

# ДУБНА · 1991

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1991 · DUBNA



# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Главными задачами Лаборатории высоких энергий, определенными решениями 69 сессии Ученого совета ОИЯИ, являлись следующие: монтажные и пусконаладочные работы по нуклотрону; моделирование отдельных узлов инжекционного комплекса; проведение актуальных исследований кварковых систем на синхрофазотроне, а также на ускорителях других научных центров; подготовка первоочередных экспериментов на нуклотроне; прикладные исследования.

Коллектив ЛВЭ успешно справился с поставленными задачами. Завершен проект «Реконструкция магнитной системы синхрофазотрона на сверхпроводящую — нуклотрон». Проект был утвержден в декабре 1986 года и в соответствии с рассчитанным на 5 лет планом-графиком предусматривал изготовление и монтаж основных систем нового сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер.

В 1991 г. выполнены не только монтажные, но также большой объем пусконаладочных работ и осуществлен ввод в действие ряда систем нуклотрона.

Физические исследования концентрировались в рамках двух крупных научных программ:

— Исследование множественных процессов в условиях  $4\pi$ -геометрии;

— Исследование ненуклонных степеней свободы и спиновых эффектов в малонуклонных системах.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### СВОЙСТВА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ И МУЛЬТИКВАРКОВЫХ СОСТОЯНИЙ

1. В процессах образования  $\phi$ -мезонов проверялись тонкие эффекты в проявлении правила OZI для кварков. Эксперимент выполнен с помощью установки БИС-2 на серпуховском ускорителе в пучке нейтронов со средним импульсом

Эксперименты по первой из этих программ выполнялись в основном на пучках релятивистских ядер синхрофазотрона с импульсом до 4,5 ГэВ/с на нуклон, а по второй — на пучках векторно- и тензорно-поляризованных дейтронов, рекордные энергии которых получены на дубненском ускорительном комплексе.

В результате обработки материалов экспериментов БИС-2 и СКА в ИФВЭ получены новые физические данные.

Сотрудники Лаборатории высоких энергий участвовали в эксперименте ДЕЛФИ на комплексе LEP (ЦЕРН), в работах по программе SSC (США), в коллаборации WASA на ускорителе CELSIUS (Швеция) и др.

В совместных экспериментах на синхрофазотроне, обработке данных, физическом анализе информации, методических и технических разработках в ЛВЭ принимают участие около 500 специалистов из более чем 120 научных организаций 23 стран. Энергетический диапазон пучков ускорительного комплекса синхрофазотрон — нуклотрон (3,5÷6 ГэВ/нуклон) позволяет исследовать наиболее сложную и наименее разработанную область физики сильных взаимодействий — хромодинамику больших расстояний. Научная значимость новых экспериментальных данных в этом интервале энергий сохранится и после ввода в действие ускорителей и коллайдеров релятивистских ионов сверхвысоких энергий.

40 ГэВ/с. Найдено, что с вероятностью  $67 \pm 12\%$   $\phi$ -мезон образуется (на водородной мишени) совместно со странными частицами  $\Lambda$ -гипероном или  $K$ -мезоном с сечением  $(53 \pm 9)$  мкб. Для двойного образования  $\phi$ -мезонов определено сечение  $(15 \pm 9)$  мкб.

Совместное образование  $\phi$ -мезонов со странными частицами позволило выбрать разре-



шенную по правилу OZI диаграмму рождения  $\phi$ -мезонов из двух странных «морских» кварков [1].

2. На установке БИС-2 в той же схеме облучения наблюдалось образование очарованного странного бариона  $\Xi_c^+$  из предсказанных  $\Xi_c^+$ ,  $\Xi_c^0$ ,  $\Omega_c^0$  по кварковой модели. Ранее этот барион наблюдался только при очень высоких энергиях пучка (несколько сотен гигаэлектрон-вольт). Оценки его массы дали значение  $M \cong (2440 \pm 20)$  МэВ с распадом по модам  $\Xi_c^+ \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ K^-$  и  $\rightarrow \Sigma^0 \pi^+ \pi^+ K^-$ .

Полученное значение массы  $\Xi_c^+$ -бариона хорошо согласуется со значениями масс ранее найденных  $\Xi_c^+$ -барионов в других экспериментах [2].

3. На материалах облучения 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ протонами с импульсом 10 ГэВ/с найдено событие, интерпретируемое как внутриядерная конверсия предсказанного стабильного  $A$ -дибариона ( $I = 1/2$ ,  $B = 2$ ,  $S = -3$ ) в три  $\Lambda$ -гиперона. С помощью многовершинного кинематического анализа определена масса  $A$ -дибариона, которая оказалась равной  $(2480 \pm 33)$  МэВ. По двум теоретическим моделям масса ожидалась равной 2366 и 2472 МэВ [3].

Другое обнаруженное событие интерпретируется как прямое наблюдение распада дибариона  $\bar{H}$  ( $B = 2$ ,  $S = -2$ ) по каналу слабого взаимодействия  $\bar{H} \rightarrow \Sigma^- p$  с последующим распадом  $\Sigma^- \rightarrow n \pi^-$ . Масса  $\bar{H}$  оказалась равной  $(2409 \pm 11)$  МэВ и близкой к предсказанной массе 2370 МэВ (модель скирмионного типа). Подсчитанная по значениям сечений альтернативных физических процессов оценка вероятности ложной интерпретации этого события составляет  $\sim 10^{-7}$  [4].

4. В совместном ЦЕРН — ОИЯИ эксперименте ДЕЛФИ на комплексе LEP продолжались изучение и анализ информации по образованию, свойствам и распадам  $Z^0$ -бозона. На большой статистике получены данные по массе и ширине:  $M(Z^0) = (91,177 \pm 0,022)$  ГэВ,  $\Gamma(Z^0) = (2,465 \pm 0,02)$  ГэВ. Сечение образования  $Z^0$  с адронным распадом составляет  $\sigma = (41,84 \pm 0,45)$  нб.

Определены также времена жизни  $B$ -адрона и  $\tau$ -лептона:  $t(B) = (1,28 \pm 0,10) \cdot 10^{-12}$  с;  $t(\tau) = (314 \pm 25) \cdot 10^{-15}$  с [5]. Получена верхняя оценка массы частицы Хиггса  $M(H^0) \leq 38$  ГэВ [6].

## АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛЬНО ВОЗБУЖДЕННОЙ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

В последние годы физика релятивистских ядерных столкновений занимает лидирующее положение в исследовательских программах на крупнейших ускорительных комплексах. Возрастающий интерес как физиков-ядерщиков, так и специалистов, занимающихся физикой частиц в этой области, связан главным образом с тем, что релятивистская ядерная физика дает практически единственную возможность изучения цвета. Конечной целью этих исследований является описание свойств атомных ядер и ядерных реакций при высоких энергиях на основе фундаментальных хромодинамических взаимодействий кварков и глюонов. Большое количество работ по этой теме мотивировано также надеждами получить и исследовать состояния сильно возбужденной ядерной материи, включающие деконфайнмент цветных зарядов и фазовый переход: адронная материя — кварк-глюонная плазма.

Расчеты в рамках КХД на решетке предсказывают возможность получения таких состояний в релятивистских ядерных столкновениях.

Исследования, выполненные на пучках синхрофазотрона при энергиях ядра-снаряда до 3,5—4 ГэВ/нуклон, показали, что в этой области протон-нейтронная модель атомного ядра недостаточна для описания наблюдаемых спектров и характеристик вторичных частиц.

В 1991 году в Лаборатории высоких энергий продолжалось изучение наиболее характерных процессов и особенностей рождения частиц в релятивистских адрон- и ядро-ядерных столкновениях, требующих для своего описания учета цветовых, кварковых степеней свободы, коллективных механизмов взаимодействия, в частности, рождение кумулятивных частиц, формирование адронных струй и барионных кластеров и др.

1. Получены более статистически обеспеченные данные по изучению спектров эффективных масс нуклонных кластеров, образующихся во взаимодействиях протонов, дейтронов, ядер гелия и углерода с ядрами углерода при импульсе 4,2 А · ГэВ/с [7]. Использовались данные, полученные с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, общая статистика которых в анализе составляла  $\sim 10^4$  событий для каждого типа реакции. Протонные кластеры выделялись релятивистски-инвариантным методом в пространстве относительных 4-скоростей  $b_{ik}$ :



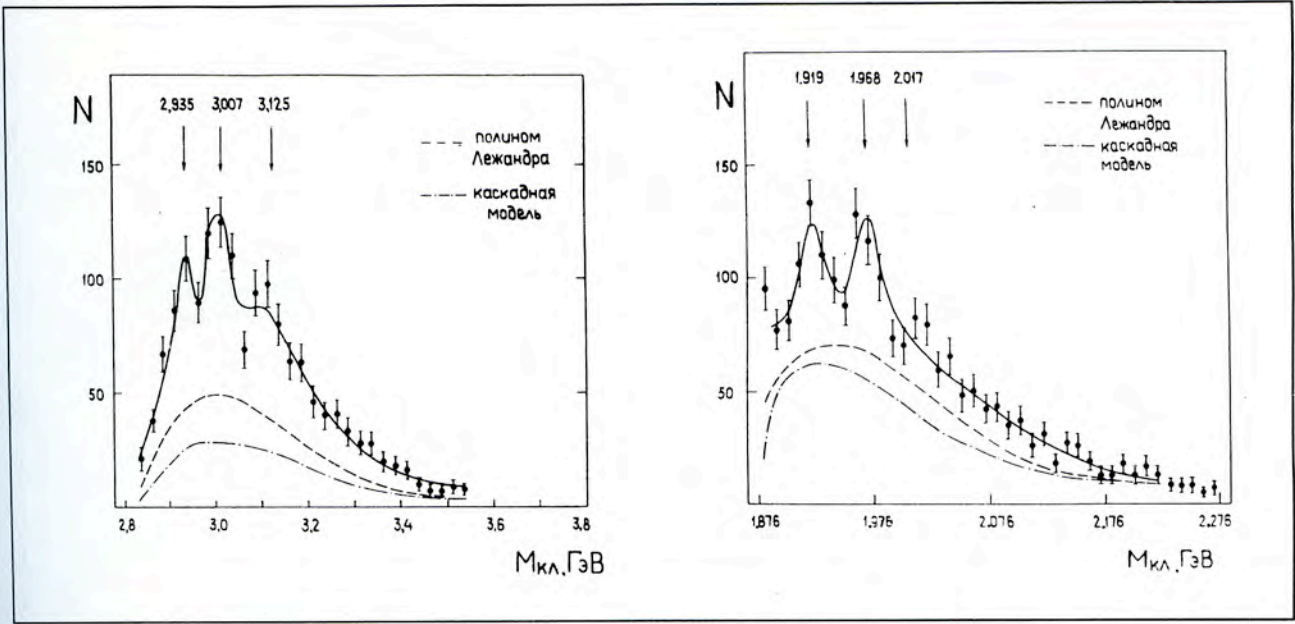


Рис. 1. Спектры эффективных масс протонных кластеров, образованных в  $p$ -,  $d$ -,  $He$ -,  $CC$ -взаимодействиях при импульсе  $4,2 \text{ А} \cdot \text{ГэВ}/\text{с}$  с различной множественностью протонов:  $n_p = 2$ ;  $n_p = 3$

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

где  $p_i, p_k$  — четырехимпульсы,  $m_i, m_k$  — массы рассматриваемых частиц  $i$  и  $k$ . Процедура выделения струй и кластеров в этом пространстве подробно описана в обзоре [8]. Число кластеров с множественностью протонов  $n_p = 2 \pm 6$  во всех реакциях составило 2090, 1813, 1020, 549, 253 соответственно. Спектры эффективных масс кластеров с множественностью протонов  $n_p = 2$  и  $n_p = 3$  показаны на рис.1. Температура кластеров  $60\text{--}70 \text{ МэВ}$ . Детальный анализ их характеристик показал, что в данном случае наблюдаются нуклонные резонансные состояния с ширинами от нескольких мегаэлектронвольт до нескольких десятков мегаэлектронвольт, что соответствует времени их жизни  $\tau \sim h/\Gamma \approx 10^{-22} \text{ с}$ . Характер углового распределения протонов в системе покоя кластеров относительно направления их движения в лабораторной системе показал, что эти резонансные состояния могут иметь отличный от нуля спин.

2. Продолжено изучение автомодельных свойств взаимодействий адронов и ядер высоких энергий. На основе анализа в пространстве 4-скоростей  $b_{ik}$  показано, что распределения частиц в струях, образованных в  $\bar{p}p$ -столкновениях при энергии столкновения  $\sqrt{s} = 1,8 \text{ ТэВ}$  (экспе-

римент ФНАЛ), подобны наблюдаемым ранее в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-C$ -,  $pp$ -,  $\nu N$ -взаимодействиях при анализе экспериментальных данных пузырьковых камер как ОИЯИ, так и США при импульсе от 40 до 200  $\text{ГэВ}/\text{с}$  на нуклон. При этом параметр  $m$ , определяющий наклон распределений, оказывается равным  $m \approx 3,0$  (рис.2).

3. Изучены наклоны инвариантных спектров поперечных импульсов  $\pi^-$ -мезонов, испущенных в неупругих  $(d, \alpha, C) + (C, \text{Ta})$ -взаимодействиях при  $4,2 \text{ ГэВ}/\text{с}$  на нуклон [9]. Получены величины температур отрицательных пионов в разных областях быстрот. Для столкновений с ядром углерода при переходе из области фрагментации к центральной области быстрот температура пионов существенно увеличивается (от 60 до 110  $\text{МэВ}$ ). В спектре поперечных импульсов  $\pi^-$ -мезонов, образованных в неупругих взаимодействиях ядер с тяжелой танталовой мишенью, присутствуют два наклона. Значение первой температуры ( $\approx 40 \text{ МэВ}$ ) остается приблизительно постоянным во всем интервале быстрот, а поведение второй подобно наблюдаемому в столкновениях легких ядер (меняется от 70 до 110  $\text{МэВ}$ ). Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами, выполненными в рамках модели кварк-глюонных струн. Модель в основном удовлетворительно описывает экспериментальные данные. Исключение составляет центральная область быстрот, в которой наблюдается превыше-



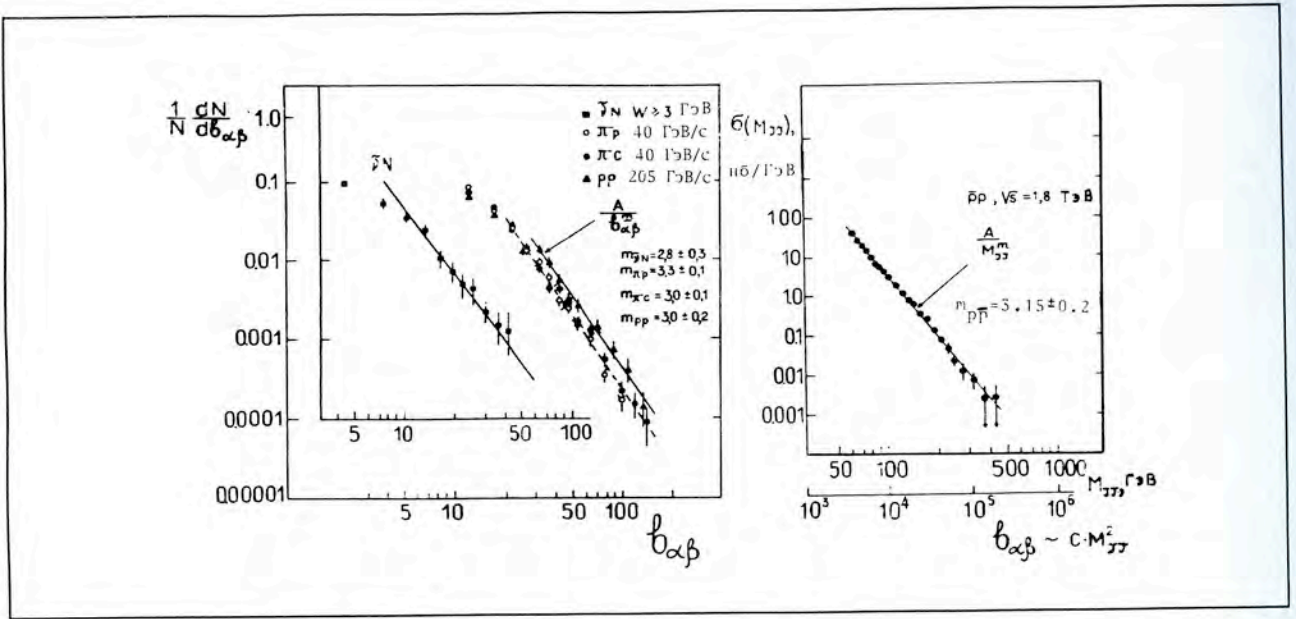


Рис. 2. Распределение частиц в четырехмерных струях, образованных в  $\bar{p}p$ -взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 1,8 \text{ ТэВ}$  (справа) и  $\pi^- p$ -,  $\pi^- C$ -,  $p\bar{p}$ -,  $\bar{\nu}N$ -взаимодействиях при энергии  $40 \pm 200 \text{ ГэВ/нуклон}$  (слева)

ние числа пионов с большими  $p_{\perp}$  по сравнению с расчетом.

4. Изучены инвариантные сечения выхода  $\pi^-$ -мезонов и протонов в зависимости от кинетической энергии при фиксированных углах в интервале от  $0$  до  $180^\circ$  для  $pC$ - и  $pTa$ -взаимодействий при  $10 \text{ ГэВ/с}$ . Показано, что форма спектров  $\pi^-$ -мезонов и протонов слабо зависит от атомного веса ядра-мишени, начиная с  $\theta = 60^\circ$ . Представлены также угловые зависимости сечений выхода  $\pi^-$ -мезонов и протонов. Сечение выхода  $\pi^-$ -мезонов растет пропорционально  $A^{2/3}$  при малых углах, а в интервале  $\theta > 50^\circ$  — пропорционально атомному весу ядра-мишени. Сечение выхода протонов имеет различную зависимость от  $A$  в разных угловых интервалах: от  $A^{0,6}$  при малых углах до  $A^{1,5}$  при  $\theta \geq 110$ . Форма спектров  $\pi^-$ -мезонов и протонов из  $pC$ -  $pTa$ -взаимодействий при  $10 \text{ ГэВ/с}$  сравнивается с соответствующими характеристиками частиц из  $\pi^- C$ -событий при  $40 \text{ ГэВ/с}$  [10].

В работе [11] представлены инвариантные сечения выхода  $\pi^-$ -мезонов в зависимости от их кинетической энергии при фиксированных углах в интервале от  $0$  до  $180^\circ$  для  $dTa$ -,  $\alpha Ta$ - и  $STa$ -взаимодействий при  $4,2 \text{ ГэВ/с}$  на нуклон. Показано, что форма спектров пионов при энергии выше  $0,1 \text{ ГэВ}$  и углах испускания  $\theta > 20^\circ$  не зависит от типа ядра-снаряда в пределах  $\sim 10\%$  погрешностей. Исследованы зависимости сечений выхода  $\pi^-$ -мезонов при фиксированных углах от атомных весов сталкивающихся ядер. В каждом угло-

вом интервале зависимость  $d\sigma^\pi/d\Omega$  от атомного веса ядра-снаряда может быть аппроксимирована степенной функцией ( $A^\alpha$ ) для взаимодействий как на легкой, так и на тяжелой мишенях. Параметр  $\alpha$  близок к единице при малых углах и уменьшается до  $\approx 2/3$  при углах  $\theta \geq 130^\circ$ . При степенной зависимости  $d\sigma^\pi/d\Omega$  от атомного веса ядра-мишени ( $A_T^{\alpha_T}$ ) параметр  $\alpha_T$  возрастает от  $0,6$  в интервале  $\theta \leq 10^\circ$  до  $\alpha_T \approx 1$  для  $\theta > 90^\circ$ .

5. В ядерных взаимодействиях, в которых хотя бы часть вторичных частиц образуется через кластеры [12], наблюдался эффект усиления динамических флуктуаций плотности вторичных частиц. Анализ проводился на материалах  $\pi^- C$ -,  $pC$ -,  $pTa$ -,  $(p, \alpha, He, C)C$ - и  $STa$ -взаимодействий при первичном импульсе  $40, 10$  и  $4,2 \text{ ГэВ/с}$  на нуклон соответственно. Кластеры выделялись в пространстве нормированных к одинаковой массе относительных четырехскоростей  $b'_{ik} \left( \frac{m_i m_k}{m_0^2} \right) b_{ik}$ , где  $b_{ik} = -(u_i - u_k)^2$  определено ранее в п.1, а  $m_0$  — атомная единица массы.

6. Измерены импульсные и угловые распределения  $\Lambda$ -частиц в центральных ( $Mg+Mg$ )-столкновениях при импульсе  $4,3 \text{ ГэВ/с}$  на нуклон [13]. Экспериментальные данные были получены с помощью спектрометра со стримерной камерой в магнитном поле (установка ГИБС). Для анализа было отобрано  $\sim 2 \cdot 10^4$  случаев центральных взаи-



модействий ядер магния и выделено 2240  $V^0$ -событий, из которых 933 события гарантированы как распад  $\Lambda$ -частицы. Полученное в цитируемой работе угловое распределение  $\Lambda$ -частиц в системе центра масс сталкивающихся нуклонов отличается от изотропного, хотя по сравнению с центральными  $CC$ -столкновениями при этой же энергии является более пологим. Проанализирована множественность  $\Lambda$ -частиц. Число событий с рождением двух  $\Lambda$ -частиц составило  $\sim 4,2\%$  от событий с одной  $\Lambda$ -частицей, что несколько превышает расчетную величину, но не может служить статистически обеспеченным указанием на формирование в данном эксперименте источника  $\Lambda$ -частиц с повышенной множественностью.

7. Проведено изучение механизма фрагментации налетающих ядер Ne и Si с импульсом 4 ГэВ/с/нукл. на ядрах фотоэмульсии [14]. Подтверждено наличие механизма фрагментации:

- а) с полным расщеплением ядер до однозарядных и двухзарядных фрагментов;
- б) с сохранением одного многозарядного фрагмента с  $Z > 3$ .

Выявлен еще один механизм — фрагментация с образованием двух многозарядных фрагментов (оба с  $Z > 3$ ) за счет квазиделения возбужденного спектатора от налетающего ядра. Возбужденный спектатор образуется в периферическом взаимодействии налетающего ядра с ядром фотоэмульсии.

С помощью однометровой жидководородной пузырьковой камеры для более легкого налетающего ядра — кислорода с импульсом 3,1 ГэВ/с на нуклон выяснено [15], что преобладает механизм расщепления на несколько двухзарядных фрагментов.

8. Продолжался анализ материалов эксперимента на установке ФОТОН — МАССЕР по исследованию  $A$ -зависимости инклюзивного рождения  $\pi^0$ -мезонов [16].

Впервые измерены инклюзивные сечения образования  $\pi^0$ -мезонов в столкновениях релятивистских ядер с ядрами в реакциях: 1)  $\alpha C \rightarrow \pi^0 X$ ; 2)  $\alpha Cu \rightarrow \pi^0 X$ ; 3)  $CC \rightarrow \pi^0 X$ ; 4)  $pCu \rightarrow \pi^0 X$ . При импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон в зависимости от кумулятивного числа  $X$  в диапазоне  $0,7 \leq X \leq 1,8$  и квадрата поперечного импульса в диапазоне  $0 \leq p_{\perp}^2 \leq 0,8$  инвариантное инклюзивное сечение параметризуется функцией  $Ed\sigma/d\vec{p} \sim \exp(-X/X_0)$ . Для параметра  $X_0$ , характеризующего кварк-партоновую структурную функцию ядра, найдены значения для реакции (1)  $X_0 = 0,128 \pm 0,003$ ; для реакции (3)  $X_0 = 0,151 \pm 0,005$ .

Для реакций (1) и (3) измерена зависимость сечения образования  $\pi^0$ -мезонов от числа нуклонов в налетающем ядре. Значение степени  $m$  в параметризации  $Ed\sigma/d\vec{p} \sim A_B^m$  составляет  $m = 1,2 \pm 0,1$  при  $X \sim 1$  и достигает значения  $m = 2,4 \pm 0,2$  при  $X = 1,7$ . Этот факт указывает на то, что в образовании  $\pi^0$ -мезонов в этой кинематической области участвуют два и более нуклонов.

Для реакций (1) и (2) измерена зависимость сечения образования  $\pi^0$ -мезонов от числа нуклонов в ядре-мишени. Значение степени  $n$  в параметризации  $Ed\sigma/d\vec{p} \sim A_T^n$  составляет  $n \cong 0,4$  при  $X \cong 1,0$  и  $n \cong 0,3$  при  $X \cong 1,7$ . Этот результат указывает на то, что быстрые  $\pi^0$ -мезоны, наблюдаемые в эксперименте, генерируются в периферических взаимодействиях. Этот результат согласуется с предсказаниями кварк-партоновой модели ядер.

9. В пучке ядер  ${}^7\text{Li}$  с импульсом 21 ГэВ/с проведены измерения сечений изменения заряда и сечений перезарядки  ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$  на мишенях C, Al, Cu, Pb и CH [17]. Эксперимент выполнен на установке ГИБС. Полученные данные по сечениям перезарядки указывают на более сильную, чем для периферических столкновений, зависимость от атомного веса ядра-мишени. Таким образом, этот результат можно рассматривать как новое независимое указание на существенную роль коллективных эффектов в процессах перезарядки ядер на ядрах.

10. Предложен метод изучения плотности ядерной материи с помощью адронов высоких энергий [18]. В качестве физической основы метода использована зависимость интенсивности испускания нуклонов ядер-мишеней от «толщины» слоя ядерной материи, преодоленной нуклоном. Как демонстрация применимости метода в работе приведено распределение плотности материи в ядре атома ксенона.

11. Предложен новый экспериментальный подход для поиска и исследования очарованных ядер ( $A_c$ ), образованных при взаимодействии тяжелых релятивистских ядер с более легкими ядрами [19]. Предполагается, что  $\Lambda_c^+$ -барион, образовавшийся в одном из многих нуклон-нуклонных взаимодействий в области перекрытия ядер и замедлившийся в веществе повышенной плотности, может быть захвачен фрагментом-спектатором налетающего ядра с образованием очарованного ядра. Ожидается, что при этом выход  $A_c$ -ядер будет значительно выше, чем в  $pA$ -взаимодействиях, а их распадные пробеги достаточно большими



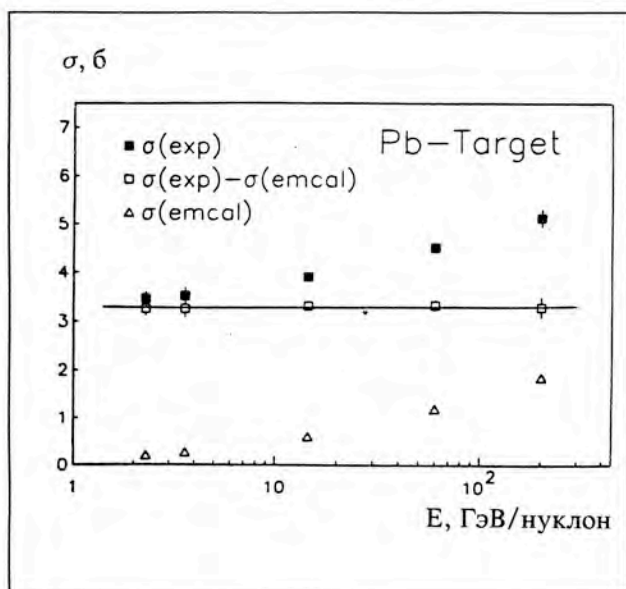


Рис. 3. Зависимость сечения ядерной фрагментации ядра кислорода на свинцовой мишени в диапазоне энергий  $2-200$  ГэВ/нуклон

для того, чтобы: использовать довольно толстые мишени (несколько мм); применять детекторы для отбора триггером случаев  $A_c$ -распадов (тонкие кремниевые стрипы); регистрировать  $A_c$ -распады в вакуумной полости, чтобы устранить фон от взаимодействий. Проведенное рассмотрение и предварительные оценки показывают, что предлагаемые эксперименты могут быть осуществлены в ядерных пучках SPS (ЦЕРН) и будущего RHIC (БНЛ).

12. Совместно с Университетом в Зигене (Германия) методом пластиковых трековых детекторов получена зависимость сечения фрагментации ядер кислорода в диапазоне энергий от 2,3 до 200 ГэВ на свинцовой мишени. Стопки пластиковых детекторов типа CR-39 были облучены ядрами кислорода на ускорителях AGS, SPS и на синхрофазотроне в Дубне. Обработка пластиков и измерения производились на автоматизированной системе группой проф. В.Хейнриха в Зигене. Полученная зависимость сечения показывает, что выход на режим предельной фрагментации с учетом электромагнитной диссоциации ядра кислорода происходит при энергии более 2 ГэВ/нуклон (рис.3).

13. Продолжалось исследование особенностей ядро-ядерных взаимодействий методом  $\gamma$ -спектроскопии наведенной активности в секционированной толстой медной мишени, облученной ядрами углерода, и твердотельных детекторах. Исследования велись в сотрудничестве с Универ-

ситетом в Марбурге (Германия), ЦЯИ (Страсбург, Франция), а также Университетом в Тессалониках (Греция).

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУКЛОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ И СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ В МАЛОНУКЛОННЫХ СИСТЕМАХ

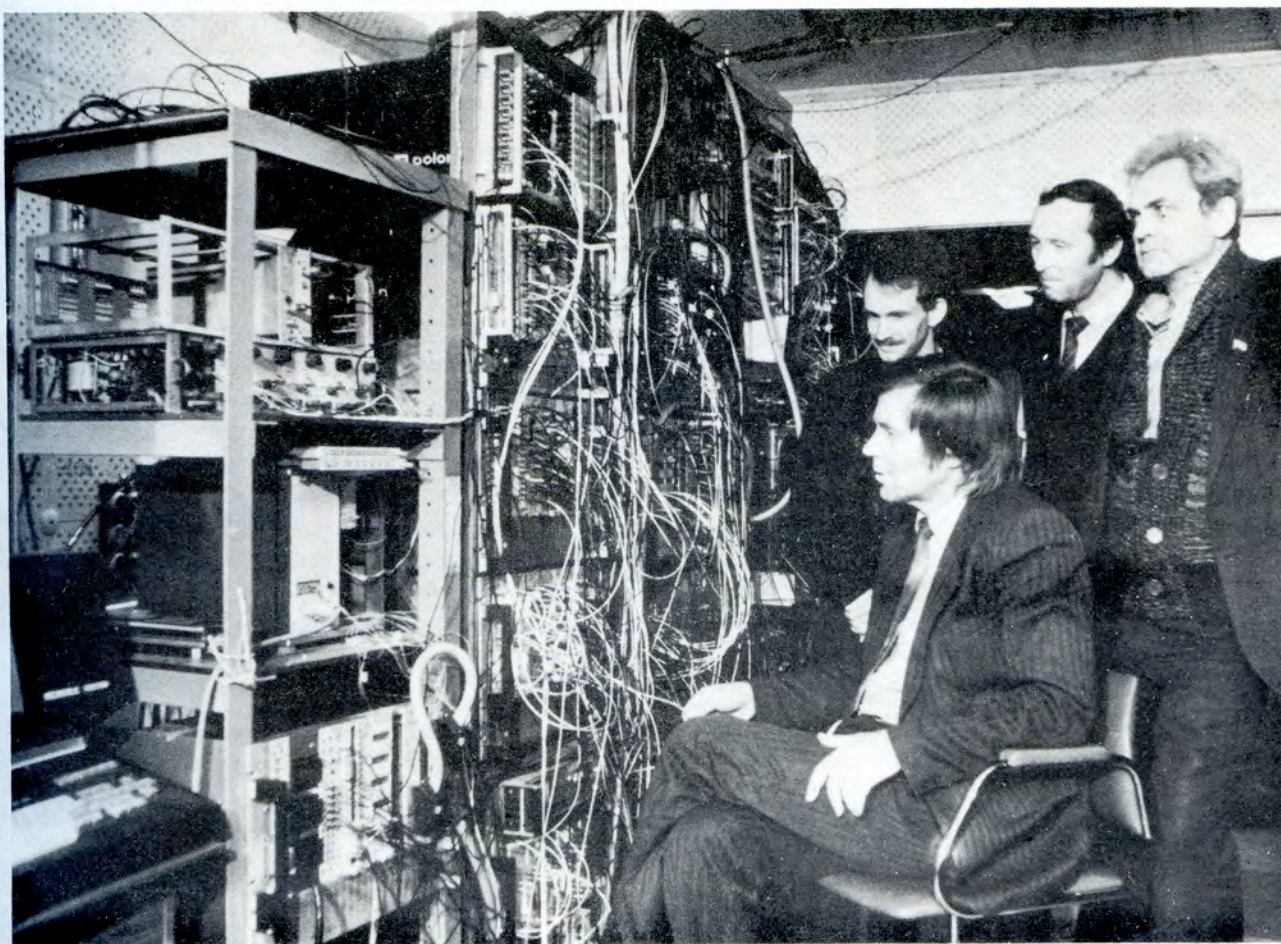
Основным объектом исследований в рамках этой программы является структура легчайшего ядра — дейтрона на межнуклонных расстояниях, меньших размера нуклона. Особую привлекательность для экспериментаторов, интересующихся этой проблемой, представляют пучки векторно- и тензорно-поляризованных дейтронов с импульсом до 4,5 ГэВ/с на нуклон. На пучках релятивистских поляризованных дейтронов синхрофазотрона работают установки ИНЕСС — АЛЬФА, СЯО, АНОМАЛОН, однометровая жидководородная пузырьковая камера. Спектрометр ДИСК используется для получения данных на неполяризованных пучках протонов и дейтронов.

В 1991 году в Дубне состоялось международное совещание по структуре дейтрона «Deuteron Workshop-91», в котором приняли участие 80 специалистов из стран-участниц ОИЯИ, а также из США и Франции.

1. В рамках ковариантного подхода в переменных светового конуса в импульсном приближении рассмотрены поляризационные характеристики процесса  $p + d \rightarrow (h, p) + X$  [20]. Вычислены импульсные зависимости тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  этого процесса. Исследована зависимость этих величин от выбора релятивистской волновой функции дейтрона в области динамического усиления  $D$ -волны и импульса налетающего протона. Показано, что совместные экспериментальные данные о зависимости  $T_{20}$  и коэффициента передачи поляризации  $K$  от импульса падающего протона в области динамического усиления  $D$ -волны позволят более точно выяснить роль импульсного приближения и механизма усиления выхода пионов.

2. В работе [21] рассмотрены вторичные эффекты для развала дейтрона в процессах  $p\vec{d} \rightarrow ppn$  с вылетом протонов под углом  $180^\circ$ . Расчеты проведены с учетом двойного перерасеяния и взаимодействия в конечном состоянии как поправки к импульсному приближению с плоскими волнами. Представленный метод учитывает одновременно энергосохраняющую часть и полюсную часть свободного нуклонного пропагатора. Были использованы двухнуклонная парижская волно-





Группа АЛЬФА проводит исследования на пучках поляризованных дейтронов синхрофазотрона

вая функция дейтрона и имеющиеся данные по нуклон-нуклонному рассеянию. Результаты сравниваются с инклюзивными сечениями  $N(\vec{d}, p)X$  и тензорной асимметрией  $T_{20}$  при кинетической энергии дейтрона 1,25 и 2,1 ГэВ/с.

3. Исследованы характеристики реакций  $dp \rightarrow d\pi^+n$ ,  $dp \rightarrow dp\pi^+\pi^-$  и  $np \rightarrow d\pi^+\pi^-$  при импульсе 1,7 ГэВ/с на нуклон, полученные при обработке снимков с однометровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ [22]. Проанализированы разные механизмы рождения  $\pi$  и образования дейтрона в конечном состоянии. При сравнении характеристик  $dp$ - и  $np$ -взаимодействий выделены когерентное рождение  $\pi$  на дейтроне и процессы барионного обмена в дейтронных реакциях.

4. Проведена модернизация установки АЛЬФА для измерений коэффициента передачи векторной поляризации от дейтрона к протону. Все элементы установки опробованы на пучке. Для продолжения этих исследований сформи-

ровалось новое сотрудничество физиков из институтов Болгарии, России, США, Украины, Франции и Германии. Подготовлен объединенный проект по исследованию поляризационных характеристик упругого  $dp$ -рассеяния на ускорительном комплексе синхрофазотрон — нуклотрон в ЛВЭ ОИЯИ и в Лаборатории SATURNE (Сакле, Франция).

5. Осуществлен очередной этап подготовки к экспериментам по измерению  $\Delta\bar{\sigma}_L$ ,  $\Delta\bar{\sigma}_T$  на пучках поляризованных нейтронов. Выполнены монтажные работы по созданию канала квазимонохроматических нейтронов в корп.205 ЛВЭ. Проведен пробный сеанс на пучке неполяризованных дейтронов, подтвердивший проектные оценки возможной интенсивности такого пучка в ЛВЭ.

6. На установке ДИСК изучены  $A$ -зависимости сечений рождения кумулятивных частиц ( $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ) в пучках первичных протонов и ядер. Во всех первичных пучках ( $p$ ,  $d$ ,  $\alpha$ ,  $C$ ) обна-



ружены проявления индивидуальных особенностей ядер изотопов никеля, цинка и олова. Впервые экспериментально обнаружена корреляция величин сечений положительно заряженных частиц с плотностью зарядовых распределений атомных ядер.

## ДРУГИЕ РАБОТЫ

В работе [23] обсуждается формулировка теории относительности в неевклидовом пространстве, определяемом метрической формой вида  $dt^2 = dx^1 dx^2 + dx^3 dx^4$ . Отмечается, что в частном случае плоского пространства новые переменные  $x^1 = t - z$  и  $x^2 = t + z$  суть непосредственно наблюдаемые величины в локационном опыте, служащем для определения понятий одновременности и расстояния. Переход к ним значительно упрощает (специальные) преобразования Лоренца, теорему «сложения» скоростей и т.д. В общем случае такая простая картина не имеет ме-

ста. Однако в рамках рассматриваемого подхода упрощается запись уравнения Дирака и выражения для плотности потока вероятности, связь спинов с 4-векторами и др.

Рассчитаны распределения потенциалов электрического поля для совокупности пар из движущихся отрицательного и покоящегося положительного зарядов, рассеяние между которыми мало [24].

В работе [25] рассматриваются две формулировки релятивистской термодинамики. В рамках первоначальной формулировки Планка — Эйнштейна при переходе к движущейся системе отсчета тепловая энергия и температура уменьшаются, пространственный объем сокращается, нормальное давление не меняется. Согласно альтернативной оттовской формулировке тепловая энергия и температура, напротив, возрастают. В рамках же локационной формулировки (соответствующей оттовскому подходу) получается увеличение объема.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. МЕТОДИКА. ПОДГОТОВКА ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА НУКЛОТРОНЕ

Создание установки СФЕРА. Общая схема нового  $4\pi$ -спектрометра СФЕРА для исследования на пучках нуклотрона показана на рис.4. В 1991 году завершено создание первой очереди установки, включающей в себя передний спектрометр.

Проведены исследования прототипа электромагнитного калориметра со спектросмещающими волокнами для съема света [26]. Калориметрические модули представляли собой «сэндвич» из свинцовых и сцинтилляционных пластин. Волокна были пропущены сквозь просверленные перпендикулярно пластинам отверстия. Калориметр исследовался на пучках адронов, мюонов и электронов в диапазоне энергий от 0,5 до 4,5 ГэВ. Среднее энергетическое разрешение для электронов получено на уровне  $11,4\%/\sqrt{E}$ . С использованием двух различных методов восстановлены координаты центра электромагнитного ливня. Для лучшего алгоритма было получено координатное разрешение, равное 3,9 мм. Дополнительно были исследованы световойход, однородность светосбора и  $(\pi-e)$ -разделение для этого калориметра. Усовершенствована система сбора данных.

Проведено исследование продольного развития электронно-фотонных ливней, создаваемых фотонами с энергией 200—3500 МэВ [27]. Показано, что продольное распределение ионизацион-

ных потерь в ливнях, выраженное через относительную глубину  $t/\bar{t}$ , где  $\bar{t}$  — средняя глубина ливня, не зависит от энергии  $E_\gamma$  первичного фотона при  $E_\gamma \geq 500$  МэВ и  $t > 0,15\bar{t}$ . Сделан вывод о нормальном распределении глубины ливня  $t$ , на которой, в среднем, выделяется доля  $\bar{A}$  ионизационных потерь ливня. Обнаружены короткодействующие корреляции в продольном распределении ионизационных потерь индивидуальных ливней, которые можно использовать для повышения точности определения энергии высокоэнергетических  $\gamma$ -квантов.

Проведены измерения  $A$ -зависимости выхода кумулятивных  $\pi^-$ -мезонов, рожденных при фрагментации релятивистских дейтронов вблизи  $0^\circ$  и  $X_f \approx 1$ , на переднем спектрометре СФЕРА. Показатель степени  $A$ -зависимости сечения фрагментации дейтронов с импульсом 4,5 ГэВ/А в кумулятивные пионы измерен на ядрах С, Al, Cu, Pb в интервале кумулятивного числа 0,8—1,2. Его средняя величина в этом интервале равна  $0,27 \pm 0,09$ , что указывает на качественное отличие зависимости сечения от атомного веса ядра-мишени, установленной для сечения рождения кумулятивных пионов фрагментации ядра-мишени, где наблюдается зависимость объемного типа.



# СФЕРА

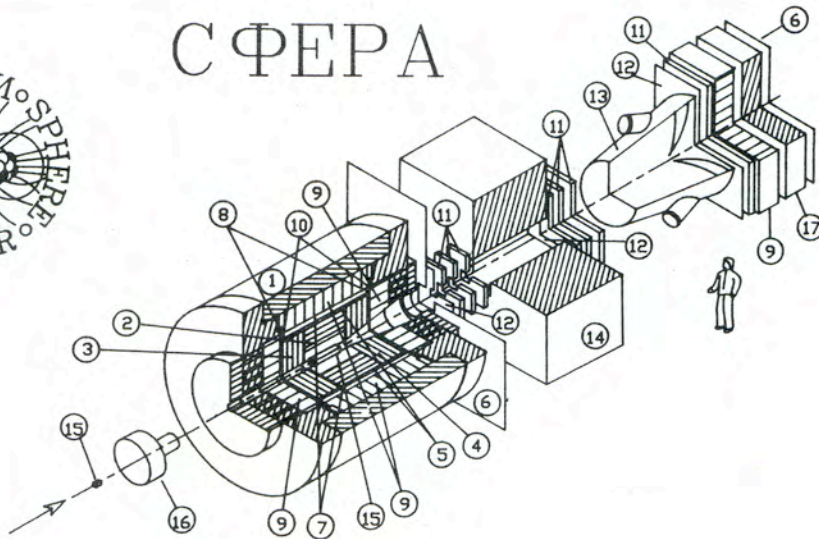


Рис. 4. Общая схема установки СФЕРА: 1 — сверхпроводящий соленоид с железным замыкателем, 2 — центральная дрейфовая камера, 3 — задняя дрейфовая камера, 4 — передняя пропорциональная камера, 5 — цилиндрический сцинтилляционный годоскоп, 6 — мюонный сцинтилляционный годоскоп, 7 — цилиндрический черенковский годоскоп, 8 — передний и задний черенковские годоскопы, 9 — электромагнитные калориметры, 10 — передний и задний сцинтилляционные годоскопы, 11 — пропорциональные камеры, 12 — сцинтилляционные годоскопы, 13 — газовый черенковский счетчик, 14 — дипольный магнит, 15 — мишени, 16 — пучковый поглотитель, 17 — мюонный фильтр

## Сборка сцинтилляционного годоскопа установки СФЕРА





Создание установки СЛОН. Проводились эксперименты и совершенствование аппаратуры первой очереди установки, обеспечивающей формирование магнитного поля с напряженностью  $\sim 30$  Тл в объеме  $2,5 \times 1,5 \times 10$  см. Введено в действие новое устройство запуска коммутаторов мегаамперных токов — мощных вакуумных разрядников, формирующее импульсы с амплитудой напряжения до 10 кВ, током  $\sim 1$  кА и длительностью импульса  $\sim 30$  мкс [28]. Устройство гальванически развязано, не создает помех другим электронным схемам, отличается надежностью и безопасностью в эксплуатации.

Выполнена серия расчетов с целью оптимизации соленоида, формирующего сильное магнитное поле с повышенной однородностью в рабочем объеме, в том числе и с учетом нелинейной диффузии импульсного магнитного поля в проводник [29]. Определен ресурс импульсного соленоида в различных режимах работы и показано [30], что при уровне поля 50 Тл он способен выдерживать  $\sim 200$  циклов без существенных пластических деформаций.

Разработано и изготовлено устройство для вырезания пучка длительностью 30—50 мкс в канале быстрого вывода из ускорителя для обеспечения оптимальных условий облучения фотоэмальей.

Разработка установки для экспериментов на внутреннем пучке нуклотрона. Выполнена конструкторская проработка станции внутренних мишеней в одном из прямолинейных промежутков магнитной системы нуклотрона. Подготовлена часть аппаратуры спектрометра.

Поляризационная методика и криогенные мишени. Реконструирована установка АТОМ-Н, проведена серия экспериментов, в результате которых на выходе низкотемпературной ячейки ( $T = 0,35$  К) зарегистрирован импульсный атомарный пучок водорода с интенсивностью  $(3 \div 5) \cdot 10^{14}$  ат./имп. [31].

Предпринимаются меры по понижению температуры ячейки до 0,25—0,3 К и улучшению покрытия ее сверхтекучей пленкой  $^4\text{He}$ .

Продолжались работы по созданию «теплой» струи поляризованной мишени для дейтерия с разделением пучка по спиновым состояниям в градиентном поле шестиполюсных магнитов.

Для совместного эксперимента на установках ИНЕСС — АЛЬФА и АНОМАЛОН спроектирована, изготовлена и испытана криогенная мишень длиной 1 м и диаметром 60 мм. Внутренний сосуд мишени изготовлен из лавсановой пленки толщиной 120 мкм, вакуумный кожух — из пенопласта с толщиной стенки 10 мм. Мишень имеет секционную конструкцию, позволяющую во время экспозиции заполнять жидким водородом различные секции и таким образом менять длину мишени: 100, 300, 600 или 1000 мм. Для достижения хорошего изоляционного вакуума при больших поверхностях пенопластового вакуумного кожуха и тонкостенного внутреннего сосуда в вакуумном объеме мишени размещен проточный абсорбционный вакуумный насос.

Велись разработки, изготовление и эксплуатация криогенных мишеней для других экспериментов (СФЕРА, ДИСК, ВПК-100).

## ЭЛЕКТРОНИКА. СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

1. Продолжалась разработка модулей VME, ФАСТБАС, КАМАК и в других стандартах для спектрометров СФЕРА, ГИБС, ФОРБИС, в частности, разработаны 6-разрядная память в стандарте ФАСТБАС на 6-слойной плате; буферная память в стандарте ФАСТБАС емкостью  $32 \times 32$  К; универсальный широкодиапазонный генератор до 110 МГц; 8-канальный формирователь для сцинтилляционного годоскопа; программатор с программным обеспечением для кодирования памяти.

В работе [32] описан блок системного контроллера шины VME типа В.01. В его состав входят генератор тактовых сигналов, схема контроля ошибки и контроля времени появления сигналов цикла VME, генератор сигнала сброса и узел арбитража запросов. Арбитраж проводится

на приоритетной основе. Модуль особенно полезен при использовании в системе нескольких процессорных устройств. Располагается системный контроллер в первой позиции крейта VME.

Устройство сопряжения канала микро-ЭВМ типа «LSI-11» с шиной VME (тип И.02), конструкция которого удовлетворяет спецификации VME редакции С1, описано в [33]. Модуль И.02 является управляющим модулем (MASTER) шины VME и пассивным (SLAVE) — канала микро-ЭВМ. Схемные узлы, ответственные за выполнение протокола шины VME, поддерживают работу с 24-разрядным адресом, 16-разрядным словом данных, 6-разрядным кодом модификатора адреса и со всеми сигналами управления. Осуществляется передача 8- и 16-разрядных слов данных



(A24:D(08) (E0) и A24:D16) и запрос шины VME в режимах RWD и ROR. Модуль содержит регистр статуса и управления, регистры адреса и модификатора адреса шины VME и регистр обмена данными. Адреса этих регистров находятся в области верхних 8 кбайт памяти микро-ЭВМ. Модуль работает по программе микро-ЭВМ. В качестве базового адреса выбран  $166100_8$ . Модуль выполняет стандартный протокол прерывания с передачей одного вектора прерывания, который равен  $270_8$ . Модуль И.02 может работать в системах сбора данных на линии с микро-ЭВМ типа «LSI-11», «Электроника-60» и «МЕРА-60».

## РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

### СООРУЖЕНИЕ НУКЛОТРОНА

Завершалось изготовление элементов и систем нуклотрона, проводились их испытания, монтаж и наладка в тоннеле.

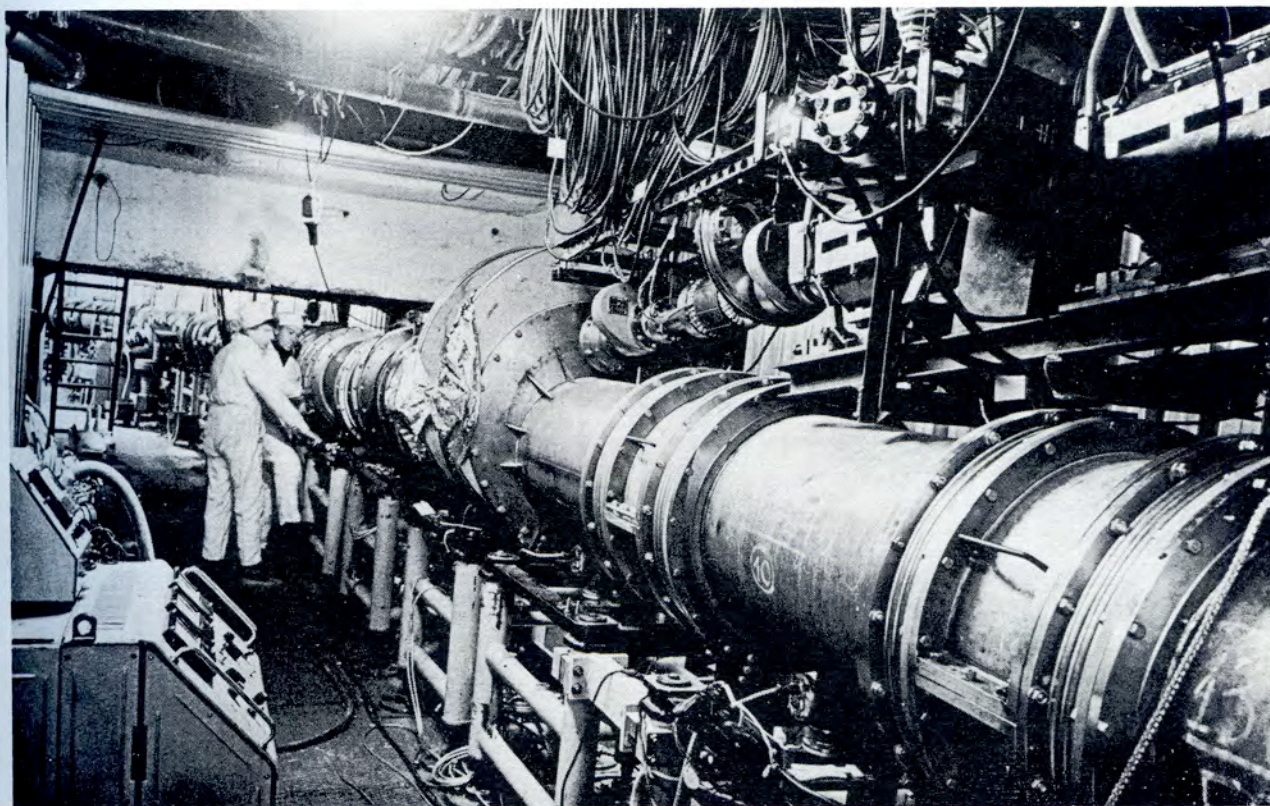
Первый квадрант ускорителя подготовлен к проводке пучка, смонтированы и отъюстированы магнитно-криостатные блоки II квадранта, основ-

2. В работе [34] описан новый метод шифрации и определения множественности сигналов, зарегистрированных в двумерных детекторах. Данный метод базируется на теории алгебраического кодирования и позволяет оптимизировать количество необходимых логических схем. Координаты и множественность сработавших позиционно-чувствительных детекторов определяются параллельно и без использования синхроимпульсов. Приводится схема параллельного шифратора, содержащего 49 входов для множественности сигналов  $t = 2$ .

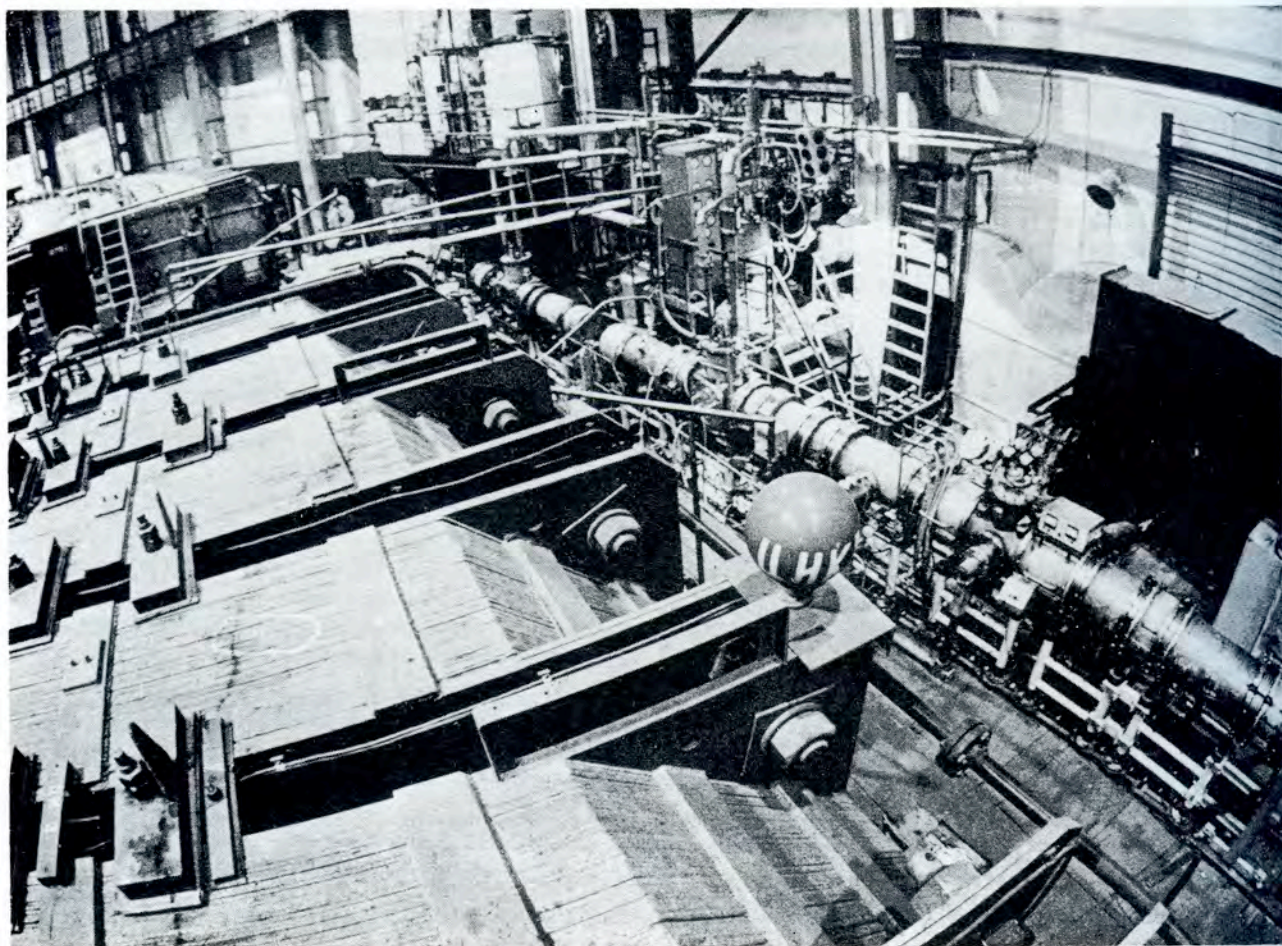
ное оборудование IV квадранта размещено в тоннеле.

Проведено моделирование движения частиц в реальных магнитных полях нуклотрона, уточнены характеристики мультипольных корректирующих магнитов. Организована база данных нуклотрона, в которую включены параметры систем ускорителя, результаты магнитных измерений, геодезические данные.

Общий вид сверхпроводящей магнитной системы нуклотрона в районе инъекции пучка







Измерительный модуль режимов магнитного поля диполей и линз нуклотрона в зале корп.1 (слева на снимке видна часть магнита синхрофазотрона)

Тракт инжекции пучка от линейного ускорителя ЛУ-20 был отлажен с пучком. Эффективность транспортировки пучка протонов к инфлекторному магниту оказалась близкой к 100%. Инфлекторный магнит с системой питания, защиты, управления и контроля смонтирован и отлажен. Индукция магнитного поля в его рабочем зазоре  $B_i \leq 0,6$  Тл, рассеянное поле за септумом не превышает 0,5% от  $B_i$ .

Вторым важным элементом системы ввода пучка в нуклотрон являются инфлекторные пластины. Этот узел также подготовлен к работе. Рабочее напряжение может быть выбрано в диапазоне 10÷50 кВ, время снятия (отсечки) напряжения не превышает 60 нс.

Система криогенного обеспечения нуклотрона на базе двух оживительных установок типа КГУ-1600/4,5 полностью отлажена и опробована в работе совместно с системой транспортировки жидкого гелия в нуклотрон [35,36]. Жидкий гелий введен в кольцо ускорителя.

Источники питания структурных элементов магнитной системы, системы их защиты, крио-

генная термометрия в 160 точках (магниты, линзы и др.) введены в действие.

Концентратор данных нуклотрона размещен в центре корп.1. В этом помещении установлены три ЭВМ класса МЕРА-685, включенные в локальную вычислительную сеть ускорительного комплекса, и аппаратура регистрации и управления.

Первая очередь системы позволяет решать следующие основные задачи:

- контроль и управление источниками питания (инфлекторный магнит, инфлекторные пластины, структурные элементы);
- измерение температуры элементов нуклотрона (в полном объеме необходимо ~1000 каналов);
- измерение пространственных характеристик пучка на основе многопроволочных коллекторных датчиков;
- контроль радиационной обстановки.

Измерение интенсивности пучков (порог  $\sim 10^8$  однозарядных частиц) и формы импульса будет осуществляться на первом обороте дистанционно управляемыми цилиндрами Фарадея. Ус-



тановлены в кольце также магнитоиндукционные, магнитомодуляционные и сцинтилляционные датчики.

Очередным крупным этапом пусконаладочных работ будут испытания I квадранта нуклотрона с пучком.

## РАЗВИТИЕ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Проведены расчеты и разработаны технические задания на проектирование синхротрона-бустера, общая концепция которого описана в работе [37].

На источнике КРИОН-С в стендовых экспериментах отработаны режимы получения ионов  $^{18}\text{Ar}$  и  $^{14}\text{S}$ , ускорение которых на синхрофазотроне и нуклотроне представляет интерес для ряда физических групп с целью сравнения экспериментальных данных при энергии  $3,5\div 6$  ГэВ/нуклон с данными при более высокой энергии на AGS (Брукхейвен, США) и SPS (ЦЕРН).

Работы по повышению интенсивности пучков ионов были проведены и на лазерном источнике ионов.

## РАБОТА СИНХРОФАЗОТРОНА

Из-за резкого снижения финансирования время работы на физический эксперимент было сокращено до 1100 часов. В этих пределах были обеспечены пучками дейтронов, ядер гелия, углерода, фтора установки ФАЗА, КАСПИЙ, ДИСК, ГИБС, СФЕРА, СЯО, АЛЬФА, АНОМАЛОН, СЛОН, ТМ.

На этих и других установках в ЛВЭ работают крупные международные сотрудничества физиков из более чем 100 научных организаций 23 стран.

## ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

**Исследования ВТСП.** В рамках проекта СОЛИТОН проведен комплекс измерений электромагнитных характеристик серии образцов ВТСП-керамик [41].

Подготовлена аппаратура и исследованы вольт-амперные характеристики образцов в изменяющемся магнитном поле (совместно со специалистами из ИЭ (Варшава) и Софийского университета).

Продолжались исследования влияния облучения тяжелыми ионами на критические токи

На ускорительном комплексе велись работы по оснащению каналов транспортировки пучков диагностической аппаратурой и развитию системы контроля радиационной безопасности.

Для исследования пространственных характеристик разработана и прошла экспериментальную проверку на выведенном пучке ядер система на основе охлаждаемой до температуры жидкого азота ПЗС-матрицы [38].

В работе [39] описан криогенный насос для обеспечения безмасляной откачки линейного ускорителя. Крионасос позволил улучшить вакуум внутри кожуха резонатора ЛУ-20 с  $2,5 \cdot 10^{-6}$  Торр до  $6 \cdot 10^{-7}$  Торр. Это существенно для режима ускорения на ЛУ-20 тяжелых ядер при работе с нуклотроном.

## ДРУГИЕ РАБОТЫ ПО УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕМАТИКЕ

Изучен обмен энергией между пролетными электронами сильноточного релятивистского электронного пучка и продольными электромагнитными волнами. Обнаружен эффект изменения знака энергии пучка с волной при росте амплитуды волны в процессе резонансного доплеровского взаимодействия (РДВ) пучка с попутными волнами (медленной и быстрой). Медленная волна с большой амплитудой может стать волной с положительной энергией, быстрая — с отрицательной энергией. Во встречной продольной волне, фазовая скорость которой направлена навстречу скорости электронов пучка, нелинейные процессы усиливают торможение пучка, энергия пучка с волной всегда положительна. При этом для сильноточного пучка ( $I \sim 10$  кА) передаваемая полю мощность (мощность торможения пучка) может достигать  $10^9$  Вт и более [40].

**ВТСП.** Проведены сеансы на пучках ионов аргона с энергией 15 МэВ/нуклон и криптона с энергией 3÷5 МэВ/нуклон с монокристаллами на основе висмута [42]. Показано, что облучение ионами аргона приводит к возрастанию в десятки раз критической плотности тока.

**Координатные детекторы.** Испытан двумерный детектор высокого разрешения для исследований белков с помощью синхротронного излучения. Число элементов разрешения дифракцион-





В ЛВЭ разработаны новые измерительные системы на основе координатных детекторов для прикладных исследований

ной картины  $\sim 500 \times 500$ , быстродействие  $\sim 1,5 \times 10^6$  соб./с.

В экспериментах на пучке нейтронов реактора МИФИ используется двумерный детектор тепловых нейтронов для исследований структуры образцов ВТСП.

Чувствительный размер детектора —  $256 \times 130$  мм, эффективность регистрации нейтронов ( $\lambda = 6 \text{ \AA}$ ) 70%, пространственное разрешение  $\sim 1,6$  мм.

Проходит опытную эксплуатацию одномерный рентгеновский детектор для исследований динамики структуры в условиях быстропротекающих процессов (например, при сгорании образца).

Устройства, приборы, элементы. Предложен линейный резонансный ускоритель для ионной имплантации — имплантер. В этом ускорителе все ионы с  $q/A > 0,02$  ( $q$  — заряд,  $A$  — массовое

число ионов) могут быть ускорены в пределах от 1,0 до 4,0 МэВ при энергетическом разбросе, не превышающем 2% [43].

Разработаны и испытаны волоконно-оптические нестандартные соединители для световодных линий связи высоковольтных электрофизических установок, в которых применяется кабель с многомодовым световодом. Проблема стыковки в них решается с помощью механических устройств, не требующих для своего изготовления прецизионного или специального оборудования [44].

Получены новые данные по измерению долговременной стабильности вольт-токовой (ВТ) характеристики промышленных диодов при термодуцировании. Диоды 45 типов были подвергнуты  $\sim 50$  циклам охлаждения в жидком азоте и отогрева до комнатной температуры. Из отечественных диодов лучшей стабильностью (0,01%) ВТ-характеристики обладают диоды типа КД 105В, из диодов КНДР — типа АН 17 (0,002%) [45].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aleev A.N. et al. — PHE 91-02, Zeuthen, 1991.
2. Vecko M. et al. — Cz. J. of Phys., 1991, v.41, No.4, p.297.
3. Шахбазян Б.А. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №2[48]-91, Дубна, 1991, с.4.
4. Shachbazian B.A. et al. — In: Proc. of Int. Conf. «Hadron-91», Maryland, USA.



5. Abreu P. et al. — CERN-PPE/91-95, CERN-PPE/91-131, CERN-PPE/91-115, Geneva, 1991.
6. Abreu P. et al. — CERN-PPE/91-132, Geneva, 1991.
7. Didenko L.A., Grishin V.G., Kuznetsov A.A. — JINR, E1-91-329, Dubna, 1991.
8. Baldin A.M., Didenko L.A. — Fortschritte der Physik, 1990, v.38, No.4, p.261—332.
9. Baskovic S. et al. — JINR, E1-91-376, Dubna, 1991.
10. Армутлийски Д. и др. — ОИЯИ, P1-91-191, Дубна, 1991.
11. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-91-394, Дубна, 1991.
12. Ангелов Н., Любимов В.Б., Тогоо Р. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №1[47]-91, Дубна, 1991, с.27.
13. Авраменко С.А. и др. — ОИЯИ, P1-91-235, Дубна, 1991.
14. Вокал С. и др. — ОИЯИ, P1-91-85, Дубна, 1991.
15. Ботвина А.С. и др. — ОИЯИ, P1-90-560, Дубна, 1990.
16. Абраамян Х.У. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №7[46]-90, Дубна, 1990.
17. Авраменко С.А. и др. — ОИЯИ, P1-91-206, Дубна, 1991.
18. Strugalski Z. — JINR, E1-91-243, Dubna, 1991.
19. Okonov E.O. — JINR, E1-91-188, Dubna, 1991.
20. Tokarev M.V. — JINR Rapid Commun. No.3[49]-91, Dubna, 1991, p.27.
21. Zborovski I. — JINR Rapid Commun. No.3[49]-91, Dubna, 1991, p.34.
22. Glagolev V.V. — JINR, E1-91-511, Dubna, 1991.
23. Strel'tsov V.N. — JINR, E2-91-97, Dubna, 1991.
24. Стрельцов В.Н. — ОИЯИ, D2-91-212, Дубна, 1991.
25. Strel'tsov V.N. — JINR, D2-91-367, Dubna, 1991.
26. Афанасьев С.В. и др. — ОИЯИ, P13-91-380, Дубна, 1991.
27. Slowinski B. — JINR Rapid Commun. No.3[49]-91, Dubna, 1991.
28. Буриев Н.Т. и др. — ОИЯИ, P1-91-42, Дубна, 1991.
29. Коваленко А.Д., Тутков В.В. — ОИЯИ, P1-91-88, Дубна, 1991.
30. Коваленко А.Д. и др. — ОИЯИ, P1-91-476, Дубна, 1991.
31. Ershov V.P. et al. — In: Proceeding of the International Workshop «Polarized Gas Targets for Storage Rings», Heidelberg, Sept. 1991.
32. Базылев С.Н., Смирнов В.А. — ОИЯИ, P10-91-32, Дубна, 1991.
33. Смирнов В.А. — ОИЯИ, P10-91-33, Дубна, 1991.
34. Nikiyuk N.M. — JINR, E10-91-161, Dubna, 1991.
35. Агапов Н.Н. и др. — ОИЯИ, P8-91-509, Дубна, 1991.
36. Агапов Н.Н. и др. — ОИЯИ, P8-91-510, Дубна, 1991.
37. Иссинский И.Б., Михайлов В.А. — ОИЯИ, P9-91-2, Дубна, 1991.
38. Цамбел В. и др. — ОИЯИ, P9-91-301, Дубна, 1991.
39. Василюшин Б.В. и др. — ОИЯИ, P9-91-353, Дубна, 1991.
40. Бонч-Осмоловский А.Г., Решетникова К.А. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №1[47]-91, Дубна, 1991.
41. Novak A. et al. — Preprint IAP CS-21-1991, Bucharest, 1991.
42. Жуков А.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1991, т.53, вып.9, с.446—469.
43. Боровков Д.Л. и др. — ОИЯИ, P9-91-324, Дубна, 1991.
44. Гусаков Ю.В., Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-91-148, Дубна, 1991.
45. Ким Ун Се, Дацков В.И. — ОИЯИ, P8-91-173, Дубна, 1991.