

ДУБНА·1990

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1990·DUBNA

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В 1990 году главными задачами ЛВЭ, определенными 67 сессией Ученого совета ОИЯИ и решением КПП, являлись работы по завершению создания систем нуклотрона, развитие инжекционного комплекса, подготовка и проведение актуальных исследований кварковых систем на синхрофазотроне, ускорителях ИФВЭ и ускорителях других центров, а также повышение эффективности работы основной базовой установки – синхрофазотрона и прикладные исследования.

Коллектив Лаборатории высоких энергий успешно справился с выполнением утвержденной программы работ. Начат монтаж магнитной системы нуклотрона в тоннеле, испытан с пучком канал инжекции из линейного ускорителя ЛУ-20 в нуклотрон, на двух установках КГУ-1600/4,5 получен жидкий гелий. Выполнены работы по моделированию ряда систем инжекционного комплекса.

Большим спросом физиков-экспериментаторов пользовались пучки релятивистских ядер и поляризованных дейтронов синхрофазотрона. Облучения проведены по запросам двадцати групп (сотрудничеств), представляющих более 100 научных организаций 15 стран.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ, ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ, МУЛЬТИКВАРКОВЫХ СОСТОЯНИЙ И УЗКИХ РЕЗОНАНСОВ

1. Из анализа данных эксперимента на установке БИС-2, который проводился на нейтронном пучке серпуховского ускорителя, получена оценка верхней границы относительной вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 \pi^+ \pi^+ \pi^- / 1$:

$$\text{Br}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-) \leq 0,006,$$

На пучке синхрофазотрона введен в действие безмагнитный вариант переднего детектора спектрометра СФЕРА, на котором впервые получена оценка сечения рождения мюонных пар с малой инвариантной массой.

Сотрудники ЛВЭ активно участвовали в подготовке и проведении экспериментов на установке ДЕЛФИ. Интересные данные получены при обработке материалов с установки БИС-2.

На крупных международных конференциях по физике элементарных частиц и атомного ядра, поляризационным исследованиям, методике, криогенике и ускорительной технике сотрудничествами, использующими базу ЛВЭ, представлено более 30 докладов, содержащих новые экспериментальные результаты.

Развивалось международное сотрудничество Лаборатории как в проведении совместных экспериментов на пучках синхрофазотрона, так и в вопросах методики, разработки аппаратуры, средств обработки данных.

Большая работа проведена коллективом Лаборатории и сотрудничающими с ЛВЭ организациями по подготовке к реализации Программы развития исследований на 1991 – 1995 гг.

на уровне 90-процентной достоверности. Оценка получена из анализа распределения инвариантных масс систем $\Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$, в которых выделены распады $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$ (57 ± 14 событий) и оценен вклад событий от распадов $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$.

2. Продолжался анализ экспериментального материала, полученного коллаборацией БИС-2 с целью уточнения данных по наблюдению бариониев U/M_s и $M_\phi^{1/2}$.

Барионии наблюдаются в спектрах эффективных масс $\Lambda \bar{p}(\Lambda p)$ + пионы вблизи массы

3060 МэВ/с² и в спектрах эффективных масс $\Lambda\bar{p}K^+\pi^+$, $\Lambda pK^-\pi^+$, $\Lambda\bar{p}K^+$, ΛpK^- , $K_S^0 p\bar{p}K^\pm$ вблизи массы 3260 МэВ/с².

3. Получены новые данные о рождении очарованных D^0 -мезонов в pp -, pC -, pAl -взаимодействиях при энергии нейтронов 40–70 ГэВ^{/3/}. Наблюдались 119 ± 10 событий распада $D^0 \rightarrow K^+\pi^-\rho^0$. Определены масса $M(D^0) = (1866 \pm 8)$ МэВ/с², параметры, характеризующие A -зависимость сечения рождения D^0 ($\sigma_A = k_c \sigma_p A^{\alpha_c}$): $k_c = 1,47 \pm 0,36$; $\alpha_c = 0,73 \pm 0,16$, а также $\sigma_{\text{Вг}}$ в области импульсов \bar{D}^0 -мезонов: $p_L = (30 \pm 55)$ ГэВ/с и $p_T < 1$ ГэВ/с.

При этом найдено, что

$\sigma_{\text{Н}} \cdot \text{Вг} = (0,21 \pm 0,05 \pm 0,03)$ мкб на нуклон;
 $\sigma_{\text{С}} \cdot \text{Вг} = (1,8 \pm 0,5 \pm 0,3)$ мкб на ядро углерода;
 $\sigma_{\text{Аl}} \cdot \text{Вг} = (3,3 \pm 0,8 \pm 0,5)$ мкб на ядро алюминия.

Следует отметить, что распад $D^0 \rightarrow K^-\pi^+\rho^0$ не наблюдался.

4. В 1989 г. сотрудничеством БИС-2 были представлены также результаты по исследованию инклюзивного рождения ϕ -мезонов в pp -взаимодействиях. Анализ, продолженный в 1990 г., позволил выяснить A -зависимость сечения рождения этих частиц. Показано^{/4/}, что зависимость описывается степенным законом $\sigma_A = A^\alpha$ с показателем $\alpha = 0,81 \pm 0,06$. В пределах регистрируемой кинематической области $x_F > 0$, $p_T < 1$ ГэВ/с зависимости величины α от продольного и поперечного импульса ϕ -мезонов не наблюдалось.

5. В течение последних лет интерес к исследованию узких адронных резонансов, содержащих u - и d -кварки, резко возрос. Появился ряд теоретических подходов, объясняющих возможность существования аномально узких резонансов в pp -системах. Один из них (Б.А.Арбузов и др. – НИИЯФ МГУ, 89-1/78, М., 1989) заключается в использовании релятивистского кулоновского квазипотенциала с поглощающей частью при положительных энергиях. Соответствующие расчеты дают серию узких (порядка электромагнитных) особенностей в спектрах эффективных масс двух протонов. В этой связи были проанализированы данные по измерению энергетической зависимости относительного дифференциального сечения упругого pp -рассеяния в интервале 116+199 МэВ, проведенные с шагом $\sim 0,4$ МэВ^{/5/}. Авторы^{/5/} пришли к заключению, что обнаруженные ими особенности при массах 1936, 1951, 1958, 1971 МэВ/с², имеющие наблюдаемые ширины $\Gamma \approx 0,14 \pm 0,04$ МэВ/с², близки к

наблюдаемым в других экспериментах. Исследованы также спектры эффективных масс двух протонов в реакциях $pp \rightarrow pp\pi^-$ и $pp \rightarrow pp\pi^-\pi^0$ при импульсах нейтронов $p_n = 1,43; 1,72; 2,23$ и $3,83$ ГэВ/с^{/6/}. Материал получен с помощью однометровой жидководородной камеры. Суммарная статистика составила 20644 события. Наблюдены особенности при массах 1836, 1937, 1965, 1981, 2017, 2047, 2083, 2105, 2337, 2278 МэВ/с².

6. А.М.Балдиным высказана гипотеза, что частица с массой около трех электронных масс, введенная Д.В.Скобелевым для объяснения аномального рассеяния электронов β -распада, является резонансом, состоящим из двух электронов и позитрона (e^-, e^-, e^+)^{/7/}. Предполагается, что существует большой спектр частиц – релятивистских атомов, в который входят также (e^+e^-)-резонансы, обнаруженные в GSI (Дармштадт), и резонансы (e^+e^-), (e^-e^-), обнаруженные в непертурбативной квантовой электродинамике.

7. Продолжался поиск мультикварковых связанных и резонансных состояний с отличной от нуля странностью. Впервые обнаружено событие внутриядерной конверсии A -дибариона ($S = -3$):



Гипероны распадаются на расстояниях 3, 5 и 170 мм от вершины звезды. Получена оценка массы A -дибариона:

$$M_A = (2479 \pm 35) \text{ МэВ/с}^2.$$

Наблюдены два события, интерпретируемые как распад N -дигиперона ($S = -2$)^{/8/}. Предложена модель типа MIT-мешка, включающая ди-кварк и хромомагнитные вклады, применительно к дибарионным резонансам с $S = -1$ ^{/9/}.

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АДРОННОЙ МАТЕРИИ. СТРУИ, КЛАСТЕРЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ

В столкновениях адрон-ядро и ядро-ядро обнаружен ряд явлений, которые рассматриваются как указания на возникновение коллективных эффектов, идущих на кварк-глюонном уровне. Изучение кумулятивного рождения частиц показало, что структурные функции ядер не являются простой суммой структурных функций отдельных нуклонов. Непосредственным

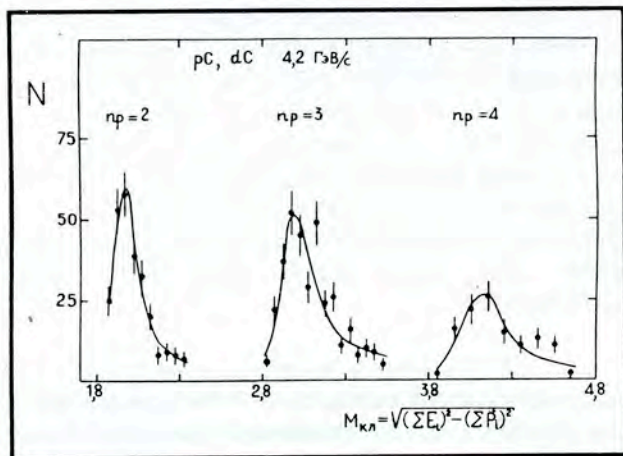


Рис. 1. Распределение протонных кластеров с разной множественностью n_p по эффективным массам $M_{кл}$ кластеров в pC- и dC-столкновениях

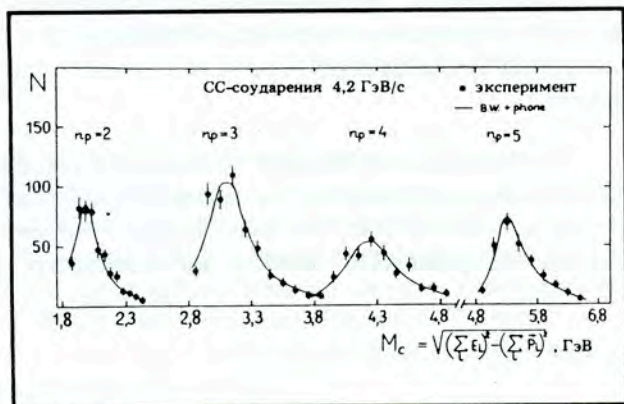


Рис. 2. Распределение протонных кластеров с разной множественностью n_p по эффективным массам $M_{кл}$ в CC-столкновениях

методом наблюдения цветовых степеней свободы является изучение образования струй, а для ядер особое значение имеет исследование кумулятивных струй.

В последние годы большое распространение получил предложенный в ЛВЭ метод анализа множественных процессов, основанный на представлении сечений в виде функций от релятивистских инвариантов $b_{ik} = -(u_i - u_k)^2$. Величины b_{ik} имеют смысл относительных расстояний в пространстве 4-скоростей: $u_i = p_i/m_i$, $u_k = p_k/m_k$, где p_i, p_k — четырехимпульсы частиц i и k , а m_i, m_k — их массы. Представление сечений различных процессов посредством b_{ik} позволило ввести классификацию множественных процессов, основанную на двух общих принципах, проверяемых экспериментально, — принципе ослабления корреляций и принципе автономности второго рода. Принципы отражают общее свойство адронов: с увеличением расстоя-

ния b_{ik} между любыми точками u_i, u_k взаимодействие между частицами i и k монотонно и достаточно быстро ослабляется. При $b_{ik} \gg 1$ взаимодействие адронов i и k выходит на кварк-глюонный уровень. Введение понятия расстояний в пространстве 4-скоростей позволило дать определение и обнаружить четырехмерные кластеры в этом пространстве. Под кластером понимается группа точек u_i (каждая точка соответствует частице), расстояние b_{ik} между которыми много меньше, чем среднее расстояние между всеми точками множества b_{ik} в анализируемом взаимодействии. Алгоритм выделения кластеров, нахождение его центра, а также основные определения и ряд результатов применения описанного подхода суммированы в обзоре, опубликованном в 1990 г.^{/10/}.

1. Дальнейшее развитие метод получил при исследовании возможности образования квазистационарных состояний при столкновении релятивистских ядер^{/11/}. В цитируемой работе предложена процедура рассмотрения кластеров как резонансных состояний с измерением соответствующих ширин, а следовательно, и времен жизни этих состояний. Анализировалось образование барионных кластеров в pC-, dC- и CC-соударениях при импульсе 4,2 ГэВ на нуклон. Для изучения вопроса о возможности образования квазистационарных состояний были построены спектры эффективных масс протонных кластеров с различной множественностью (рис. 1,2). Полученные в данном эксперименте распределения аппроксимировались зависимостью

$$F(M) =$$

$$= \frac{\alpha^2}{(M - M_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} + \frac{2\alpha\beta(M - M_0)}{(M - M_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} + \beta^2,$$

где первое слагаемое — функция Брейта — Вигнера, β^2 — фоновый член, учитывающий множественное рождение частиц при энергиях, близких к резонансным, а второе слагаемое — функция, описывающая интерференцию резонансного и нерезонансного рождения частиц. Соответственно M_0 и Γ — масса и ширина резонанса. Полученные значения ширин соответствуют времени жизни состояния $\tau \sim \hbar/\Gamma < 0,7 \times 10^{-23}$, что по порядку величины сравнимо с временем пролета одного ядра сквозь другое. Тем самым в данном случае кластеры не являются квазистационарными состояниями, их можно интерпретировать как результат распада многонуклонных резонансов. Не противоречит получен-

ным данным и гипотеза о том, что выделенные кластеры являются мультиизобарными ядрами.

2. В рамках подхода с использованием переменных b_{ik} исследованы корреляции протонов в pC - и π^-C -взаимодействиях при импульсах налетающих частиц 8 ГэВ/с и 4 ГэВ/с соответственно. Получены указания на испускание барионных кластеров из высоковозбужденного источника. Из аппроксимации экспериментальных данных экспоненциальной зависимостью получены две корреляционные длины: $b_1 = 0,01+0,04$ и $b_2 = 0,1+0,2^{1/2}$.

3. Методика выделения кластеров, основанная на переменных

$$b'_{ik} = \left(\frac{m_i m_k}{m_0^2} \right) b_{ik},$$

использована при анализе энергетических характеристик распада кластеров в π^-C - и π^-p - ($P_\pi = 40$ ГэВ/с), pC - ($P_p = 10$ ГэВ/с), а также pC -, dC -, αC - и CC - ($P_p = 4,2$ ГэВ/с на нуклон) взаимодействиях^{/13/}. Отдельно рассмотрена кластеризация в событиях, сопровождающихся испусканием кумулятивных адронов (π -мезонов и протонов). Отмечено, что (25+35)% π -мезонов и (35+50)% протонов в кумулятивной области образуется через кластеры и только этим пионам соответствуют структуры фрагментирующих систем с универсальным параметром наклона спектра $\sim 0,14$. Для кумулятивных пионов, не связанных с кластерами, этот параметр больше (примерно на 50%).

Наибольшие температуры связаны с кластерами, образующимися в центральной области по шкале быстрот кластеров. В этой же области для π^-C -взаимодействий наиболее четко проявляются два значения температуры. В адрон-адронных столкновениях этот эффект не наблюдается.

В работе^{/14/} исследован процесс кластеризации вторичных частиц в π^-C -, π^-p -, pC - и CC -взаимодействиях при $P_\pi = 40$ ГэВ/с, $P_p = 10$ ГэВ/с с испусканием K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов. При этом использовались переменные b'_{ik} , то есть нормированные к одинаковой массе относительные 4-скорости. Оказалось, что доля странных частиц, связанных с кластерами, составляет (70+84)%, что больше, чем для нестранных адронов. По распадным характеристикам заметных отличий в процессах кластеризации не наблюдается.

Исследовано рождение барионных кластеров, содержащих Λ^0 -гиперон и протоны во взаимодействиях нейтронов ($P_n = 8$ ГэВ/с) и π^- -мезонов ($P_\pi = 4$ ГэВ/с) с ядрами углерода^{/15/}.

4. Получены новые результаты по развитию метода интерференционных корреляций. При исследовании парных корреляций тождественных пионов обычно предполагается, что интерференционный член, описывающий эти парные корреляции, положителен. В теоретической работе, выполненной в ЛВЭ, показано, что это предположение не является обязательным. Выявлен класс моделей, в рамках которых интерференционный член может принимать отрицательные значения, и указаны условия для экспериментального обнаружения этого эффекта.

5. С целью экспериментального обнаружения кварк-глюонной плазмы проанализированы инклюзивные спектры π^- -мезонов с кумулятивным числом $n_k > 0,35$, образованных в dC -, αC - и CC -взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон^{/16/}, и спектры кумулятивных π^- -мезонов в π^-C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с^{/17/}. Представленные в работе^{/17/} данные относятся к неизученному ранее диапазону больших импульсов вторичных π -мезонов (до 7 ГэВ/с). Показано, что эффективная температура вторичных π^- -мезонов растет с увеличением n_k и достигает значения $T_0 (755 \pm 56)$ МэВ для $n_k > 1$.

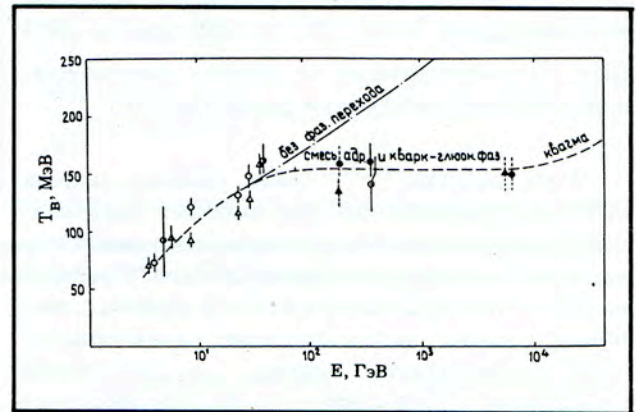


Рис. 3. Значения больцмановской температуры, полученные в различных экспериментах из характеристик каонов и Λ -гиперонов: \circ , Δ - ТПК-500, \bullet , \blacktriangle - СКМ-200, \oplus , \ominus - E-802 (K^+ и K^-), \bullet , \blacktriangle - NA-35 (предварительные данные)

6. Проведен сравнительный анализ характеристик K_S^0 -мезонов и Λ -гиперонов, образующихся в CC -, CNe -, ONe -взаимодействиях при энергии $E_p \cong 3,4+3,7$ А·ГэВ^{/18/}. Показано, что с увеличением числа нуклонов - участников на-

летающего ядра (Q), то есть с повышением их общей энергии ($E = E_p \cdot \langle Q \rangle$), угловые распределения $dN/d\cos\theta^*$ и $dE^*/d\cos\theta^*$ для K_s^0 -мезонов (как и для Λ -гиперонов) становятся более равномерными, приближаясь к изотропным при $E \sim 30$ ГэВ. При этом растет средний поперечный импульс $\langle P_T \rangle$ – больцмановская температура, достигая при $E \sim 30$ ГэВ значений, близких к критическим: $T_K \cong T_\Lambda \cong 150+160$ МэВ. При дальнейшем увеличении энергии величина $T_{K,\Lambda}$ остается в пределах ошибок постоянной вплоть до $E \sim 5000$ ГэВ, а относительный выход странных частиц (с $P_T > 0,4+0,5$ ГэВ/с) заметно растет (рис.3).

7. Получены новые данные о фрагментации ядер кислорода с импульсом 3,1 ГэВ/с на нуклон на водороде^{/19/}. Работа выполнялась на однометровой жидководородной камере. Полученные данные сопоставлялись с предсказаниями каскадно-фрагментационно-испарительной модели протон-ядерных реакций при средних энергиях. Показано, что в эксперименте множественное образование двухзарядных частиц происходит значительно чаще, чем предсказывает модель. Авторы цитируемой работы полагают, что это расхождение связано с особенностями структуры ядра кислорода, в частности с кластеризацией нуклонов в α -частицы.

8. На установке ГИБС продолжалось изучение рождения и распада релятивистских гиперядер. В пучках ядер ^3He , ^4He , ^6Li , ^7Li с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон исследовано образование гиперядер $^3_\Lambda\text{H}$ и $^4_\Lambda\text{H}$. В 1990 году в ЛВЭ проведен эксперимент по оценке энергетической зависимости сечения рождения $^4_\Lambda\text{H}$.

9. В работах^{/20,21/} была развита модель ядерных столкновений при высоких энергиях, основанная на представлении массивного ядра-мишени в виде набора плоских дисков. Проведено сравнение предсказаний такой модели с экспериментально наблюдаемыми характеристиками вторичных частиц, в частности π^0 -мезонов, в реакции $\pi^- + \text{Xe}$ при импульсе 3,5 ГэВ/с^{/22/}.

10. Для анализа характера флуктуаций плотности вторичных частиц, которые наблюдались в экспериментах с фотоэмульсиями, использован метод факториальных моментов F_i . Факториальный момент порядка i определяется как

$$\langle F_i \rangle =$$

$$= \frac{1}{\langle \bar{n}_m \rangle^i} \left\langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_m (n_m - 1) \dots (n_m - i + 1) \right\rangle,$$

где

$$\langle \bar{n}_m \rangle = \left\langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_m \right\rangle,$$

n_m – множественность частиц в m -м интервале ($m = 1, 2, \dots, M$) по быстрой (псевдобыстрой) $\delta u = \Delta u / M$. При этом, если флуктуация имеет чисто статистический характер, то с увеличением M ожидается насыщение функции $\langle F_i \rangle$, а если флуктуация имеет динамический характер, то $\langle F_i \rangle \sim M^i$ ($i > 0$). Этот эффект обычно называют интермиттенсом.

Изучение флуктуаций плотности релятивистских частиц по псевдобыстрой во взаимодействии ядер неона-22 с ядрами фотоэмульсий описанным методом, показало, что наблюдаемые в эксперименте флуктуации не являются статистическими. Плотность релятивистских частиц в быстрой интервалах оказывается для выделенной группы взаимодействий больше и доля плотных групп больше, чем следует из расчетов по каскадно-испарительной модели^{/23/}.

Предложена простая аналитическая модель для описания испускания g -частиц во взаимодействиях ядер высоких энергий с ядрами фотоэмульсий^{/24/}.

11. Продолжался анализ эффектов, наблюдаемых в ядро-ядерных столкновениях, методом γ -спектроскопии. Проведены сеансы облучений набора медных мишеней релятивистскими ядрами углерода.

12. Совместно с Университетом в Зигене (ФРГ) проведены облучения пластиковых трековых детекторов CR-39 ядрами кислорода и фтора. В рамках сотрудничества получены новые результаты по измерению сечений фрагментации ядер кислорода в диапазоне энергий от 1 до 200 ГэВ/нуклон.

13. Выполнен ряд работ по изучению следствий и установлению их связи с наблюдаемыми в экспериментах эффектами в рамках концепции релятивистской длины^{/25/}. В этих работах обсуждались: релятивистское преобразование электромагнитного дипольного момента, результаты трактовки опыта Майкельсона – Морли, парадокс прямоугольного рычага Льюиса – Толмена, скорость распространения сильного взаимодействия, основанная на локационном

методе измерения расстояний, интерпретация теории относительности.

С этой же точки зрения рассмотрена модель релятивистского нуклона^{126/}. Высказано мнение, что определенный вклад в рост сечений взаимодействия при высоких энергиях обусловлен увеличением поперечных размеров нуклона, вытекающим из концепции релятивистской длины.

КУМУЛЯТИВНЫЙ ЭФФЕКТ. НЕНУКЛОННЫЕ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ

1. На установке ДИСК-3 изучено проявление индивидуальных особенностей ядер при кумулятивном рождении частиц в нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Измерена А-зависимость сечений рождения вторичных частиц (π^\pm , K^\pm , p, d) в dA-, α A-, SA-взаимодействиях. Фрагментирующими ядрами (А) являлись D, He, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, C, Al, Si, ${}^{58}\text{Ni}$, ${}^{64}\text{Ni}$, ${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{114}\text{Sn}$, ${}^{124}\text{Sn}$, Pb. Показано, что А-зависимость сечений подобна, она детально воспроизводится для различных снарядов, демонстрируя устойчивый изотопический эффект (рис.4). Установлено, что эффект сохраняется при переходе от импульса первичных протонов 4,5 ГэВ/с к импульсу 8,9 ГэВ/с в интервале импульсов вторичных частиц (0,3+0,7) ГэВ/с и обусловлен корреляцией сечений с плотностью нуклонов в ядрах.

2. На установке ФОТОН – МАССЕР впервые измерено сечение инклюзивного образования π^0 -мезонов в реакции ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi^0 + \dots$ при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон в зависимости от кумулятивного числа X и p^2 ^{27/}.

Экспериментальные данные параметризовались функциями $E \frac{d\sigma}{dp} \sim \exp(-X/X_0)$ и $d\sigma/dp^2 \sim \exp(-ap_1^2)$. Для величин X_0 и a найдены значения: $X_0 = 0,151 \pm 0,005$; $a = (6,0 \pm 0,4) \text{ ГэВ}^{-2} \text{ с}^2$ в интервале $0 < p^2 < 0,4$ и $a = (9,0 \pm 0,3)$ в интервале $0,4 < p_1^2 < 0,8$.

Таким образом, полученное в этом эксперименте значение X_0 совпадает с хорошей точностью со значением $\langle X_0 \rangle = 0,14$ для кумулятивных процессов.

Зависимость сечения от атомного номера налетающей частицы параметризовалась функцией $E \frac{d^3\sigma}{dp^3} \sim A^m$. Величина m для ядер углерода и гелия (ранее проведенный эксперимент) оказалась равной $m = 1,2 \pm 0,1$ для $X \approx 1$, а с увеличением X она растет, достигая значения $m = 2,4 \pm 0,2$ при $X \approx 1,7$. Это существенно отличается от данных, полученных в Беркли (США) при импульсах налетающих частиц 1,8 и 2,9 ГэВ/с (рис.5).

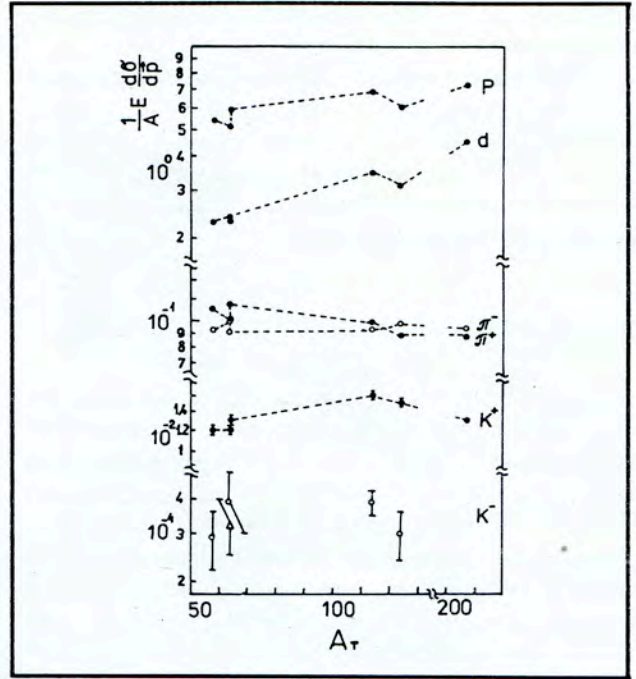


Рис. 4. А-зависимость сечений кумулятивного рождения частиц, измеренная на установке ДИСК-3

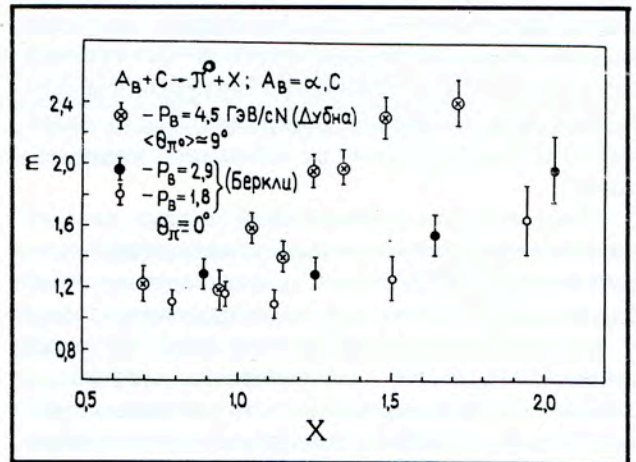


Рис. 5. Зависимость показателя m в параметризации сечений $E \frac{d^3\sigma}{dp^3} \sim A^m$ кумулятивного рождения π^0 -мезонов

3. Завершен анализ экспериментальных данных, полученных в опытах по перезарядке ядер гелия-3 в тритоны, выполненных на установке "Альфа-3С". Исследована реакция (${}^3\text{He}$, t) перезарядки на ядрах углерода и на протонах с возбуждением Δ -изобар в мишени при импульсах пучка 4,4-18 ГэВ/с.

Показано, что эффекты связанности нуклонов и ферми-движения не могут объяснить наблюдаемые особенности рождения Δ -изобар в ядре-мишени.

Проведенный анализ позволил получить характеристики процесса Δ -возбуждения ядра, не

искаженные процессом квазисвободного рождения Δ -изобар на нуклонах ядра-мишени.

На основе предположения о квазисвободном рождении невозможно объяснить особенности рождения Δ -изобар в инклюзивной реакции $C(^3\text{He}, t)$, и для описания реакции необходим учет коллективных эффектов, связанных с влиянием ядра на этот процесс.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. На установке "Альфа-3С" с использованием пучков поляризованных дейтронов на синхрофазотроне проведены повторные измерения анализирующей способности T_{20} реакции $^{12}\text{C}(d, p)^{28}\text{Al}$. Постановка эксперимента с улучшенной геометрией позволила расширить область статистически достоверных измерений в сторону больших значений импульсов протона-спектратора и проверить ранее полученные экспериментальные данные по $T_{20}(k)$, обнаружившие серьезные отклонения от расчетов в рамках импульсного приближения для большинства волновых функций дейтрона с "реалистичским" NN-потенциалом. Результаты эксперимента показаны на рис.6. Видно, что при весьма хорошей статистической значимости данных вплоть до значений внутреннего импульса $k \approx 750$ МэВ/с поведение $T_{20}(k)$ отличается от рассчитанных по описанной выше модели.

Был выполнен совместный анализ данных по сечениям и тензорной анализирующей способности T_{20}^{129} . В рамках импульсного приближения получено два вида параметризации s - и d -волн в дейтроне, на основании которых сделаны предсказания о поведении коэффициента передачи поляризации k от дейтрона к протону – наблюдателю в реакции $\vec{d} \rightarrow p$ фрагментации. Получены первые данные по измерению k .

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

СОЗДАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1. *Совершенствование установки ДЕЛФИ.* Одной из проблем в установках, использующих в большом количестве пластиковые трубки с резистивным покрытием в качестве катода, является проблема выбора рабочей газовой смеси. Газовая смесь должна обеспечить стабильную и надежную работу детекторов длительное время, а также быть пожаробезопасной. В работе^{31/} опубликованы результаты исследований ряда

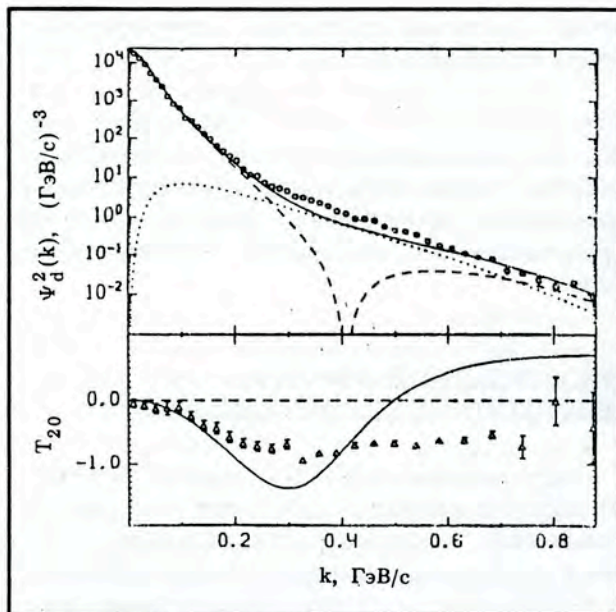


Рис. 6. Распределение нуклонов в дейтроне $\Psi_d^2(k)$ и $T_{20}(k)$ в зависимости от "внутреннего импульса". Сплошные кривые – расчеты для парижского NN-потенциала. Штриховая и точечные – квадраты s - и d -волн соответственно

2. Создана установка с большим телесным углом регистрации для изучения корреляционных эффектов, связанных с выходом кумулятивных протонов в реакции $d+C \rightarrow px$. Проведена экспозиция на пучке, ведется обработка экспериментального материала.

ЭКСПЕРИМЕНТ ДЕЛФИ

Сотрудники Лаборатории принимали участие в сеансах работы установки ДЕЛФИ в ЦЕРНе, в получении и обработке данных^{30/}. (О результатах см. раздел "Международные связи и научное сотрудничество").

негорючих газовых смесей, выполненных в связи с созданием адронного калориметра установки ДЕЛФИ. Сделан вывод о возможности применения смесей типа $\text{Ar}:\text{CO}_2:\text{Isb}$ с долей изобутана (Isb) $\approx 9\%$ и аргона от 0% до 5% при работе детекторов в насыщенном пропорциональном режиме. Показано, что самогасящийся стримерный режим предъявляет повышенные требования к качеству изготовления и условиям



В начале октября 1990 года состоялся визит в ОИЯИ руководителей эксперимента СДК (соленоидальный детектор) на суперколлайдере в США во главе с профессором Дж.Триллингом. Этот эксперимент был утвержден Программным комитетом Лаборатории ССК в конце 1990 года. Во время посещения ОИЯИ американская делегация выразила заинтересованность в участии физиков ОИЯИ в создании установки СДК и проведении исследований на ней. На снимке: на встрече с физиками ЛВЭ и ЛЯП был сделан обзор методических разработок, выполненных в ОИЯИ по мюонным тороидам, микростриповым детекторам и калориметрии с учетом их использования при создании установки СДК

эксплуатации пластиковых трубок. Исследован также процесс растекания зарядов в модуле адронного калориметра и продемонстрирована возможность удовлетворительного описания этого процесса с помощью одномерного уравнения диффузии. Данные предполагается использовать при модернизации установки ДЕЛФИ для работы на комплексе LEP с повышенной светимостью.

2. *Универсальный детектор для УНК.* Ряд работ был выполнен в связи с разработкой универсального детектора для работы на пучках УНК. В частности, на основе моделирования $p\bar{p}$ -взаимодействий при энергии $E_{\text{см}} = 6$ ТэВ исследована эффективность двухтрекового разрешения вершинного детектора^{/32/}. Для этого были сгенерированы с помощью программы ISAJET события, в которых образуются струи от c -, b - и t -кварков: Проанализированы углы между частицами в струях с импульсами от 300 до 3000 ГэВ/с. Показано, что при импульсе меньше 500 ГэВ/с ширина струи $\Delta\theta = (180 \pm 20)$ мрад, а при импульсе больше 1000 ГэВ/с $\Delta\theta = (50 \pm 10)$ мрад. Рассмотрена возможность разделения

двух треков из одной высокоимпульсной струи с помощью вершинного микрострипового детектора. Показано, что при двухтрековом разрешении 100 мкм можно разделить $\sim 85\%$ всех пар частиц, попадающих в детектор. Однако при измерении второй координаты с той же точностью удастся разрешить 98% треков в событии.

Исследованы опытные партии микрополосковых кремниевых детекторов, изготовленных совместно с научно-техническим центром в Зеленограде^{/33/}. Детекторы имели следующие размеры: длина – 48 мм, ширина (полоски) – 10 мкм, шаг – 25 мкм. Показано, что координаты частиц могут быть восстановлены с точностью ~ 3 мкм. Отработан технологический процесс производства таких детекторов, включающих 12 технологических операций.

3. *Создание 4 π -спектрометра СФЕРА.* Для изучения множественного кумулятивного рождения частиц в 4 π -геометрии на пучках нуклофона в ЛВЭ совместно с рядом организаций стран-участниц ОИЯИ создается новый спектрометр, который состоит из трех основных ком-

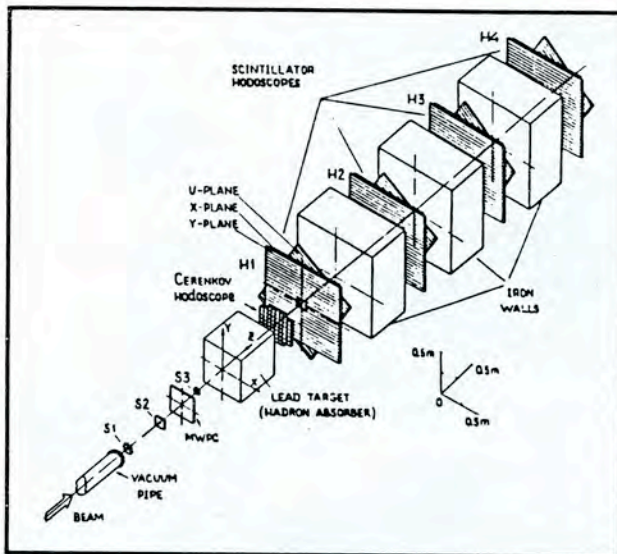


Рис. 7. Схема эксперимента по измерению кумулятивных $\mu^+\mu^-$ -пар с использованием переднего детектора установки СФЕРА

понент: центрального детектора для регистрации частиц в области фрагментации ядра-мишени, переднего спектрометра, перекрывающего область фрагментации ядра-снаряда, и мишени для генерации мюонных пар с поглотителем пучка. В 1990 г. создан, отлажен и введен в действие на пучке в корпусе 205 безмагнитный вариант переднего детектора установки СФЕРА (рис.7).

Проведен физический эксперимент, в результате которого впервые наблюдается образование кумулятивных $\mu^+\mu^-$ -пар в области инвариантных масс $400 \leq M \leq 800$ МэВ/с² и кумулятивных чисел $0,9 \leq X \leq 1,2^{34/}$. Эксперимент выполнялся на пучке дейтронов с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон. Свинцовая мишень размерами 0,5x0,5x0,5 м являлась также поглотителем вторичных адронов. Пучок мониторировался телескопом из трех скintилляционных счетчиков S1, S2, S3 размерами 90x90x5 мм, 120x120x10 мм и 50x50x3 мм соответственно. Мюонные пары, вылетающие из мишени, детектировались скintилляционными годоскопами H1+H4, между плоскостями которых располагались железные поглотители толщиной 0,5 м. Каждый годоскоп состоял из трех плоскостей (X, Y, U), а плоскость – из 20 детекторов размерами 1000x40x5 мм и 6 детекторов размерами 440x40x50 мм. Черенковский годоскоп, выполненный в виде матрицы из 56 плексигласовых радиаторов размерами 50x50x25 мм, использовался для более точного определения координат точки рождения мюонных пар.

Общий поток дейтронов, пропущенных через мишень, составил $4,0 \times 10^{10}$, суммарная ста-

тистика зарегистрированных событий ~ 9000 , а после отбора оставлено 43 события, удовлетворяющих всем критериям. Полученная оценка сечения образования кумулятивных $\mu^+\mu^-$ -пар согласуется с универсальной закономерностью образования кумулятивных частиц. По сравнению же с выходом кумулятивных пионов сечение образования $\mu^+\mu^-$ -пар в той же кинематической области на четыре порядка меньше.

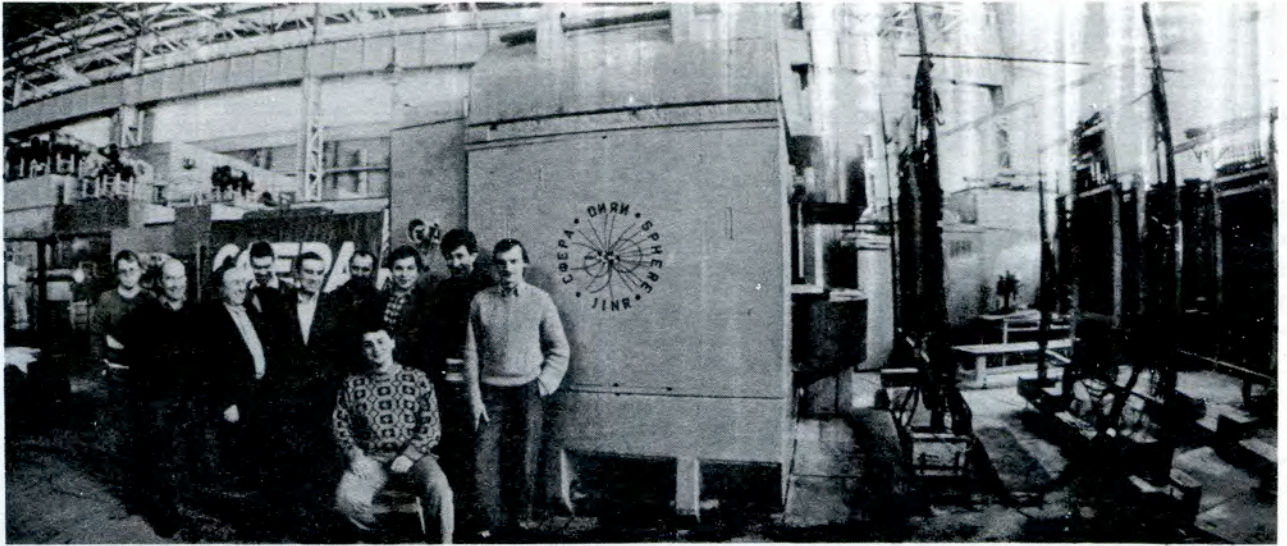
4. Установка "Слон". Проведено три сеанса работы установки "Слон" на пучке, в которых исследовались характеристики пучка, возможности укорочения длительности его сброса на фотоэмульсию с помощью имеющегося на канале № 34 кикер-магнита, управляющего облучением 2-метровой пропановой камеры. Усовершенствован один из наиболее уязвимых с точки зрения разрушения мегаамперными токами узлов установки – переходник, осуществляющий связь между коаксиальным кабельным коллектором и импульсным магнитом. Достигнута устойчивая работа всех систем формирования поля на уровне 30 Тл в многоцикловом режиме. Проведены расчеты механической прочности импульсного магнита, подтвердившие возможность увеличения поля до 60 Тл. Отработан алгоритм оптимизации формы полюсов магнита для получения поля с заданной неоднородностью в рабочей области с учетом резкого скин-эффекта и нелинейной диффузии магнитного поля в материале.

Введена в действие система для диагностики профиля и положения пучка, состоящая из скintилляционного экрана, цифровой телевизионной камеры на основе охлаждаемой ПЗС-матрицы, электронно-оптического преобразователя и соответствующей аппаратуры обработки и представления информации с использованием ПЭВМ "Правец-16".

5. Проведены исследования и изготовлены черенковские детекторы активной мишени и другая аппаратура спектрометра ПАМИР на канале в корпусе 16. Спектрометр подготовлен к набору статистики по поиску аномальной фрагментации.

Выполнен ряд конструкторских работ по установке с внутренней мишенью на пучках нуклотрона.

6. Изучены флуктуации ионизационных потерь в электронно-фотонных ливнях, вызываемых гамма-квантами с энергией $E_\gamma \cong 100-3500$ МэВ в жидком ксеноне. Получены распределения среднеквадратичного отклонения σ_A от среднего значения доли A ионизационных потерь, выделяемой как вдоль оси развития лив-



Участники эксперимента по исследованию кумулятивного рождения мюонных пар на синхрофазотроне (проект СФЕРА)

ней, так и в перпендикулярном к ней направлении. Обнаружено, что при $E_\gamma \geq 500$ МэВ σ_A как функция A практически не зависит от E_γ , если ее соответственно отнормировать в случае поперечного развития ливней. Исходным экспериментальным материалом были снимки со 180-литровой ксеноновой пузырьковой камеры ИТЭФ (Москва), облученной в пучке π^- -мезонов с импульсом 3,4 ГэВ/с^{35/}.

7. Исследованы сцинтилляционные характеристики кристаллов BaF_2 большого объема ($\sim 100\text{-}200$ см³).

Определены оптические свойства, содержание примеси ионов Pb^{2+} и зависимость

энергетического разрешения от температуры^{36/}.

8. Разработан трековый детектор адронов на основе пороговых детекторов деления и фрагментации^{37/}. Автоматический съем информации с трековых детекторов позволяет проводить экспрессные исследования полей вторичного адронного излучения с помощью десятков детекторов. Исследована эффективность регистрации для детекторов фрагментации в интервале энергий 0,2-4 ГэВ. Проведено тестирование метода в эксперименте с толстой свинцовой мишенью, облучаемой протонами с энергией 3,17 ГэВ.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, АСУ, ОБРАБОТКА ДАННЫХ, ЭЛЕКТРОНИКА

1. Обеспечена работа измерительно-вычислительного центра Лаборатории высоких энергий в плановом объеме. Введены в эксплуатацию ЭВМ ИЗОТ-1055С, графическая станция ИЗОТ-1040, улучшено программное обеспечение, в частности адаптировано прикладное обеспечение ЦЕРН для пользования на ряде ЭВМ типа VAX в ОИЯИ^{38/}.

В рамках темы "Суперкомпьютер модульный для обработки данных спектрометров физики высоких энергий" создан модуль на основе трех процессорных плат МС 68000 производительностью 1 Моп/с каждая. Изучен механизм взаимодействия центрального вычислителя системы с периферийными модулями на уровне протокола шины VME и создано математиче-

ское обеспечение для организации этого взаимодействия в рамках операционной системы VERSADOS.

2. Изучались некоторые новые алгоритмы обработки данных. Так, для оценки координат экстремумов применен численный вариант асимптотического метода Лапласа^{39/}. Метод является интегральным эквивалентом статистического метода взвешенных средних. В отличие от методов оптимизации нулевого, первого и второго порядков данный метод можно применять также для оптимизации разрывных целевых функций, он особенно высокоэффективен в тех случаях, когда стандартные процедуры оптимизации не срабатывают из-за плохих анали-

тических свойств целевых функций вблизи экстремальных точек.

Проведено сравнительное тестирование вариантов алгоритма с переменной метрикой^{/40/}.

3. В работе^{/41/} описана автоматизированная система контроля триггера установки ГИБС, с помощью которой выполняются эксперименты по исследованию гиперядер. Система состоит из трех основных групп детекторов:

- группа А - отбор ядра, идентификация его по заряду, отбраковка по минимальному временному интервалу между частицами;
- группа В - точное определение заряда ядра-фрагмента, образовавшегося в результате взаимодействия первичного ядра с мишенью;
- группа С - точное измерение заряда ядра-фрагмента за распадным объемом.

Система построена на базе микроЭВМ "Электроника-60", работающей на линии с ЭВМ ЕС-1055, которая осуществляет оперативную обработку данных и их запись на магнитную ленту.

Информация с детекторов, записанная по триггерному сигналу, используется при анализе фотоснимков.

4. Для расширения контроля информации, поступающей со спектрометра "Альфа", работающего на линии с мини-ЭВМ ЕС-1010, в состав системы введена персональная ЭВМ "Правец-16". Это позволило использовать ПЭВМ в качестве "интеллектуального терминала" мини-ЭВМ.

Разработана схема дальнейшего развития системы автоматизации спектрометра, учитывающая планируемое увеличение информационных каналов с детекторов до 6000, с использованием транспьютеров^{/42/}.

РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ЛАБОРАТОРИИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАБОТА СИНХРОФАЗОТРОНА

Обеспечена работа ускорителя на физический эксперимент и совершенствование систем в плановом объеме (~4000 ч). Проведены эксперименты по перезахвату пучка, позволившие найти способ значительного уменьшения потерь частиц и тем самым повышения эффективности работы синхрофазотрона в режиме совмещения бесструктурного медленного вывода на низких и средних энергиях с повторным захватом оставшейся части в последующее ускорение для экспериментов при более высоких энергиях.

Велись работы по развитию источников многозарядных ионов. Создан новый ионизатор КРИОН-2М для получения водородоподобных ионов тяжелых элементов. В этом ионизаторе получен электронный пучок с энергией 100 кэВ. Изготовлена система измерения эмиттанса пучка на выходе лазерного источника.

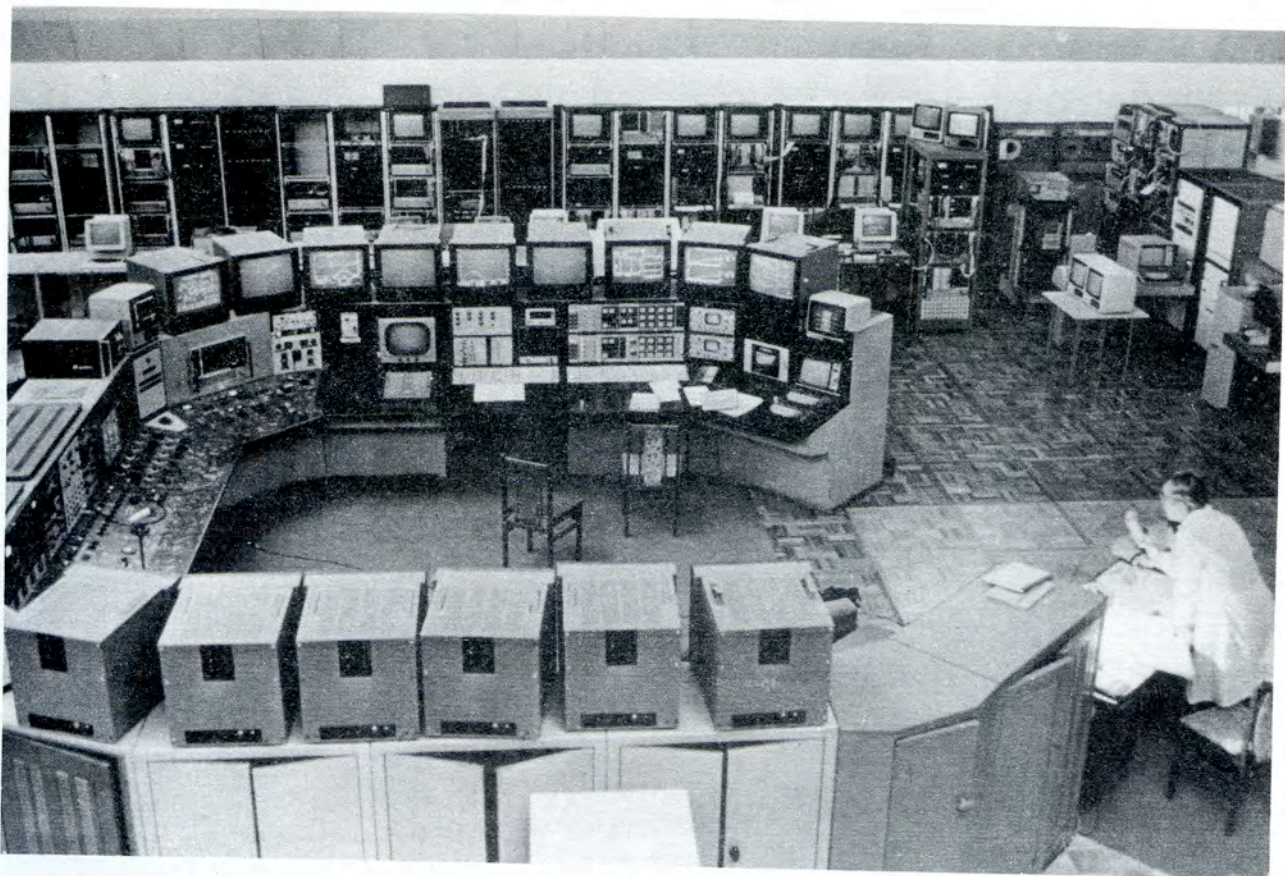
Проведены уточненные расчеты ускоряющих структур и конструкторская проработка двух ускорительных секций (типа Альвареца), предложен и рассчитан предускоритель нового типа, основанный на переменнo-фазовой фокусировке. Выполнен ряд работ по подготовке к проектированию бустера нуклотрона.

В 1990 году на физический эксперимент ускорительный комплекс синхрофазотрона отработал 3280 часов, из которых 25% - в режиме

ускорения протонов, 18% - поляризованных дейтронов и более 40% общего времени - в режиме ускорения ядер (d, He, C, Li, F, O, Mg). Весь спектр пучков, имеющийся в настоящее время на ускорительном комплексе синхрофазотрона, активно используется физиками-потребителями из более чем 100 научных организаций стран-участниц и неучастниц ОИЯИ. В прошедшем году на пучках синхрофазотрона облучалось 20 физических установок. Уникальными продолжают оставаться пучки поляризованных дейтронов (векторно и тензорно) синхрофазотрона. Комплекс устройств, созданных в связи с программой развития поляризованных исследований в ЛВЭ, описан в работе^{/43/}.

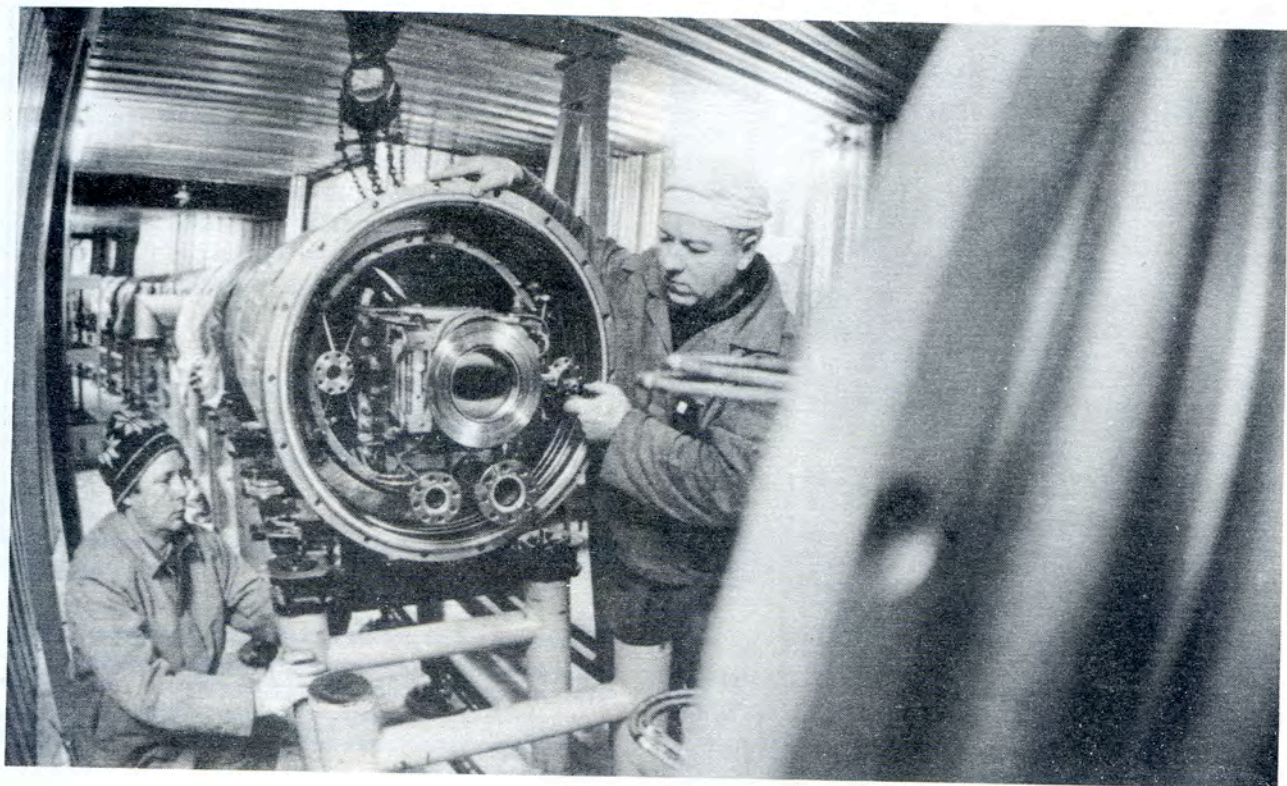
СОЗДАНИЕ НУКЛОТРОНА

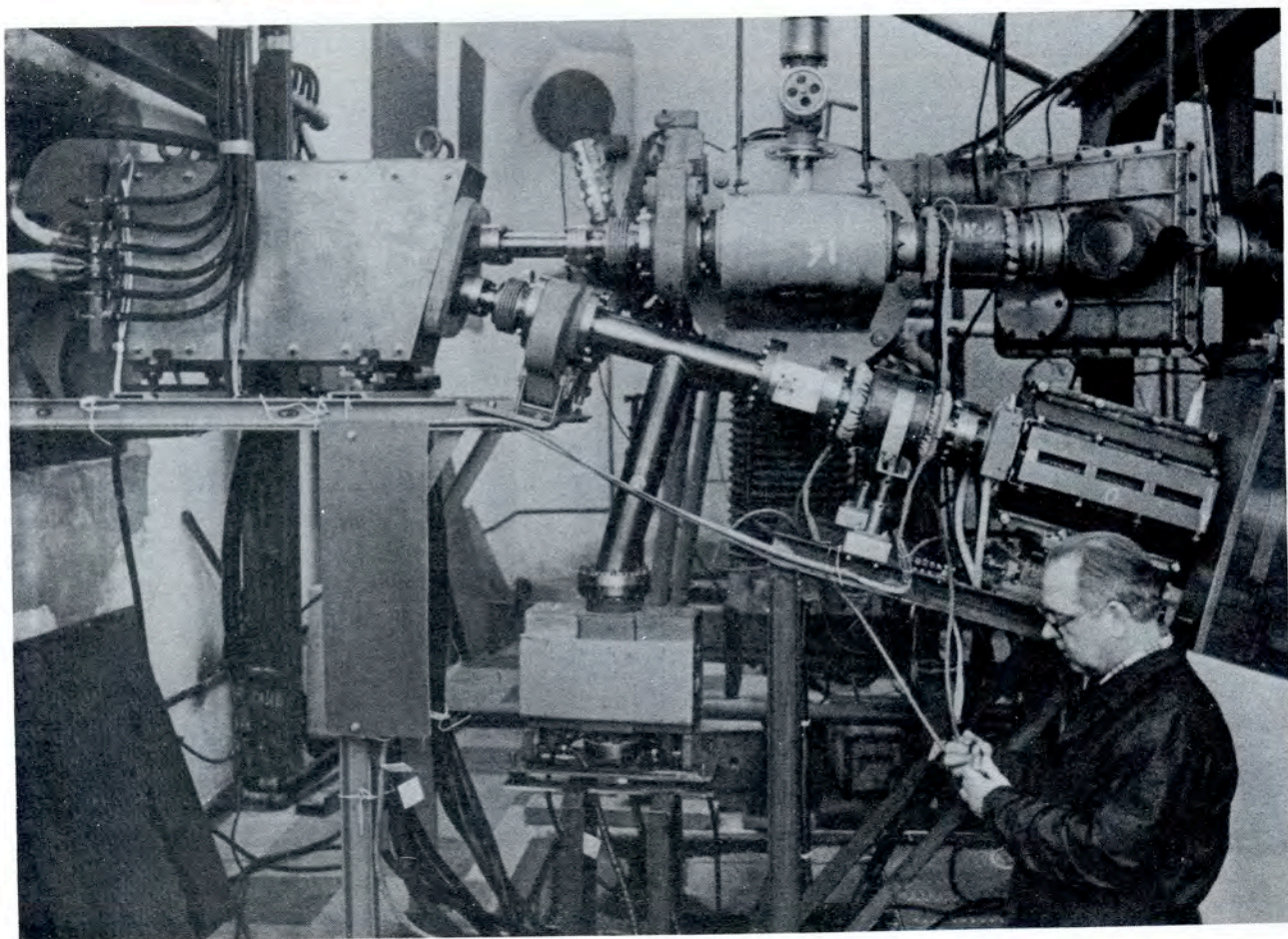
В декабре 1990 г. начат монтаж модулей магнитной системы нуклотрона в тоннеле. Этому этапу в создании нового сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер предшествовал комплекс стендовых испытаний дипольных, квадрупольных и мультипольных корректирующих магнитов в рабочих условиях, определение основных характеристик магнитных полей в каждом из них с точностью на уровне 10^{-4} , оптимизация расстановки магнитов на основании данных магнитных измерений. Были завершены также основные испытания элементов системы



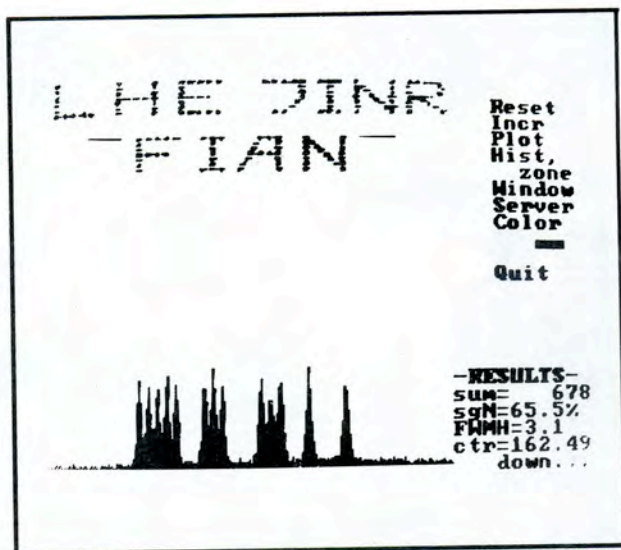
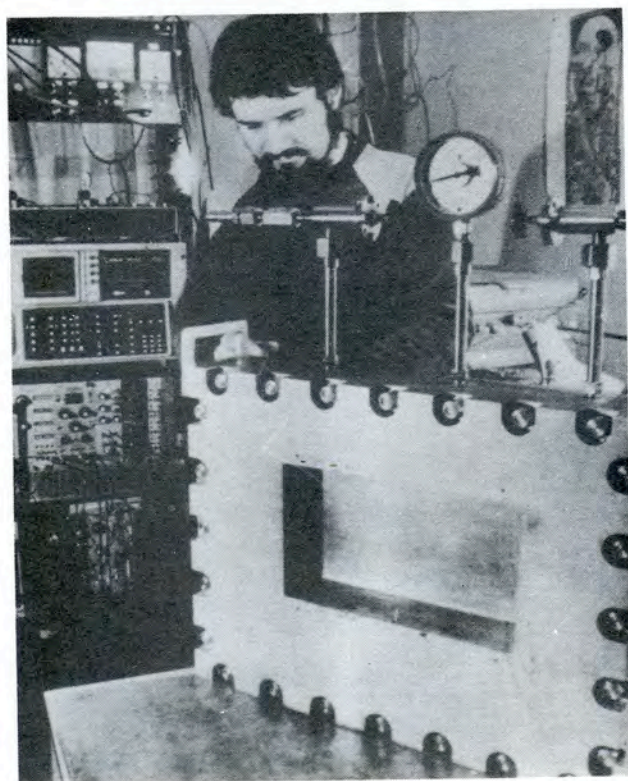
Зал управления ускорительным комплексом синхрофазотрона. На заднем плане – консоли управления и контроля системами нуклотрона в стадии монтажа и наладки

Монтаж магнитной системы нуклотрона в тоннеле





Канал инжекции пучка от линейного ускорителя ЛУ-20 в нуклотрон



Созданный в ЛВЭ двумерный детектор медленных нейтронов. Слева – общий вид детектора. Вверху – снимок с дисплея, характеризующий пространственные разрешения прибора: точки, с помощью которых изображены буквы, соответствуют отверстиям диаметром 2 мм, выполненным в кадмиевой пластине

ввода пучка из тракта инъекции на орбиту нуклотрона, устройств диагностики пучка.

К концу году в тоннеле было смонтировано более двух десятков модулей, проведена их юстировка с точностью $\sim 0,1$ мм.

Крупным этапом в создании криогенной системы нуклотрона явилась наладка второй установки для ожигения гелия мощностью 1600 Вт.

В ближайшее время усилия Лаборатории будут концентрироваться на полном завершении монтажа первого квадранта ускорителя и его наладке. Опубликован ряд работ, связанных с разработкой и созданием отдельных систем нуклотрона. Среди них: "Система криогенного обеспечения нуклотрона"^{/44/}, "Результаты испытаний головного образца гелиевого винтового компрессорного агрегата "Каскад-80/25"^{/45/},

"Моделирование коррекции замкнутой орбиты нуклотрона"^{/46/}, "Расчет канала инъекции от ЛУ-20 в нуклотрон"^{/47/}, "Система транспортировки пучков от синхрофазотрона и нуклотрона к экспериментальным установкам корпуса № 205"^{/48/}. Для исследования переходных процессов в сверхпроводящих магнитах создан 10-канальный регистратор^{/49/}. Прибор позволяет фиксировать аварийный переход обмотки СП-магнита в нормальное состояние и дать сигнал на включение систем защиты. Созданы и исследованы принудительно охлаждаемые тоководы на ток до 2,5 кА с электрической прочностью изоляции 2,5 кВ^{/50/}. Удельный теплоприток составляет ~ 1 Вт кА⁻¹ при максимальном токе, гидравлическое сопротивление при оптимальном расходе охлаждающего газа ~ 10 кПа.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Координатные детекторы. Создан детектор "изображений" медленных нейтронов на основе многопроволочной камеры, заполняемой газовой смесью ³He и пропана под давлением до 4 атм для изучения малоуглового рассеяния нейтронов в интервале углов до 5°^{/51/}. Чувствительная площадь детектора 256x128 мм². Прибор работает на линии с компьютером АТ-286.

Работа выполнялась в сотрудничестве со специалистами ФИАН (Москва) и ГНИИМ (Прага). Детектор успешно испытан на пучке нейтронов реактора ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ. Пространственное разрешение оказалось на уровне 2,6 мм, эффективность регистрации нейтронов $\sim 80\%$ ($l = 6$ Å) при высокой степени однородности эффективности по чувствительной площади. Прибор с указанными параметрами создан в странах-участницах ОИЯИ впервые. Его применение даст возможность в десятки раз увеличить скорость набора экспериментальных данных.

Исследования высокотемпературных сверхпроводников. Показано, что облучение реляти-

вистскими ядрами углерода ВТСП-образцов (в том числе монокристаллов) приводит к росту критических токов. Подготовлена методика для облучения ВТСП-образцов при комнатных температурах тяжелыми ионами низких энергий. Собрана установка для низкотемпературных облучений высокотемпературных сверхпроводников.

Проведен анализ $\rho(T)$ для ВТСП-керамик, пленок и монокристалла с точки зрения определения эффективной размерности системы в период перехода.

Выполнены измерения релаксации остаточной намагниченности *V*i-монокристалла в зависимости от намагничивающего поля.

Приборы, устройства, системы. Разработана и испытана 50-метровая моноволоконная световодная система для симплексного обмена информацией при работе на электрофизических установках в условиях особо сильных помех^{/52/}. Отработана технология соединений моноволоконных световодов методом электродуговой сварки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алеев А.Н. и др. – ОИЯИ, P1-90-128, Дубна, 1990.
2. Aleev A.N. et al. – JINR, E1-90-305, Dubna, 1990.

3. Алеев А.Н. и др. – ОИЯИ, P1-90-595, Дубна, 1990.
4. Алеев А.Н. и др. – ОИЯИ, P1-90-168, Дубна, 1990.

5. Троян Ю.А. и др. – ОИЯИ, P1-90-79, Дубна, 1990.
6. Троян Ю.А. и др. – ОИЯИ, P1-90-78, Дубна, 1990.
7. Балдин А.М. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 3[42]-90, Дубна, с.4.
8. Shahbazian B.A. et al. – *Phys.Lett.*, 1990, B235, p.208.
9. Pora L. et al. – In: *JINR Rapid Communications*, № 6[45]-90, Dubna, p.14.
10. Baldin A.M., Didenko L.A. – *Fortschritte der Physik*, 1990, v.38, № 4, p.261-332.
11. Балдин А.М. и др. – ОИЯИ, P1-90-263, Дубна, 1990.
12. Кечечан А.О., Шахбазян Б.А. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 1[40]-90, Дубна, с.5.
13. Ангелов Н., Любимов В.Б., Тогоо Р. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 4[43]-90, Дубна, 1990, с.20.
14. Ангелов Н., Любимов В.Б., Тогоо Р. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 2[41]-90, Дубна, с.4.
15. Кечечан А.О., Шахбазян Б.А. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 3[42]-90, Дубна, с.11.
16. Баатар Ц. и др. – ОИЯИ, P1-90-26, Дубна, 1990.
17. Баатар Ц. и др. – ОИЯИ, P1-90-202, Дубна, 1990.
18. Йовчев К. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 7[46]-90, Дубна, 1990, с.27.
19. Ботвина А.С. и др. – ОИЯИ, P1-90-560, Дубна, 1990.
20. Strugalski Z. et al. – *JINR*, E1-90-17, Dubna, 1990.
21. Mulas E. et al. – *JINR*, E1-90-460, Dubna, 1990.
22. Strugalski Z. et al. – *JINR*, E1-90-459, Dubna, 1990.
23. Третьякова М.И. и др. В кн.: Труды X Международного семинара по проблемам физики высоких энергий (тезисы докладов). ОИЯИ, Д1,2-90-456, Дубна, 1990, с.37.
24. Hegab M.K. et al. – In: *JINR Rapid Communications*, №7[46]-90, Dubna, 1990, p. 36.
25. Стрельцов В.Н. – ОИЯИ, P2-90-101, E2-90-102, E2-90-275, P2-90-426, Д2-90-476, P2-90-484, Дубна, 1990.
26. Belyakov V.A., Strel'tsov V.N. – *JINR*, E2-90-309, Dubna, 1990.
27. Абрамян Х.У. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 7[46]-90, Дубна, 1990, с.19.
28. Аблеев В.Г. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 4[43]-90, Дубна, 1990, с.5.
29. Пенчев Л., Ситник И.М., Строковский Е.А. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 4[43]-90, Дубна, 1990, с.10.
30. Abreu P. et al. – *CERN-PPE/90-118*, 90-122, 90-123, 90-173, 90-174, Geneva.
31. Водопьянов А.С. и др. – ОИЯИ, P1-90-200, Дубна, 1990.
32. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P1-90-32, Дубна, 1990.
33. Astakhov V.I. et al. – In: *JINR Rapid Communications*, № 1[40]-90, Dubna, 1990, p.45.
34. Afanasiev S.V. et al. – In: *JINR Rapid Communication*, № 7[46]-90, Dubna, 1990, p.6.
35. Stowinski B. – *JINR*, E1-90-274, Dubna, 1990.
36. Kozma P. et al. – *JINR*, E13-90-80, Dubna, 1990.
37. Воробьев И.Б. и др. – ОИЯИ, P13-90-194, Дубна, 1990.
38. Балашов В.К., Трофимов В.В. – ОИЯИ, P11-90-108, Дубна, 1990.
39. Plyushchenko V.I. – *JINR*, E10-90-410, Dubna, 1990.
40. Plyushchenko V.I. – *JINR*, E10-90-503, Dubna, 1990.
41. Базылев С.Н. и др. – ОИЯИ, P10-90-533, Дубна, 1990.
42. Запорожец С.А., Черных Е.В. – ОИЯИ, P10-90-216, Дубна, 1990.
43. Ershov V.P. et al. – *JINR*, E13-90-331, Dubna, 1990.
44. Агапов Н.Н. и др. – ОИЯИ, P8-90-481, Дубна, 1990.
45. Агапов Н.Н. и др. – ОИЯИ, 8-90-304, Дубна, 1990.
46. Акишин П.Г. и др. – ОИЯИ, 9-90-485, Дубна, 1990.
47. Безногих Ю.Д. и др. – ОИЯИ, 9-90-107, Дубна, 1990.
48. Бартенева Н.А. и др. – ОИЯИ, P1-90-75, Дубна, 1990.
49. Дацков В.И., Малиновски Х. – ОИЯИ, 8-90-66, Дубна, 1990.
50. Бартенев В.Д. – ОИЯИ, 8-90-186, Дубна, 1990.
51. Zanevsky Yu.V. et al. – In: *2nd London Conf. on Positron-Sensitive Detectors*, 4-7 Sept. 1990, Abstracts, p.71.
52. Романов Ю.И. – ОИЯИ, P13-90-473, Дубна, 1990.