычислительной техники ранее не было оправданным.

На основе гибридной интегральной схемы преобразователя "заряд-время" создан блок регистрации для аналоговых годоскопических систем, работающий по новому принципу смещения аналоговых сигналов, что позволило резко снизить аппаратные затраты. Создан микропроцессорный стенд для автоматизированной проверки характеристик аналоговых и аналого-цифровых блоков КАМАК. Разработан простейший специализированный язык типа Бейсик-Фокал.

## Совершенствование действующих и разработка новых физических приборов и установок

### Совершенствование синхрофазотрона

На синхрофазотроне выполнен большой объем работ по улучшению и модернизации некоторых узлов ускорителя и стабилизации режимов его работы.

В систему управления медленным выводом пучка ускоренных частиц введена аппаратура для осуществления равномерного вывода пучка (опытный вариант). Одновременно с этим реализовано отделение малой доли пучка (до 0,001) для медленного вывода и обеспечено поддержание этого уровня с высокой степенью стабилизации. Данная схема осуществляет и подавление низкочастотных (до 150 Гц) пульсаций тока выведенного пучка. Осуществлен режим медленного вывода двух пучков в одном

цикле ускорения: одного при энергии 300 МэВ/нуклон и второго - при 2-4 ГэВ/нуклон.

Создана многоканальная система мониторинга пучка для диагностики и настройки режимов ускорителя при ускорении ядер С, О, Ne в диапазоне интенсивностей от  $10^2$  до  $10^9$  ядер в цикле.

Продолжались работы по созданию аппаратуры для измерения магнитных полей в рабочей области камеры синхрофазотрона.

Для ионного источника "Крион-2" разработан комплекс электронной аппаратуры, позволивший довести энергию электронного пучка до 20 КэВ и ток до 100 мА. Это позволило получить на выходе источника пучок  $\text{Xe}^{+48}$  с интенсивностью  $10^7$  ион/цикл (рис. 11).



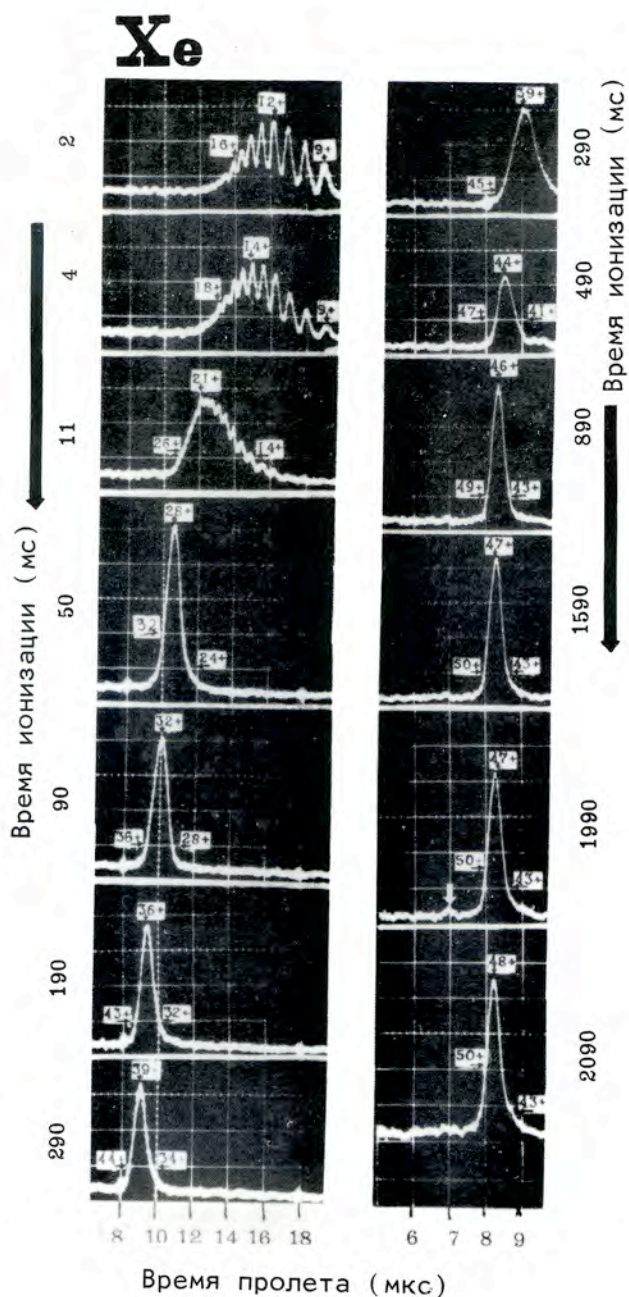


Рис. 11. Спектры зарядов ионов Xe, получаемые с помощью установки "Крион-2"

Работы по проектам нуклотрона, ускорительно-накопительного комплекса и ускорительного комплекса тяжелых ионов

Продолжалась разработка технологии изготовления сверхпроводящих материалов и магнитов, а также проводились их исследования.

Усовершенствован стенд для измерения калориметрическим способом тепловыделений в коротких образцах сверхпроводника, находящихся в переменном магнитном поле.

Проведены подробные испытания образца дипольного магнита из трубчатого сверхпроводника с циркуляционной системой криостатирования потоками двухфазного гелия. Максимальный критический ток в магните составил 7500 А при поле в центре магнита 2,4 Т. Степень деградации критического тока оказалась низкой (10%) даже при больших скоростях изменения поля (4 Т/с) и тепловыделениях (18 Вт), что указывает на хорошие условия охлаждения магнита.

Проводилось исследование потерь в коротких образцах сверхпроводников, измерение теплопроводности и электрического сопротивления сверхпроводников типа HT-50 и кабелей, изготовленных в ЛВЭ. Измерены критические токи образцов силовых шин, изготовленных в лаборатории, и одиночных проводов промышленного производства.

Исследованы характеристики сверхпроводящего диполя на 4 Т, ток 1500 А и энергию 80 кДж. Магнит охлаждался прокачкой двухфазного гелия с различным паросодержанием по полым сверхпроводящим обмоткам диполя. Успешно опробованы аварийные режимы с превышением критического тока.



Проводилась детальная математическая проработка вопросов создания тягелюнонного синхротрона (ТИС). Определены допуски на магнитные элементы,

рассчитан вариант перевода частиц из синхротрона в синхрофазотрон, а также рассмотрены вопросы инжекции и ввода пучка.

Запланированное время работы ускорителя - 4202 часа.

Ускоритель работал:

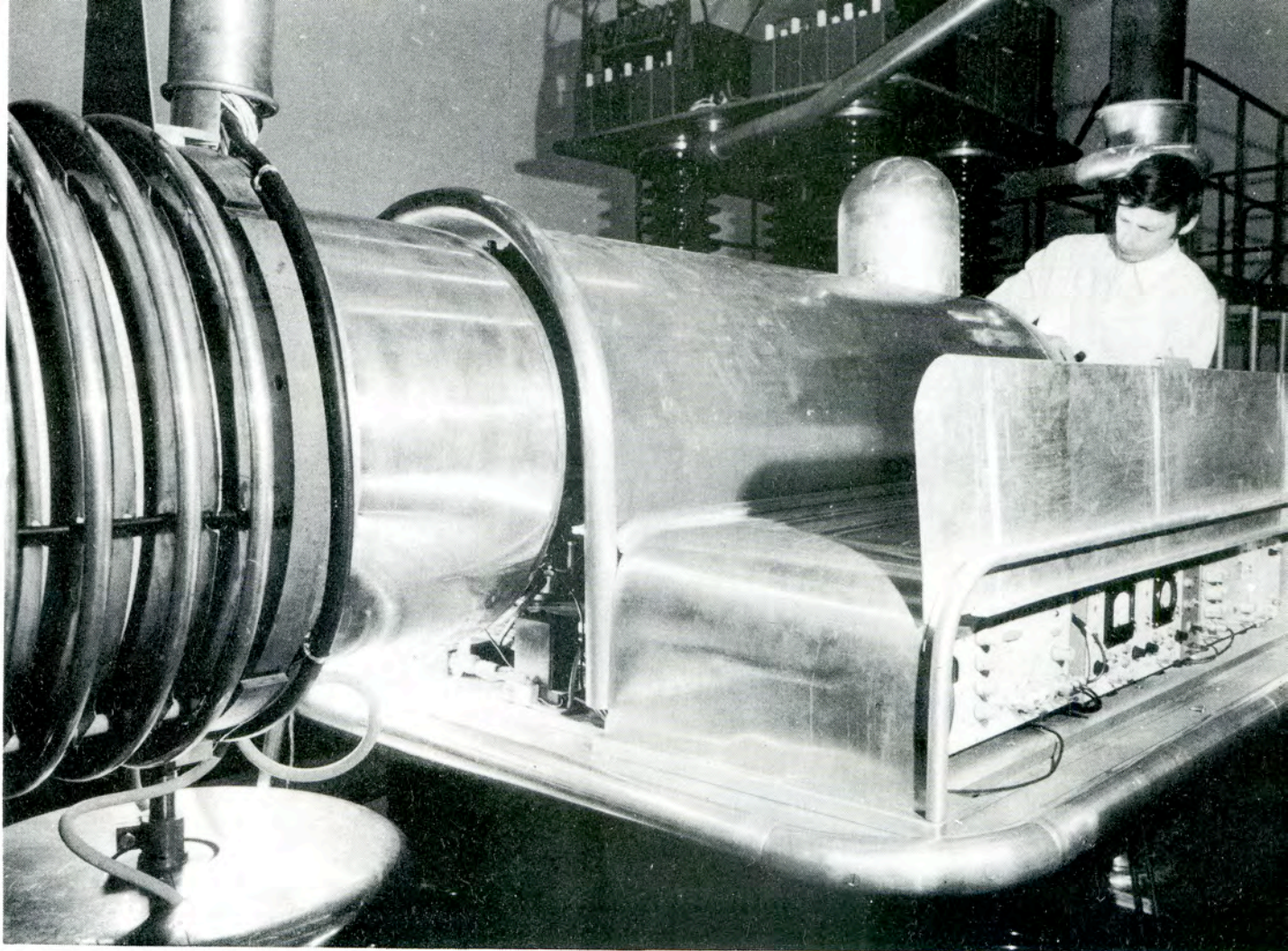
а/ на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3413 ча-

#### Эксплуатация синхрофазотрона

сов со средней интенсивностью  $5,3 \times 10^{11}$  ускоренных протонов;  $2,3 \times 10^{11}$  дейтронов;  $5 \times 10^9$  ядер гелия;  $4 \times 10^5$  ядер углерода за один цикл ускорения;

б/ на совершенствование систем ускорителя - 560 часов.



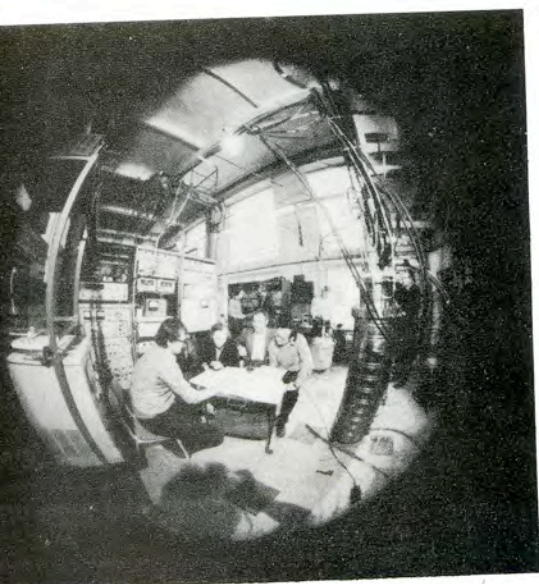


*Продолжались работы по совершенствованию электронно-лучевого криогенного ионизатора ("Крион-2"). Путем увеличения энергии электронного пучка в источнике созданы условия для эффективной ионизации тяжелых ионов.*

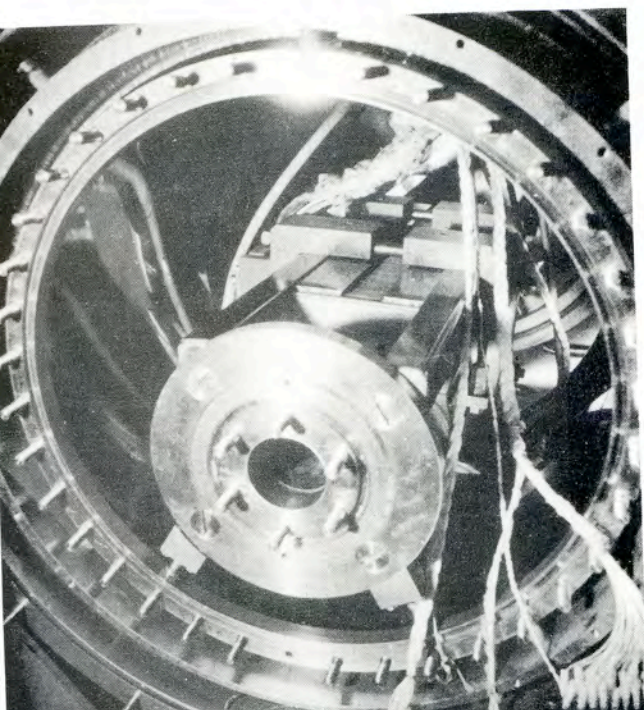
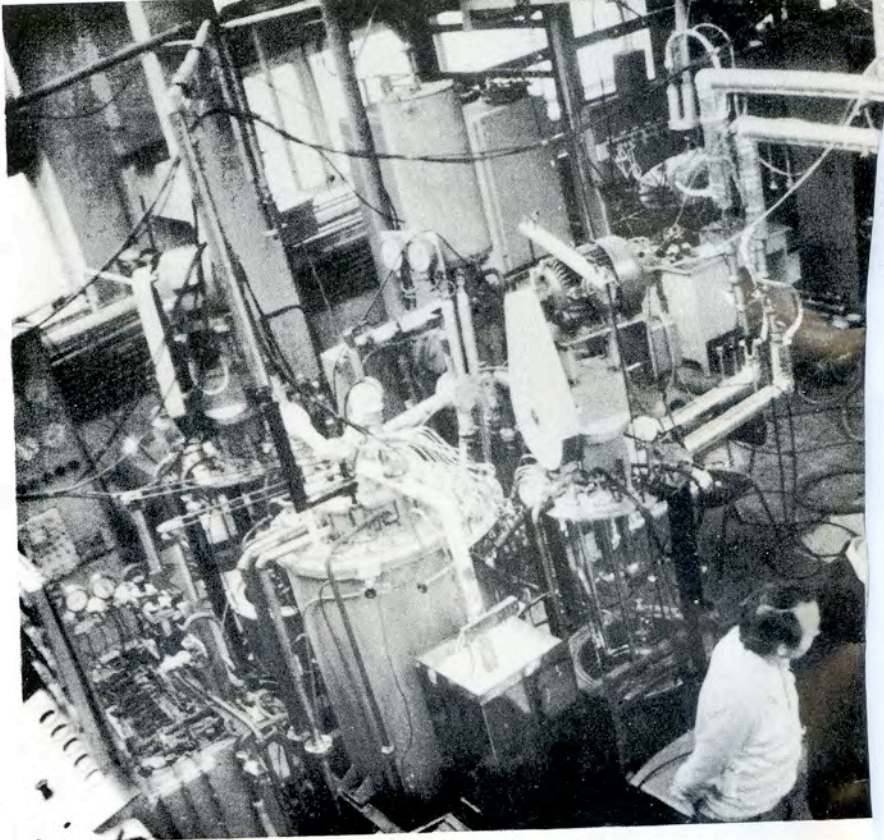


*Выполнен большой объем работ по совершенствованию синхрофазотрона. Создана многоканальная система мониторинга пучка для диагностики и настройки режимов работы ускорителя.*

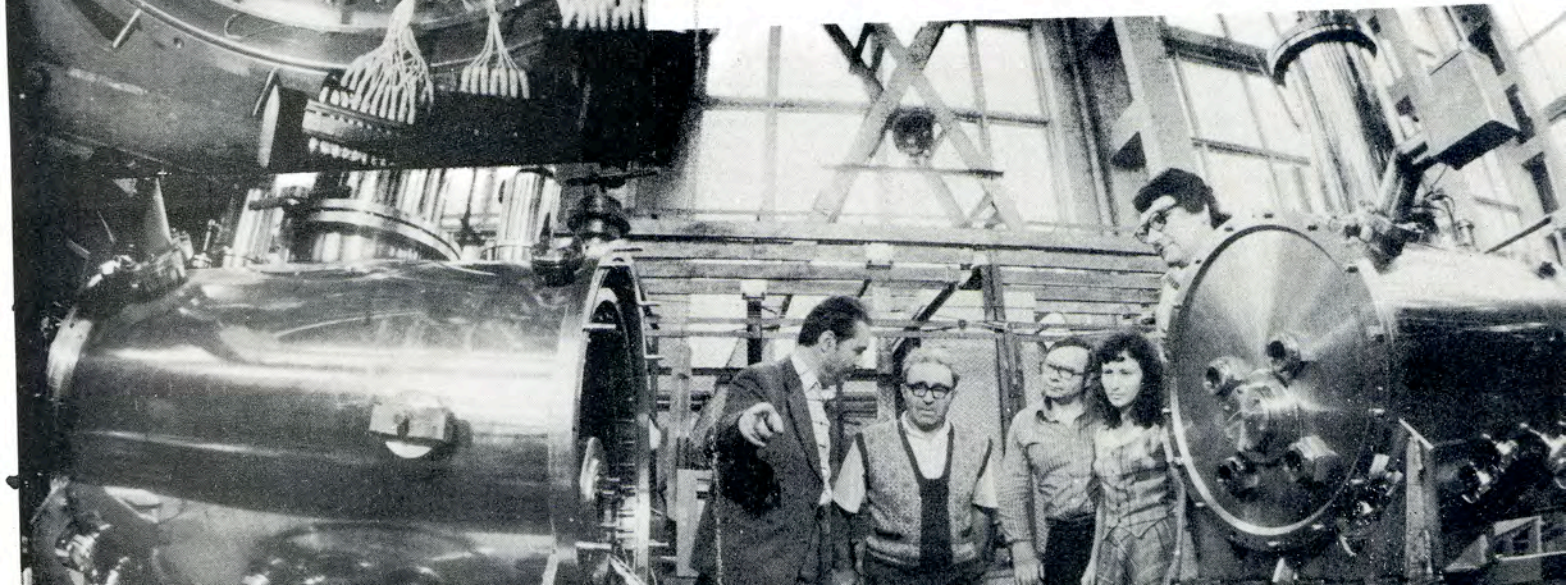




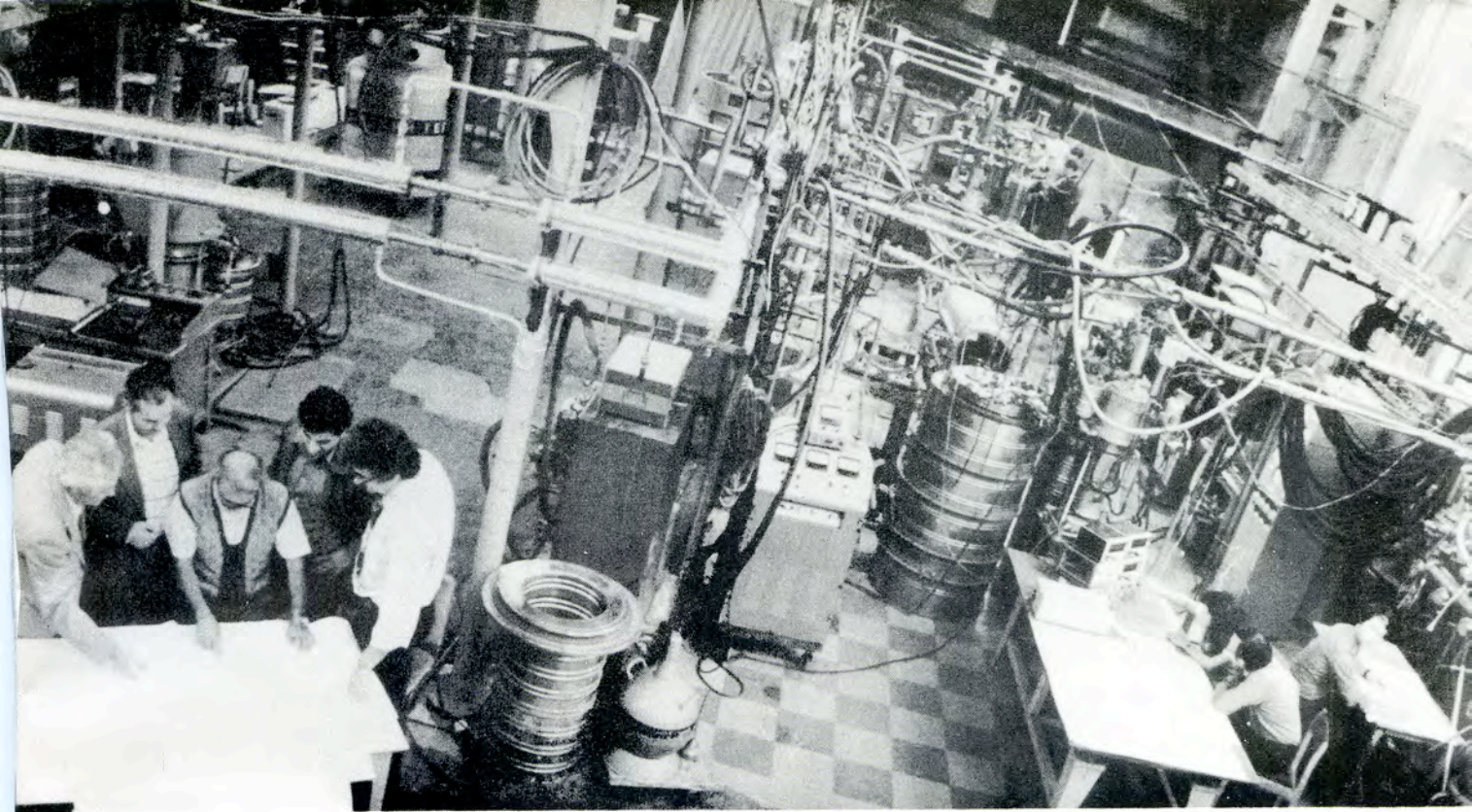
*Павильон для испытаний сверхпроводящих магнитов.*



*В соответствии с программой работ по проектам нуклотрона и УНК проводятся исследования сверхпроводящих материалов и магнитов. С участием специалистов из ЧССР исследованы характеристики сверхпроводящего диполя.*







*Для экспериментов с использованием стримерных камер разработана и создана жидководородная неметаллическая мишень.*

