

# ДУБНА · 1984

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экз. чит. зала

Л 29



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1984 · DUBNA

# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Усилия коллектива концентрировались на фундаментальных исследованиях строения материи на кварк-глюонном уровне, постановках экспериментов, влияющих на построение теории сильных взаимодействий на основе квантовой хромодинамики, на создании необходимых условий проведения экспериментов для больших коллективов физиков стран-участниц ОИЯИ.

В 1984 году получили дальнейшее развитие представления об атомном ядре как о кварк-глюонной системе, ряд новых экспериментальных результатов получен на синхрофазотроне ОИЯИ, синхротронах ИФВЭ и ЦЕРНа.

Выполнен большой объем работ по созданию адронного калориметра установки ДЕЛФИ.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

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

1. На установке БИС-2 продолжалось исследование очарованных  $\Lambda_c^+$ -барионов, образующихся при взаимодействии нейтронов с энергией 40-70 ГэВ с различными мишенями. Проведен безмодельный анализ характеристик рождения  $\Lambda_c^+$  по двум каналам распада:

- 1)  $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^- \pi^+$ ,
- 2)  $\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-$ .

Найдено, что инвариантное сечение, описываемое соотношением

$$E \frac{d^3\sigma}{dp^3} \sim \exp(-\mathbf{V} \cdot \mathbf{p}_1) \cdot (1-x)^n$$

( $\mathbf{p}_1$  - перпендикулярный импульс,  $x$  - масш-

Расширились возможности вычислительного центра лаборатории. Развивалась методика эксперимента, выполнен ряд разработок новой электронной, детектирующей и криогенной аппаратуры, в том числе и для прикладных целей.

Синхрофазотрон успешно эксплуатировался как ускоритель релятивистских и поляризованных ядер, велась модернизация отдельных его систем.

Исследовались сверхпроводящие элементы и системы с магнитным полем, формируемым железом — системы типа "Дубна", для ускорителей.

Деятельность Лаборатории высоких энергий осуществлялась в условиях эффективно-го международного сотрудничества.

табная переменная), имеет параметры  $V = (2,5 \pm 0,6) (\text{ГэВ}/c)^{-1}$  и  $n = 1,5 \pm 0,5^{1/}$ .

Впервые наблюдалась асимметрия вылета  $\Lambda^0$  и  $p$  в распадах  $\Lambda_c^+$  по каналам (1) и (2) относительно плоскости рождения  $\Lambda_c^+$ . Величины асимметрии составили  $A(\Lambda^0) = +(0,34 \pm 0,22)$  и  $A(p) = -(0,23 \pm 0,12)$ . Таким образом, получены указания на то, что  $\Lambda_c^+$  рождаются поляризованными.

Получены первые сведения о зависимости сечений рождения  $\Lambda_c^+$  на протонах и ядрах углерода. Показано, что для  $X > 0,5$   $\sigma(n^{12}\text{C}) = \sigma(np) \cdot A^k$ , где  $k = 0,7 \pm 0,2$ .

2. При анализе протон-пропановых взаимодействий обнаружено событие, которое интерпретировано как распад по каналу слабых взаимодействий связанного шестикваркового состояния на  $\Sigma^-$ -гиперон и протон. Масса кандидата в стабильный дибарион (Н-дигиперон) равна  $(2170 \pm 1,3) \text{ МэВ}/c^2$ ,

время жизни  $0,676 \times 10^{-10}$  с, сечение образования протонами с импульсом 11 ГэВ/с в пропане — 83 нб <sup>3/</sup>.

На большей статистике подтверждены ранее обнаруженные особенности в спектрах эффективных масс систем с экзотическими квантовыми числами:  $\Lambda p$ ,  $pp$ ,  $p\pi^+\pi^+(p\pi^-\pi^-)$ ,  $\pi^-\pi^-$ .

3. Проведен анализ механизма реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow ppp +$  (нейтральные частицы) при импульсе 8,6 ГэВ/с <sup>4/</sup>. Показано, что реакция идет главным образом через двухкратное взаимодействие протона с нуклонами ядра  ${}^4\text{He}$ , полное сечение  $\sigma_{\text{tot}} = (10,29 \pm 0,19)$  мб, сечение полного прямого безмезонного развала ядра  ${}^4\text{He}$ :

$$\sigma_{\text{dir}} ({}^4\text{He} \rightarrow pppp) = (4,85 \pm 0,17) \text{ мб.}$$

Отмечено усиление азимутальных корреляций протонов в реакции с перезарядкой, что может служить указанием на необходимость учета взаимодействий, идущих через  $\Delta_{3,3}$ -изобару в промежуточном состоянии.

4. На материалах установки "Людмила" изучались взаимодействия антидейтронов с дейтронами и протонами при импульсе 12,2 ГэВ/с.

На основе анализа ~7500  $\bar{d}d$ -взаимодействий определены топологические сечения  $\sigma_n$ , средние множественности заряженных частиц  $\langle n \rangle$ , отношение  $\langle n \rangle / D$  ( $D$  — стандартное отклонение), функция корреляции  $f_2^-$  и KNO-распределение для  $\bar{d}d$ -взаимодействий при 12,2 ГэВ/с и  $\bar{p}p$ -аннигиляции при 6,1 ГэВ/с. Для последнего процесса получены значения  $\langle n \rangle = 4,67 \pm 0,05$  и  $\langle n \rangle / D = 2,20 \pm 0,04$ . В случае многонуклонных  $\bar{d}d$ -взаимодействий значения  $\langle n \rangle$  и  $\langle n \rangle / D$  на 30% выше <sup>5/</sup>. Проведена оценка нижней границы сечения полной аннигиляции антидейтрона с дейтроном  $\sigma_{\text{ан}}^{\bar{d}d} > 0,12$  мб.

На статистике ~8500  $\bar{d}p$ -событий проведен анализ упругих  $\bar{p}p$ -взаимодействий при 6,1 ГэВ/с в реакции  $\bar{d}p \rightarrow \bar{p}p$ . Полное сечение этого канала реакций  $(10,4 \pm 0,7)$  мб и зависимость дифференциального сечения по квадрату переданного импульса согласуются с расчетами по модели Глаубера. Для упругого сечения  $\bar{p}p$ -взаимодействий наклон дифракционного конуса  $b = 12,7 \pm 1,3$  в области  $|t| < 0,2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> согласуется с величиной параметра  $b$  для  $\bar{p}p$ -взаимодействий при близких энергиях. Этот результат не подтверждает наблюдавшегося ранее отличия величины  $b$  (из данных  $\bar{p}p$ -взаимодействий), определенной для  $\bar{p}p$ -взаимодействий <sup>6/</sup>.

## РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1. Сформулирован критерий, выделяющий область кинематических переменных, в которой адроны утрачивают роль квазичастиц ядерной материи:

$$b_{ik} = -\left(\frac{p_i}{m_i} - \frac{p_k}{m_k}\right)^2 \geq 5,$$

где  $p_i$  — 4-импульсы частиц с массой  $m_i$ , участвующих в реакции <sup>7/</sup>. Условие для первичных частиц  $b_{\text{II I}} > 5$  говорит о том, что энергия на нуклон взаимодействующих ядер должна превышать величину 4 ГэВ, начиная с которой и наступает предельная фрагментация.

Таким образом, критериями, выделяющими кварковые степени свободы в кумулятивном рождении частиц, являются два условия:  $b_{\text{II I}} > 5$ ,  $X > 1$ . ( $X$  — масштабная переменная — отношение энергии рожденной частицы к первичной энергии). В области  $10^{-2} < b_{ik} < 5$  происходит переход от преобладания нуклонных к преобладанию кварк-глюонных степеней свободы в релятивистских ядерных столкновениях.

2. Экспериментальные данные для отношения выходов  $K^+/K^-$ -мезонов в кумуля-

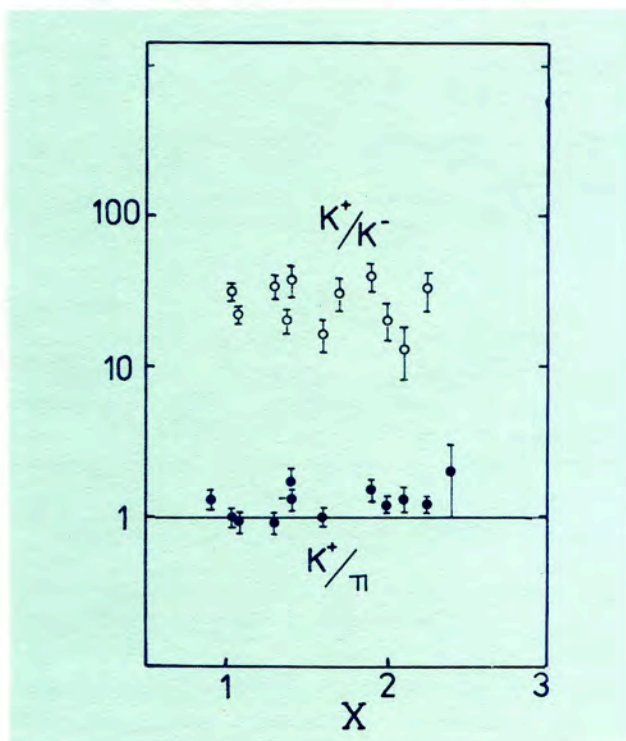


Рис.1. Относительные выходы кумулятивных  $\pi^-$ - и K-мезонов в протон-ядерных взаимодействиях при импульсе налетающих протонов 9 ГэВ/с.

тивных протон-ядерных взаимодействиях (рис.1) указывают на то, что распределение морских кварков в области  $X > 1$  отличается от распределения по импульсу валентных кварков на константу  $S(X) = (1/50) U(X)^{1/8}$ .

На материалах, полученных с помощью установки ДИСК-2, определены  $A$ -зависимости сечений кумулятивных пионов при  $X=1,3$  и  $X=2,1$  (рис.2а,б) в протон-ядерных взаимодействиях при  $P = 9$  ГэВ/с. Были выполнены две серии измерений. Первая соответствовала импульсу пиона 500 МэВ/с и углу эмиссии  $168^\circ$ , вторая — импульсу 800 МэВ/с и углу эмиссии  $162^\circ$ . В качестве мишеней использовались

в I серии:  ${}^6\text{Li}$ ;  ${}^7\text{Li}$ ; Be, C, Mg; Al; Si;  ${}^{54}\text{Fe}$ ;  ${}^{56}\text{Fe}$ ;  ${}^{58}\text{Fe}$ ;  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{61}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ , Cu,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{112}\text{Sn}$ ,  ${}^{118}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ ,  ${}^{144}\text{Sm}$ ,  ${}^{154}\text{Sm}$ ,  ${}^{182}\text{W}$ ,  ${}^{186}\text{W}$ , Pb, U;

во II серии:  ${}^6\text{Li}$ , Be, C, Al, Cu,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ , Sn, W, Pb.

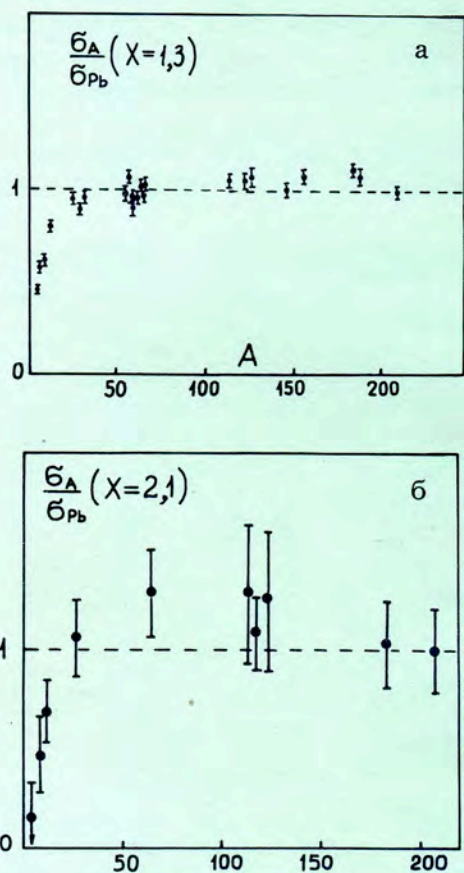


Рис.2.  $A$ -зависимости отношения сечений образования кумулятивных пионов в протон-ядерных взаимодействиях при  $p = 9$  ГэВ/с: а) при значении  $X=1,3$ ; б)  $X=2,1$ .

Зависимость отношения сечений на нуклон от атомного веса ядра при  $X=1,3$ , а именно рост сечения с увеличением  $A$ , при  $A \gtrsim 30$  отличается от зависимости, полученной в СЛАК для  $X < 1$ , где с ростом  $A$  отношение сечений (структурных функций) уменьшается. Это обстоятельство указывает на смену механизма взаимодействия при переходе в кумулятивную область. Между тем характер  $A$ -зависимости отношения сечений  $\sigma_A/\sigma_{Pb}$  при  $X=2,1$  остался таким же, как и при  $X=1,3$ , несмотря на уменьшение абсолютных величин сечений примерно в 500 раз.

3. Предложено релятивистски-инвариантное описание множественных процессов при столкновениях адронов и ядер в пространстве относительных 4-скоростей  $b_{ik}^{10/}$ . Основная цель перехода к переменным  $b_{ik}$  вместо обычных переменных (импульсы, энергии) состоит в том, что при  $b_{ik} \gg 1$  функция распределения  $F(b_{I\ II}, b_{I\ I}, b_{I\ 2}, \dots, b_{II\ I}, b_{II\ 2}, \dots, b_{1\ 2}, \dots)$ , соответствующая инвариантному сечению образования  $n$ -частиц, монотонно и достаточно быстро убывает с ростом  $b_{ik}$ . Это

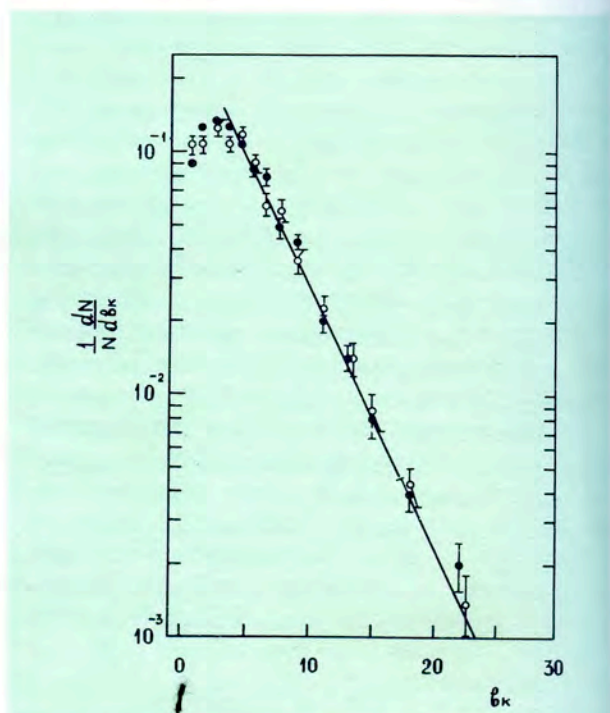


Рис.3. Распределение  $\pi^-$ -мезонов по величине  $b_k$  в струях, образующихся в  $\pi^-$ -С-взаимодействиях при  $p = 40$  ГэВ/с: (●) — в области фрагментации мишени, (○) — летящих по направлению движения первичного  $\pi^-$ -мезона. Прямая линия — результат аппроксимации экспоненциальной зависимости.

свойство можно представить как принцип ослабления корреляций, предложенный Н.Н.Боголюбовым в статистической физике. На этой основе дано новое релятивистски-инвариантное определение понятия струи вторичных частиц вместо традиционного /11/ с помощью переменных "сферисити", "траст" и др. На рис.3 приведено распределение  $\pi^-$ -мезонов по  $b_k$  в струях, образующихся в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при импульсе пиона 40 ГэВ/с. Видно, что распределения по переменной  $b_k$  для обеих струй (в области фрагментации ядра и в области фрагментации  $\pi^-$ -мезона) совпадают в пределах экспериментальных ошибок. В области  $b_k \geq 4$  распределения  $\pi^-$ -мезонов  $dN/db_k$  в обеих струях описываются экспоненциальной функцией  $F(b_k) = A \cdot \exp(-b_k/\langle b_k \rangle)$ , со средним значением  $\langle b_k \rangle \approx 4$ .

4. Изучение характеристик  $K^0$ -мезонов и  $\Lambda$ -гиперонов, образующихся в процессах фрагментации кварков и дикварков в  $\pi^-p$ - и кумулятивных  $\pi^-C$ -взаимодействиях при  $P = 40$  ГэВ/с, показало, что функции фрагментации кварков в  $K^0$ -мезоны и  $\Lambda$ -гипероны подобны функциям фрагментации в  $e^+e^-$ -аннигиляции (рис.4а,б). Функции фрагментации дикварков одинаковы для  $\pi^-p$ - и кумулятивных  $\pi^-C$ -взаимодействий. Тем самым показана универсальность фрагментации кварков и дикварков в мягких и жестких процессах /12-14/.

На 2-метровой пропановой камере продолжалось исследование свойств кумулятивных адронов (протонов и пионов) в  $pC$ -взаимодействиях при 10 ГэВ/с /15/. Изучение зависимости инвариантных инклюзивных сечений их образования от кумулятивного числа и анализ спектров сопутствующих пионов и протонов, испущенных в заднюю полусферу л.с.к., приводит к выводу о независимости процессов испускания кумулятивных протонов и пионов.

Продолжалось исследование ядро-ядерных взаимодействий при импульсе налетающего ядра 4,2 ГэВ/с на нуклон. В  $C + Ta$ -соударениях анализировались характеристики протонов с импульсом  $P \geq 0,7$  ГэВ/с и некоторые свойства  $\pi^-$ -мезонов в зависимости от кумулятивной переменной /16/.

Исследовались корреляционные эффекты в неупругих взаимодействиях ядер  $d$ ,  $^4He$ ,  $C$  с ядрами углерода и тантала. Получено указание на образование дипротонных резонансов в центральных  $CC$ -взаимодействиях.

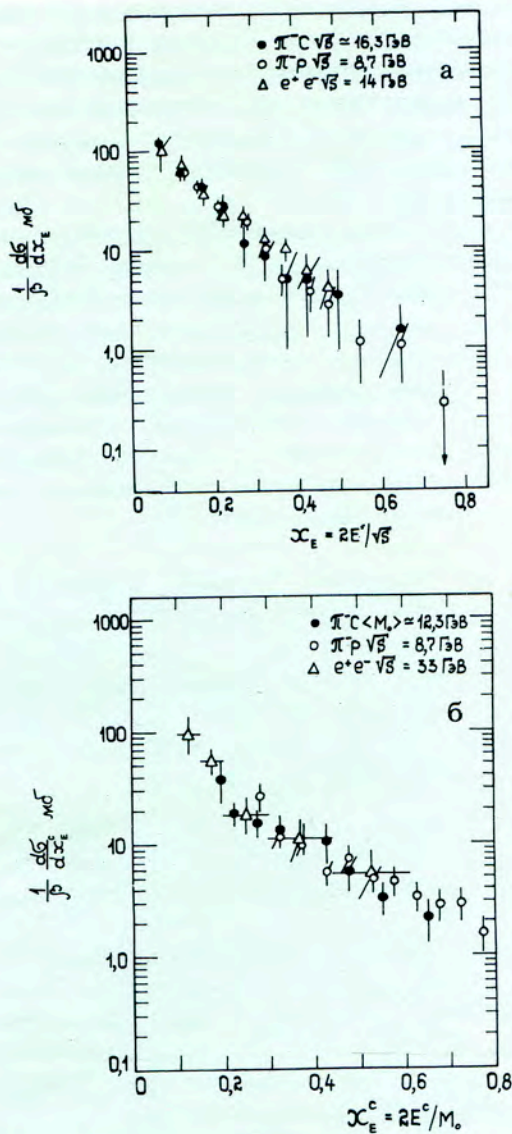


Рис.4. Зависимость инвариантных сечений образования странных частиц (а — для  $K^0$ -мезонов, б — для  $\Lambda$ -гиперонов) в различных взаимодействиях от доли энергии, уносимой ими.

Получены оценки температуры ( $T \approx 200$  МэВ) и плотности ( $\rho/\rho_0 \approx 2$ ) в многонуклонных центральных  $CC$ -взаимодействиях. Наблюдался эффект коррелированного испускания групп тождественных  $\pi$ -мезонов, обусловленный образованием мультиизобарных состояний в многонуклонных взаимодействиях ядер /17/.

Сравнительный анализ неупругих  $pC$ -,  $dC$ -,  $aC$ - и  $CC$ -взаимодействий показал /18/, что их общие характеристики удовлетворительно описываются в рамках дубненского варианта каскадной модели. Экспериментальные данные по множественности и отношениям инклюзивных сечений  $\pi^-$ -мезонов в  $dC$ -,  $aC$ - и  $CC$ -взаимодействиях

правильно воспроизводятся моделью многократного рассеяния. Характер зависимости импульсных и угловых характеристик  $\pi^-$ -мезонов и протонов от кумулятивной переменной одинаков для разных типов сталкивающихся ядер и имеет подобный вид для пионов и протонов <sup>/19/</sup>.

Продолжался анализ СТА-взаимодействий с образованием  $\Lambda$ - и  $K^0$ -частиц. В этих событиях наблюдается в среднем в 1,5 раза бóльшая средняя множественность заряженных частиц, чем во всех неупругих СТА-событиях. Существенного увеличения выхода странных частиц относительно выхода  $\pi^-$ -мезонов по сравнению с соответствующими отношениями для нуклон-нуклонных взаимодействий не обнаружено <sup>/20/</sup>.

5. На установке "Альфа" получены новые данные о сечении реакции перезарядки гелия-3 в тритий при импульсе  $P=18,3$  ГэВ/с, подтвердившие сделанный ранее вывод о существенной роли коллективных эффектов в реакции перезарядки с возбуждением изобар.

6. На спектрометре ядер отдачи исследовалась фрагментация ядер Be, C, Al, Cu, Ag, Au в пучке  $\alpha$ -частиц с энергией 3,33 ГэВ/с. Измерены двойные дифференциальные сечения образования изотопов водорода и гелия в области фрагментации ядра-мишени под углами 45, 90, 135°. Для описания данных развивалась термодинамическая модель с движущимся источником внутри ядра. Показано, что в области энергий фрагментов ( $E_\phi$ ) меньше 50 МэВ существенный вклад вносит механизм испарения. При рассмотрении отношения выхода  ${}^3\text{H}_1$  к выходу  ${}^3\text{He}_2$  обнаружено, что оно больше, чем отношение количества нейтронов к количеству протонов в испускающей фрагменты системе. Анализ функции  $R = \sigma_{{}^3\text{H}_1} / \sigma_{{}^3\text{He}_2} = R(E_\phi)$  показал, что фрагменты  ${}^3\text{H}_1$  и  ${}^3\text{He}_2$  "чувствуют" полное кулоновское поле ядра-мишени <sup>/21/</sup>.

Анализ полученных и имеющихся литературных данных в рамках модели слипания показал, что область формирования фрагментов имеет размер  $\sim 3,2$  фм и не зависит от ядра-мишени и от налетающего ядра <sup>/22/</sup>.

7. Проведено облучение фотоэмульсий (обычных и с повышенной концентрацией ядер свинца) ядрами магния и кремния с импульсом 4,5 ГэВ/с. Выделено более 100

событий полного разрушения ядер свинца.

При изучении взаимодействий релятивистских ядер неона-22 с ядрами фотоэмульсий показано, что коэффициент неупругости в случае полного разрушения тяжелых ядер существенно зависит от массы

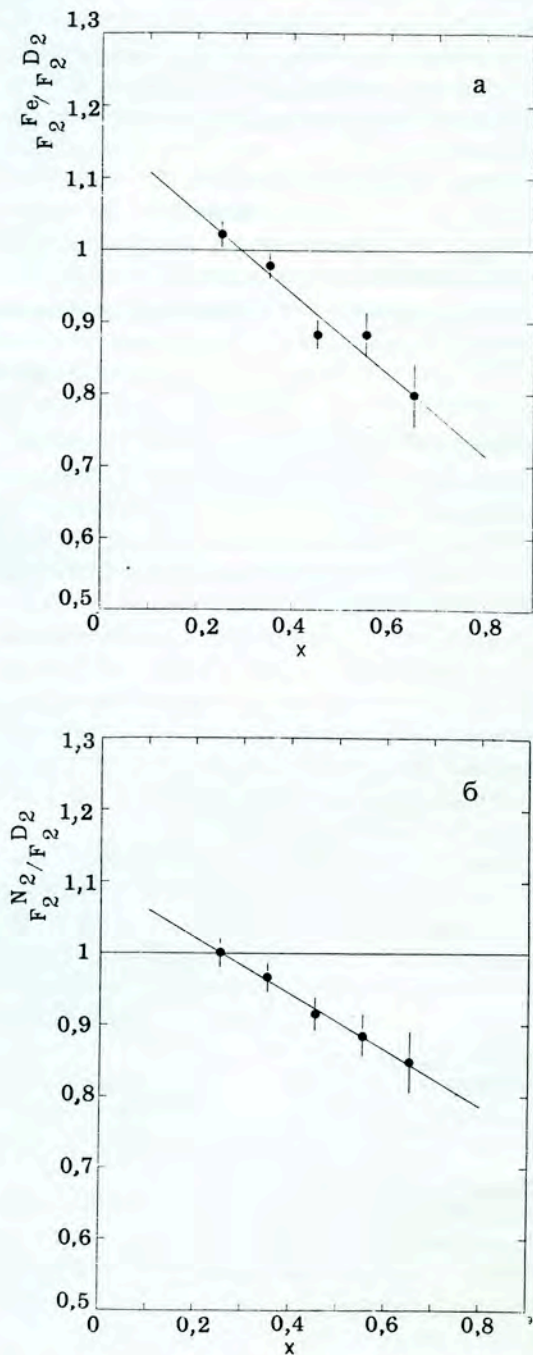


Рис.5. Отношение структурных функций нуклонов, полученное в экспериментах по глубоконеупругому рассеянию мюонов с энергией 280 ГэВ: а) в опытах с железной и дейтериевой мишенями, б) в опытах с азотной и дейтериевой мишенями.

ядра-снаряда при одинаковой величине энергии на нуклон. Получено указание на проявление эффекта "отскока" фрагментов ядра-снаряда<sup>/23/</sup>.

8. В совместном ОИЯИ-ЦЕРН эксперименте на установке NA-4 по глубоконеупругому рассеянию мюонов с энергией 280 ГэВ на ядрах дейтерия, азота и железа показано<sup>/24/</sup>, что отношение структурных функций нуклонов, полученное в опытах с железной и дейтериевой мишенями, а также азотной и дейтериевой мишенями, для фиксированного значения масштабной переменной  $X$  не зависит от квадрата переданного 4-импульса  $Q^2$ . Убывание отношения структурных функций с ростом  $X$  в пределах  $0,2 \leq X \leq 0,7$  и  $50 \leq Q^2 \leq 200 \text{ ГэВ}/c^2$  хорошо описывается линейным законом  $R = a + bX$  с параметрами:  $a = 1,16 \pm 0,03$ ,  $b = -0,56 \pm 0,08$  для  $Fe/D_2$  и  $a = 1,10 \pm 0,04$ ,  $b = 0,39 \pm 0,09$  для  $N_2/D_2$  (рис.5а,б).

Для согласования (в области  $X < 0,4$ ) данных по исследованию отношения структурных функций нуклонов, полученных в глубоконеупругих электрон-ядерных и мюон-ядерных реакциях, предложено<sup>/25/</sup> использовать при анализе еА-рассеяния зависимость отношения сечений продольных  $\sigma_L$  и поперечных  $\sigma_T$  виртуальных фотонов от атомного веса ядра  $A$  в виде:  $R(A) = \sigma_L / \sigma_T = aA^{1/3}$  с параметром  $a = 0,08$ .

## РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1. Выполнен большой комплекс работ по созданию базы для серийного изготовления и методических исследований детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ.

Проведено моделирование развития и поглощения ядерно-электромагнитных ливней в железе, изучены некоторые характеристики пластиковых стримерных трубок<sup>/26,27/</sup>.

Для методических исследований по проекту ДЕЛФИ впервые в мировой ускорительной практике на синхрофазотроне осуществлен вывод ускоренного пучка протонов из вакуумной камеры ускорителя с помощью кристаллического дефлектора<sup>/28/</sup>. Отклонение пучка на угол  $\sim 35$  мрад обеспечивала пластинка кремния размерами  $11 \times 10 \times 0,4 \text{ мм}^3$ , установленная в первом прямолинейном промежутке ускорителя (рис.6). Эффективность вывода составила  $\sim 10^{-4}$  и определялась в основном соотношением поперечных размеров пучка и кристалла.

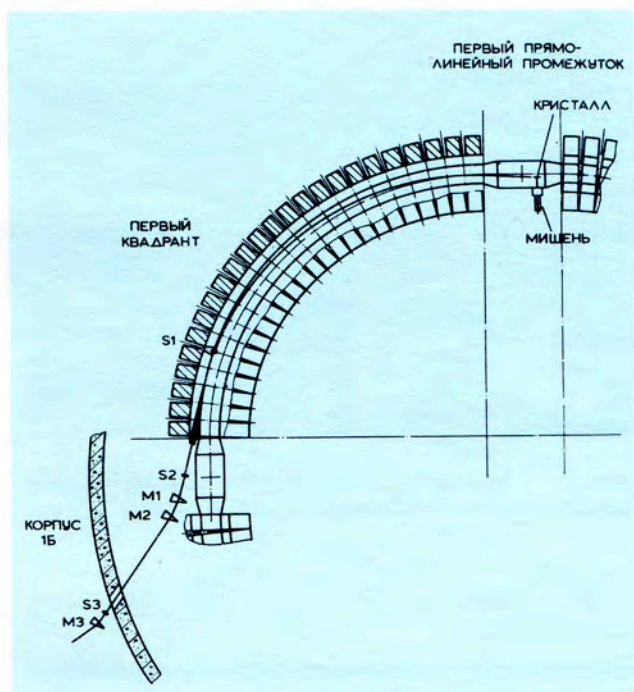


Рис.6. Схема эксперимента по выводу пучка из синхрофазотрона с помощью изогнутого монокристалла:  $S_1-S_3$  — сцинтилляционные счетчики,  $M_1-M_3$  — магниты канала транспортировки пучка.

2. Введена в эксплуатацию установка "Резонанс" — стримерная камера с жидководородной мишенью в магнитном поле. Начат набор рабочей статистики.

3. Полностью введена в действие новая ЭВМ ЕС-1055М. ЭВМ ЕС-1040 и ЕС-1055



Введена в эксплуатацию новая ЭВМ ЕС-1055 в комплексе с ЕС-1040.



Создана и интенсивно используется первая очередь терминальной сети комплекса ЕС-1055/1040.

объединены в вычислительный комплекс, разработано специализированное математическое обеспечение. Расширена сеть удаленных терминалов, работающих с комплексом ЕС-1040/1055М.

Введена в эксплуатацию единая унифицированная система процедур для ЕС ЭВМ. Разработаны комплекс аппаратурных средств, обеспечивающий подключение экспериментальных установок к вычислительному комплексу ЛВЭ через буферную микро-ЭВМ "Электроника-60", и унифицированная система программ сбора данных.

4. Для улучшения характеристик спектрометра БИС-2 создана система идентификации заряженных вторичных частиц, состоящая из двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков (МПГЧС-1

и МПГЧС-2) с наполнением воздухом и фреоном-12 при атмосферном давлении. Счетчик МПГЧС-1<sup>/29/</sup> 7-канальный, длина радиатора 270 см, используются тонкие эллиптические зеркала размерами 70x17,5 см<sup>2</sup> с радиусами кривизны 200 и 141 см в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Эффективность регистрации заряженных частиц для  $\beta \geq 0,9998$  составляет  $\geq 98\%$ . Счетчик МПГЧС-2<sup>/30/</sup> 14-канальный, длина радиатора 150 см, используются 14 тонких сферических зеркал с радиусом кривизны 200 см. Эффективность при  $\beta \geq 0,995$  составляет  $\geq 98\%$ .

5. В 1984 г. продолжалась разработка и создание блоков электронной аппаратуры для экспериментальных физических установок. Изготовлено, налажено около 200 блоков в стандарте КАМАК. Модернизировано оборудование для изготовления печатных плат.

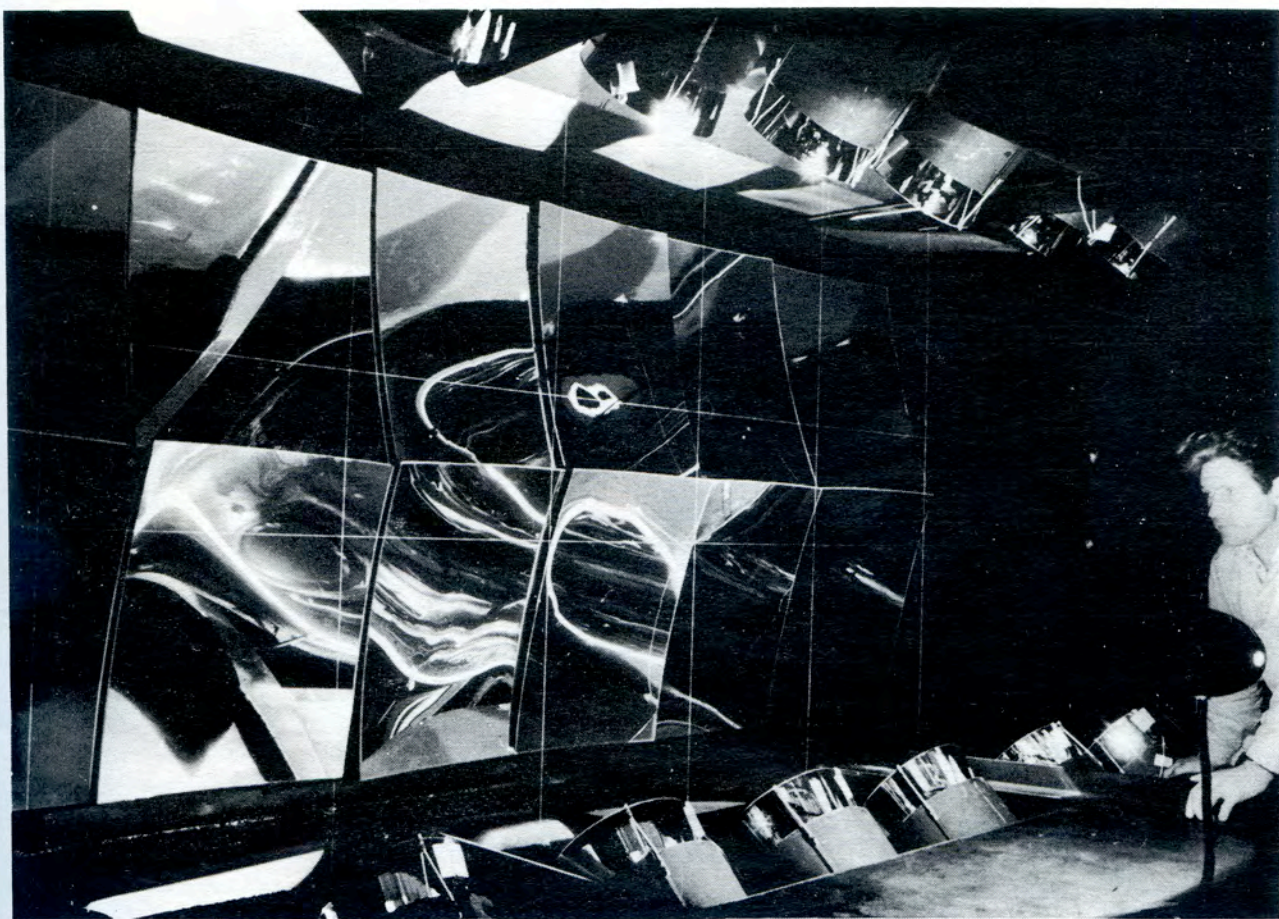
## РАБОТЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ И РАЗВИТИЮ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

1. На синхрофазотроне впервые осуществлено ускорение ядер фтора и кремния. Новые пучки релятивистских ядер использованы в физических экспериментах. Успешно эксплуатировался лазерный источник ионов<sup>/31/</sup>, обеспечивая получение пучков Li, C, O, F, Mg, Si.

При исследовании режимов работы лазерного источника обнаружен так называемый "кратерный эффект", состоящий в увеличении количества ионов и повышении их зарядности после образования в мишенях кратеров (рис.7). Расчеты показывают, что плотность плазмы в кратере выше критической ( $n_{кр} = 10^{19} \text{см}^{-3}$ ), а повышение температуры эквивалентно увеличению плотности на порядок величины<sup>/32/</sup>.

Первая очередь системы криогенной откачки вакуумной камеры синхрофазотрона<sup>/33/</sup> была использована в сеансе ускорения ядер кремния. Интенсивность ускорен-





Многоканальный газовый пороговый черенковский счетчик спектрометра БИС-2.

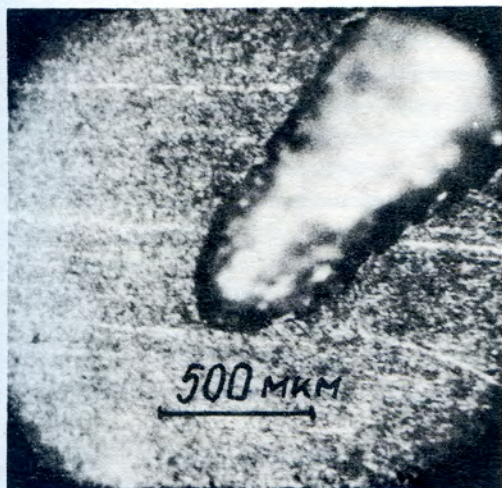
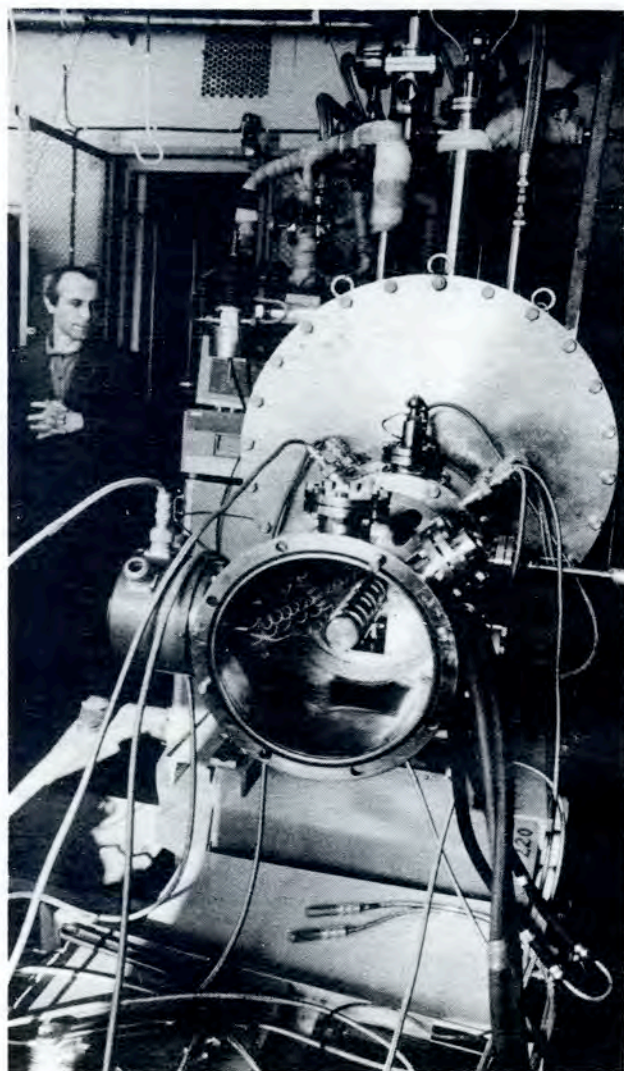


Рис.7. Срез мишени лазерного источника с кратером, образовавшимся в результате испарения металла.

ного пучка ядер при этом увеличивалась примерно в десять раз.

Продолжалось совершенствование источника поляризованных дейтронов "Полярис" и систем поляриметрии  $^{34}/$ . Разработана аппаратура для измерения тензорной поляризации. Создан поляриметр для измерения векторной и тензорной поляризации после линейного ускорителя ЛУ-20 с использованием реакций упругого рассеяния поляризованных дейтронов на ядрах  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ . Векторная поляризация пучка на выходе ЛУ-20 составила 0,5, а тензорная — 0,6.

Продолжалось совершенствование электронно-лучевого метода ионизации: ионизатор КРИОН-2 переведен в режим работы с постоянным током электронного пучка при повышенной энергии; впервые получен пучок ядер криптона; исследованы рабочие характеристики ионизатора КРИОН-3.



На источнике поляризованных дейтронов "Полярис" достигнута степень поляризации пучка дейтронов после линейного ускорителя более 50%.

Выполнялись работы по совершенствованию источников питания систем синхрофазотрона и каналов пучков частиц. Налажена и испытана новая система питания выводного магнита второго направления медленно вывода пучка из камеры синхрофазотрона, обеспечивающая ток до 7 кА с наклоном площадки до 500 А. Разработана, смонтирована и налажена система питания магнитов в здании 205 на основе параллельного включения типовых источников, что позволит увеличить число одновременно работающих каналов.

Разработан ряд новых электронных блоков для системы ускорения пучка на 2-й кратности частоты обращения, совершенствовалась диагностическая аппаратура и системы контроля параметров на линии с ЭВМ.

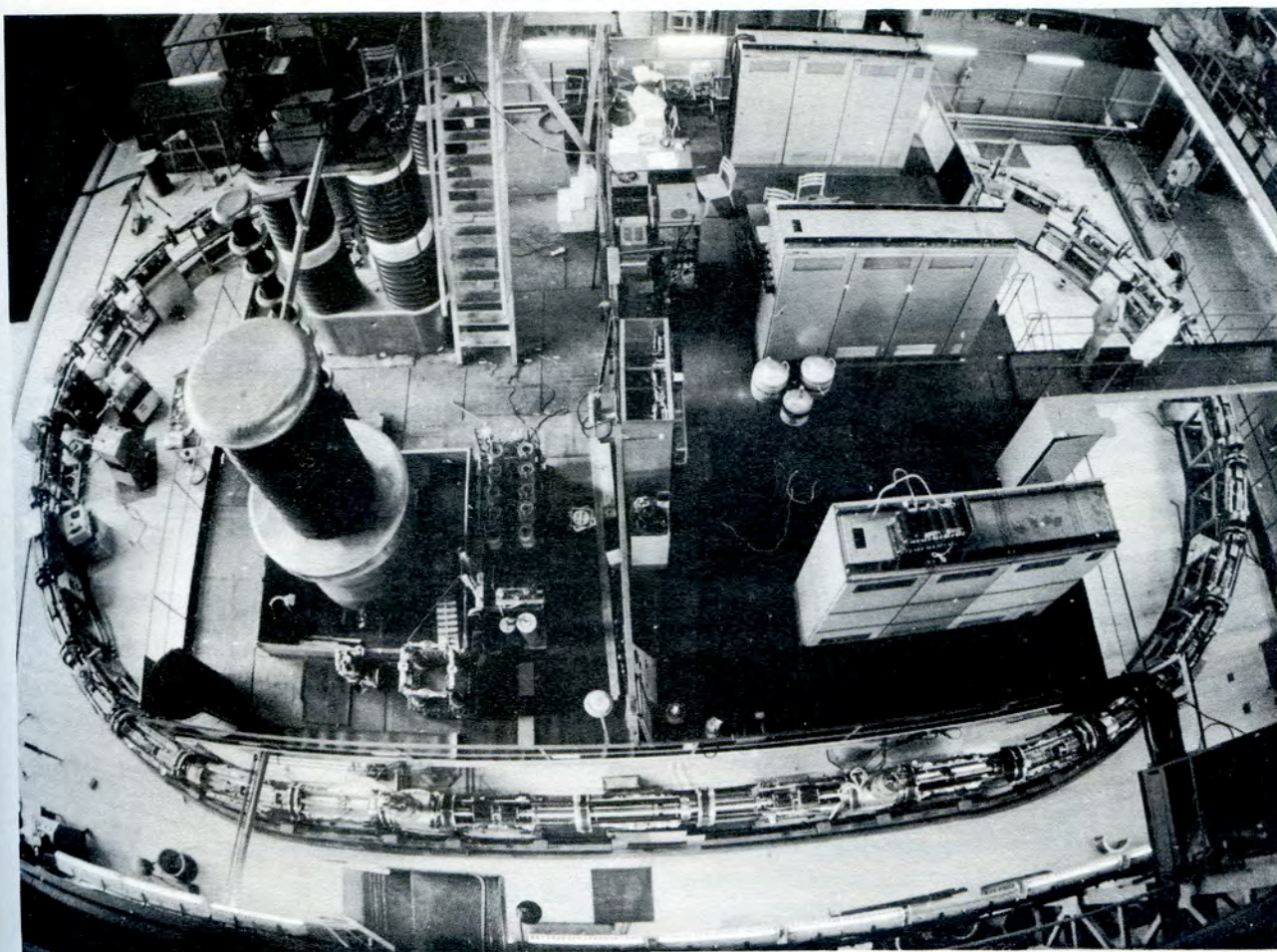
2. Завершена сборка сверхпроводящего модельного синхротрона СПИН. Проводились комплексные испытания работы его систем в "теплом" режиме с пучком. Для обеспечения этих работ смонтировано и налажено оборудование форинжектора на энергию протонов 750 кэВ, устройства ввода пучка в камеру ускорителя, источники стабильного тока для питания элементов магнитной оптики инжекционного канала и магнитов основного кольца, создана аппаратура и программное обеспечение автоматизированной системы контроля и управления параметрами питающих систем, а также ряд модулей аппаратуры диагностики. Изготовлен ряд узлов высокочастотной ускоряющей системы СПИНа.

3. Велись проектные и исследовательские работы по созданию нуклотрона. В двух сеансах комплексных испытаний модифицированного 1,5-метрового дипольного магнита определены его основные тепловые, магнитные и электрические характеристики. Изготовлен сверхпроводящий квадруполь прокачного типа для регулярного периода магнитной системы нуклотрона, исследованы его электрические характеристики. Усовершенствована магнитометрическая аппаратура на базе ЭВМ МERA-60/30.

Получены результаты по исследованиям размерного эффекта и эффекта близости, возникающих в композитных сверхпроводниках<sup>/35, 36/</sup>, т.е. в сверхпроводниках, сечение которых представляет собой двумерную систему чередующихся элементов сверхпроводящего и нормального металлов.

Для определения поглощенной энергии (дозы) от потерь пучка в конструкционных элементах ускорителя, находящихся в переменных магнитных полях и при температуре жидкого гелия, разработаны методика и криогенный калориметрический дозиметр, измерены распределения поглощенной энергии в макете железного ядра магнита при облучении его протонами с энергией 2,5 ГэВ и дейтронами с энергией 7,3 ГэВ<sup>/37/</sup>.

Рассчитаны оптимальные по энергозатратам режимы криогенных гелиевых систем с сателлитными рефрижераторами<sup>/38/</sup>. Для проведения стендовых испытаний полномасштабных магнитов нуклотрона создан и исследован сателлитный рефрижератор



На модельном сверхпроводящем синхротроне СПИН выполнена проводка пучка протонов по кольцу ускорителя в "теплом" режиме. На снимке: вид сверху на ускоритель СПИН.

с избыточным обратным потоком, обладающий номинальной холодопроизводительностью 50 Вт<sup>/39/</sup>. Разработан также ряд других узлов (токовводы, контактные соединения, крепления) для магнитной системы нуклотрона.

#### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Многопроволочные координатные детекторы в сочетании с современной электронной и вычислительной техникой успешно используются в качестве детекторов "изображения" (электронного аналога рентгеновской пленки) в различных областях нау-

ки и техники. Такие системы позволяют значительно уменьшить радиационные нагрузки и обеспечить проведение исследований на качественно новом уровне<sup>/40,41/</sup>.

В 1984 г. Лаборатория высоких энергий ОИЯИ совместно с Институтом кристаллографии АН СССР завершила создание нового, более совершенного рентгеновского дифрактометра КАРД-4 на основе двумерного многопроволочного детектора и гониометра. Прибор создавался для дифракционных экспериментов с белковыми монокристаллами с периодом решетки до 250 Å. Среднее количество регистрируемых дифракционных отражений — 3 тыс. в час, угловое разрешение дифрактометра 0,2°. По своей производительности прибор превосходит советские и зарубежные дифрактометры аналогичного назначения.



Рентгеновский дифрактометр КАРД-4 в Институте кристаллографии им. А.В.Шубникова АН СССР.

Совместно с этим же институтом создан и исследован одномерный координатный детектор для автоматизации рентгеноструктурных экспериментов при сверхвысоких давлениях. Получено координатное разрешение 100 мкм при эффективности регистрации излучения ( $E_\gamma = 8$  кэВ) около 70%.

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

В 1984 г. синхрофазотрон работал 4019 часов, из них:

а) на физический эксперимент —

3081 час (1142 часа в режиме ускорения протонов и 2877 часов — ядер) с достигнутой интенсивностью  $10^{12}$  дейтронов,  $2 \cdot 10^9$  ядер лития-7;  $5 \cdot 10^8$  углерода,  $5 \cdot 10^7$  кислорода;  $1,5 \cdot 10^7$  фтора,  $10^5$  магния,  $10^3$  кремния за один цикл ускорения,

б) на совершенствование систем ускорителя — 522 часа.

На технологическую подготовку затрачено 175 часов. Простои ускорителя из-за отказа оборудования составили 241 час, т.е. 6% от запланированного времени работы ускорителя.

Пучки ускорителя были использованы 20 группами экспериментаторов.

### ЛИТЕРАТУРА \*

1. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, 1-84-457, Дубна, 1984.
2. Алеев А.Н. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №1-84, Дубна, 1984, с.13.
3. Шахбазян Б.А., Кечечян А.О. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №3-84, Дубна, 1984, с.42.
4. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, 1-84-202, Дубна, 1984.

5. Batyunya V.V. et al. JINR, E1-84-790, Dubna, 1984.
6. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, 1-84-776, Дубна, 1984.
7. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 1-84-185, Дубна, 1984.
8. Балдин А.М. и др. В сб.: Труды VII Межд. семинара по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1,2-84-599, Дубна, 1984, с.195.
9. Бондарев В.К. и др. В сб.: Краткие со-

- общения ОИЯИ, №4-84, Дубна, 1984, с.5.
10. Балдин А.М., Диденко Л.А. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №3-84, Дубна, 1984, с.5.
  11. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-84-624, Дубна, 1984.
  12. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-84-79, Дубна, 1984.
  13. Didenko L.A. et al. JINR, E1-84-263, Dubna, 1984.
  14. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-84-205, Дубна, 1984.
  15. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-84-235, Дубна, 1984.
  16. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, P1-84-327, Дубна, 1984.
  17. Agakishiev G.N. et al. JINR, E1-84-448, Dubna, 1984.
  18. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-84-35, Дубна, 1984.
  19. Армутлийский Д. и др. ОИЯИ, P1-84-328, Дубна, 1984.
  20. Йовчев К. и др. ОИЯИ, P1-84-271, Дубна, 1984.
  21. Abashidze L.I. et al. JINR, E1-84-917, Dubna, 1984.
  22. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, 1-84-491, Дубна, 1984.
  23. Вокал С. и др. ОИЯИ, P1-84-552, Дубна, 1984.
  24. Benvenuti A.C. et al. JINR, E1-84-626, Dubna, 1984.
  25. Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №2-84, Дубна, 1984, с.3.
  26. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, 1-84-350, Дубна, 1984.
  27. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, Д1-84-405, Дубна, 1984.
  28. Авдейчиков В.В. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №1-84, Дубна, 1984, с.3.
  29. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, 13-84-373, Дубна, 1984.
  30. Войчишин М.Н. и др. ОИЯИ, 13-84-161, Дубна, 1984.
  31. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, P9-84-246, Дубна, 1984.
  32. Бонч-Осмоловский А.Г., Мончинский В.А. ОИЯИ, P9-84-251, Дубна, 1984.
  33. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 9-84-281, Дубна, 1984.
  34. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, 13-84-20, Дубна, 1984.
  35. Владимирова Н.М. и др. ОИЯИ, P8-84-261, Дубна, 1984.
  36. Владимирова Н.М. и др. ОИЯИ, P8-84-80, Дубна, 1984.
  37. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 16-84-677, Дубна, 1984.
  38. Ангелов Н.Н. ОИЯИ, 8-84-165, Дубна, 1984.
  39. Дьячков Е.И. ОИЯИ, P8-84-548, Дубна, 1984.
  40. Абдушукуров Д.А. и др. ОИЯИ, 18-84-182, Дубна, 1984.
  41. Абдушукуров Д.А. и др. ОИЯИ, P18-84-758, Дубна, 1984.

---

\* Цитируются избранные работы.