

# ДУБНА · 1978

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1978 · DUBNA

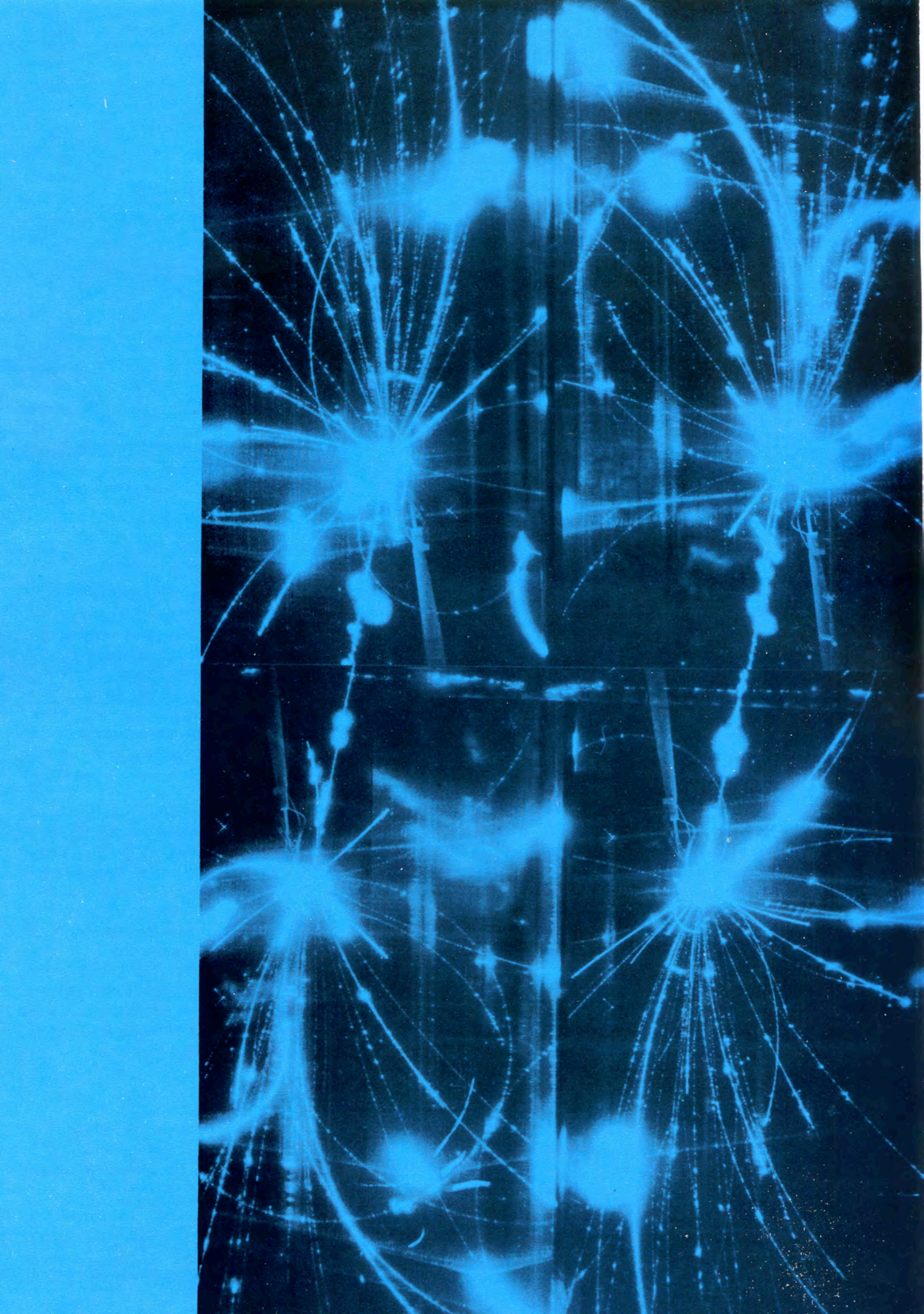
## Лаборатория высоких энергий

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 ускорителя релятивистских 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

*Завершена обработка данных по упругому  $\pi^-p$ -рассеянию при энергии 40 ГэВ в области кулон-ядерной интерференции. Эксперимент проведен на серпуховском ускорителе с помощью двухплечевого спектрометра с детектором отдачи и запускающей системой на основе быстрого процессора. Определено отношение реальной части амплитуды к ее мнимой части при  $\rho$  рассеянии вперед, равное  $\rho = -0,037 \pm 0,017$ , что хорошо согласуется с расчетами по дисперсионным соотношениям /рис. 1/.*



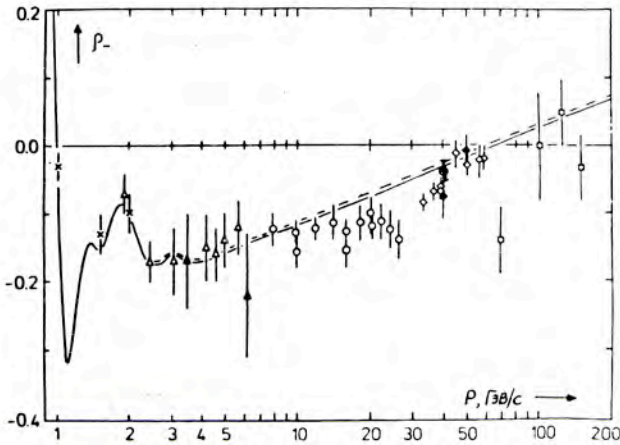


Рис. 1. Энергетическая зависимость величины отношения  $\rho$  реальной части  $\text{Re}f(0)$  амплитуды рассеяния к ее мнимой части  $\text{Im}f(0)$  для упругого  $\pi^-p$ -рассеяния. Кривая - результат расчета по дисперсионным соотношениям /Хелер и др./. Экспериментальные точки:  $\times$  - ЦЕРН, Байллон и др. /1974/;  $\Delta$  - Дубна, Номофилов и др. /1966, 1967/;  $\triangle$  - Дубна, Воробьев и др. /1969, 1974/;  $\circ$  - Брукхейвен, Фолей и др. /1969/;  $\blacklozenge$  - Серпухов, Апокин и др. /1975, 1976/;  $\square$  - Батавия, Анкенбрадт и др. /1975/;  $\ominus$  - Серпухов, Аблеев и др. /1978/ - настоящие данные.

Проведена обработка результатов исследования упругого  $pp$ -,  $pD$ - и  $pHe$ -рассеяния в области интерференции кулоновского и ядерного рассеяний при энергиях 40-400 ГэВ, полученных на ускорителе 500 ГэВ /Батавия/. Исследования проведены в области малых переданных импульсов  $|t|$ :

$$\begin{aligned} &\text{для } pp\text{-рассеяния} \\ &|t| = 0,0005 - 0,03 \text{ /ГэВ/с/}^2, \\ &\text{для } pD\text{-рассеяния} \\ &|t| = 0,0008 - 0,08 \text{ /ГэВ/с/}^2, \\ &\text{для } pHe\text{-рассеяния} \\ &|t| = 0,003 - 0,52 \text{ /ГэВ/с/}^2. \end{aligned}$$

Величины отношения реальной части амплитуды к ее мнимой части для  $pp$ - и  $pD$ -рассеяния меняют знак /с минуса

на плюс/ при  $E = 335 \text{ ГэВ}$  и имеют зависимость от энергии в виде:

$$\begin{aligned} \rho_{pp} &= /-0,490 \pm 0,034/+ \\ &+ /0,076 \pm 0,006/ \ln S_{pp}, \\ \rho_{pD} &= /-0,450 \pm 0,035/+ \\ &+ /0,070 \pm 0,006/ \ln S_{pp} \end{aligned} \quad \text{- из данных } pD\text{-рассеяния.}$$

Для  $\rho_{pN}$  из данных  $pHe$ -рассеяния получено

$$\rho_{pN} = /-0,450 \pm 0,100/+ /0,067 \pm 0,017/ \ln S_{pp}.$$

Для величины коэффициента наклона  $b_1$  из выражения для энергетической зависимости

$$b = b_0 + b_1 \ln S$$

получено

$$\begin{aligned} b_1 &= 0,556 \pm 0,025 \text{ для } pp\text{-рассеяния,} \\ b_1 &= 0,92 \pm 0,09 \text{ для } pD\text{-рассеяния,} \\ b_1 &= 0,98 \pm 0,08 \text{ для } pHe\text{-рассеяния} \\ &\text{/в области } |t| < 0,07 \text{ (ГэВ/с)}^2/. \end{aligned}$$

Рост величины интеграла Глаубера при изменении энергии от 50 до 400 ГэВ для процессов упругого  $pD$ -рассеяния свидетельствует о доминирующем вкладе промежуточных состояний в эффект взаимного экранирования нуклонов в дейтроне.

Исследование упругого  $pHe$ -рассеяния показало, что параметр наклона  $b_1(pHe)$  растет в два раза быстрее с ростом энергии, чем аналогичный параметр в упругом  $pp$ -рассеянии. Проведено сравнение функций  $b_{pN}$ , полученных в опытах по  $pp$ -,  $pD$ - и  $pHe$ -рассеянию /рис. 2/. Аномальное сужение конусов  $pD$ - и  $pHe$ -рассеяний может быть объяснено по модели Глаубера только качественно, а вклады перерассеяний на нуклонах ядра гелия должны быть увеличены по сравнению с простой моделью Глаубера.

Проведен анализ структуры дифференциальных сечений реакции  $\pi^-p \rightarrow p\eta^0$  с распадом  $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$  в области малых

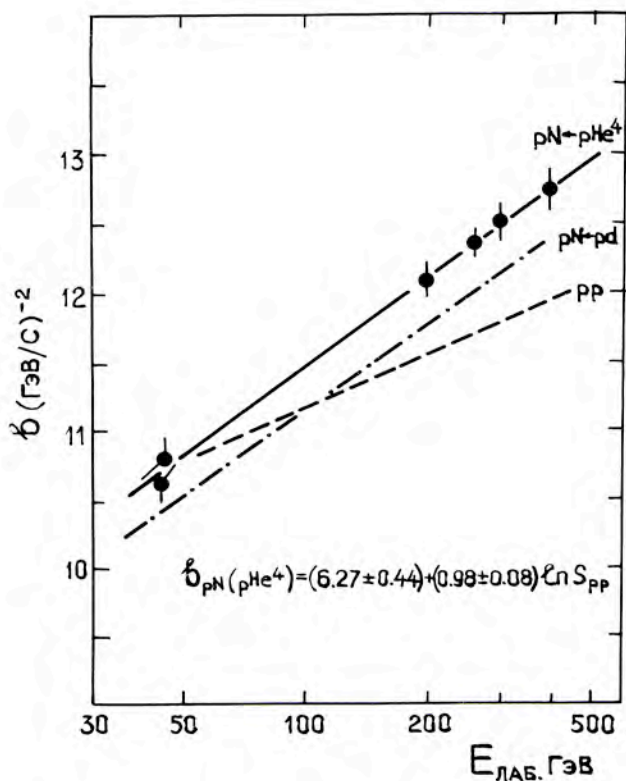


Рис. 2. Сравнение величин параметра наклона для дифференциальных сечений упругого  $pp$ -,  $pD$ - и  $pHe$ -рассеяния в зависимости от энергии налетающего протона.

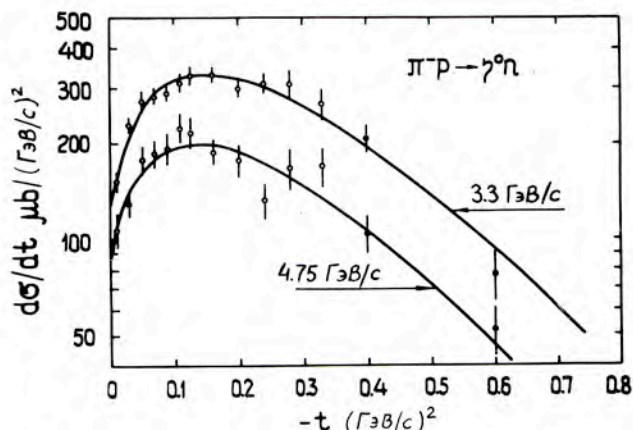


Рис. 3. Зависимость дифференциального сечения от величины переданного 4-импульса для реакции  $\pi^-p \rightarrow \gamma^0n$  при импульсе 3,3 и 4,75 ГэВ/с.

Механизм рождения

и распада частиц

и резонансов

переданных импульсов  $|t| = t_{\min} \div 0,3 / \text{ГэВ/с}^2$  при импульсе 3,3 и 4,75 ГэВ/с. Эксперимент проведен с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра электронов и гамма-квантов на синхрофазотроне ОИЯИ. На основе анализа ~7000 событий обнаружен заметный минимум в области  $|t| \approx 0$ , указывающий на существенную долю амплитуды с переворотом спина, равную при 3,3 ГэВ/с величине /85,9 ± 1,2/% и при 4,75 - величине /83,3 ± 3/% /рис. 3/.

Изучена дифракционная диссоциация протонов на протонах ( $pp \rightarrow P_x$ ) на ускорителе ФНАЛ /Батавия/ с помощью газовой струйной мишени и набора кремниевых полупроводниковых детекторов. Найдены двойные дифференциальные сечения  $d^2\sigma / (dtdM_x^2)$  при энергиях пучка 160, 270, 340 и 400 ГэВ для малых значений  $|t| = 0,0014 \div 0,0145 / \text{ГэВ/с}^2$  и величин недостающей массы  $M_x^2$  в диапазоне  $M_p^2 \div 4 \text{ ГэВ}^2$ .

При  $M_x^2 = 1,50; 1,94; 2,85$  имеются аномалии, причем в двух последних случаях они связываются с изобарами  $N^*(1400)$

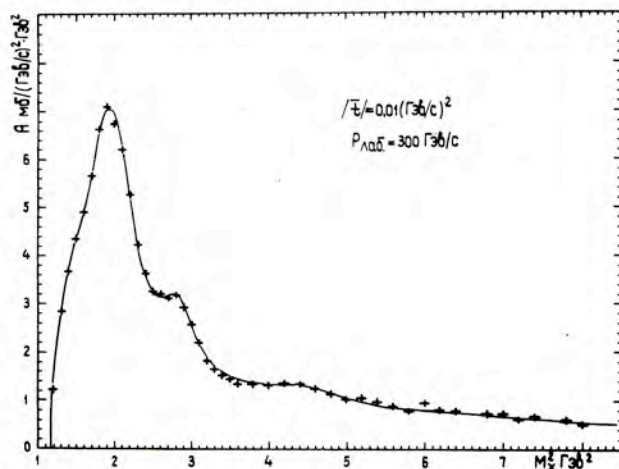


Рис. 4. Зависимость двойного дифференциального сечения  $d^2\sigma/dt dM_x^2$  от величины  $M_x^2$  для дифракционного рассеяния протона на протоне при энергии 160-400 ГэВ.

и с  $N^*(1680)$ /рис. 4/. Из описания максимума  $M_x^2 = 1,94$  по формуле  $d\sigma/dt = A \exp(bt)$  следует, что величины  $A$  и  $b$  с точностью 5% от энергии пучка не зависят, а  $d\sigma/dt$  имеет экспоненциальную зависимость от  $|t|$ .

Продолжался набор экспериментальной информации с помощью установки БИС-2 на серпуховском ускорителе по программе поиска очарованных частиц. В пучке нейтронов с энергией 45 ГэВ набрана информация, содержащая более 1,6 млн. событий. Определены верхние границы парциальных сечений для образования очарованных мезонов  $D$  и  $F$  и бариона  $C$ , распадающихся на 2 или 3 заряженные частицы /табл. 1/.

Таблица 1

Частица	$\sigma \times BR$ мкб	Частица	$\sigma \times BR \times BR(\mu)$ мкб
$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$	< 0,38		
$\bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	< 0,32		
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$	< 1,26		
$D^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^-$	< 1,06	$(D^0 \rightarrow K^- \pi^+) \mu^-$	< 0,15
$F^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$	< 0,59	$(\bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-) \mu^+$	< 0,075
$F^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-$	< 0,48	$(D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+) \mu^-$	< 0,23
$C^+ \rightarrow p K^- \pi^+$	< 1,29		
$C^+ \rightarrow p \bar{K}^0$	< 0,23	$(D^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^-) \mu^+$	< 0,14
$C^+ \rightarrow \Lambda \pi^+$	< 0,20	$(F^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+) \mu^-$	< 0,23
$D^\pm \rightarrow K^0 \pi^\pm$	< 0,25		
Выбросы			
$GY(2090) \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-$	1,5	$(F^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-) \mu^+$	< 0,16
$BA(2790) \rightarrow \Lambda K^+ K^-$	1,0	$(C^+ \rightarrow p K^- \pi^+) \mu^-$	< 0,16

Определена верхняя граница парциального сечения для предполагаемого очарованного бариона с распадом  $C^+ \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu \dots$ , которая оказалась равной  $\sigma(C^+) \times BR(C^+ \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu) < 9$  мб/нукл.

Сотрудники 16 лабораторий стран-участниц продолжали вести анализ результатов и обработку снимков взаимодействий отрицательных пионов при импульсе 40 ГэВ/с с ядрами углерода, полученных с помощью двухметровой пропановой камеры на серпуховском ускорителе. Определены характеристики многонуклонных  $\pi^-C$ -взаимодействий, доля которых составляет 20%. В центральной области  $\langle n_{\pm} \rangle$  растет пропорционально числу провзаимодействовавших нуклонов  $\nu$ , а в области фрагментации ядра - пропорционально  $\nu^2$ . Процессы излучения разного числа протонов в заднюю полушару оказались независимыми, а характеристики заряженных пионов в таких событиях не отличаются от обычных  $\pi^-C$ -взаимодействий. Найдено, что  $\Lambda$ -гипероны образуются преимущественно в области фрагментации протона-мишени, а  $K^0$ -мезоны и  $\bar{\Lambda}$ -гипероны - в основном в центральной области. Структурные функции  $K^0$ -мезонов и  $\bar{\Lambda}$ -гиперонов не имеют свойств масштабной инвариантности в центральной области и в области фрагментации сталкивающихся частиц /рис. 5/. Вероятность полного развала ядер углерода оказалась равной  $7,0 \pm 0,3\%$ . События с полным развалом по основным характеристикам не отличаются от обычных  $\pi^-C$ -взаимодействий.

Продолжалась обработка снимков, полученных при облучении жидководородной камеры "Людмила" в пучке антипротонов с импульсом 23 ГэВ/с на серпуховском ускорителе. Изучена интерферен-

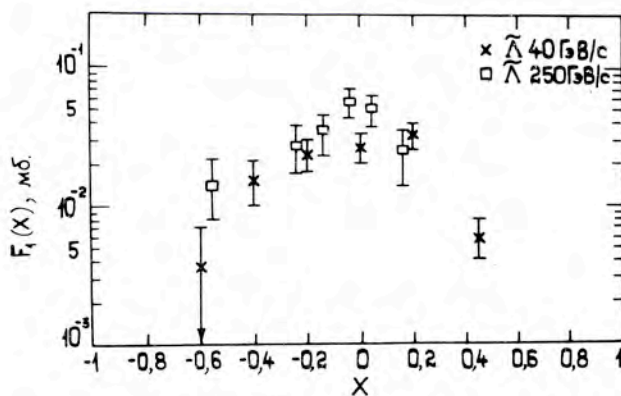


Рис. 5. Поведение структурной функции для  $\bar{\Lambda}$ -гиперонов, образованных в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с и ее сравнение с аналогичными данными при 250 ГэВ/с.

ция тождественных пионов, и найдено, что область испускания пионов вытянута вдоль оси взаимодействия, распределение по быстрой  $d\sigma/dy^*$  при  $y^*=0$  для  $\bar{p}p$ -взаимодействий слабо зависит от энергии в области от 5,7 до 100 ГэВ/с. По анализу разности спектров для  $\bar{p}p$ - и  $pp$ -взаимодействий получена информация о спектрах пионов в аннигиляционных каналах.

Сечение рождения  $\rho^0$ -мезона оказалось равным  $\sigma = 8,1 \pm 2,0$  мб, что совпадает с расчетами по модели кварков. Для пионов от распада  $\rho^0$ -мезона отмечено существенное отклонение от изотропии в угловом распределении в системе Готфрида-Джексона, что указывает на возможную выстроенность спина  $\rho^0$  вдоль оси  $Z_t$ . Показано, что основные характеристики реакции  $\bar{p}p \rightarrow p\pi + X$ , т.е. распределения по массам, по переменным  $X$ ,  $P_t^2$ ,  $|t|$  и угловые распределения удовлетворительно описываются моделью Готфрида-Джексона.

Получены инклюзивные сечения образования нейтральных частиц:

$$\begin{aligned} \sigma(\pi^0) &= 72,7 \pm 3,0 \text{ мб,} \\ \sigma(K^0) &= 2,3 \pm 0,1 \text{ мб,} \\ \sigma(\Lambda) &= 1,15 \pm 0,10 \text{ мб,} \\ \sigma(\bar{\Lambda}) &= 0,94 \pm 0,10 \text{ мб.} \end{aligned}$$

Для  $\pi^0$  и  $K^0$ -мезонов в интервале энергий от 22 до 100 ГэВ KNO-скейлинг выполняется /рис. 6/, а для  $\Lambda$ -гиперонов не выполняется. Поляризация  $\Lambda$ -гиперонов из  $\bar{p}p$ -взаимодействий оказалась равной  $P = -0,414 \pm 0,206$ .

Для реакций  $\bar{p}p \rightarrow \pi^+ X$  и  $\bar{p}p \rightarrow \Lambda + X$  в области фрагментации протона-мишени установлено, что гипотеза факториза-

ции выполняется для  $\pi$ -мезона и  $\Lambda$ -гиперонов на уровне статистической точности.

Продолжалось исследование мультибарийных резонансов, образованных в  $nC$ -взаимодействиях при импульсе 7,0 ГэВ/с и в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при импульсе пионов 4,0 ГэВ/с на синхротроне. Из семнадцати мультибарийных систем с гиперзарядом  $Y = 0 \div 6$ , барийным числом  $B = 0 \div 6$  и странностью от -2 до +1 только в трех системах с  $Y \leq 1$  обнаружены резонансные пики /рис. 7/. Измеренные значения масс в

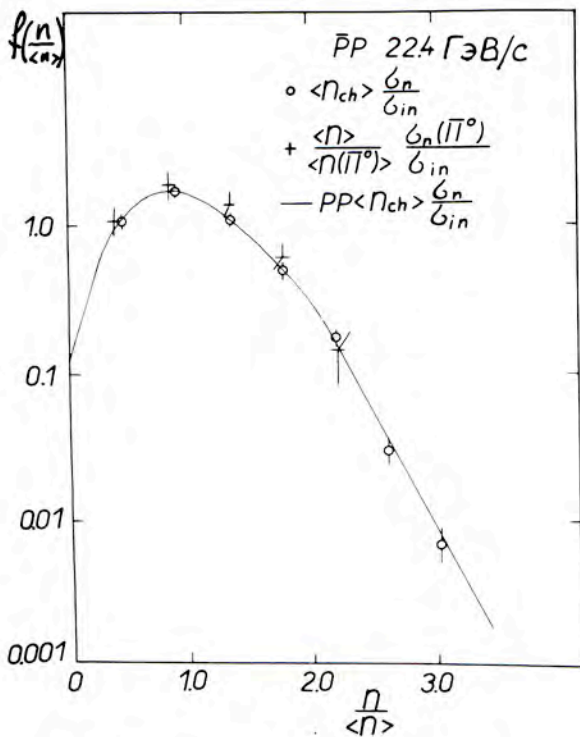


Рис. 6. Выполнение гипотезы KNO-скейлинга /в зависимости  $\langle n_{ch} \rangle \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_{in}}$  от  $\frac{n}{\langle n \rangle}$  и  $\frac{\langle n \rangle}{\langle n(\pi^0) \rangle} \cdot \frac{\sigma_n(\pi^0)}{\sigma_{in}}$  от  $\frac{n}{\langle n \rangle}$ / для заряженных частиц,  $K_s^0$ - и  $\pi^0$ -мезонов в  $\bar{p}p$ - и  $pp$ -взаимодействиях.

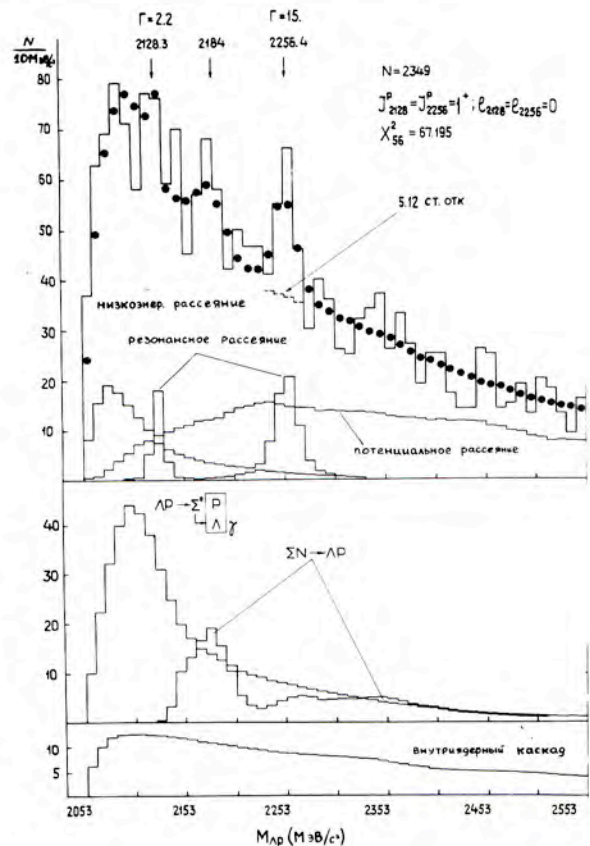


Рис. 7а. Распределение по эффективным массам системы  $\Lambda p$ .



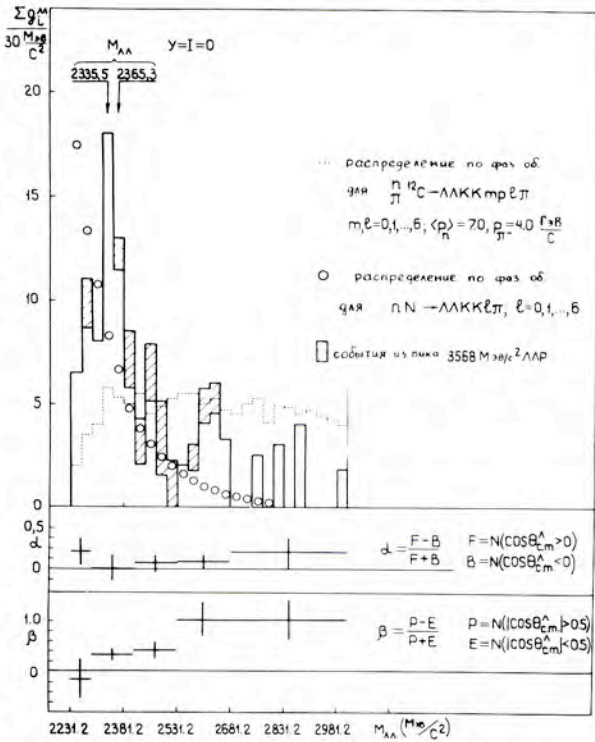


Рис. 7б. Распределение по эффективным массам системы  $\Lambda\Lambda$ .

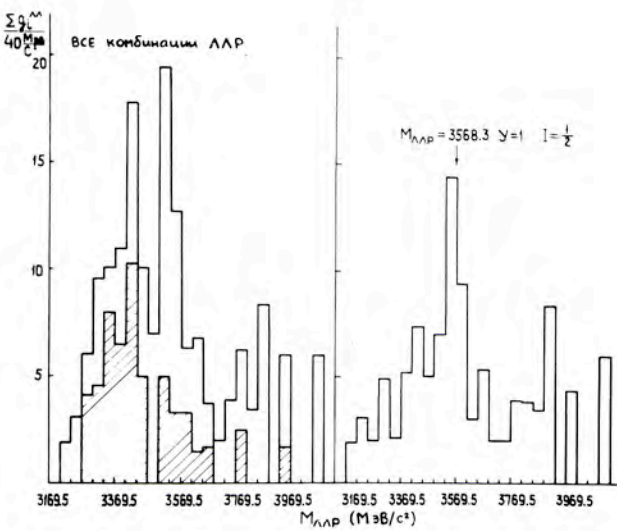


Рис. 7в. Распределение по эффективным массам системы  $\Lambda\Lambda p$ . С правой стороны приведен спектр без событий из пика с  $M(\Lambda\Lambda) = 2365 \text{ МэВ}/c^2$ .

этих пиках хорошо согласуются с предсказаниями по модели "массачусетского мешка" для двух- и трехбарийонных систем /табл. 2/.

Для  $\Lambda p$ -системы спин  $J^P = 0^+$  отвергается, а спины  $1^+, 2^+, 3^+$  не противоречат.

Мультибарийонные резонансы интерпретируются как мультикварковые сверхплотные и сверхстранные состояния.

Проведено экспериментальное исследование кумулятивного образования  $\Lambda$ -гиперонов и протонов. Показано, что в согласии с кварк-партоновой моделью поляризация  $\Lambda$ -гиперонов не зависит от природы и энергии налетающих частиц и достигает максимальной величины при углах вылета, близких к  $90^\circ$  /рис. 8/.

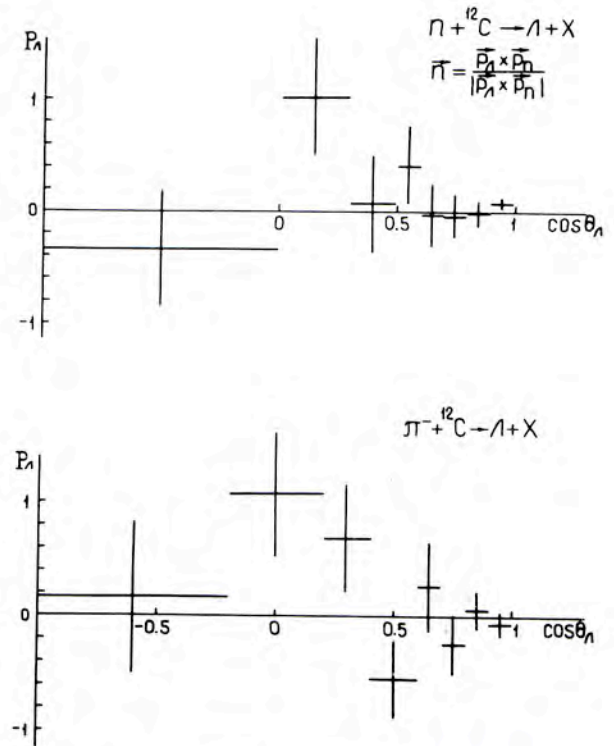


Рис. 8. Поляризация  $\Lambda$ -гиперонов в зависимости от угла образования в лаб. системе для  $nC$ -взаимодействий при  $7,0 \text{ ГэВ}/c$  и для  $\pi^-C$ -взаимодействий при импульсе  $4,0 \text{ ГэВ}/c$ .

Таблица 2

	Λр-резонанс			ΛΛ-резонанс			ΛΛр-резонанс		
	М	Γ	σ <sub>обр</sub>	М	Γ	σ <sub>обр</sub>	М	Γ	σ <sub>обр</sub>
	МэВ	МэВ	мкб	МэВ	МэВ	мкб	МэВ	МэВ	мкб
Опыт	2256,5	10,8	85,3	2365,3	47,2	24,2	3568,3	<60	16,1
	+0,9	+1,2	+9,6	+9,6	+15,1	+7,0	+10,0		+5,2
Теория	2220÷2230			2357			3570		

Электромагнитная  
структура  
элементарных частиц

На ускорителе СПС-400 ЦЕРНa смонтирована установка НА-4 для изучения глубоконеупругого рассеяния мюонов на Н-, D-, C-мишенях, проведена ее комплексная настройка на пучке, включая получение магнитных лент с рабочими событиями глубоконеупругого рассеяния мюонов на ядрах углерода.

В ОИЯИ и ЦЕРНе проводится обработка полученных лент с целью изучения характеристик аппаратуры, выработки критериев отбора полезных событий и подавления фона.

Проведен анализ экспериментальных данных рассеяния  $K^-$ -мезонов на электронах в жидководородной мишени при энер-

гии 250 ГэВ на 500-ГэВ ускорителе в Батавии. Получено предварительное значение величины электромагнитного радиуса К-мезона, равное  $0,51 \pm 0,07$  Фм. /рис. 9/, что находится в хорошем согласии с предсказаниями теории.

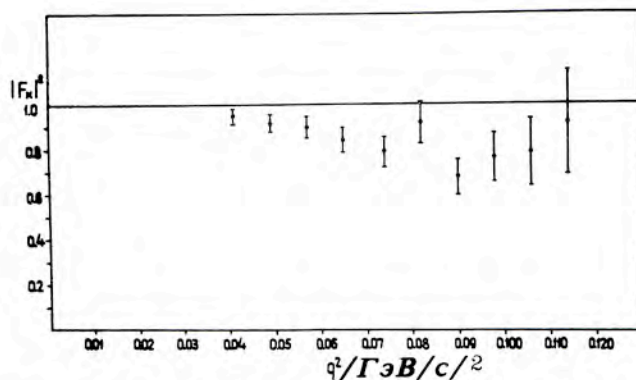


Рис. 9. Зависимость величины функции формфактора для  $K^-$ -мезона от величины переданного  $q^2$ -импульса.

### Релятивистская ядерная физика

На синхротроне ОИЯИ осуществляется широкая программа научных исследований в области релятивистской ядерной физики, которые ведутся в 11 группах физиков.

С помощью установки "Диск-2", облученной в пучке протонов с импульсом  $8,9 \text{ ГэВ/с}$  на синхротроне, продолжалось исследование кумулятивного образования пионов, протонов, дейтронов и ядер трития при больших порядках кумулятивности ( $Q \gg 2$ ). Кумулятивное образование частиц наиболее чисто проявляется в области предельной фрагментации ядер, среди которых в качестве мишеней были использованы 23 ядра-изотопа Li, Be, C, Al, Si, Fe, Ni, Cu, Zn, Sn, Sm, W, Pb, U. Экспериментальные данные получены для вторичных пионов до импульсов  $1150 \text{ МэВ/с}$  при углах испускания пионов около  $180^\circ$ . Найдено, что энергетические спектры для всех частиц и на различных ядрах имеют экспоненциальный характер и подобны между собой. Величины сечений образования пионов и легких барионных систем могут быть описаны единой аналитической функцией от кумулятивного числа в диапазоне  $0,3-3,0$ , причем величина сечения изменяется на 9 порядков /рис. 10/. Зависимость инвариантных сечений от заряда ядра имеет регулярный характер, что является следствием независимости сечения образования протонов и, по-видимому, дейтронов от нейтронного избытка в ядрах. Зависимость от атомного номера ядер /рис. 11/ имеет сложный характер, особенно для легких ядер D, He, Li, Be. Сечение образования пионов и протонов на ядре гелия в расчете на один нуклон превышает аналогичное сечение для ядер лития.

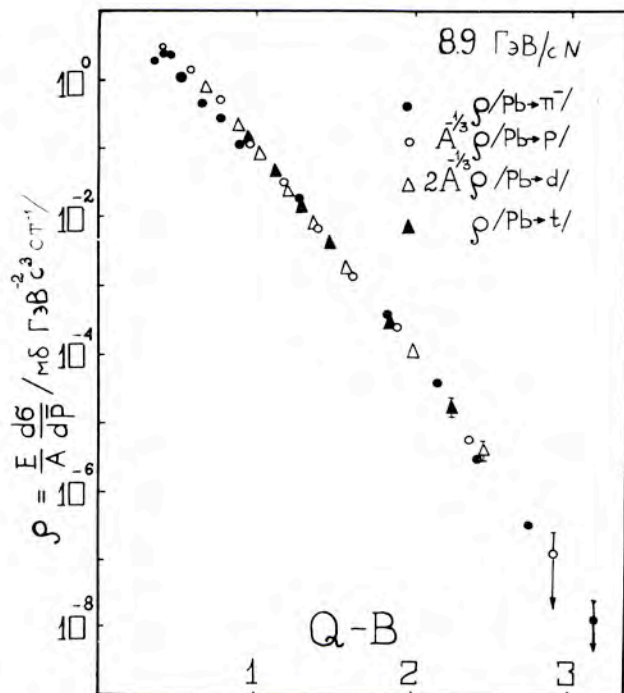


Рис. 10. Зависимость инвариантного сечения образования кумулятивных пионов, протонов, ядер дейтерия и трития от кумулятивного числа  $Q$ .

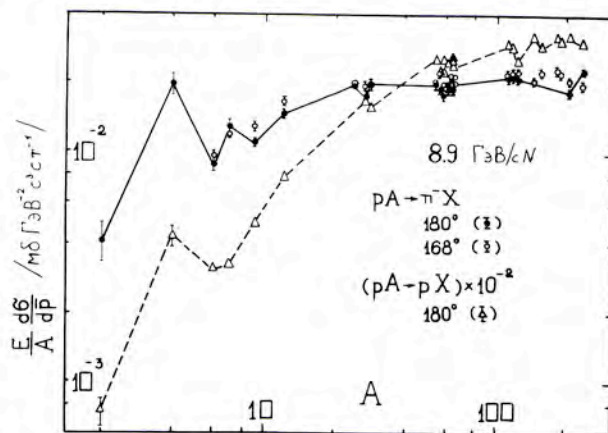


Рис. 11. Зависимость нормированных на атомный вес сечений образования кумулятивных пионов и протонов от атомного веса ядра.

С ростом атомного номера ядра выход протонов растет быстрее по сравнению с выходом пионов.

Завершен анализ характеристик множественности пионов, образованных при взаимодействии альфа-частиц с энергией

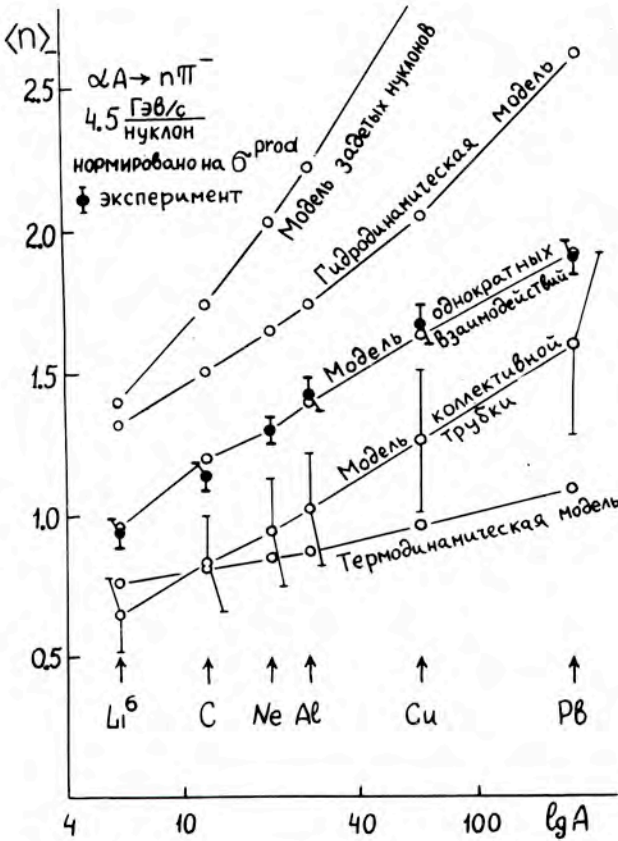


Рис. 12. Сравнение зависимости средней множественности заряженных частиц от атомного веса ядра-мишени с теоретическими моделями для  $\alpha A$ -взаимодействий при 4,5 ГэВ/нукл.

4,5 ГэВ/нукл. с ядрами Ni, C, Ne, Al, Cu, Pb в стримерной камере СКМ-200 на синхрофазотроне. Сравнение зависимости  $\langle n \rangle = f(A_{\text{ядри}})$  с предсказаниями различных моделей показало, что наилучшее согласие с опытом имеют расчеты по простой геометрической модели независимых взаимодействий /рис. 12/. Определена зависимость множественного образования пионов от типа расщепления налетающей альфа-частицы и прицельного параметра. Найдено, что  $\langle n \rangle$  существенно выше для центральных взаимодействий, но средние поперечные импульсы пионов не зависят в пределах ошибок от параметра удара.

Продолжалась обработка экспериментального материала, набранного с помощью двухметровой пропановой камеры на синхрофазотроне в пучках p, D, He, C энергией от 2 до 5 ГэВ/нукл. Определено неупругое сечение взаимодействия при 4,2 ГэВ/нукл. в барнах /табл. 3/.

Согласно модели мягкой сферы с  $R_0 = 1,45 \text{ Фм}$  и  $b = 1,25$  удалось хорошо описать данные по сечениям формулой

$$\sigma_{\text{in}} = \pi R^2 (A_i^{1/3} + A_t^{1/3} - b)^2$$

Найдены зависимости средней множественности положительных частиц, "серых" частиц, быстрых протонов /импульс боль-

Таблица 3

$A_T \backslash A_i$	p	D	He	C
C	0,250±0,015	0,38±0,02	0,44±0,02	0,79±0,05
Ta	1,67±0,11	1,94±0,11	2,34±0,12	3,67±0,22

ше 700 МэВ/с/ и отрицательных пионов от атомного номера и числа  $\nu_i$  взаимодействующих нуклонов налетающего ядра. Множественность  $\pi^-$ -мезонов и быстрых протонов растет пропорционально числу  $\nu_i$ , а число "серых" частиц выходит на плато. В качестве мишени было использовано ядро тантала. Среднее число нуклонов налетающего ядра, которые взаимодействуют с ядром мишени-тантала, для дейтерия равно  $1,60 \pm 0,05$ , для гелия  $2,74 \pm 0,10$  и для ядра углерода  $6,0 \pm 0,6$ .

С помощью фотозмульсий, облученных ядрами углерода с энергией 4,5 ГэВ/нукл. на синхрофазотроне, исследовались с применением аппарата корреляционных функций двухчастичные корреляции между пространственными углами вылета вторичных частиц. В пределах статистической точности не обнаружено какой-либо тенденции к преимущественному испусканию фрагментов ядра-мишени под определенным углом  $\theta$ , ожидавшейся при реализации механизма образования ядерных ударных волн. Аналогичного эффекта для ливневых s-частиц также не обнаружено.

Анализ углового распределения частиц в плоскости, поперечной пучку, показал практическое отсутствие азимутальных корреляций для s-частиц. Этот факт указывает на возможность образования s-частиц в нескольких соударениях в ядре. Но между ливневыми s-частицами и сильноионизирующими h-частицами проявляется корреляция, указывающая на ядро-ядерные взаимодействия как на проявление наложений более элементарных h-ядро /или h-нуклон/-столкновений или на возможное существование углового момента у ядер-остатков, образующихся при взаимодействии ядро-ядро.

## Совершенствование действующих и разработка новых физических приборов и установок

На пучке ионов гелия с энергией 200 МэВ/нукл. на синхрофазотроне проведены радиографические исследования с помощью созданной в Лаборатории установки. В состав установки входят 3 многопроволочные пропорциональные камеры, работающие на линии с ЭВМ HP2116B, сцинтилляционные счетчики, детектор остановок частиц, поглотители из оргстекла и цветной телевизионный монитор. Аппаратура позволяла передавать в ЭВМ до 1000 полезных событий за время вывода пучка, равное 250 мс. Исследование набора объектов показало высокое разрешение по плотности в объекте / 0,1% / с одновременным хорошим пространственным разрешением / 2 мм/. Доза облучения тестовых объектов при этом составляла 1 мрад при статистике около 100 событий на ячейку  $2 \times 2 \text{ мм}^2$ .

В области вычислительной техники завершен в основном этап внедрения микропроцессоров, что означает еще более высокую степень использования вычислительной техники в эксперименте. На основе микропроцессора Intel-8080 разработаны и налажены блоки памяти, интерфейсы перфоратора, фотосчитывателя и клавишного устройства с набором математических программ.

Для установок БИС-2, "Тау", "Альфа", "Кристалл", "Спектрометр ядер отдачи" разработаны и изготовлены блоки, обес-

печивающие дальнейшее развитие установок и их быстродействие. Проведены работы по дальнейшей автоматизации на основе ЭВМ ТРА-70 системы измерений параметров образцов сверхпроводящих магнитов, включая динамику их температурного режима.

Для синхрофазотрона осуществлена наладка и запуск 24-канальной системы измерения малых интенсивностей пучков релятивистских ядер на линии с микропроцессорным контроллером, налажена электроника магнитных измерений на линии с ЭВМ.

*В области разработок по быстрой электронике* созданы опытные образцы специализированной гибридной интегральной схемы, разработано 7 новых блоков, в том числе 12-разрядный амплитудно-цифровой преобразователь с дифференциальным входом, приемный блок для считывания данных с пропорциональных камер, генератор наносекундных импульсов точной амплитуды, а также изготовлены блоки регистрирующей электроники для физических установок БИС-2, "Кристалл", "Тау", Спектрометр ядер отдачи", "Фотон", "Альфа".

*Изготовлена и введена в эксплуатацию* в корп. 205 установка "Кристалл" для проведения исследований по каналированию частиц в монокристаллах на пучках частиц синхрофазотрона. В состав установки входят три секции ионопроводов, сцинтилляционные счетчики, дрейфовые камеры, гониометр и электронная аппаратура для обеспечения работы установки и ее связи с ЕС-1040. В работе участвуют физики ОИЯИ и научных центров США.

*Для обеспечения физических экспериментов криогенными устройствами* разработана конструкция неметаллических горловин мишеней, работающих в условиях электрических и магнитных полей.

Завершена большая программа испытаний источника "Криполь" с пучком поляризованных атомов водорода и дейтерия. Зарегистрирован ток поляризованных дейтронов 10-15 мкА.

Создана система охлаждения импульсных магнитов потоками двухфазного и однофазного гелия при нагрузке до 400 Вт. Проведенные испытания криогенного струйного насоса показали, что при использовании двухфазного гелия достигается более низкая температура по сравнению с другими вариантами аналогичных насосов.

#### Совершенствование синхрофазотрона

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

Создана диагностическая аппаратура для измерения параметров пучков заряженных частиц; установлен датчик для измерения интенсивности ядер углерода в ионопроводе ЛУ-20, датчик для измерения энергетических параметров ЛУ-20. Сдана в эксплуатацию система контроля пучков p, D, He, C в камере синхрофазотрона на всех этапах ускорения, создан и используется прибор для измерения интенсивности в диапазоне от  $10^5$  до  $10^{14}$  элементарных зарядов. Изготовлено 2 различных градиентометра для измерения спада и абсолютной величины магнитного поля ускорителя. Увеличение тока на выходе ЛУ-20 до величины 50 мА и улучшение характеристик магнитного поля синхрофазотрона позволи-

ли довести величину максимальной интенсивности по протонам до  $4 \times 10^{12}$  част./имп., по дейтронам - до  $4 \times 10^{11}$  част./имп.

С помощью источника КРИОН-1 интенсивность ядер углерода  $C^{+6}$  поднята до величины  $2 \times 10^6$  в импульсе, что позволило провести одновременно 2 эксперимента: облучение двухметровой пропановой камеры и стримерной камеры СКМ-200. Из источника КРИОН-1 были получены и ускорены ядра неона. Осуществлен второй медленный вывод из синхрофазотрона пучка ядер с энергией 200-400 МэВ/нукл. и проведен эксперимент по ионной радиографии. На первом направлении медленного вывода частиц введена в действие система на основе ЭВМ ЕС-1010, работающая в режиме сбора и анализа информации о параметрах выведенного пучка.

Отлажены каналы пучков  $\pi^-$ -мезонов для установок "Фотон" и "Резонанс", пучков релятивистских ядер для двухметровой пропановой и метровой жидководородной камер, проведена трассировка главного направления первичного пучка частиц в корп. 205. Введена в опытную эксплуатацию автоматизированная система на базе ЭВМ ЕС-1010 по настройке и контролю 7 параметров двух каналов частиц.

В течение года с помощью физических установок на синхрофазотроне получен обширный экспериментальный материал: на двухметровой пропановой камере - 150 тыс. снимков в пучке ядер дейтерия и углерода,

на СКМ-200 - 70 тыс. снимков в пучке ядер углерода,

на метровой жидководородной камере - 62 тыс. снимков в пучке альфа-частиц,

на установке "Альфа" - 1,4 млн. запусков в пучке дейтронов и альфа-частиц, на установке "Фотон" - 330 тыс.

запусков по обычному и кумулятивному рождению частиц,

на установке "Диск-2" - свыше 2 млн. событий по кумулятивному образованию мезонов и нуклонных систем,

на "Спектрометре ядер отдачи" - свыше 10 млн. событий по упругим процессам и фрагментации ядер углерода.

## Работы

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

*Исследовано 5 образцов импульсных сверхпроводящих магнитов с однослойной обмоткой типа "оконная рама" для полей до 2,5 Т. Магниты имеют линейные размеры около 0,4 м, апертуру 5,5-7,6 см и частоту циклов 0,1-0,5 Гц. Исследования магнитов показали низкую деградацию критического тока /при скорости 1 Т/с критический ток достигал 90% величины критического тока в коротком образце/. При скорости изменения поля 0,25 Т/с и амплитуде 2,5 Т суммарные потери составили 10 Дж на метр длины магнита, неоднородность магнитного поля компенсировалась дополнительной обмоткой.*

Создан стенд для измерения калориметрическим способом тепловыделения в коротких образцах сверхпроводников в переменном магнитном поле.

Проведены криогенные испытания электрической изоляции для сверхпроводящих магнитов.

Автоматизирован процесс измерения величин магнитных полей сверхпроводящих магнитов до 6 Т методом нутации. Создан магнитометр класса 0,5 для измерения магнитных полей в диапазоне 0,05-2 Т, изготовлена аппаратура для

измерения величины магнитных полей с помощью датчика Холла до температуры 4,2 К. Создана новая технология формирования сверхпроводящего кабеля прямоугольного сечения с оптимальным заполнением.

Собран стенд для исследования работы модели дублета сверхпроводящей линзы в режиме "замороженного тока" и проведены его испытания. Изготовлен источник питания сверхпроводящих линз со схемами программного управления и эвакуации энергии.

Совместно с ГКАЭ, ИАЭ им. Курчатова, НИИЭФА и РТИ подготовлено предложение по созданию синхротрона-бустера на энергию до 250-300 МэВ/нукл./по урану/, который позволит улучшить ядерные пучки синхрофазотрона, а в последующем может служить инжектором нуклотрона. Сформулированы физические предпосылки и проблематика исследований в области энергий от 0,2 до 5,0 ГэВ/нукл. Определены требования к пучкам и условиям проведения физических экспериментов. Изложены технические решения по основным узлам, эле-

ментам и режимам работы комплекса. Дана общая схема ускорительного комплекса, рассчитана магнитная структура, система питания, ввода и вывода частиц, схема управления. Рассмотрена также другая магнитная структура синхротрона, которая позволяет путем постоянной обдирки повысить среднюю зарядность пучка тяжелых ионов в процессе ускорения.

#### Эксплуатация синхрофазотрона

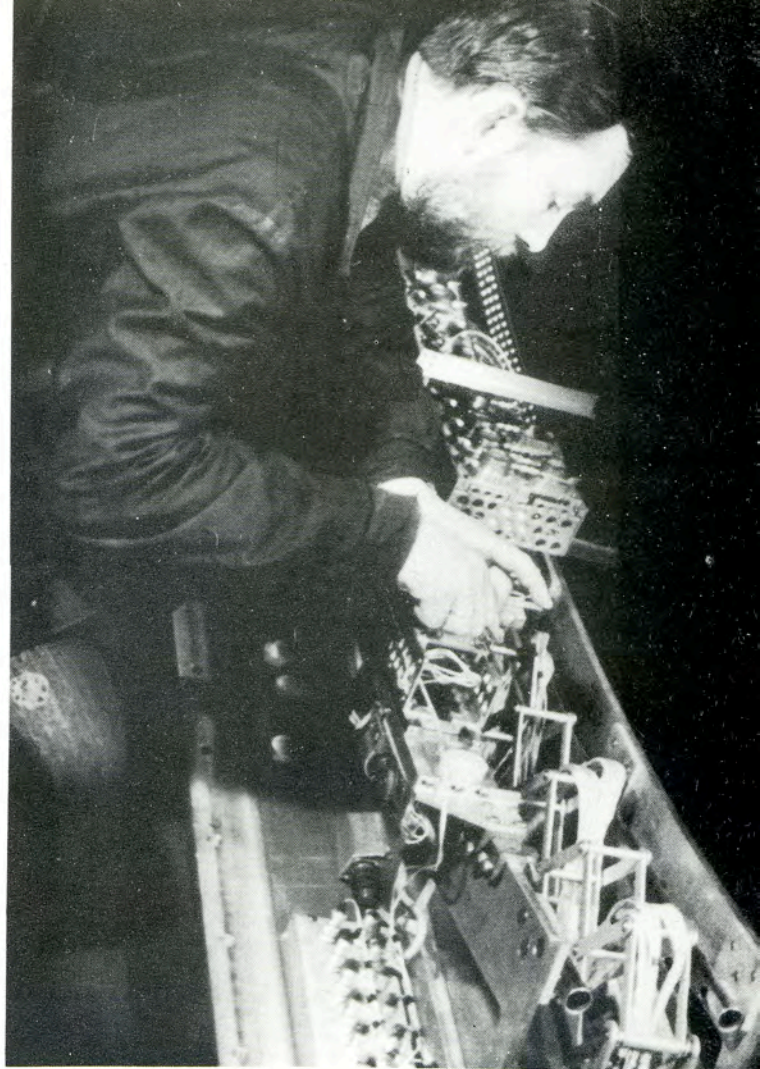
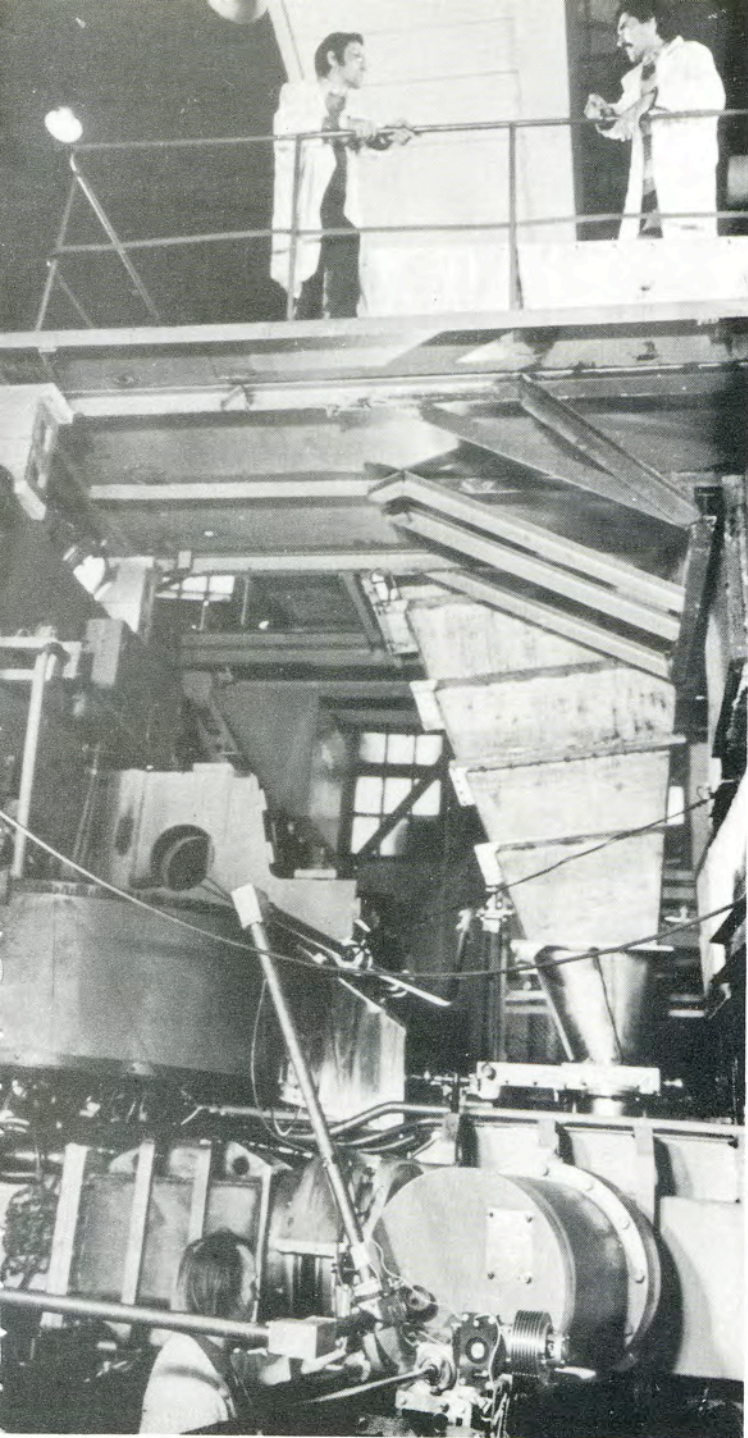
Запланированное время работы ускорителя - 4381 час.

Ускоритель работал:

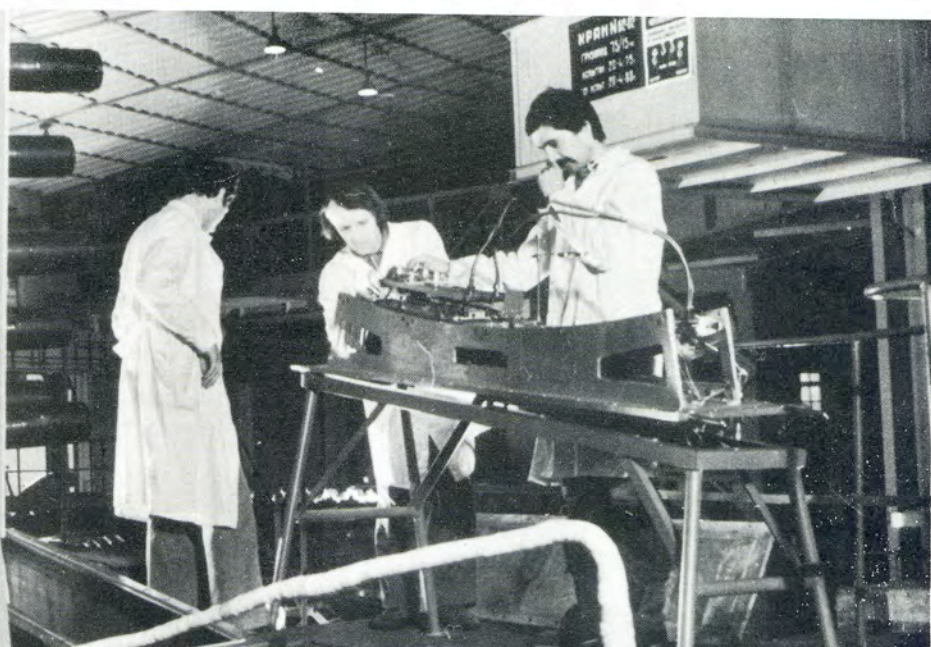
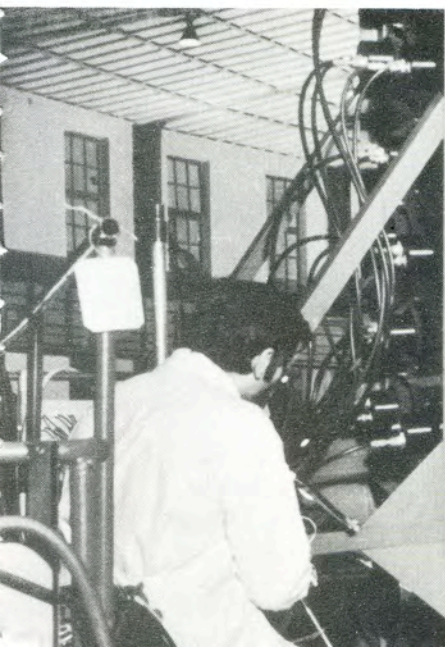
а/ на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3211 часов со средней интенсивностью  $1,4 \times 10^{12}$  ускоренных протонов,  $1,1 \times 10^{11}$  дейтронов,  $5 \times 10^9$  ядер гелия,  $5 \times 10^5$  ядер углерода,  $1 \times 10^5$  ядер кислорода за один цикл ускорения.

б/ На совершенствование систем ускорителя - 693 часа.





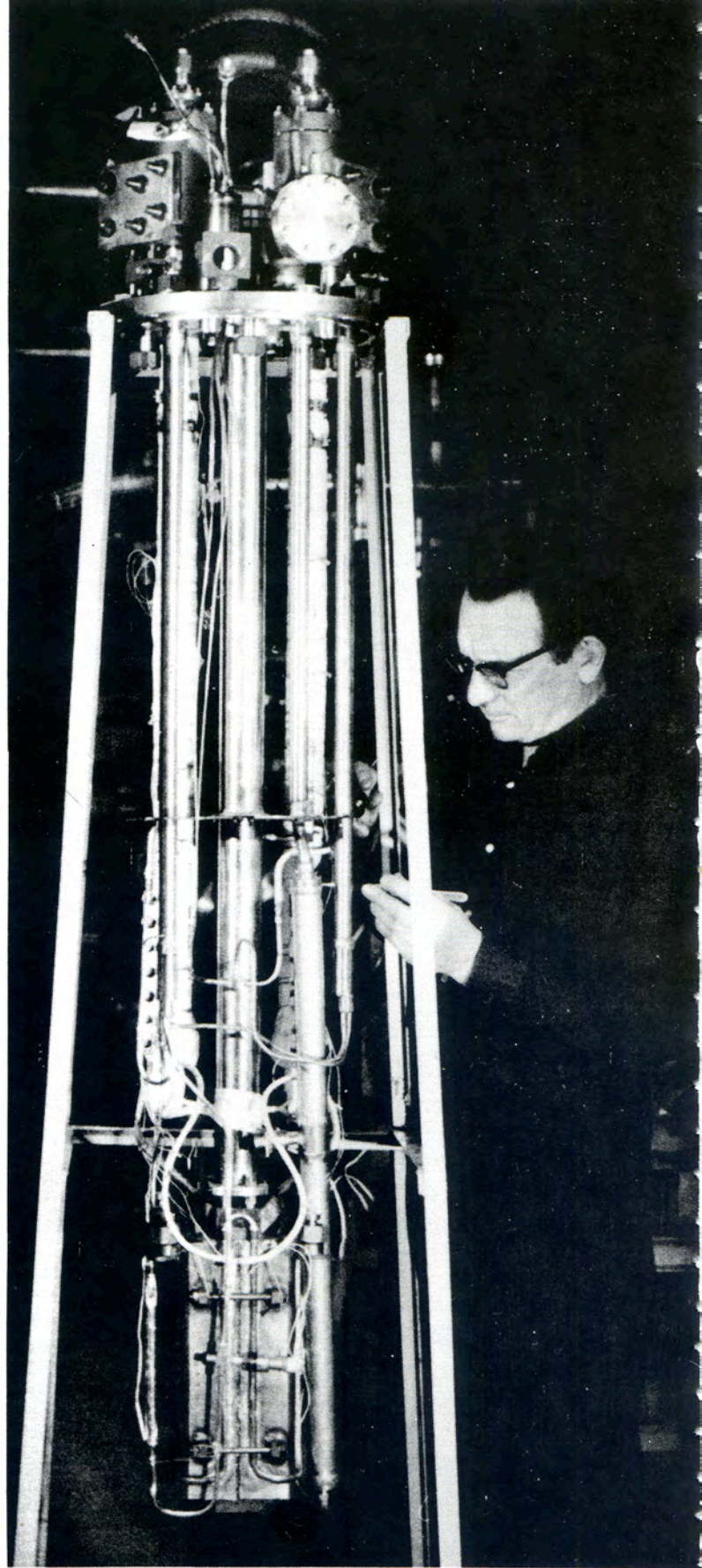
*Выполнена серия экспериментов по дифракционному взаимодействию протонов и легких ядер, а также фрагментации различных ядер на внутреннем пучке синхрофазотрона с использованием различных тонких мишеней. На снимках: отдельные моменты работы на спектрометре ядер отдачи.*



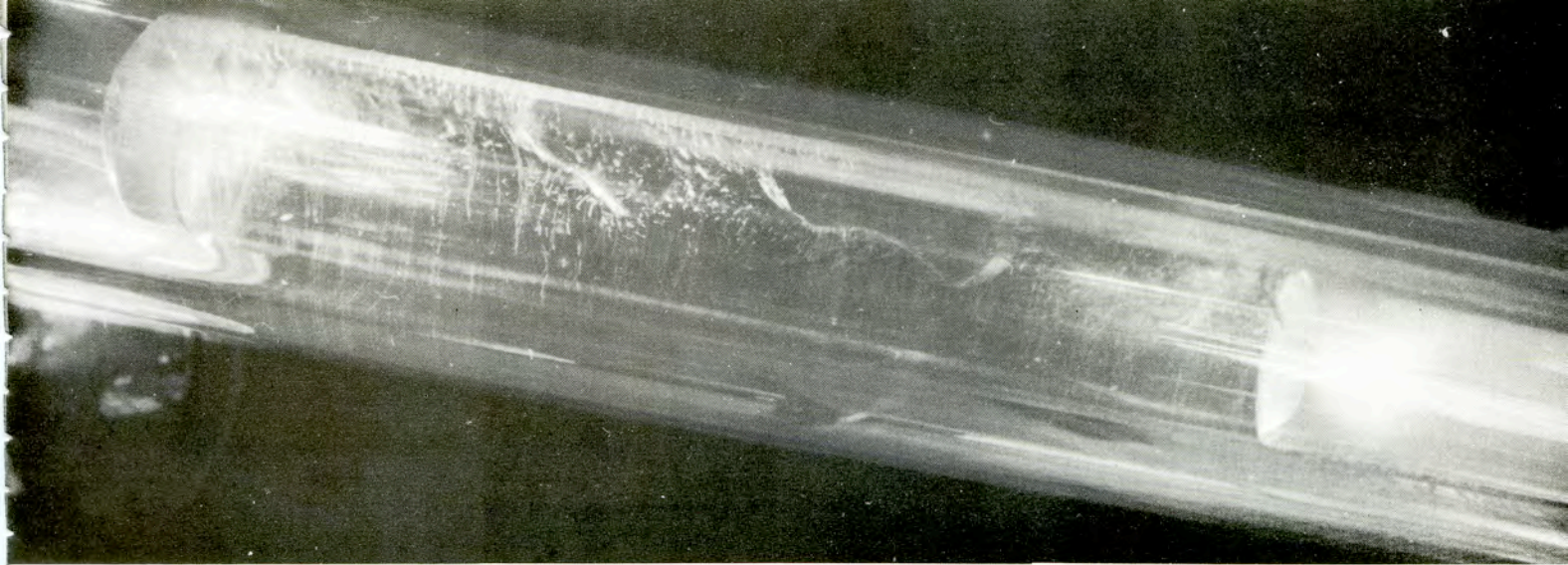
*Взаимодействия антинейтронов с протонами жидководородной мишени, зарегистрированные на установке "Любмила".*



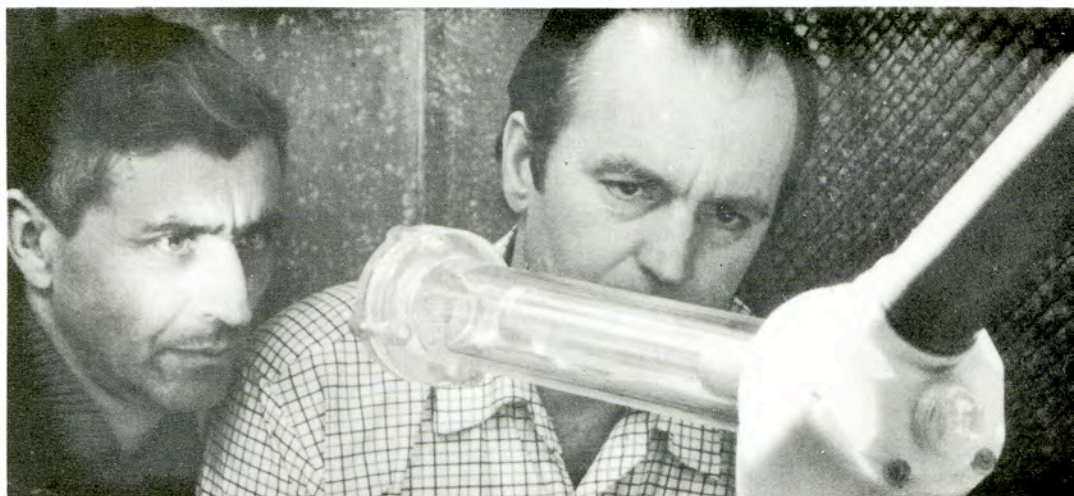
006



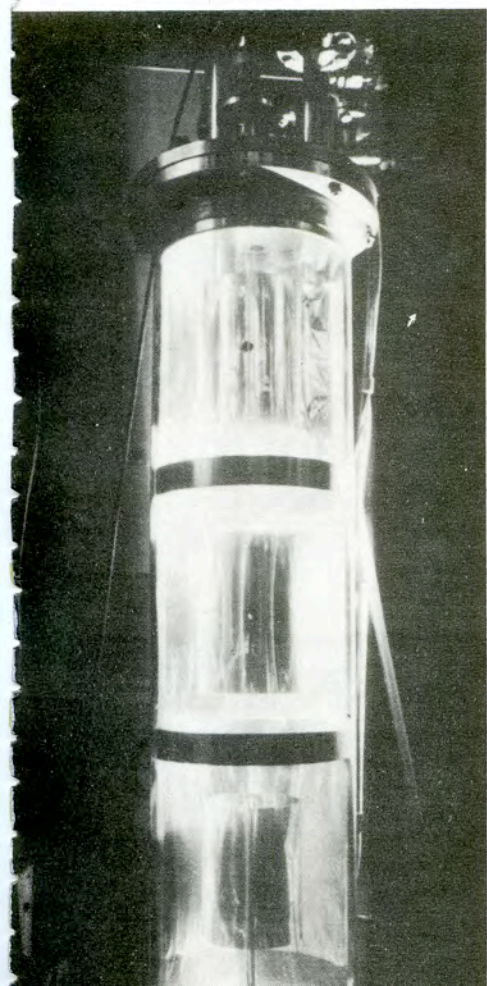
*Испытания сверхпроводящего импульсного магнита с принудительным охлаждением обмотки жидким гелием. Исследования проводятся по программе "Нуклофрон".*



*В криогенном отделе ЛВЭ освоена технология и разработаны варианты конструкций жидководородных мишеней для стримерных камер. На снимках: процесс заполнения мишени жидким водородом /вверху/, испытания мишени /справа/.*



*Водородно-гелиевая криогенная мишень с большой апертурой для проведения ядерных и гиперядерных экспериментов.*



*Для получения поляризованного пучка дейтронов на синхротроне создан криогенный источник "Криполь".*

