

# ДУБНА · 1985

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1985 · DUBNA

# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Усилия коллектива Лаборатории высоких энергий концентрировались на фундаментальных исследованиях строения материи на кварк-глюонном уровне, поисках и установлении новых универсальных закономерностей физики микромира, на создании необходимых условий проведения экспериментов для интернациональных коллективов физиков стран-участниц ОИЯИ.

В 1985 г. в экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ, синхротронах ИФВЭ и ЦЕРНа, а также при обработке ранее накопленной информации получен ряд новых значительных физических результатов.

Выполнен большой объем работ по созданию адронного калориметра установки ДЕЛФИ.

В рамках завершающейся пятилетней программы развития ОИЯИ в лаборатории введены в действие новые экспериментальные физические установки.

Совершенствовался вычислительный центр лаборатории. Развивалась методика эксперимента. Ряд новых разработок в области электроники, детекторов излучений и криогеники использован как в физических экспериментах, так и для прикладных целей.

Синхрофазотрон успешно эксплуатировался, велась модернизация его систем. Большим достижением является получение в эксплуатационном режиме пучков релятивистских поляризованных дейтронов с высокой степенью поляризации и проведение рабочего сеанса по набору статистики.

Проводились исследования модели сверхпроводящего синхротрона (СПИН) и полномасштабных магнитных элементов для "Нуклотрона" с магнитным полем, формируемым железными сердечниками, — системы типа "Дубна". Выполнен большой объем работ по проекту реконструкции магнитной системы синхрофазотрона на сверхпроводящую — "Нуклотрон".

Научно-исследовательская деятельность Лаборатории высоких энергий осуществлялась в условиях эффективного международного сотрудничества.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

1. На установке БИС-2 проведено два сеанса по набору статистики на ускорителе ИФВЭ (Протвино). Записана информация о взаимодействиях нейтронов с ядрами углерода, алюминия и меди в объеме ~16 млн. событий.

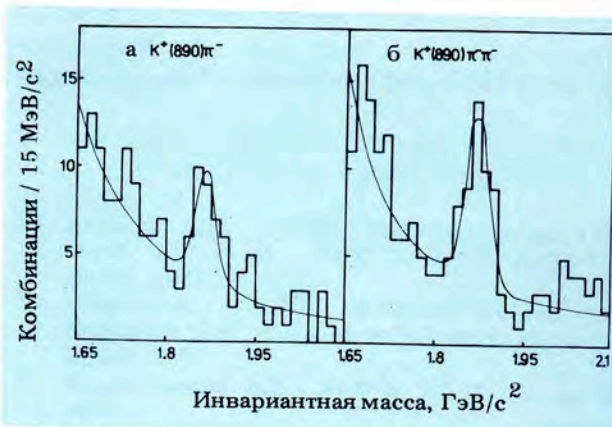


Рис.1. Спектры инвариантных масс с наблюдаемыми сигналами  $\bar{D}^0$ - и  $D^-$ -мезонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях.

В результате анализа ~11,5 млн. первичных  $nC$ -взаимодействий при энергии нейтронов 40-70 ГэВ наблюдается рождение очарованных анти-D-мезонов в спектрах эффективных масс  $\bar{D}^0 \rightarrow K^+(890)\pi^-$  и  $D^- \rightarrow K^+(890)\pi^-\pi^-/1'$ . Кинематическая область регистрации анти-D-мезонов по их

продольному импульсу ограничена интервалом  $(60 \pm 30)$  ГэВ/с и по поперечному —  $(1 \pm 0)$  ГэВ/с. Для этой области определены парциальные сечения рождения анти-D-мезонов:

$$\sigma(nC \rightarrow \bar{D}^0 + \dots) \cdot BR(D^0 \rightarrow K^+(890) \pi^-) =$$

$$= (0,9 \pm 0,3) \text{ мкб и}$$

$$\sigma(nC \rightarrow D^- + \dots) \cdot BR(D^- \rightarrow K^+(890) \pi^- \pi^-) =$$

$$= (2,1 \pm 0,7) \text{ мкб.}$$

Установлено, что дифференциальные сечения описываются функцией  $(1-X)^N \exp(-Br_T^2)$  при  $N = 0,9 \pm 0,3 \pm 0,4$  и  $B = (1,5 \pm 0,5) (\text{ГэВ/с})^{-2}$ .

2. Исследовались узкие особенности в спектрах эффективных масс, обнаруженные в пр-взаимодействиях при облучении однометровой жидководородной камеры (ЖВК) монохроматическими нейтронами разных энергий. Установлено существование резонансов в  $6q$ -,  $4q\bar{q}$ -,  $2q2\bar{q}$ -системах на уровне более 5 стандартных отклонений. Наиболее яркий в настоящее время эффект наблюдается в системе двух протонов в реакции  $pp \rightarrow pp\pi^-$  при импульсе нейтрона  $P_n = 1,25 \text{ ГэВ/с}^{/2,3/}$ . Результаты обработки материалов этой реакции приведены в табл.1, где показаны эффективные массы

Таблица 1

$M \pm \Delta M^*$	$\Gamma_{\text{экс}} \pm \Delta \Gamma^*$	$\sigma \pm \Delta \sigma^{**}$	$\Gamma_{\text{разр}}^*$
1901±1	4,6±4,5	11,7±4,1	1,5
1911±1	4,0±3,9	7,0±2,4	1,8
1923±1	4,5±2,1	22,6±3,4	2,1
1933±1	2,7±1,6	19,2±3,4	2,5
1942±1	6,6±5,3	26,7±5,6	2,8
1959±2	3,3±2,1	7,0±3,2	3,3
1968±2	3,5±3,3	4,1±2,9	3,5
1979±1	4,8±2,5	15,8±3,9	3,8

\* МэВ/с<sup>2</sup>;

\*\* мкб.

двух протонов, при которых наблюдаются особенности, экспериментально полученные ширины наблюдаемых резонансов, сечения их образования и экспериментальное разрешение по массам<sup>/2,3/</sup>.

Для объяснения последовательности наблюдаемых особенностей предложена феноменологическая модель вращающихся соединенных ориентированных струн. Результаты расчетов по модели и экспериментально наблюдаемые особенности показаны на рис.2.

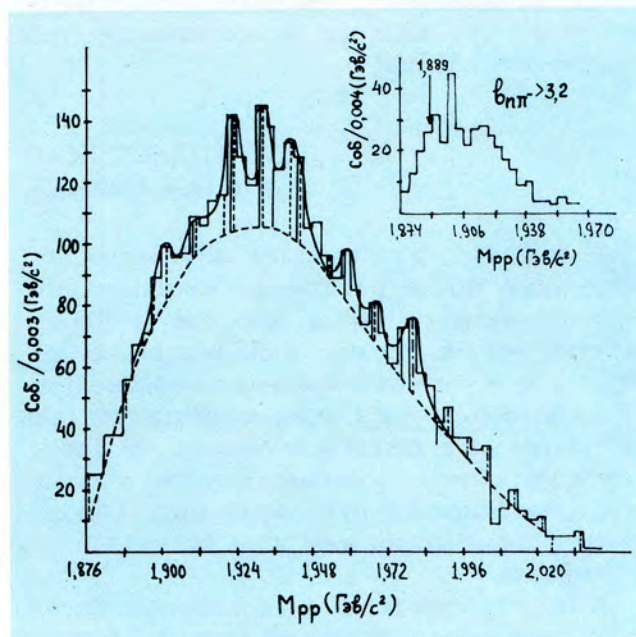


Рис.2. Распределение эффективных масс двух протонов в реакции  $pp \rightarrow pp\pi^-$  при импульсе нейтрона  $P_n = 1,25 \text{ ГэВ/с}$  (вертикальные линии — предсказания модели, пунктир — фоновая кривая).

3. Продолжался поиск связанных  $\Lambda\Lambda$ -состояний и мультикварковых резонансных состояний  $\Lambda p$ ,  $\Lambda p \pi$ ,  $\Lambda p \pi \pi$ ,  $\Lambda\Lambda$ ,  $\Lambda\Lambda p$  во взаимодействиях протонов с импульсом 11 ГэВ/с с пропаном.

4. На материалах облучения однометровой ЖВК ядрами гелия исследованы корреляции пар нуклонов по азимутальному углу в реакциях  ${}^4\text{He} \rightarrow dpp$  (при импульсах 8,6 и 13,5 ГэВ/с) и  ${}^4\text{He} \rightarrow rrrp$  (при импульсе 13,5 ГэВ/с). Наблюдались значительные корреляции для событий, в которых самый медленный из нуклонов имеет импульс более 300 МэВ/с (в системе покоя ядра).

Для реакции  $dp \rightarrow rrp$  при импульсе 3,3 ГэВ/с, исследуемой этой же группой, появление максимумов в эффективных массах двух протонов при 2010 и 2160 МэВ/с<sup>2</sup> объясняется поглощением виртуального пиона на паре нуклонов<sup>/4/</sup>.

5. Продолжалась обработка материалов, полученных при облучении двухметровой

жидководородной пузырьковой камеры "Людмила" сепарированными пучками антипротонов, антинейтронов и дейтронов серпуховского ускорителя. На большей статистике получен ряд данных по исследованию упругого  $\bar{p}p$ -рассеяния при импульсе 22,4 ГэВ/с и характеристики множественности заряженных частиц в  $\bar{p}p$ - и  $pp$ -взаимодействиях и процессах  $\bar{p}p$ -аннигиляции при импульсе 6,1 ГэВ/с<sup>5/</sup>.

### РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1. В 1984 г. академиком А.М.Балдиным было дано новое релятивистски-инвариантное определение струй адронов в пространстве относительных 4-скоростей, с помощью которого был проанализирован большой материал по  $\pi^-C$ -взаимодействиям при импульсе налетающего  $\pi^-$ -мезона 40 ГэВ/с (двухметровая пропановая камера) и показана идентичность струй, образующихся в области фрагментации как ядра углерода, так и  $\pi^-$ -мезона.

В 1985 г. этот метод был применен также к анализу широкого класса взаимодействий в интервале энергий от 6 до 205 ГэВ<sup>6,7/</sup> (табл.2).

Из таблицы 2 видно, что для обработки использовались данные (общая статистика 220 тыс. событий), полученные на различных пучках, различных установках и в различное время. В результате анализа этих данных оказалось, что распределения адронов ( $\pi^-, K_S^0, \Lambda^0$ ) по квадрату четырехмерной скорости ( $b_k$ ) относительно оси

струи (рис.3, 4) при импульсе  $P_{\text{лаб}} \geq 22$  ГэВ/с не зависят от энергии и одинаковы для адронизации кварковых и многокварковых систем. Обнаруженную универсальность струй можно интерпретировать как обусловленную взаимодействием цветного заряда с вакуумом безотносительно к другим свойствам системы, несущей цветной заряд (кварк или дикварк).

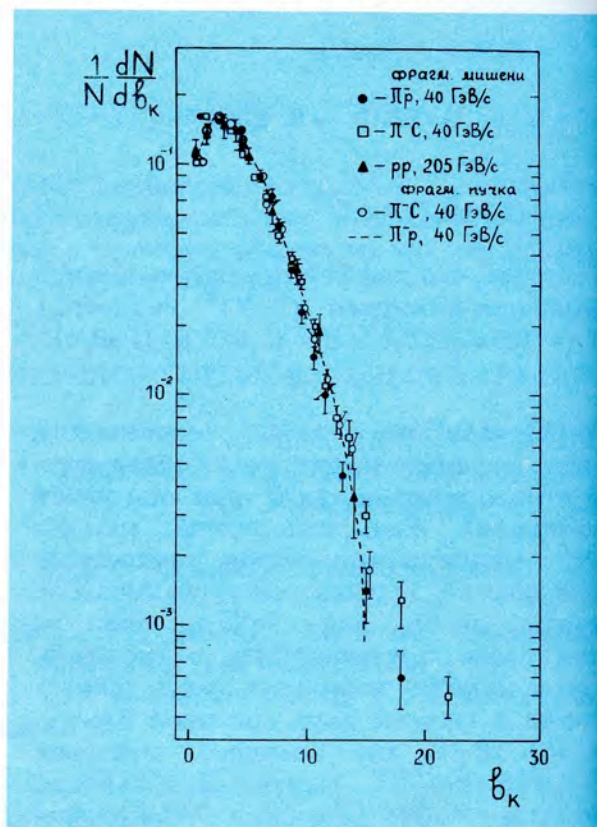


Рис.3. Распределение  $\pi^-$ -мезонов по  $b_k$  в области фрагментации пучка и мишени для  $\pi^-p$ ,  $\pi^-C$  и  $pp$ -взаимодействий.

Таблица 2

№№	Тип взаимодействия	$P_{\text{лаб}}$ (ГэВ/с)	Статистика	Установка	Ускоритель, научный центр
1	$pp$	205	5025	76 см ЖВК	ФНАЛ
2	$\pi^-C$	40	8791	2 м ПК	синхротрон ИФВЭ
3	$\pi^-p$	40	17376	—"	—"
4	$\bar{p}p$	22,4	44877	2 м ЖВК "Людмила"	—"
5	$\bar{p}p$	12	72099	2 м ЖВК ЦЕРН	ЦЕРН
6	$\bar{p}p$	5,7	68103	—"	—"
7	$p(C_3H_8)$	10	2732	2 м ПК	синхрофазотрон
	$pTa$	—"	1913	—"	ОИЯИ

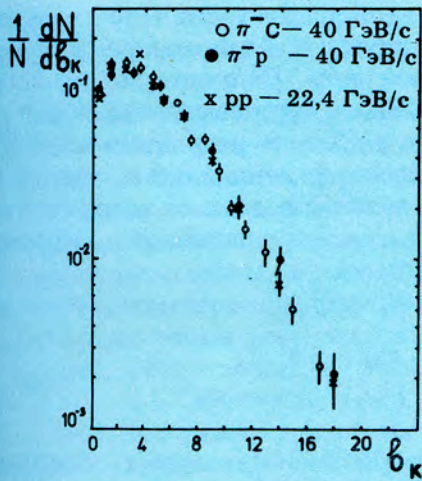


Рис.4. Распределение  $\pi^-$ -мезонов по  $b_k$  в области фрагментации мишени для  $p\bar{p}$ -,  $\pi^-p$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействий.

Значительный интерес представляет вычисление в рамках КХД этих распределений как универсальных параметров физики сильных взаимодействий.

2. Предложен новый релятивистски-инвариантный подход к исследованию корреляционных явлений в множественных процессах и показано, что широко используемые методы корреляционного анализа (например, в пространстве быстрот) непоследовательны, т.к. не учитывают связей кинематических переменных, обусловленных чисто геометрическими представлениями. В работе<sup>8/</sup> в пространстве относительных 4-скоростей  $b_{ik}$  построены корреляторы для любых трех частиц. Эти корреляторы могут использоваться не только для исследования асимптотик и проверок следствий принципа ослабления корреляций, но они удобны и для исследования массовых спектров, поисков резонансов и др. Рассмотренные корреляторы являются спектрами масс вторичных частиц, из которых вычтен фон случайных совпадений.

На экспериментальном материале, полученном с помощью двухметровой пропановой камеры, облученной пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на серпуховском ускорителе, рассмотрены конкретные примеры применения одномерных корреляторов. Исследовались корреляции между вторичными заряженными пионами в реакциях  $\pi^- + {}^{12}C \rightarrow \pi_1^\pm + \pi_2^\pm + X$ .

Различные двухчастичные корреляторы пионов и ядер, полученные из эксперимента, оказались одинаковыми, а в асимптотике — совпадающими (рис.5). Величина

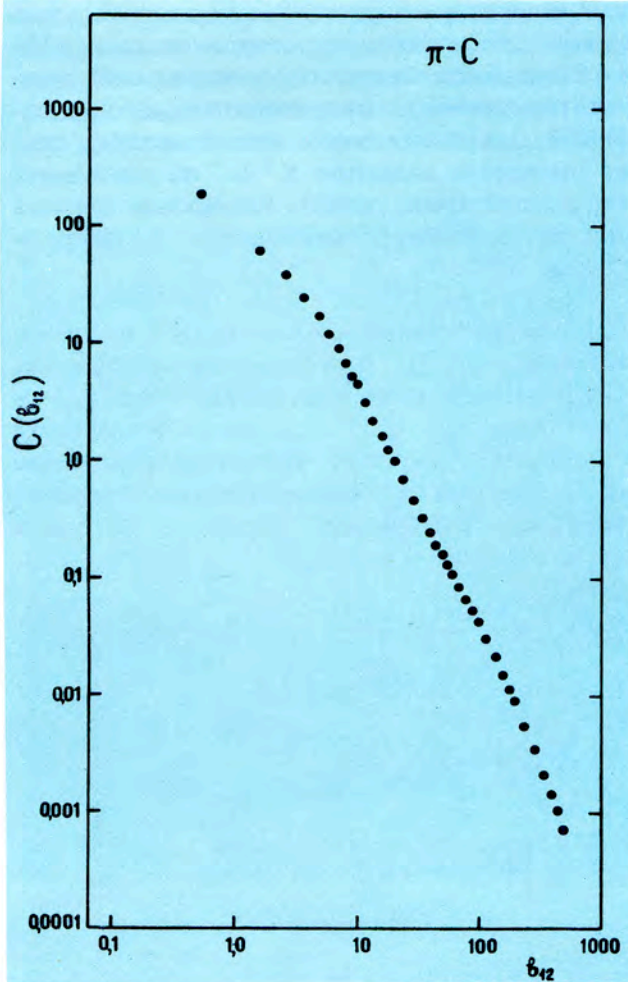


Рис.5. Пример релятивистски-инвариантной одномерной корреляционной функции для  $\pi^-C$ -взаимодействий.

корреляционной функции  $C(b_k)$  монотонно и довольно быстро убывает с ростом  $b_k$  (при  $b_{ik} \approx 10$  величины корреляторов падают до  $\sim 2 \div 3\%$ ). Корреляционная длина в пространстве  $b_{ik}$  для множественного рождения частиц достаточно мала:  $b_{12}^k = 1 \div 2$ .

Проведенный анализ показал, что принцип ослабления корреляций является достаточно общей и универсальной статистической закономерностью, характеризующей кварк-глюонную материю. Он, в частности, позволяет уверенно прогнозировать результаты экспериментов по столкновению ядро-ядро при высоких энергиях. В то же время даже при  $b_{ik} > 100$  зависимость одномерного коррелятора от  $b_{ik}$  не совпадает с поведением коммутатора свободных полей кварков и глюонов. В этой связи исследование предложенных корреляторов при предельно высоких энергиях представляет значительный интерес.

3. На спектрометре ДИСК-2, оборудованном вторым спектрометрическим пле-

чом, впервые получены экспериментальные данные для изучения pp-коррелятора в dPb- и pPb-взаимодействиях. Интегральный коррелятор оценен с погрешностью ~15%, дифференциальные — ~5%. Исследовалось также поведение выходов  $K^+/K^-$  на легчайших ядрах (дейтерий, гелий). Измерение сечений рождения каонов выполнено с погрешностью ~30%.

4. На установке СКА в ИФВЭ измерено отношение ( $\eta$ ) выходов кумулятивных  $\pi^-$ -и  $\pi^+$ -мезонов во взаимодействиях протонов с энергией от 17 до 63 ГэВ с ядрами молибдена<sup>/10/</sup> (рис.6). Полученное значение  $\eta \approx 1$  впервые экспериментально подтвердило асимптотический характер процесса при  $E \geq 4$  ГэВ.

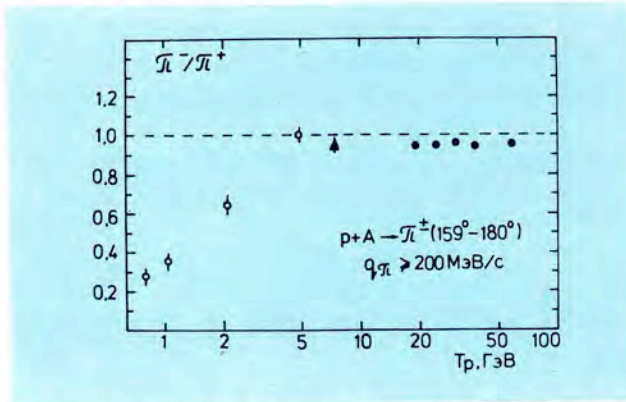


Рис.6. Отношение выходов кумулятивных  $\pi$ -мезонов во взаимодействиях протонов с ядрами молибдена.

5. С помощью спектрометра "Альфа" в интервале импульсов (4,4 — 18,3) ГэВ/с изучено поведение сечений реакции перезарядки ядер гелия-3 в тритоны на протоне и ядре углерода. В результате подробных и точных измерений впервые обнаружено, что в перезарядке на ядре при высоких энергиях и малых поперечных импульсах:

1) канал с высокими (~300 МэВ) резонансного типа возбуждениями ядерного вещества доминирует над каналами, приводящими к низкому (~десятки МэВ) возбуждениям ядра;

2) такие высокие дельта-возбуждения ядерного вещества имеют коллективный характер. Это проявляется в существенном отличии параметров дельта-резонансного пика для реакции на ядре от параметров такого пика для реакции на свободном протоне, а также существенно большем уровне сечений, чем ожидается из расчетов по модели Глаубера<sup>/9/</sup>.

6. В пучке дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с изучалось инклюзивное образование  $\eta$ -мезонов. Записано и проанализировано 500 тыс. стереомагнитографий реакции  $d+C \rightarrow \eta + X$ , в результате определены параметры дифференциальных сечений рождения  $\eta^0$  в зависимости от поперечного импульса  $P_{\perp}$  и масштабной переменной  $X_F$ <sup>/10/</sup>:

$$\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} = A \cdot \exp(-B p_{\perp}^2),$$

где  $A = (1928 \pm 340)$  мкб/(ГэВ/с)<sup>2</sup>,  $B = (5,4 \pm 2,1)$  (ГэВ/с)<sup>-2</sup>;

$$f(X_F) \sim (1 - X_F)^n,$$

где  $n = 2,04 \pm 0,51$ . Впервые в этих опытах наблюдались кумулятивные  $\eta$ -мезоны.

Обработка материала, полученного ранее на установке "Фотон", дала первые и пока единственные результаты по измерению полного и дифференциального сечений реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \Delta^0(1232)$  при импульсе 3,3 ГэВ/с<sup>/11/</sup>. Фит экспериментальных данных зависимость  $d\sigma/dt = A(1 - gct) \exp(ct)$ , где  $g$  — отношение вкладов амплитуды рассеяния с переворотом и без переворота спина,  $t$  — переданный импульс, показал, что  $A = (65,7 \pm 2,3)$  мкб/(ГэВ/с)<sup>2</sup>,  $g = 3,7 \pm 0,2$ ,  $C = (7,3 \pm 0,6)$  (ГэВ/с)<sup>-2</sup>.

Полное сечение реакции в пределах ошибки согласуется с предсказанием изотопической инвариантности.

7. На материалах двухметровой пропановой камеры получены новые данные по свойствам  $\pi^{\pm}$ -мезонов и протонов в неупругих  $\pi^-C$ -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с с испусканием и без испускания кумулятивных пионов и протонов. Различия в пионных парциальных коэффициентах неупругости в этих столкновениях не обнаружено<sup>/12/</sup>.

Рассмотрены свойства интерференционных корреляций в системе трех тождественных пионов, генерируемых независимыми одночастичными источниками, и даны соотношения, которые могут быть использованы при обработке экспериментальных данных<sup>/13/</sup>; рассмотрены также некоторые свойства интерференционных корреляций очень большого числа тождественных пионов<sup>/14/</sup>.

При изучении корреляций по множественности вторичных заряженных частиц,

рожденных в передней и задней полусферах в с.д.и. в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с, показано<sup>/15/</sup>, что средние множественности в области фрагментации кварков и в области фрагментации дикварков приблизительно равняются половине средней множественности частиц в  $e^+e^-$ -аннигиляции и  $pp$ -взаимодействиях соответственно. В исследовании ядро-ядерных взаимодействий на материалах двухметровой пропановой камеры получен ряд новых результатов:

— анализ 1500 событий реакции  $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow k\text{p} + X$  ( $p = 4,2$  ГэВ/нукл.) при  $k \geq 2$  показал, что величина радиуса эмиссии протонов с близкими импульсами уменьшается с ростом их импульсов и ростом их поперечных импульсов. Для быстрых протонов ( $p > 0,3$  ГэВ/с) радиус области испускания сравним с радиусом ядра  ${}^{12}\text{C}$ , а для медленных ( $p < 0,3$  ГэВ/с) — значительно больше<sup>/16/</sup>;

— исследование образования  $\Lambda$ -гиперонов и  $K_S^0$ -мезонов в  $Sr$ -, центральных и многонуклонных  $SS$ -взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/нукл. показало<sup>/17/</sup>, что в  $SS$ -взаимодействиях с образованием  $\Lambda$ - и  $K^0$ -частиц наблюдается в среднем в  $\sim 1,3$  раза большая множественность заряженных частиц, чем во всех неупругих  $SS$ -взаимодействиях. Для многонуклонных  $SS$ -взаимодействий такого эффекта не обнаружено;

— проведены отбор и изучение центральных  $STa$ -взаимодействий при  $p = 4,2$  ГэВ/с с использованием каскадно-испарительной модели. Показано, что расхождение по выходу пионов между каскадной моделью и экспериментом является скорее следствием трудностей модели, чем проявлением эффектов ядерного сжатия<sup>/18/</sup>.

На основе анализа 4303 неупругих взаимодействий ядер неона-22 с импульсом 90 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии изучены множественности и угловые характеристики частиц в зависимости от степени разрушения сталкивающихся ядер. Показано, что одно и то же число провзаимодействовавших нуклонов налетающих ядер неона и углерода отвечает различным параметрам их столкновения с ядрами мишеней<sup>/19/</sup>.

8. Группой спектрометра ядер отдачи выполнена работа по поиску аномалонов с временем жизни  $5 \times 10^{-8}$  среди фрагментов ядер кислорода с импульсом 4,5 ГэВ/нукл. методом измерения длины свободного пробега  $\lambda_{\text{ф}}$  в кремнии<sup>/20/</sup>. Совокупность данных для фрагментов с зарядами  $Z = 3 \div 7$  показывает, что примесь аномальных фрагментов

с  $\lambda_{\text{ф}} = 1$  см и  $\lambda_{\text{ф}} = 3$  см согласуется с нулем. Полученная в этом эксперименте верхняя оценка возможной примеси фрагментов с дробным зарядом оценивается как  $< 2 \cdot 10^{-4}$  от числа нормальных с  $2 \leq Z \leq 7$  (рис.7).

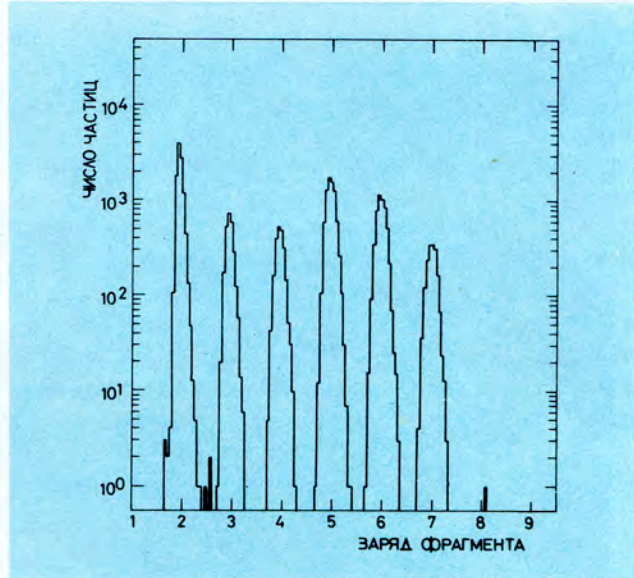


Рис.7. Распределение продуктов фрагментации ядер кислорода с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон по заряду.

9. Выполнен поиск метастабильных ядер с энергией возбуждения порядка нескольких МэВ на нуклон, которые могли бы быть изомерами плотности (сверхплотные ядра), изомерами формы, либо образовываться по иным причинам. С этой целью во взаимодействиях ядер кислорода (1 ГэВ/нукл.) с мишенью из свинца регистрировались протоны с энергией от 5 до 25 МэВ, которые излучались бы при переходе возбужденного ядра в нормальное состояние. Эксперимент показал, что вероятность таких событий в данных взаимодействиях не превосходит  $\sim 10^{-6}$  (для времени жизни  $(10^{-7} \div 1)$  с) и  $\sim 10^{-7}$  (для времени жизни  $(1 \div 10)^5$  с)<sup>/21/</sup>.

#### ЭКСПЕРИМЕНТ NA-4

1. Во взаимодействиях мюонов при энергии 200 ГэВ с углеродной мишенью было найдено 17 событий типа  $\mu^+N \rightarrow \mu^+ \mu^\pm \mu^\pm X$ . Они могут быть интерпретированы как проявление рождения тяжелых кварков. Установлены верхние пределы в 1,2% (90% уровень достоверности) для  $D^0-\bar{D}^0$ -переходов либо, альтернативно, 9 пб (90% уровень достоверности) для поперечного сечения рож-

дения ВВ-пар в глубоконеупругом рассеянии мюонов<sup>/22/</sup>.

2. Получены новые данные по отношению структурных функций  $F_2(x, Q^2)$  для глубоконеупругого рассеяния мюонов на дейтерии, азоте и железе. Существование обнаруженных ранее ядерных эффектов подтверждено с улучшенной систематической точностью. Данные по отношению структурных функций, полученных на железной мишени, к структурным функциям, полученным на дейтериевой мишени, перекрывают кинематическую область по переменной  $x$   $0,20 \leq x \leq 0,70$  и находятся в хорошем согласии с ранее полученными результатами.

Отношение структурных функций азота и дейтерия получено в кинематической области  $0,08 \leq x \leq 0,70$ . Оказалось, что при  $x < 0,3$  это отношение сравнимо с единицей<sup>/23/</sup>.

### ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большим успехом коллектива лаборатории явилось проведение комплекса методических и технических работ по получению в эксплуатационном режиме на синхрофазотроне пучков поляризованных релятивистских дейтронов и проведение рабочего сеанса облучения установки "Альфа-3С", спектрометра ядер отдачи и однометровой жидководородной камеры новыми уникальными пучками. С целью обеспечения этих работ были усовершенствованы системы измерения поляризации источника "Полярис". На выходе линейного ускорителя ЛУ-20 введен в действие поляриметр с дистанционно-управляемыми мишенями  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$ . Степень поляризации пучка дейтронов, ускоренного в ЛУ-20, измеренная с помощью этого устройства, достигла: векторная —  $0,4 \div 0,5$ , тензорная —  $0,7 \div 0,8$ . Спектрометр ядер отдачи был дополнен вторым измерительным плечом и использовался в том числе для измерения векторной поляризации внутреннего пучка; в процессе ускорения было показано, что вплоть до максимальной энергии (5 ГэВ/нукл.) деполяризация дейтронов при ускорении в синхрофазотроне практически отсутствует.

На установке "Альфа-3С" отлажена методика исследования упругого  $d\bar{p}$ -рассеяния назад и исследована возможность использования этой реакции для оценки тензорной поляризации выведенного пучка. Измерена степень тензорной поляризации двумя мето-

дами (по  $\vec{d} \rightarrow p$  фрагментации при  $0^\circ$  и по упругому  $d\bar{p}$ -рассеянию на  $180^\circ$ ), давшими хорошо согласующиеся результаты.

Впервые в мире получены результаты по тензорной анализирующей способности дейтрона  $T_{20}(k)$  в реакции стриппинга выстроенных релятивистских дейтронов.

С помощью однометровой жидководородной камеры измерена векторная поляризация пучка дейтронов в канале быстрого вывода. Полученное значение  $P_z = 0,5 \pm 0,12$  хорошо согласуется с результатами, полученными на спектрометре ядер отдачи.

### РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1. Выполнен большой объем работ в рамках проекта ДЕЛФИ. Проведен цикл методических исследований, в результате которых выяснились причины неустойчивой работы стримерных трубок с большой резистивностью катода<sup>/24/</sup>.

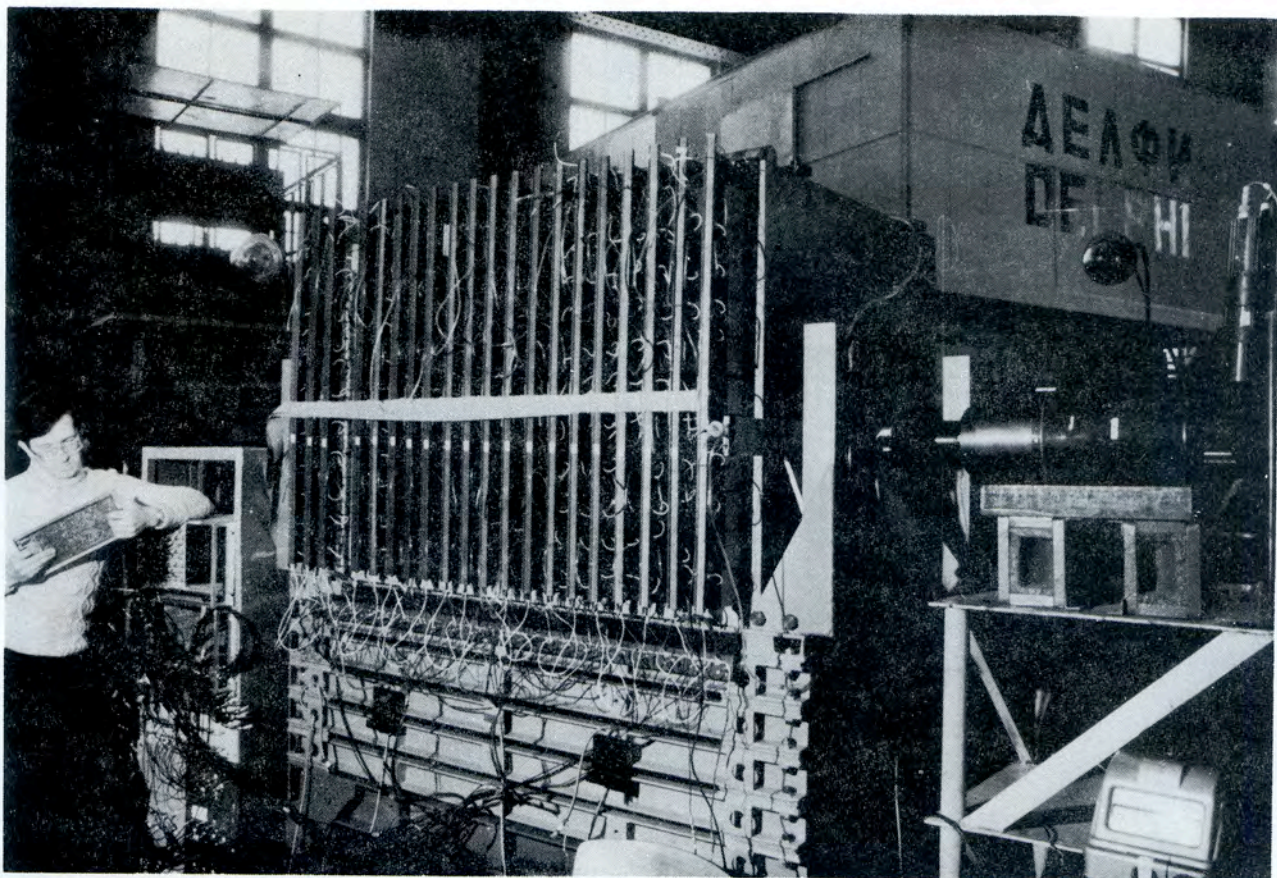
Создана рабочая зона на канале синхрофазотрона для исследования прототипа адронного калориметра. Проведены работы по проектированию оборудования для производства стримерных детекторов установки ДЕЛФИ в ОП ОИЯИ.

Развиты программы для моделирования адронных каскадов в калориметре, разработаны аппаратные средства хранения физической информации, полученной с прототипа калориметра<sup>/25/</sup>.

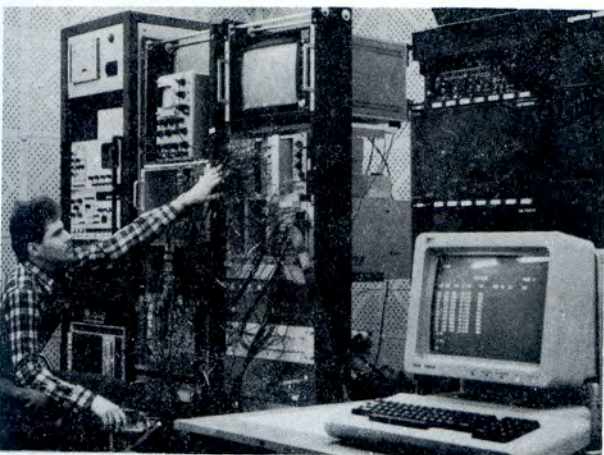
2. Введена в действие новая крупная физическая установка — гибридный спектрометр на основе большой стримерной камеры в магнитном поле — установка ГИБС. Получено более 30 тыс. рабочих снимков в пучках ядер углерода и фтора. Сотрудничество приступило к обработке полученного материала.

3. На установке "Резонанс" отлажены триггерные системы для исследования  $d\bar{p}$ -взаимодействий с выходом кумулятивных протонов и для исследования поляризации лидирующих протонов с большими поперечными импульсами в  $pp$ -взаимодействиях, проведены работы по созданию  $K^+$ -мезонного триггера с целью поиска шестикварковых странных дибарионов.





Рабочая зона для исследования прототипа адронного калориметра установки ДЕЛФИ на канале синхрофазотрона.



Аппаратура для исследований прототипа адронного калориметра.

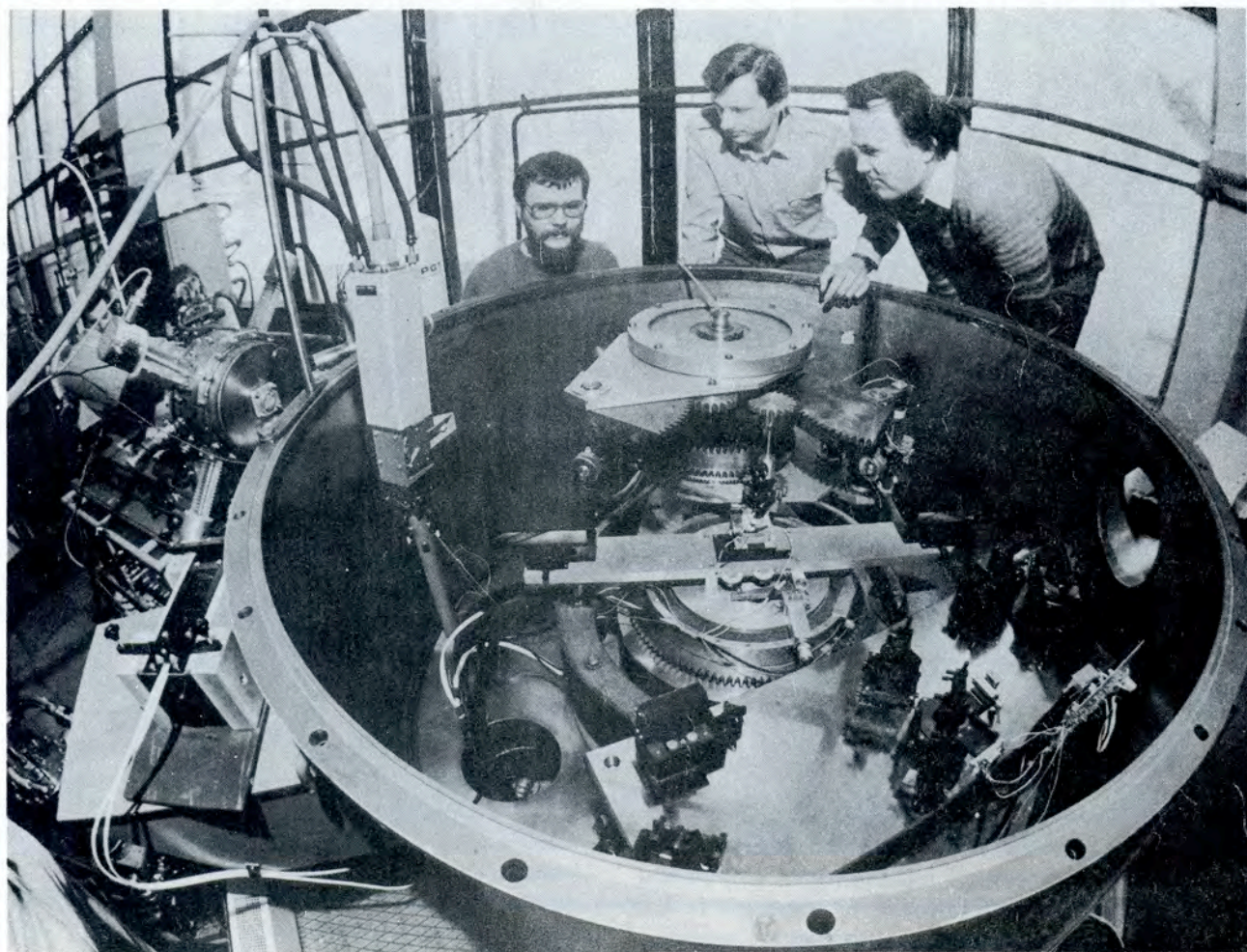
КАМАК на линии с ЭВМ, программное обеспечение <sup>/26/</sup>.

5. На измерительно-вычислительном комплексе лаборатории расширена библиотека программ, поставлены, в частности, пакеты программ НВООК и ФОРТРАН-77. На комплексе ЭВМ ЕС-1055М и ЕС-1040 отработано для пользователей более 6700 ч, в том числе 600 ч в режиме на линии со спектрометрами.

Введены в эксплуатацию магнитофоны с удвоенной плотностью записи, графо-строитель "Дигиграф".

Выполнен ряд новых разработок электронной аппаратуры для считывания информации с пропорциональных камер <sup>/27/</sup>, созданы быстродействующий специализированный процессор, выделяющий события по числу прямых треков <sup>/28/</sup>, и другая аппаратура для спектрометра БИС-2 <sup>/29/</sup>.

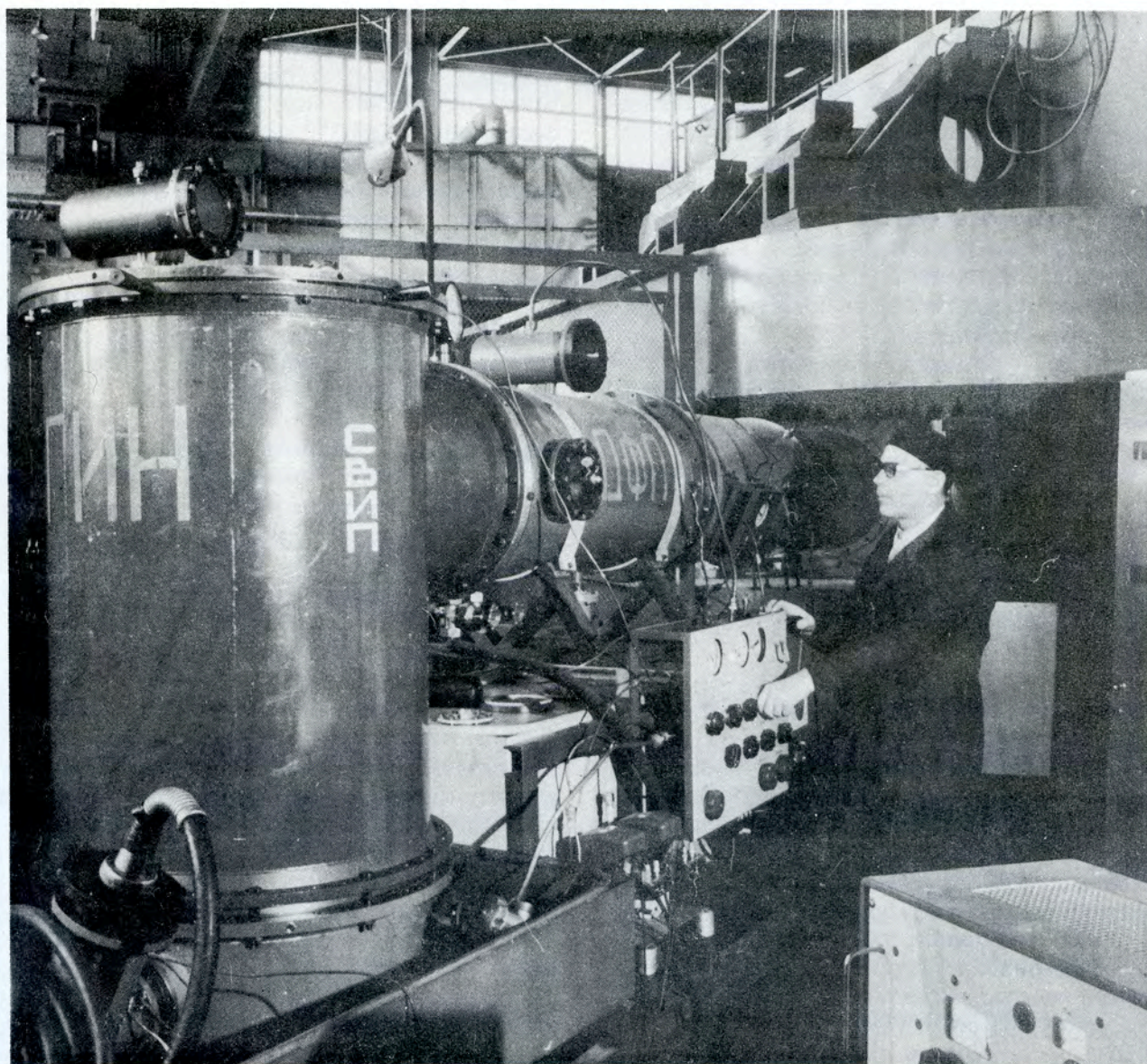
6. Криогенно-лучевой ионизатор КРИОН-2 использовался для исследований в области



Источник КРИОН и кристалл-дифракционный спектрометр использованы для измерения спектров рентгеновского излучения высокозарядных ионов и ядер.



В составе измерительно-вычислительного комплекса введена система графического отображения информации.



Вид установки ГИБС со стороны генератора импульсного напряжения.

физики глубокоионизированных атомов. Используя источник КРИОН-2 и германиевый детектор с повышенным разрешением, впервые удалось измерить спектры К-серий рентгеновского излучения ионов  $Kr^{35+}$  и  $Kr^{36+}$  при их соударении с поверхностью твердого тела.

Исследована возможность создания позиционно-чувствительных детекторов для регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией до  $100 \div 150$  кэВ, работающих на смеси  $Xe + CH_4$  при высоком давлении<sup>/30/</sup>. Показано, что пропорциональный режим огра-

ничен сверху значением давления 20 ат. В тех случаях, когда энергетическое разрешение не является определяющим параметром, возможна работа детектора в самогасщемся стримерном режиме с коэффициентом перевода в СГС-режим 80% событий при давлении в диапазоне от 10 до 30 ат.

Обосновано применение газовых мишеней для стримерных камер. Разработаны конструкции двух газовых мишеней: повышенного давления, рассчитанная на внутреннее давление 0,5 МПа, и пониженного давления, рассчитанная на работу при внешнем избыточном давлении 0,1 МПа<sup>/31/</sup>.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

1. Выполнен большой объем работ по модернизации систем синхрофазотрона как ускорителя релятивистских и поляризованных ядер, улучшению качества его пучков, повышению эксплуатационной надежности работы ускорительного комплекса.

В 1985 г. получен ряд результатов по повышению эффективности электронно-лучевого метода ионизации.

Впервые с помощью ионизатора с электронной пушкой, вынесенной из магнитного поля, получен пучок ядер аргона ( $\text{Ag}^{18+}$ ).

Создана третья очередь мультимикропроцессорной автоматизированной системы сбора и предварительной обработки данных с ионизаторов типа КРИОН на основе микроЭВМ "Микро-8". Разработан контроллер для цветных телемониторов на основе видеопроцессора<sup>/32/</sup>.

Получены проектные параметры амплитуды ускоряющего напряжения и частотного диапазона для наиболее оптимального режима ускорения частиц в синхрофазотроне на второй кратности частоты обращения пучка (амплитуда  $(12 \div 17)$  кВ в частотном диапазоне  $(0,3 \div 3)$  МГц). Впервые практически использован принцип широтно-импульсной модуляции для управления током подмагничивания феррита в перестраиваемом по частоте мощном колебательном контуре ускоряющей системы.

В полном объеме смонтированы секции криогенной откачки в вакуумной камере

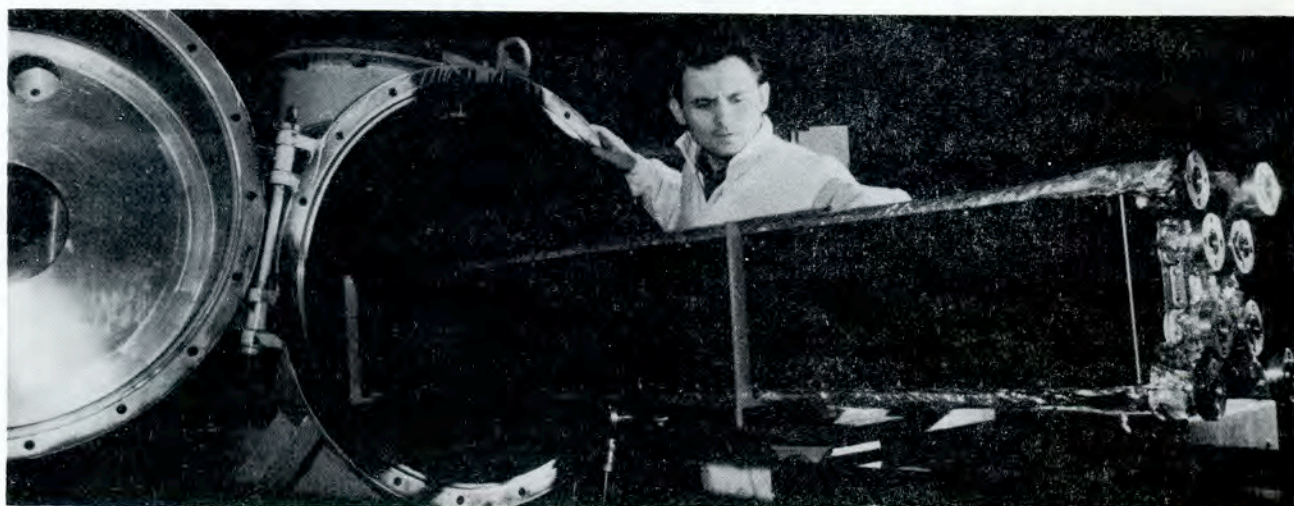
синхрофазотрона. Проведены испытания в режиме автономной заливки системы жидким гелием от сосудов Дьюара. Получено улучшение вакуума в камере синхрофазотрона с  $2 \times 10^{-6}$  до  $4 \times 10^{-7}$  торр в среднем по кольцу. При работе с системой криооткачки интенсивность пучка ядер кремния увеличена в 2000 раз, и в канале медленного вывода составила  $3 \times 10^4$  ядер/цикл.

Продолжались работы по использованию волоконно-оптических линий связи в системах диагностики инжекционного комплекса синхрофазотрона<sup>/33,34/</sup>.

Введены в действие новые контрольно-измерительные системы, сопряженные с малыми ЭВМ, что обеспечило качественный и удобный контроль инжектируемых и выведенных пучков и режимов работы ускорительного комплекса. Информация отображается на цветных мониторах и позволяет повысить оперативность настройки систем.

Улучшено качество выведенных пучков. За счет использования режима вывода и растяжки пучка при выключенной высокочастотной системе с обратной связью по пучку глубина низкочастотных пульсаций амплитуды выведенного пучка уменьшена на 40%. Это в несколько раз повышает эффективность использования пучков физическими установками.

Проведение комплекса работ по совершенствованию систем синхрофазотрона обеспечило существенное расширение диапазона ускоряемых на синхрофазотроне ядер, повышение интенсивности (табл.3), сохранение надежности работы ускорительного комплекса синхрофазотрона на уровне 94-95%.



Секция системы криогенной откачки вакуумной камеры синхрофазотрона на испытаниях.

Выводимые из ускорителя частицы	Энергия (ГэВ)	Интенсивность (част./имп.)	
		1980 г.	1985 г.
p	9,0	$4 \times 10^{12}$	$4 \times 10^{12}$
d	8,2	$4 \times 10^{11}$	$1 \times 10^{12}$
d†	8,2	—	$5 \times 10^8$ *
n	9,0	$10^9$	$10^{10}$
${}^3_2\text{He}$	17,2	—	$2 \times 10^{10}$
${}^4_2\text{He}$	16,4	$2 \times 10^{10}$	$5 \times 10^{10}$
${}^6_3\text{Li}$	24,6	—	$1,5 \times 10^8$
${}^7_3\text{Li}$	23,9	—	$2 \times 10^9$
${}^{12}_6\text{C}$	49,2	$2 \times 10^6$	$5 \times 10^8$
${}^{16}_8\text{O}$	65,6	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^7$
${}^{19}_9\text{F}$	73,1	—	$1,5 \times 10^7$
${}^{22}_{10}\text{Ne}$	81,0	—	$10^4$
${}^{24}_{12}\text{Mg}$	98,4	—	$10^5$
${}^{28}_{14}\text{Si}$	114,8	—	$3 \times 10^4$

\*  $P_z = 0,53$ ;  $P_{zz} = -0,58$ .

Отлажены режимы, позволяющие транспортировать по основному каналу медленного вывода пучки с интенсивностью до  $10^{11}$  част./цикл. Разработан проект системы каналов и их автоматизации на втором направлении медленного вывода (2 МВ). Отработан режим и получены рабочие параметры 2 МВ в диапазоне энергий (0,3÷3,5) ГэВ/нукл. Тем самым показана возможность работы синхрофазотрона в эксплуатационном режиме как источника пучков ядер средних энергий (0,3÷0,5 ГэВ/нукл.).

2. На модели сверхпроводящего синхротрона (СПИН) исследованы режим инъекции и включения высокочастотной ускоряющей станции. Большим достижением явилось получение устойчивой циркуляции пучка

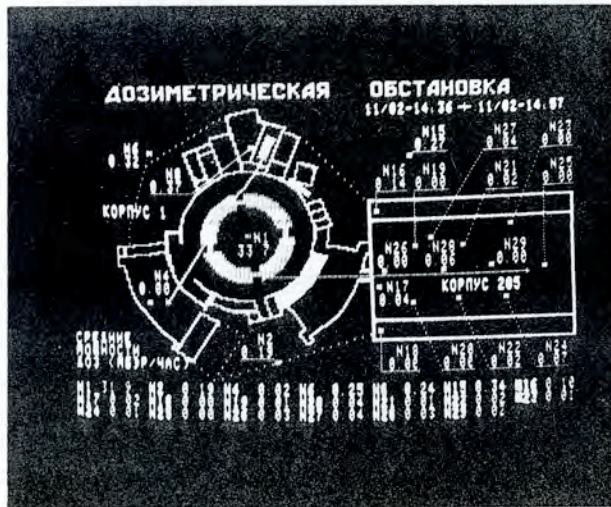
протонов в течение ~100 мс в камере СПИНа<sup>/35/</sup>. Выполнены разработки по автоматизации управления систем СПИНа.

Завершены работы по созданию систем криогенного обеспечения СПИНа на базе охладителя КГУ-1600/4,5. Успешно эксплуатировалась первая автоматизированная система управления установкой КГУ-1600/4,5. Совершенствовались алгоритмы управления<sup>/36/</sup> и элементы аппаратуры<sup>/37/</sup>.

В рамках работ по проекту "Нуклотрон" исследован образец 1,5 м дипольного магнита с обмоткой из сверхпроводящего кабеля на основе медной трубки. Создан полномасштабный образец квадрупольной линзы для "Нуклотрона". Выполнен ряд подготовительных работ по реализации проекта "Нуклотрон".



Создается автоматизированная система управления и контроля параметров синхрофазотрона, включающая ряд контрольно-измерительных подсистем на базе малых ЭВМ.

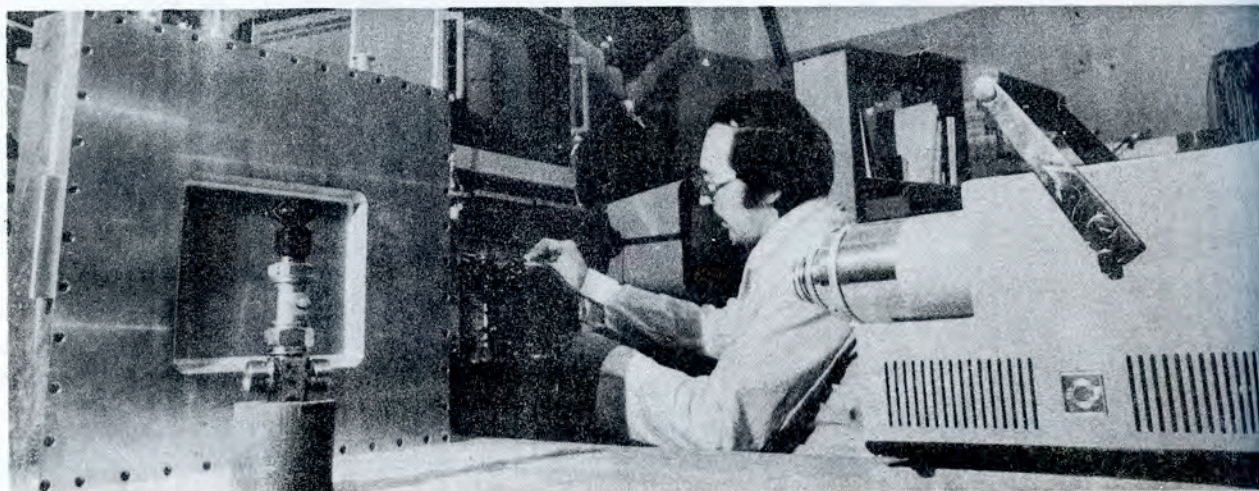


Отображение дозиметрической обстановки при работе синхрофазотрона на экране цветного телемонитора.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Совместно с ИМБ АН СССР рассмотрена возможность применения многоступенчатой лавинной камеры на линии с ЭВМ для анализа распределения радиоактивности после двумерного разделения смеси белков, меченых изотопом йод-125 <sup>125</sup>I. Показано, что установка позволяет более чем в 100 раз сократить время анализа по сравнению с традиционно используемой радиографией и получить информацию о распределении метки по белкам, не разрушая препарата.

Для дифракционных экспериментов создан автоматизированный рентгеновский детектор с высокой однородностью ширины канала. Основой детектора является плоская



Установка для нейтронной радиографии на основе многоступенчатой лавинной камеры низкого давления

многопроволочная пропорциональная камера размером 480x460 мм<sup>/39/</sup>.

Для регистрации излучения трития созданы многопроволочная пропорциональная и многоступенчатая лавинная камеры (МСЛК), которые могут быть использованы для определения радиохимической чистоты препаратов. Показана возможность регистрации излучения трития МСЛК с тонким (~100 мкг/см<sup>2</sup>) входным окном<sup>/40/</sup>.

Совместно с чехословацкими специалистами создана установка для нейтронной радиографии. В качестве детектора тепловых нейтронов используется многоступенчатая лавинная камера низкого давления с конвертером. Информация с детектора обраба-

тывается с помощью современной микро-ЭВМ в стандарте КАМАК, изображение исследуемого объекта представляется на цветной ТВ-монитор. Пространственное разрешение детектора ~ 0,6 мм, чувствительность к гамма-фону ~ 10<sup>-6</sup>.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

В 1985 году синхрофазотрон отработал 4003 часов, из них:

- а) на физический эксперимент — 3192 ч,
- б) на совершенствование систем ускорителя и технологическую подготовку — 811 ч. Пучки ускорителя были использованы 20 группами экспериментаторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alev A.N. et al. JINR, E1-85-662, Dubna, 1985.
2. Бешлиу К. и др. ОИЯИ, Д1-85-433, Дубна, 1985.
3. Троян Ю.А. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №13-85, Дубна, 1985, с.12.
4. Glagolev V.V. et al. JINR, E1-85-18, Dubna, 1985.
5. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-85-854, Дубна, 1985; Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-85-864, Дубна, 1985.
6. Baldin A.M. et al. JINR, E1-85-415, Dubna, 1985.
7. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-85-820, Дубна, 1985.
8. Балдин А.М., Диденко Л.А. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №8-85, Дубна, 1985.
9. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, Б2-1-85-849, Дубна, 1985.
10. Беляев И.М. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №8-85, Дубна, 1985, с.29.
11. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, P1-85-228, Дубна, 1985.
12. Баатар Ц. и др. ОИЯИ, P1-85-698, Дубна, 1985.
13. Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P2-85-54, Дубна, 1985.
14. Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P2-85-240, Дубна, 1985.
15. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P2-85-259, Дубна, 1985.
16. Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, P1-85-639, Дубна, 1985.
17. Армутлийски Д.А. и др. ОИЯИ, P1-85-220, Дубна, 1985.
18. Болдеа В. и др. ОИЯИ, P1-85-607, Дубна, 1985.
19. Азимов С.А. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №12-85, Дубна, 1985, с.16.
20. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, P1-85-640, Дубна, 1985.
21. Авраменко С.А. и др. ОИЯИ, P1-85-340, Дубна, 1985.
22. Benvenuti A. et al. Phys.Lett., 1985, 158B, p.531.
23. Bari G. et al. JINR, E1-85-747, Dubna, 1985.
24. Головатюк В.М. и др. ОИЯИ, Д1-85-166, Дубна, 1985.
25. Гузик З. и др. ОИЯИ, P13-85-530, Дубна, 1985.
26. Бутцев В.С. и др. ОИЯИ, P1-85-438, Дубна, 1985.
27. Чан Хыу Дао, Мовчан С.А. ОИЯИ, 13-85-375, Дубна, 1985.
28. Калинин В.А. и др. ОИЯИ, P10-85-252, Дубна, 1985.
29. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, 13-85-499, Дубна, 1985.
30. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, 13-85-614, Дубна, 1985.
31. Голованов Л.Б. ОИЯИ, 13-85-479, Дубна, 1985.
32. Дудников В.Г. ОИЯИ, P10-85-81, Дубна, 1985.
33. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-85-580, Дубна, 1985.
34. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-85-599, Дубна, 1985.
35. Шелаев И.А. ОИЯИ, P9-85-593, Дубна, 1985.
36. Агапов Н.Н. ОИЯИ, 8-85-111, Дубна, 1985.
37. Парфенов А.Н., Пилляр А.В. ОИЯИ, P10-85-205, Дубна, 1985.
38. Абдушукурова Г.Г. и др. ОИЯИ, 18-85-129, Дубна, 1985.
39. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-85-101, Дубна, 1985.
40. Абдушукуров Д.А. и др. ОИЯИ, 18-85-391, Дубна, 1985.