

392.3/88

ЛВЭ

ДУБНА · 1987

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1987 · DUBNA

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1987 год для Лаборатории высоких энергий отмечен получением ряда новых научных результатов, вызвавших большой интерес научной общественности, завершением значительных этапов в создании новых экспериментальных установок для работы на пучках синхрофазотрона и синхротрона У-70 ИФВЭ (Протвино), развитии ускорительной базы. В Лаборатории активно велась проработка и обсуждение программы исследований на создаваемом в ИФВЭ ускорительно-накопительном комплексе (УНК), определялись конкретные задачи по проектам первоочередных и последующих экспериментов на встречных пучках

УНК. Выполнены своевременно все предусмотренные работы по проекту DELPHI (LEP, ЦЕРН).

Сделан крупный шаг в создании узлов и систем сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер — нуклотрона. Выполнен ряд новых разработок в области электроники, криогенной техники как для физических экспериментов, так и для прикладных задач. Обеспечена эффективная работа синхрофазотрона на физический эксперимент, реализованы новые режимы его работы.

Деятельность Лаборатории велась в условиях широкого международного сотрудничества.

МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

1. Продолжалась обработка материалов нейтрон-протонных и нейтрон-ядерных взаимодействий, полученных на серпуховском ускорителе с помощью установки БИС-2. Основное внимание было уделено поиску экзотического M_ϕ -бариония. С этой целью участниками сотрудничества проанализировано ~ 10 млн. событий с водородной мишени и более 12 млн. событий взаимодействия нейтронов с ядрами углерода, алюминия и меди. В спектрах эффективных масс систем $\Lambda^0 \bar{p} K^+$, $\bar{\Lambda}^0 p K^-$, $\bar{\Lambda}^0 p K^- \pi^+$, $\Lambda^0 \bar{p} K^+ \pi^\pm$ и $K_s^0 p \bar{p} K^\pm$ наблюдаются сигналы на уровне четырех стандартных отклонений при массе

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

(3250 ± 20) МэВ/с² (рис.1). При использовании дополнительных критериев отбора событий величина сигнала достигает уровня 7 стандартных отклонений. Таким образом, на увеличенной статистике подтверждаются

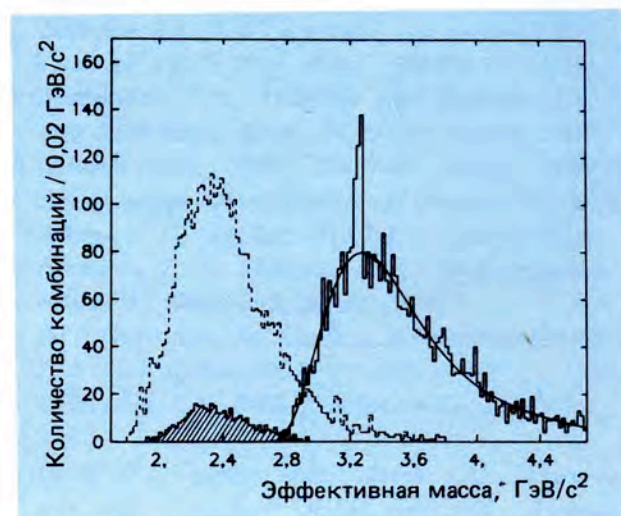


Рис.1. Суммарный спектр инвариантных масс различных каналов реакций по поиску экзотического M_ϕ -бариония.

результаты 1986 года по наблюдению M_{ϕ} -бариония.

Продолжался анализ и опубликованы данные по исследованию на БИС-2 адронного рождения анти-D-мезонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях при энергии 40-70 ГэВ^{1/1}. Анти-D-мезоны наблюдаются по модам распада $\bar{D}^0 \rightarrow K^+ (892) \pi^-$ и $D^- \rightarrow K^+ (892) \pi^- \pi^-$. В кинематической области $x > 0,5$ и $P_T < 1$ ГэВ/с величины инклюзивных сечений на ядро углерода составили $\sigma_{\bar{D}^0} = (28 \pm 14)$ мкб и $\sigma_{D^-} = (26 \pm 13)$ мкб. Инвариантные спектры продольных импульсов могут быть представлены в виде $(1-x)^N$, где $N_{\bar{D}^0} = 1,1 \pm 0,5 \pm 0,4$ и $N_{D^-} = 0,8 \pm 0,4 \pm 0,4$. Для спектров поперечных импульсов, параметризованных в виде $\exp(-V \cdot p_T^2)$, получено

$$V_{\bar{D}^0} = (1,2^{+1,1}_{-0,9}) \text{ (ГэВ/с)}^{-2}$$

и

$$V_{D^-} = (1,8^{+1,3}_{-1,0}) \text{ (ГэВ/с)}^{-2}.$$

Эти данные представляют значительный интерес с точки зрения выяснения энергетической зависимости сечения рождения очарованных частиц.

Проанализировано также более 10 млн. событий с целью наблюдения рождения очарованного бариона Λ_c^+ во взаимодействиях нейтронов со средней энергией ~ 58 ГэВ на водороде. Наблюден рождение Λ_c^+ по двум каналам распада: на $K_s^0 p \pi^- \pi^+$ и $\Lambda^0 \pi^+ \pi^- \pi^+$.

2. Продолжалось комплексное исследование обнаруженных группой Ю.А.Трояна резонансов в системе двух протонов. На материалах, полученных с помощью 1-метровой жидководородной камеры в пучке нейтронов синхрофазотрона, завершено исследование дипротонных резонансов в реакции $pn \rightarrow pp\pi^-$ при импульсах нейтронов 1,25, 1,43, 1,72, 2,23, 3,83 и 5,1 ГэВ/с. Суммарная статистика обработанных событий составляет $\sim 21,5$ тысяч. В диапазоне эффективных масс двух протонов от суммы масс до ~ 3 ГэВ/с² обнаружено около 20 особенностей с ширинами порядка экспериментального разрешения (3,5 МэВ/с²). Наблюдаемые эффекты превышают фон на $3 \div 6$ стандартных отклонений.

С целью поиска узких дипротонных резонансов группой В.А.Никитина проведено 2 сеанса по прецизионному измерению дифференциального сечения упругого pp -рассеяния в интервале энергии пучка 80-200 МэВ (соответствующий интервал массы дипротона составляет $M_{pp} = 1930 \div 1980$ МэВ). При этом достигнуто рекордное разрешение по массе ($\Delta M_{pp} = 0,2$ МэВ) за счет высокой степени монохроматичности внутреннего пучка синхрофазотрона (0,2%) и высокой точности измерения магнитного поля ускорителя ($\Delta H = 1$ Гс). В экспериментах зарегистрировано ~ 3 млн. событий упругого pp -рассеяния и столько же событий упругого pd -рассеяния, которое служило монитором светимости внутренней мишени. Предварительная обработка данных показала, что методические цели эксперимента достигнуты. Вклад искомым резонансов в упругое pp -рассеяние не превышает 6%.

Продолжалась обработка снимков с 2-метровой пропановой камеры, облученной дейтронами с импульсом 1,25 ГэВ/с на нуклон, с целью поиска резонансов в системе ppu . В энергетическом спектре γ -квантов обнаружены статистически значимые пики в районах 30 и 60 МэВ/с, что не противоречит гипотезе γ -переходов между разными возбужденными дибарионными состояниями.

3. На материале, который получен при облучении 2-метровой жидководородной камеры "Людмила", снабженной внутренней трековчувствительной дейтериевой мишенью, в пучках сепарированных дейтронов и антидейтронов на ускорителе У-70 ИФВЭ, проводились исследования характеристик неупругих взаимодействий дейтронов и антидейтронов с дейтронами при импульсе 12,2 ГэВ/с^{1/2,3}. Получены распределения по множественности заряженных частиц в неупругих dd - и $\bar{d}\bar{d}$ -взаимодействиях. Исследованы одночастичные инклюзивные спектры π^\pm -мезонов и антибарионов в $\bar{d}\bar{d}$ -взаимодействиях с целью определения влияния многократных процессов. Инклюзивные сечения образования π^- -мезонов и антибарионов в $\bar{d}\bar{d}$ -взаимодействиях при 12,2 ГэВ/с равны $(107,2 \pm 2,0)$ мб и $(64 \pm 3,1)$ мб соответственно. Показано, что влияние многократных процессов наиболее ярко проявляется в инвариантном x -распре-

делении π -мезонов, образующихся во фрагментационной области¹⁴.

Проведен анализ образования нейтральных странных частиц (K^0 , Λ , $\bar{\Lambda}$) и γ -квантов в $\bar{d}d$ -взаимодействиях. Полные сечения их образования в $\bar{d}d$ -взаимодействиях равны $5,69 \pm 1,66$, $3,38 \pm 0,99$, $4,24 \pm 1,12$ и 358 ± 15 мб соответственно¹⁵.

Проведен кинематический анализ $\bar{p}n$ -взаимодействий при 6,1 ГэВ/с. Определены эксклюзивные сечения каналов \bar{p} -реакций, содержащих в конечном состоянии не более одной нейтральной частицы, в том числе и канала $\bar{p}n$ -аннигиляции. Совместный анализ данных по $\bar{p}p$ - и $\bar{p}n$ -соударениям с использованием изоспиновой симметрии позволил впервые безмодельным образом определить топологические сечения каналов аннигиляции $\bar{p}p$ ($\bar{p}n$) $\rightarrow \pi$ -мезоны¹⁶.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

1. В последние несколько лет в Лаборатории проведен анализ обширного фильмового материала по адронным, адрон-ядерным и ядро-ядерным взаимодействиям в широком диапазоне энергий — от 4 до 205 ГэВ на основе общего подхода, разработанного академиком А.М.Балдиным. Были введены релятивистски-инвариантные переменные b_{ik} , имеющие смысл интервалов между частицами i и k в пространстве четырехмерных скоростей. В новых переменных оказалось возможным сформулировать такие общие и универсальные закономерности множественных процессов, как принцип ослабления корреляций, промежуточные асимптотики и др., дать релятивистски-инвариантное описание асимптотических свойств сильно возбужденной материи, включая наиболее характерные особенности множественных процессов, идущих при высоких энергиях (струи, кластеры, изолированные системы, предельная фрагментация).

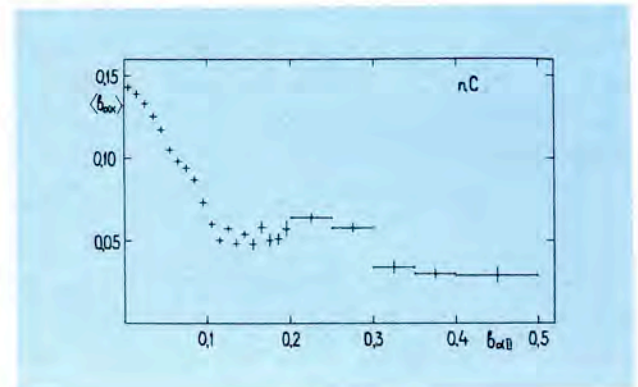
Данный подход имеет целью установление общих динамических закономерностей физики сильных взаимодействий; он не только применяется при описании релятивистских ядерных столкновений, но и дополняет инклюзивный подход к множественным

процессам, так как позволяет использовать всю доступную в эксперименте информацию. Сформулированный принцип автомодельности для инвариантных распределений (сечений) в отличие от фейнмановского скейлинга и принципа автомодельности Матвеева, Мурадяна, Тавхелидзе содержит как масштабно-инвариантные параметры подобия (то есть параметры, инвариантные по отношению к преобразованию импульсов: $p_i \rightarrow \lambda p_i$), так и масштабно-неинвариантные ($b_{ai} \rightarrow \lambda^2 b_{ai}$):

$$W(b_{ai}, b_{\beta i}, b_{a\beta}, \dots) |_{b_{a\beta} \rightarrow \infty} = \frac{1}{b_{a\beta}^m} W_1(b_{ai}, \frac{b_{\beta i}}{b_{a\beta}}, \dots). \quad (1)$$

В прошедшем году проверена выполнимость принципа автомодельности второго рода (I) для нуклонных кластеров. В результате анализа ~ 12 тысяч nC -взаимодействий при импульсе нейтрона 7 ГэВ/с, а также ~ 2 тысяч взаимодействий π^-C ($P = 4$ ГэВ/с) показано¹⁷, что в области $0,01 < b_{ik} < 1$ наблюдаются универсальное поведение сечений и кластеризация распределений по b_{ik} , аналогичные ранее установленному образованию струй адронов в области $b_{ik} \gg 1$ (рис.2). Существенно более обширная информация проанализирована в работе¹⁸. Общая статистика составила $\sim 35,5$ тысяч событий pC -, dC -, CC -, pTa -, dT - и π^-C -взаимодействий в интервале энергий от 4,2 до 40 ГэВ. Было установлено, что существуют два типа нуклонных кластеров, характеризующихся различными свойствами: один имеет среднюю кинетическую энергию протонов в системе покоя ("температуру") $\langle T_1 \rangle = (72 \pm 7)$ МэВ и $\langle b_{11c} \rangle_1 =$

Рис.2. Проявление первой промежуточной асимптотики в nC -взаимодействиях.



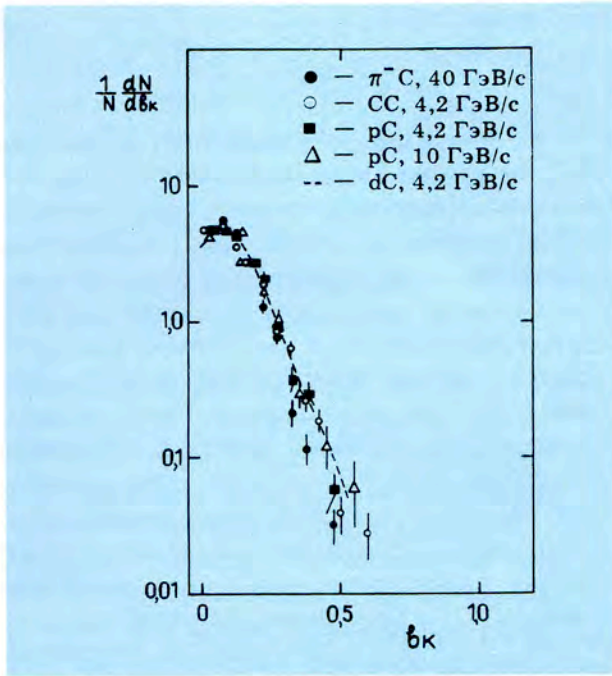


Рис.3. Распределение по инвариантной переменной b_k -протонов, образующихся в pC -, αC -, CC - и $\pi^- C$ -взаимодействиях в интервале от 4,2 до 40 ГэВ/с.

$= 0,14 \pm 0,01$, а второй — $\langle T_2 \rangle = (135 \pm \pm 13)$ МэВ и $\langle b_{11c} \rangle_2 = 0,51 \pm 0,05$ (рис.3). Средний размер протонных кластеров равен $\langle b_k \rangle \approx 3 \times 10^{-1}$, а величина $\langle b_{11c} \rangle \sim 10^{-1}$. Различия между протонными и пионными кластерами составили порядок величины. В пространстве b_{ik} свойства первого кластера имеют универсальный характер, не зависящий ни от типа взаимодействия, ни от его энергии в интервале $7 \leq b_{11} \leq 570$, что является экспериментально наблюдаемым проявлением автомодельности в области малых b_{ik} как обобщение явления, известного под названием "ядерный скейлинг".

Продолжен релятивистски-инвариантный анализ распределения адронных струй в $\pi^- p$ - и $\pi^- C$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с и в pp -соударениях при 205 ГэВ/с¹⁹. Видно, что в этих типах взаимодействий наблюдается преимущественно образование двух струй адронов: одна — в области фрагментации налетающей частицы, а другая — в области фрагментации частицы-мишени. Показано, что распределения пионов в струях по переменной $x_k = b_{\alpha k}/b_{\alpha\beta}$, $b_{\beta k}/b_{\alpha\beta}$, а также по переменной b_k , изучавшейся ранее, имеют универсальный характер в различных типах столкновений в интервале импульсов $40 \div 205$ ГэВ/с.

Таким образом, в целом полученные экспериментальные результаты подтверждают справедливость предложенных критериев для классификации ядерных взаимодействий на основе переменных b_{ik} .

2. На материалах с 2-метровой пропановой камеры выполнен также цикл работ по исследованию кумулятивных процессов, выяснению механизма кумулятивного рождения частиц. Получены данные по угловым и энергетическим характеристикам Λ - и K^0 -частиц, их множественности и особенностях pC -взаимодействий при 10 ГэВ/с, в которых наблюдались эти частицы¹¹⁰. Проанализированы pC -взаимодействия, сопровождающиеся испусканием дейтронов с импульсами от 0,6 до 1,3 ГэВ/с в интервале углов, больших, чем 135° ¹¹¹. Сделана экспериментальная оценка вклада вторичных процессов поглощения в образование протонов, испущенных в заднюю полусферу в нуклон-углеродных взаимодействиях при импульсах 4,2 и 10 ГэВ/с^{112, 113}. Исследовалась зарядовая зависимость спектров эффективных масс $\pi^\pm p$ в кумулятивных $\pi^- C$ -взаимодействиях при импульсе $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с, сопровождающихся полным развалом ядра¹¹⁴.

3. На установке ДИСК-3 завершено измерение инвариантных сечений рождения кумулятивных антипротонов на ядрах свинца и алюминия (угол наблюдения 61° , импульс антипротонов 500 МэВ/с, кумулятивное число $X = 1,47$). Экспериментально показано, что в предположении степенной зависимости сечения от атомного веса: $\sigma \sim A^\alpha$, величина показателя степени A -зависимости составляет $\alpha = 1,00 \pm 0,12$, что указывает на слабое поглощение антипротонов внутри ядра¹¹⁴.

Продолжалась работа по набору статистики с целью определения сечений кумулятивного рождения Δ -изобары и ρ -мезона. В связи с этим проведен ряд методических исследований.

Завершена первичная обработка материалов по кумулятивному пионообразованию на шести типах ядер, полученных с помощью установки СКА в ИФВЭ, с целью исследования A -зависимости сечения рождения кумулятивных π -мезонов в диапазоне энергии первичного пучка $15 \div 61$ ГэВ.

4. С помощью спектрометра "Альфа-3С" на пучках синхрофазотрона получены подробные данные по спектрам фрагментации под нулевым углом релятивистских ядер гелия (${}^3\text{He} \rightarrow d$, ${}^3\text{He} \rightarrow p$, ${}^4\text{He} \rightarrow t$, ${}^4\text{He} \rightarrow p$) в диапазоне импульсов фрагментов вплоть до кинематического предела^{/15,16/}.

Показано, что в области $k \geq 200$ МэВ/с (k — внутренний импульс конstituента фрагментирующего ядра) реальные спектры превышают расчетные. Максимальное отличие наблюдается при $k \approx 350$ МэВ/с и составляет фактор 4 для указанных реакций. С целью получения информации о спиновой структуре дейтрона на малых расстояниях впервые измерена вплоть до $k \approx 500$ МэВ/с тензорная анализирующая способность T_{20} реакции фрагментации выстроенных дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с.

5. На установке МАССЕР с целью исследования А-зависимости инклюзивного рождения π^0 -мезонов проведены пять экспозиций по набору статистики в реакциях $pC \rightarrow \pi^0 X$, $\alpha C \rightarrow \pi^0 X$, $CC \rightarrow \pi^0 X$ при импульсе 4,5 ГэВ/с. Результаты обрабатываются.

На основании анализа ранее полученного на установке "Фотон" материала впервые определено дифференциальное сечение реакции $\pi^- p \rightarrow \eta \Delta^0$ (1232) при $P_{\pi^-} = 3,3$ и 4,75 ГэВ/с в области переданных импульсов от $-t_{\text{min}}$ до 0,37 ГэВ/с²^{/17/}. В дифференциальном сечении обнаружен минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуды с изменением спиральности. Экспериментальные данные фитировались зависимостью

$$d\sigma/dt' = A(1 - gCt)\exp(Ct'),$$

где g — отношение амплитуд рассеяния с переворотом и без переворота спина. Для величин A , g , C найдены следующие значения:

Таблица

P (ГэВ/с)	A $\frac{\text{мкб}}{(\text{ГэВ/с})^2}$	g	C (ГэВ/с) ⁻²
3,3	76 ± 13	$4,0 \pm 1$	$5,5 \pm 1,0$
4,75	40 ± 8	$5,8 \pm 1,6$	$6,5 \pm 0,8$

Рассчитана эффективная траектория Редже для реакции $\pi^- p \rightarrow \eta \Delta^0$ (1232), $\alpha_{\text{эфф}}(t') = (0,49 \pm 0,09) + (0,8 \pm 0,5)t'$.

6. Выполнен ряд работ по исследованию пространственно-временных характеристик источников, излучающих частицы, путем изучения корреляций тождественных адронов. В результате сравнения радиусов области испускания протонов из рТа-взаимодействий при $P_p = 10$ ГэВ/с и взаимодействий легких ядер ($A = p, d, \alpha, C$) с ядрами углерода оказалось, что радиусы области испускания быстрых протонов $\langle r \rangle_{\text{min}} > 0,4$ ГэВ/с меньше, чем радиусы ядер-мишеней, и в этих типах взаимодействий совпадают^{/18/}. Изучены угловые и быстрые характеристики π^0 -мезонов, испускаемых в $\pi^- \text{Xe}$ -взаимодействиях при импульсе 3,5 ГэВ/с. Полученные результаты использованы для определения формы области испускания пионов в этих взаимодействиях^{/19/}.

7. Группой СЯО детально изучалась фрагментация ядер золота в пучках протонов и α -частиц. Исследованный интервал энергии пучка составил $E_p = 2,2 \div 7,5$ ГэВ, $E_\alpha = 1,1 \div 13,5$ ГэВ. Измерены инклюзивные сечения образования фрагментов промежуточных масс ($Z = 5 \div 12$, $A_p \approx 10 \div 24$) в интервале углов $\theta_\Lambda = 40^\circ \div 140^\circ$ и $E_\Phi = 1 \div 10$ МэВ/нуклон^{/20/}. В αAu -взаимодействии для нуклидов Be, C, N наблюдалось отклонение от хорошо установленного в этой области правила предельной фрагментации, то есть соответствующие дифференциальные и полные сечения выхода фрагментов промежуточных масс возрастали с ростом энергии пучка в области выше 6 ГэВ. При этом сечения для фрагментов с $Z \geq 8$ остаются постоянными. Наблюдаемое явление авторы связывают с фазовым переходом типа "газ — жидкость" в возбужденном ядерном веществе. Функция $\tau(E_\alpha)$, определяющая согласно ряду теоретических моделей степенную зависимость сечения образования фрагментов от их массы A_Φ или заряда Z : $\sigma \sim Z^{-\tau(E_0)}$, в данном эксперименте немонотонна и имеет минимум при $E_\alpha \approx 6$ ГэВ. В реакции с протонами $\tau(E_0)$ монотонна.

8. В релятивистских ядро-ядерных столкновениях с помощью спектрометра

Установлено, что величина поляризации P кумулятивных протонов незначительна (порядка нескольких процентов), зависимость от энергии первичного пучка и импульса кумулятивных протонов отсутствует (в пределах ошибок измерений 4-5%). Поляризация в жесткой части спектра (800-1100 МэВ/с) не обнаруживает аномального поведения.

2. Проведен очередной сеанс облучения установок "Альфа-3С" и 1-метровой жидководородной камеры пучками поляризованных дейтронов на синхрофазотроне. Исследование реакции $d\uparrow p \rightarrow pp$ в пучке векторно-поляризованных дейтронов позволило оценить степень векторной поляризации выведенного пучка ($P_z = 0,50 \pm 0,06$), а также начать изучение зарядово-обменных процессов. Получено экспериментальное распределение событий по азимутальному углу нейтрона отдачи в процессе перезарядки $d\uparrow p \rightarrow (pp)n$, которое не согласуется с расчетом в азимутальном приближении с учетом D-волны и без учета двухкратного рассеяния^{12 8 /}.

ЭКСПЕРИМЕНТ NA-4

В результате обработки материалов совместного ОИЯИ—ЦЕРН эксперимента NA-4 на SPS ЦЕРНа по глубоконеупругому рассеянию мюонов на водороде получены новые данные по структурной функции $F_2(x, Q^2)$ протона^{12 9, 3 0 /}, а также отношение $R = \sigma_L / \sigma_T$ сечений поглощения продольно и поперечно поляризованных виртуальных фотонов (рис.4,5). На статистическом материале $\sim 2 \times 10^6$ событий, зарегистрированных при энергиях 100, 120, 200 и 280 ГэВ в кинематической области $0,06 \leq x \leq 0,80$ и $7 \text{ ГэВ}^2 \leq Q^2 \leq 260 \text{ ГэВ}^2$, проведено сравнение наблюдаемых нарушений скейлинга с предсказаниями теории КХД и определен масштабный параметр КХД Λ , а также оценено распределение глюонов в протоне. Наилучшая оценка Λ составила

$$\Lambda = 210 \pm 20 \text{ (стат.)} \pm 60 \text{ (сист.) МэВ,}$$

а соответствующее значение бегущей константы связи

$$\alpha_s = 0,157 \pm 0,003 \text{ (стат.) при } Q^2 = 100 \text{ ГэВ}^2.$$

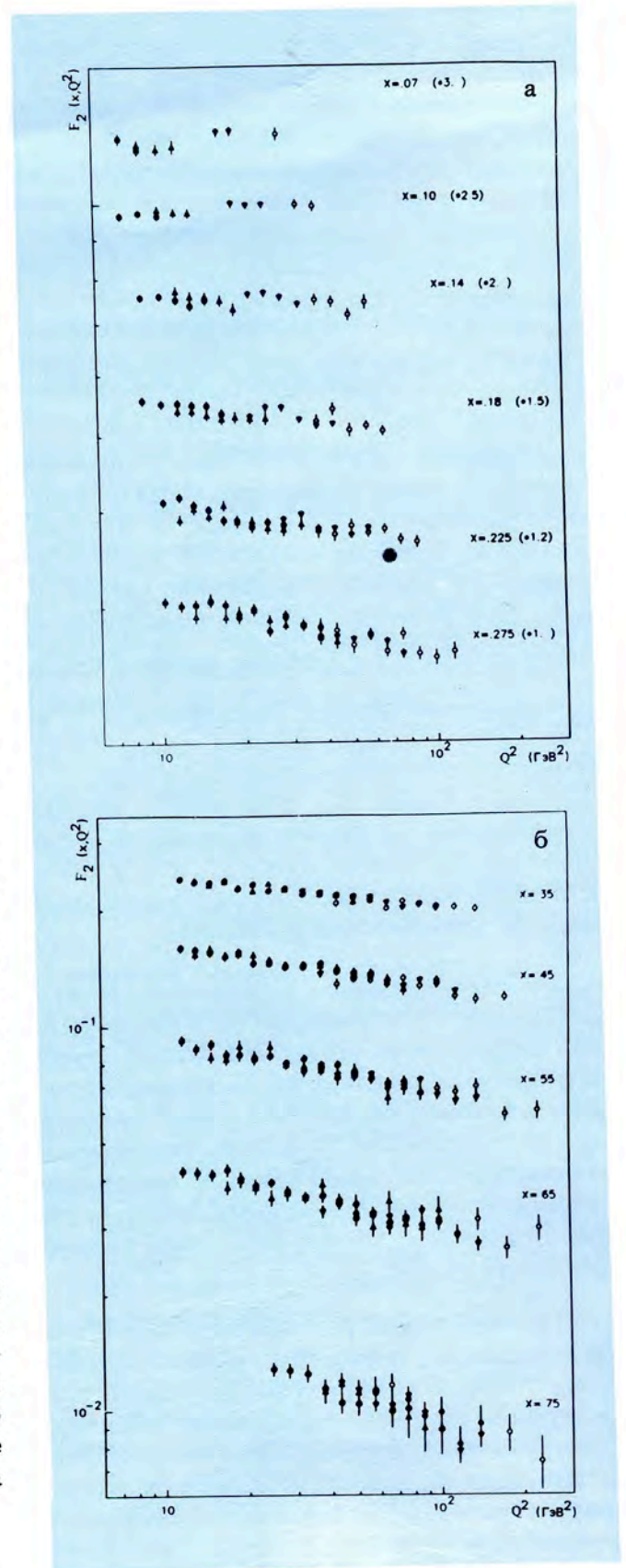


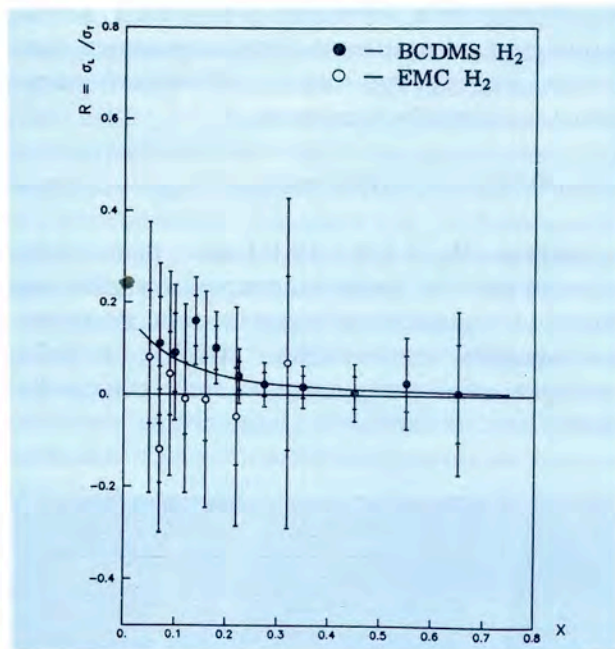
Рис.4. Структурные функции $F_2(x, Q^2)$ протона, полученные в эксперименте NA-4: ● — 100 ГэВ, ▼ — 200 ГэВ, ▲ — 120 ГэВ, ○ — 280 ГэВ. а) $0,07 \leq x \leq 0,275$; б) $0,35 \leq x \leq 0,75$.

Распределение глюонов по импульсу параметризовано в виде

$$xG(x, Q^2) = A(\eta + 1)(1 - x)^\eta,$$

где A — доля полного импульса протона, уносимого глюонами, для которой при $Q^2 = 5 \text{ ГэВ}^2$ получено значение 0,45. Для оценки η были использованы две различные программы КХД-анализа, которые дали хорошо согласующиеся между собой результаты: $\eta = 10,3 \pm 1,5$ и $\eta = 8,4 \pm 1,5$.

Рис.5. Отношение сечений поглощения продольно и поперечно поляризованных виртуальных фотонов.

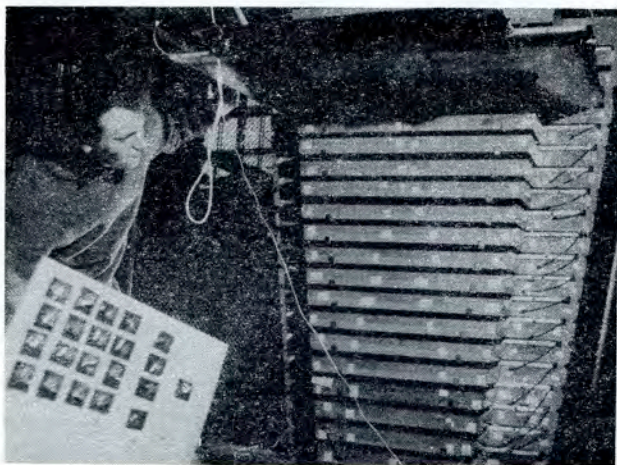


РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ, СОЗДАНИЕ НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В 1987 г. в Лаборатории выполнена значительная работа по созданию и проектированию новых экспериментальных установок, развитию методического обеспечения физических экспериментов.

1. В рамках участия ЛВЭ в подготовке совместного ОИЯИ—ЦЕРН эксперимента DELPHI (LEP, ЦЕРН) завершено изготовление и отправка пластиковых детекторов

Испытание модуля адронного калориметра установки DELPHI на пучке синхрофазотрона.



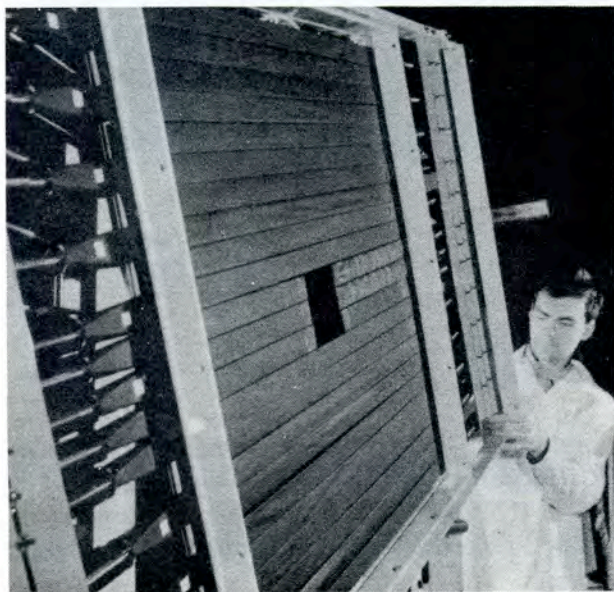
адронного калориметра (АК), а также их сборка в плоскости и монтаж в модули АК в ЦЕРНе. В ЛВЭ на пучке синхрофазотрона проведена сборка полномасштабного модуля цилиндрической части АК для методических исследований. Изучено влияние неточностей, допускаемых при сборке детекторов, показано, что нестабильная работа стримерных трубок с графитовым покрытием катода является результатом технологии нанесения резистивного слоя^{13 14}. Разработана методика восстановления энергии с использованием сигналов от электромагнитного и адронного калориметров.

2. Для эксперимента со струйной поляризованной мишенью на внутреннем пучке УНК (проект "Парус-Нептун") созданы узлы струйной поляризованной мишени с криогенной откачкой. Для более эффективного использования пучка УНК необходимо обеспечить непрерывную откачку объема мишени. С этой целью испытаны турбомолекулярные насосы производительностью 0,5 и 2,5 тысяч литров в секунду. Получен вакуум $\sim 10^{-8}$ Торр.

Предложен оптимальный набор детекторов для регистрации дифракционных процессов $pp \rightarrow pp$, $pp \rightarrow xp$ в интервале квадрата переданного импульса:

$$-t^2 = 0,002 \div 0,5 \text{ (ГэВ/с)}^2,$$

и массы $M_x = 1,2 \div 10,0 \text{ ГэВ}$. Выполнено макетирование ряда электронных блоков спектрометрического тракта для полупроводниковых детекторов (ППД), отрабатывались в экспериментах на синхрофа-



зотроне телескопы из ППД и сцинтилляторов для прецизионной спектрометрии пионов, протонов, дейтронов и других частиц.

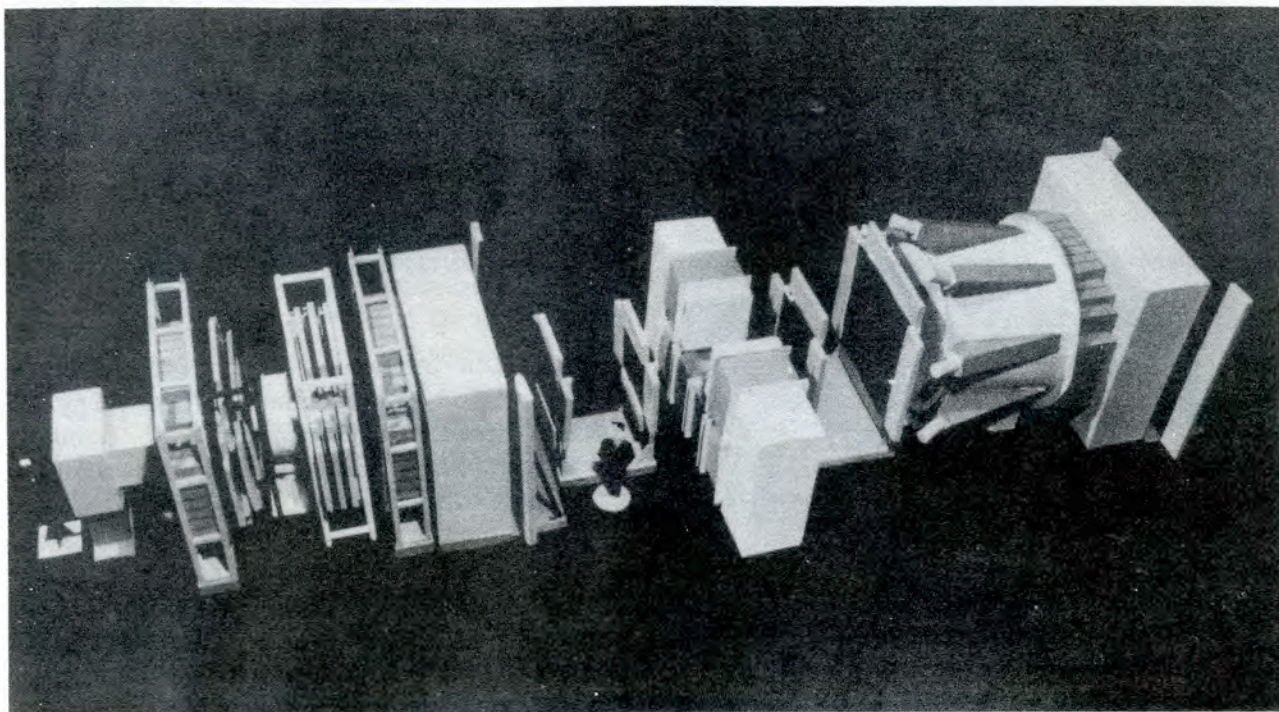
3. По проектам установок "Меченые нейтрино", "Чарм", СВД, ТПК-2М для работы на пучках У-70 и УНК ИФВЭ велось изготовление узлов и систем, моделирование экспериментов, в частности:

— создана партия из 10 модулей адронного калориметра, изготовлены 8000 пластин поглотителей для модулей АК, велось изготовление системы крепления зеркал черенковского счетчика ("Меченые нейтрино");

— изготовлены механические приспособления для транспортировки магнитов СП-94 и СП-40 на новом канале нейтральных частиц в ИФВЭ, начаты работы по пучковым затворам. Исследован специализированный быстродействующий процессор, предназначенный для отбора событий в условиях эксперимента¹³² ("Чарм");

— для изготовления новых обмоток электромагнита МС-7А созданы необходи-

Создаваемая в Лаборатории многоцелевая установка "Сфера" предназначена для исследования множественного кумулятивного рождения частиц в 4π-геометрии на синхрофазотроне и нуклотроне. На снимках: макет установки (внизу) и многоканальный сцинтилляционный годоскоп установки.



мые приспособления, проведен ряд работ по узлам быстроциклирующей пузырьковой камеры (СВД);

— ведется изготовление мюонного идентификатора и корпуса камеры (ТПК-2М).

4. В рамках подготовки совместного ОИЯИ—ИФВЭ эксперимента на встречных пучках УНК подготовлен первый вариант проекта "Универсальный калориметрический детектор" (проект УКД). Проведена оценка условий работы центральной трековой системы УКД, предложено использовать в этом качестве систему цилиндрических дрейфовых камер, полупроводниковый вершинный детектор и торцевые дрейфовые камеры.

5. Для установки "Сфера" собрано три плоскости сцинтилляционного годоскопа центрального детектора, проведены испытания элементов цилиндрического сцинтилляционного годоскопа, выполнен большой объем монтажных работ в измерительном павильоне, в том числе установлены два домика экспериментаторов.

6. Установка "Альфа-3С" перебазирована в экспериментальный зал корпуса 205, в котором для нее оборудована экспериментальная зона с учетом использования в экспериментах двухплечевой системы регистрации продуктов реакций.

7. Полностью завершён монтаж электротехнического оборудования установки "Слон", начата комплексная наладка модуля, предназначенного для создания магнитного поля с напряженностью ~ 50 Тл в объеме $\sim 3\text{-}5$ см³. Для диагностики пучка в канале быстрого вывода разработана цифровая передающая телевизионная камера на основе ПЗС-матрицы^{/33/}.

8. Исследован пороговый черенковский счетчик, радиатор которого выполнен в виде кюветы (200x400x60 мм), заполненной раствором аминок-Г-соли в воде. Диапазон преобразования черенковского излучения $\lambda = 400\text{-}550$ нм, обеспечивалась хорошая эффективность светосбора в пределах рабочей области^{/34/}. Счетчик использовался в составе установки СКА^{/35/} для идентификации частиц и организации триггера.

9. Запущен в эксплуатацию на пучках синхрофазотрона одноплечевой магнитный спектрометр с изменяемой геометрией — СМС МГУ^{/36/}. Физическая программа экспериментов на СМС МГУ сосредоточена на исследовании особенностей фрагментации и поглощения адронов в субъядерных масштабах. Основными элементами установки, созданной специалистами МГУ, являются многоканальный сцинтилляционный годоскоп, имеющий координатное разрешение ~ 1 мм, система сцинтилляционных и черенковских детекторов, обеспечивающая отбор событий с заданной кинематикой на уровне триггера.

10. Предложена и экспериментально опробована методика абсолютного мониторинга пучков высокой интенсивности (от 10^{12} частиц/импульс и выше), основанная на регистрации заряженных частиц в узком фотоэмульсионном слое, пересекающем при вращении пучок частиц, с одновременной регистрацией нейтронов, возникающих от пучковых и вторичных частиц в блоке конвертора. В первых же опытах при мониторинге пучков p, d, ⁴He, ¹²C достигнута точность $\sim 2\%$, что не является пределом^{/37/}. Этим методом можно калибровать другие системы, используемые для определения абсолютной интенсивности.

11. Исследована возможность подавления адронного фона с помощью системы, состоящей из "активного" конвертора из свинцового стекла, черенковских гамма-спектрометров и сцинтилляционного счетчика длиной 1 м, просматриваемого с торцов двумя фотоумножителями и работающего в режиме dE/dx^{/38/}. Измерения проводились на пучке π^- -мезонов с импульсом 2 ГэВ/с, содержащим 6% электронов. Отбор событий в сцинтилляционном счетчике позволяет в 14 раз подавлять адроны при эффективности регистрации электронов $\geq 90\%$. При высоких и сверхвысоких энергиях можно достигнуть точности пространственного разрешения в измерении "ствола" электромагнитного ливня $\sigma_{X,Y} \cong \approx 1$ см для систем с "активным" конвертором и $\sigma_{X,Y} \cong \approx 1$ мм — для свинцово-сцинтилляционных "сэндвичей", если измерять координаты ствола ливня для каждого слоя.

1. Предложен проект высокопроизводительной многопроцессорной системы¹³⁹. Основная цель проекта — создание вычислительной системы низкой стоимости со скоростью обработки в несколько десятков миллионов операций в секунду. Система, по замыслу авторов, способна обеспечить решение широкого круга задач обработки данных со спектрометров физики высоких энергий. Она включает 70 микропроцессоров МОТОРОЛА-68020, помещенных в VME-крейты, которые соединены с центральной ЭВМ, распределяющей задания для процессоров и объединяющей полученные результаты.

2. В 1987 г. произошло широкое оснащение экспериментальных групп персональными ЭВМ типа "Правец-16" производства НРБ и освоение этих устройств для обработки экспериментальных данных, выполнения расчетных работ по различным тематикам, задач автоматизации проектирования. Велись разработки электроники связи ПЭВМ с экспериментальной аппаратурой. Разработана структура контроллера крейта КАМАК из двух блоков: интерфейса ПЭВМ и блока интерфейса магистрали¹⁴⁰. В качестве последнего использован серийно выпускаемый в ОИЯИ блок КК 007. Связь с шиной ПЭВМ осуществляется через адаптер, в котором использованы две БИС параллельного периферийного интерфейса КР580ВВ55А. Быстродействие контроллера по каналу прямого доступа составляет $3 \div 4$ мкс/слово. Контроллер может использоваться с различными ПЭВМ¹⁴¹. Ряд разработок аппаратуры и программного

обеспечения для работы с мини- и микро-ЭВМ ("Электроника-60", МERA-60/45, "Микро-8", СМ-4, PDP-11/70) описан в работах¹⁴²⁻⁵⁰.

3. Впервые в ОИЯИ созданы система и модули в современных международных стандартах VME и FASTBUS, что обеспечивает переход на качественно новый уровень аппаратуры для физических исследований. Применение стандарта VME позволяет включить в экспериментальные установки вычисленные мощности, эквивалентные по производительности современным суперкомпьютерам. Использование стандарта FASTBUS позволяет осуществить регистрацию данных со спектрометров в 25 раз быстрее, чем система КАМАК, при одновременно самой низкой стоимости канала регистрации частиц.

Система в стандарте VME применена в пульте управления ускорителя СПИН, это привело к увеличению скорости обработки данных при управлении источником питания ускорителя в 250 раз¹⁵¹. В системе использованы модули VME: интерфейс шины Q-bus, память 0,5 Мбайт, последовательный микропроцессорный интерфейс. Разработана и изготовлена шина VME и создан крейт VME с источником питания фирмы POLON.

Система в стандарте FASTBUS разработана для регистрации аналоговой информации в создаваемом спектрометре "Сфера". В системе используется модуль 16-канального 8-разрядного быстрого АЦП в стандарте FASTBUS, связанный через интерфейс FIORI с ЭВМ "Электроника-60".

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ЛАБОРАТОРИИ, СОЗДАНИЕ НУКЛОТРОНА, КРИОГЕНИКА, СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

1. Выполнен ряд работ по совершенствованию синхрофазотрона как ускорителя релятивистских и поляризованных ядер, улучшению источников многозарядных ионов и ядер и других систем ускорителя.

Обеспечен новый режим работы с точной регулировкой энергии внутреннего пучка в диапазоне $0,1 \div 1,0$ ГэВ, который был использован в эксперименте по прецизионному измерению упругого pp-рассеяния.

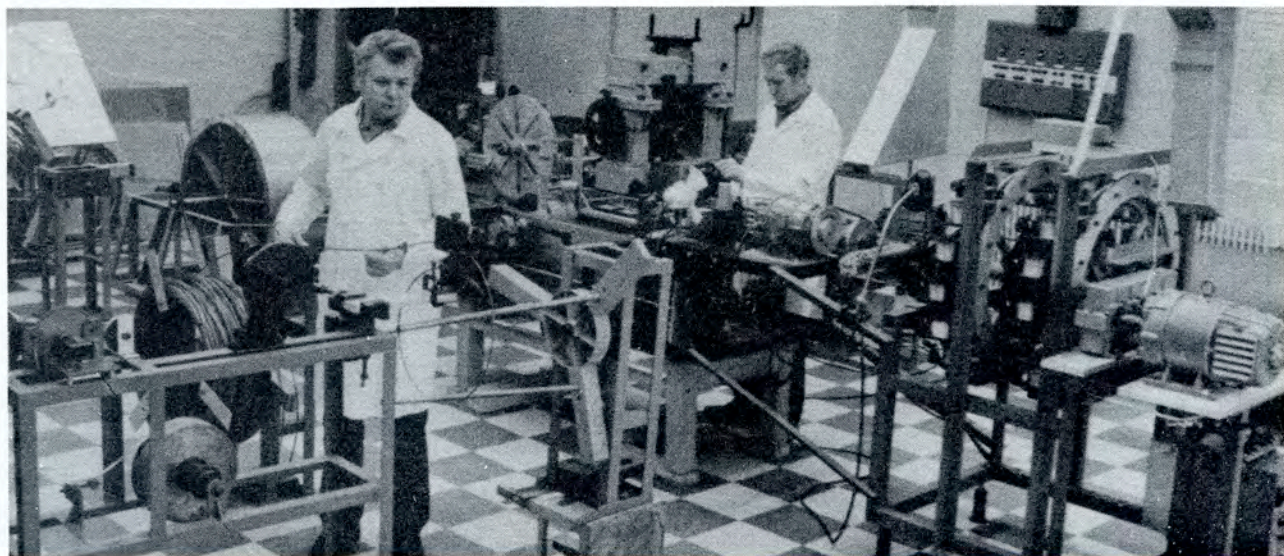
Отработан режим захвата пучка после бесструктурного медленного вывода, который дал возможность увеличить коэффициент одновременности проведения экспериментов. Разработана система двойной стабилизации магнитного поля в синхрофазотроне, что повышает стабильность выводимых пучков. Увеличена интенсивность пучка поляризованных дейтронов до $\sim 1 \times 10^9$ частиц/цикл. Продолжалось совершенствование электронно-лучевых ионизаторов КРИОН, в том числе их автоматизации¹⁵². Предпринята попытка определения полосы изолированных суммовых резонансов третьего и четвертого порядков при бетатронном движении заряженных частиц в циклических ускорителях¹⁵³. Получены соотношения, позволяющие оценить ширину полосы и время развития указанных резонансов. Создана интерактивная программа расчета каналов транспортировки пучков на ЭВМ СМ-4¹⁵⁴. Программа позволяет вычислять огибающие пучка, положение орбиты, α -, β -, γ -функции, дисперсию и ее производную и т.д. Результаты расчета могут представляться в графическом виде на цветном телемониторе и графопостроителе и в алфавитно-цифровом виде на экране терминала или печатающем устройстве. Впервые осуществлено отклонение пучка релятивистских ядер за счет каналирования в изогнутом монокристалле¹⁵⁵. Пучок ускоренных в синхрофазотроне ядер углерода с импульсом 53 ГэВ/с отклонялся

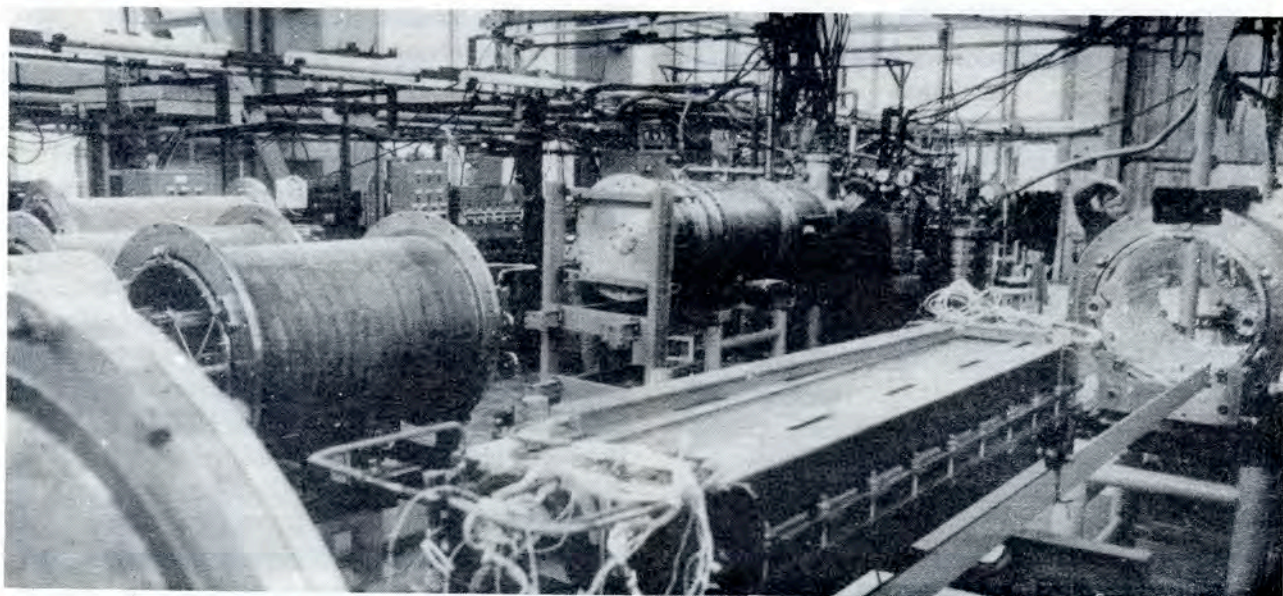
изогнутым монокристаллом кремния (размеры пластинки 20x10x0,28 мм) на угол $(65 \pm 1) \times 10^{-3}$ рад. С помощью этой же аппаратуры осуществлено отклонение пучка протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с на угол $(65 \pm 1) \times 10^{-3}$ рад¹⁵⁶.

Синхрофазотрон в 1987 г. отработал 4054 часа, из них на физический эксперимент — 3374 часа, на совершенствование систем ускорителя — 397 часов. Пучки ускорителя были использованы более чем 14 группами экспериментаторов ОИЯИ (ЛВЭ, ЛЯП, ЛВТА), а также ИЯИ АН СССР, ИАЭ им. И.В.Курчатова, МГУ и др.

2. Существенные этапы завершены в работах по созданию сверхпроводящего синхротрона — нуклотрона. Закончено производство модулей вакуумно-криостатной системы кольца ускорителя, осуществлена проверка их на герметичность. Выполнен полный комплекс электрических, вакуумных, криогенных, магнитных испытаний головных серийных образцов дипольных магнитов, по результатам которых скорректирована технология серийного их производства и контроля, осуществлена доводка изделий до уровня, удовлетворяющего комплексу требований надежной эксплуатации и качества магнитного поля. Созданы улучшенные приспособления для производства сверхпроводящего кабеля, изготовлено более 500 метров СП-кабеля для обмоток магнитов. Отработана методика преци-

Изготовление сверхпроводящего кабеля для обмоток магнитов нуклотрона.





Испытания на стенде модулей магнитной системы нуклотрона.

зионных магнитных измерений на основе гармонического анализа с использованием индукционных датчиков, обеспечивающая точность относительных измерений эффективной длины магнитов и нелинейности поля не хуже 10^{-4} , а также коррекции асимметрии поля по результатам "теплых" магнитных измерений.

Выполнен большой объем работ по созданию криогенной базы нуклотрона. Завершен подготовительный монтаж металлических ферм, и основное оборудование гелиевых ожижителей типа КГУ-1600/4,5 частично размещено в корпусе 1Б. Построено здание компрессорной, и начат монтаж компрессоров. Выполнен ряд исследований новых элементов ожижителей на существующей установке КГУ-1600/4,6 с целью получения данных об их надежности. Проанализирована экономическая целесообразность получения газообразного гелия из воздуха при попутном извлечении^{/57/}. Предложен новый способ разделения гелий-неоновой смеси, позволяющий одновременно получать как чистый неон, так и чистый гелий. По созданию высокочастотных ускоряющих станций для нуклотрона: смонтирован испытательный стенд, закончены испытания задающего генератора, обеспечены необходимый диапазон перекрытия по частоте ($0,6 \div 6,1$ МГц) и стабильность. Велись работы по системе питания магнитов и линз, системе управления и контроля. Выполнен

ряд расчетов по динамике пучков в нуклотроне и системам инжекции и вывода пучков.

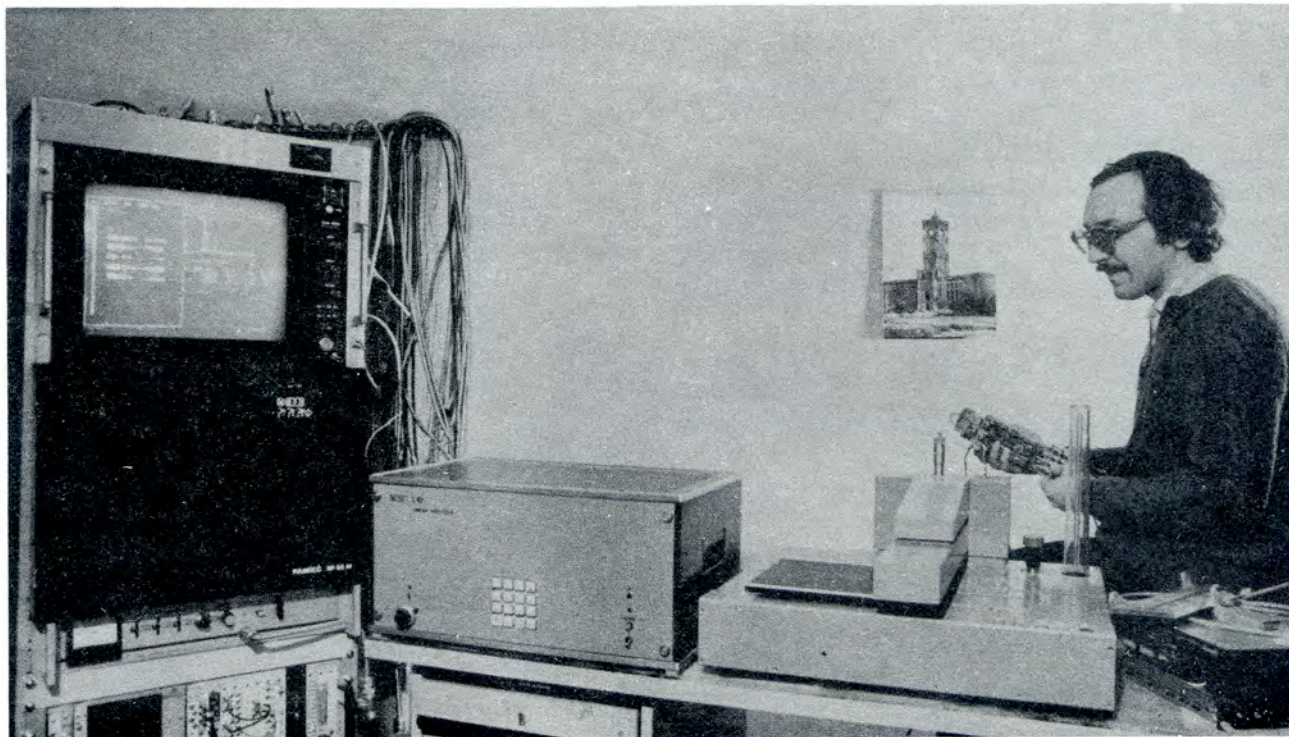
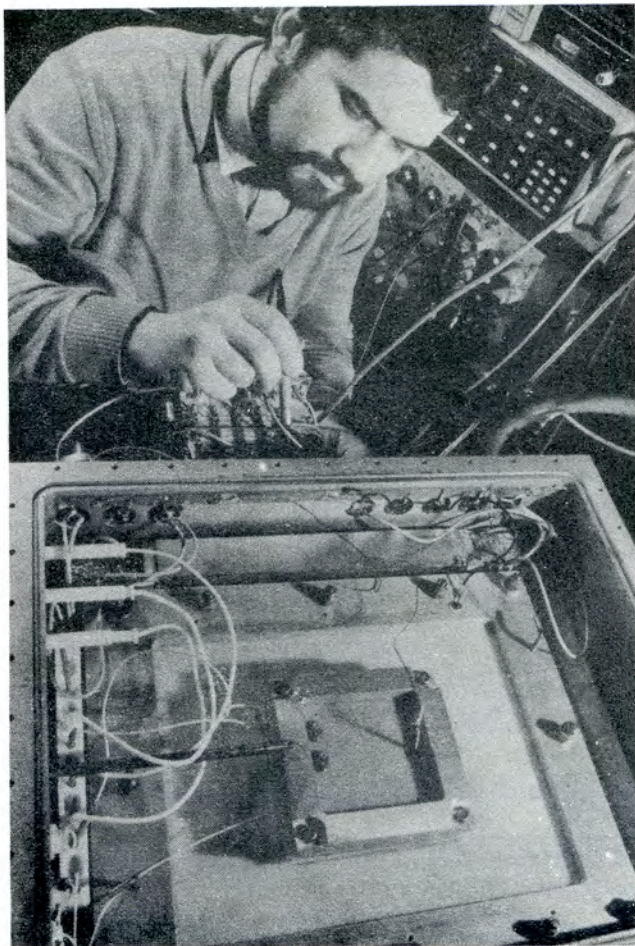
3. Проведены два сеанса охлаждения магнитной системы СПИНа и исследования режимов ее работы. Оценены потери интенсивности пучка протонов в инжекционном канале СПИНа^{/58/}, и на основе анализа результатов "теплого" и "холодного" запусков ускорителя предложена его модификация с целью увеличения интенсивности пучка на входе в кольцо синхротрона.

4. Получен ряд других результатов в области криогеники и сверхпроводимости, имеющих значение как для использования при создании ускорителей, так и в более широкой области применений. Обсуждены преимущества и возможности использования сверхтекучего гелия в качестве хладагента для сверхпроводящих устройств^{/59/}. Проведено измерение вольт-амперных характеристик в присутствии слабого магнитного поля (до $\sim 0,2$ Э) при температуре 1,85 К на образце композитного провода NbTi-Cu^{/60/}. Предложен способ улучшения характеристик паяных соединений композитных сверхпроводников, и приведены измерения их электросопротивления в различных вариантах исполнения при $T = 4,2$ К в магнитных полях до 6 Тл^{/61/}.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработан, исследован и введен в эксплуатацию одномерный автоматизированный детектор ЛКД-1 для рентгеновской дифрактометрии монокристаллов. Прибор функционирует на линии с микроЭВМ, предназначен для исследования монокристаллов при сверхвысоких давлениях (работает в Институте кристаллографии АН СССР). Рабочий размер детектора — 120×20 мм, пространственное разрешение 100 мкм, быстродействие 3×10^5 соб./с. Эффективность регистрации гамма-излучения в диапазоне $5 \div 20$ кэВ составляет 80%. Разработан, исследован и введен в эксплуатацию автоматизированный рентгеновский двумерный детектор АРД-3, предназначенный для регистрации в цифровом виде дифракционной картины от поликристаллических и текстурированных образцов. Общее число элементов разрешения дифракционной картины $256 \times 256 = 64000$, быстродействие —

Разрабатываемые в Лаборатории автоматизированные приборы на основе координатных детекторов излучений находят эффективное прикладное применение. На снимках: линейный анализатор Л-10 для неразрушающего контроля радиохроматограмм (внизу), созданный в сотрудничестве со специалистами ЦИМЭТ (Йена, ГДР); испытания новой многоступенчатой лавинной камеры низкого давления.



3×10^5 соб./с при уровне просчетов не более 20%. Дифракционная картина формируется в буферной памяти емкостью 64 К слов и представляется на цветном ТВ-мониторе. Особенностью детектора АД-3 является высокая однородность эффективности регистрации γ - и K_{α} -излучения по всей площади детектора¹⁶²¹. Разработан и исследован радиохроматограф РД-4, основанный на двумерной многоступенчатой лавинной камере низкого давления. Прибор функционирует на линии с микроЭВМ и ЗППЛ-2 и предназначен для экспресс-анализа радиохроматограмм, меченых ^3H , ^{14}C , ^{32}P . Особенностью прибора является высокое пространственное разрешение (лучше 1 мм) радиоактивных зон хроматограмм. Рабочая

площадь детектора $200 \times 200 \text{ мм}^2$. Прибор передан во временное пользование в Институт физики НЦНИ (Ханой).

2. Создано универсальное устройство для теплофизических измерений в гелиевом дьюаре. Устройство выполнено в виде вставки ϕ 39 мм, погружаемой в гелиевый дьюар с широкой горловиной. На основе этого устройства разработана экспрессная методика измерения теплопроводности материалов. В интервале температур $5 \div 13 \text{ К}$ измерены удельные теплопроводности нержавеющей стали марки 12x18H10T, электротехнической стали Э-310, эпоксидного клея марки ЭД-8 и других материалов. Абсолютная погрешность методики оценивается $\sim 2\%$ ¹⁶³¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleev A.N. et al. JINR, E1-87-265, Dubna, 1987.
2. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-340, Дубна, 1987.
3. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-523, Дубна, 1987.
4. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-807, Дубна, 1987.
5. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-849, Дубна, 1987.
6. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-792, Дубна, 1987.
7. Балдин А.М., Кечечян А.О., Шахбазян Б.А. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №2(22)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.4.
8. Армутлийски Д., Балдин А.М. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №4(24)-87, Дубна: ОИЯИ, 1987, с.5.
9. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-87-552, Дубна, 1987.
10. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-97, Дубна, 1987.
11. Армутлийски и др. ОИЯИ, P1-87-471, Дубна, 1987.
12. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-27, Дубна, 1987.
13. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-423, Дубна, 1987.
14. Аношин А.И., Фадеев Н.Г., Чеплаков А.П. ОИЯИ, P1-87-439, Дубна, 1987.
15. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, P1-87-374, Дубна, 1987.
16. Ableev V.G. et al. JINR, E1-87-246, Dubna, 1987.
17. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, P1-87-271, Дубна, 1987.
18. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-442, Дубна, 1987.
19. Miller K. et al. JINR, E1-87-362, Dubna, 1987.
20. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, P1-87-369, P1-87-509, P1-87-609, P1-87-709, Дубна, 1987.
21. Avramenko S. et al. JINR, E1-87-337, Dubna, 1987.
22. Iovchev K. et al. JINR, E1-87-166, Dubna, 1987.
23. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, P1-87-546, P1-87-631, Дубна, 1987.
24. El-Nagy A. et al. JINR, E1-87-472, Dubna, 1987.
25. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-652, Дубна, 1987.
26. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-87-812, Дубна, 1987.
27. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-87-817, Дубна, 1987.
28. Глаголев В.В. и др. — В кн.: Труды VII Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. ИФВЭ, Протвино, 1987, т.2, с.147.
29. Venvenuti A.C. et al. JINR, E1-87-549, Dubna, 1987.
30. Venvenuti A.C. et al. JINR, E1-87-589, Dubna, 1987.
31. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, D1-87-328, Дубна, 1987.
32. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-419, Дубна, 1987.
33. Буриев Н.Т. и др. ОИЯИ, P13-87-396, Дубна, 1987.
34. Беляев И.М. и др. ОИЯИ, P13-87-104, Дубна, 1987.

35. Беляев И.М. и др. ОИЯИ, P1-87-429, Дубна, 1987.
36. Бельзер Л.И. и др. ОИЯИ, P1-87-591, Дубна, 1987.
37. Дьяченко В.М. и др. ОИЯИ, 13-87-371, Дубна, 1987.
38. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, P1-87-551, Дубна, 1987.
39. Афанасьев С.В. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №1 (27)-88, Дубна: ОИЯИ, 1987, с.8.
40. Иванов А.Б., Фам Куок Чунг. ОИЯИ, 13-87-618, Дубна, 1987.
41. Иванов А.Б., Фам Куок Чунг. ОИЯИ, 13-87-296, Дубна, 1987.
42. Гумэндэмбэрэл Б. ОИЯИ, P10-87-152, Дубна, 1987.
43. Горшкова Н.Л. и др. ОИЯИ, P10-87-130, Дубна, 1987.
44. Базылев С.Н. и др. ОИЯИ, P10-87-638, Дубна, 1987.
45. Карташов С.В. ОИЯИ, P10-87-206, Дубна, 1987.
46. Ефимов Л.Г., Энхболд Д. ОИЯИ, P10-87-793, Дубна, 1987.
47. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, P10-87-272, Дубна, 1987.
48. Никитюк Н.М. ОИЯИ, P10-87-254, Дубна, 1987.
49. Васильев С.Е. ОИЯИ, P13-87-608, Дубна, 1987.
50. Никифоров А.С., Смирнов В.А. ОИЯИ, P10-87-650, Дубна, 1987.
51. Базылева Н.П. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №6 (26)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.12.
52. Карташов С.В. ОИЯИ, P10-87-207, Дубна, 1987.
53. Михайлов В.А., Ценов С.И. ОИЯИ, 9-87-438, Дубна, 1987.
54. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 9-87-768, Дубна, 1987.
55. Бельзер Л.И. и др. ОИЯИ, P1-87-654, Дубна, 1987.
56. Бельзер Л.И. и др. ОИЯИ, P1-87-653, Дубна, 1987.
57. Белушкин В.А., Пак Мун Сен. ОИЯИ, 8-87-769, Дубна, 1987.
58. Андреев В.В. и др. ОИЯИ, P9-87-763, Дубна, 1987.
59. Зельдович А.Г. ОИЯИ, 8-87-610, Дубна, 1987.
60. Фишер Э., Хухарева И.С. ОИЯИ, P8-87-526, Дубна, 1987.
61. Гончаров И.Н., Миу Л. ОИЯИ, P8-87-315, Дубна, 1987.
62. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 13-87-632, Дубна, 1987.
63. Величков И.В., Дацков В.И. ОИЯИ, 8-87-708, Дубна, 1987.