

2765/95

ЛВ

ЛАБОРАТОРИЯ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
ФИЗИКИ
ИМ. Н.Н.БОГОЛЮБОВА

ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ОИЯИ

1994

ЛАБОРАТОРИЯ
ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЛАБОРАТОРИЯ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
ИМ. Г.Н.ФЛЕРОВА

ЛАБОРАТОРИЯ
НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
ИМ. И.М.ФРАНКА

ЛАБОРАТОРИЯ
СВЕРХВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

УЧЕБНО-
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

На нуклотроне получен пучок релятивистских дейтронов и начались физические эксперименты с использованием внутренней мишени — таков главный результат работы Лаборатории высоких энергий в 1994 году.

В настоящее время широко признано, что область энергий столкновения частиц и ядер от нескольких сотен МэВ до нескольких ГэВ является исключительно плодотворной с точки зрения изучения переходных режимов от адронных степеней свободы к кварковым. До настоящего времени были крайне ограничены возможности проследить эти процессы при переходе из области энергий классической ядерной физики в область, характерную для физики высоких энергий. С вводом в действие нуклотрона на ускорительном комплексе ЛВЭ открываются новые перспективы для изучения

картины ядра на субнуклонном уровне [1,2]. Будут сняты многие из существующих в настоящее время ограничений на параметры пучка: заряд ускоряемых ионов, время вывода пучка, интенсивность, геометрические размеры пучка.

Исследование спиновой структуры дейтрона — своего рода «атома водорода» ядерной физики — продолжает привлекать физиков к работе на пучках синхрофазотрона. Известные потенциалы нуклон-нуклонного взаимодействия теряют свою предсказательную силу в описании волновой функции дейтрона на расстояниях меньше размера нуклона, т. е. при перекрытии кварковых «мешков» нуклонов. При изучении природы таких мультикварковых состояний можно получать информацию о явлениях непертурбативной хромодинамики в ядерных системах.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ВНУТРЕННЕЙ МИШЕНИ НУКЛОТРОНА

В течение года проведены три сеанса работы на нуклотроне общей продолжительностью 1100 ч. Пучок дейтронов с импульсом до 3,5 ГэВ/с/нуклон был предоставлен для экспериментов на внутренней мишени. Максимальная интенсивность ускоренного пучка составила $5 \cdot 10^9$ частиц в цикл.

В мартовском сеансе пучок дейтронов был впервые ускорен до релятивистских энергий. Параметры магнитного поля — 6, 8,5 и 10 кГс при скорости нарастания 6 кГс/с. Динамика пучка была стабильной, и не наблюдалось потерь частиц через 500 мс после начала ускорения (рис. 1 и 2). Таким образом, был достигнут максимальный импульс дейтронов 3,5 ГэВ/с/нуклон при интенсивности пучка $2 \cdot 10^9$ частиц в цикл. Кроме того, испытаны инжекция и ускорение поляризованных дейтронов до энергии 100 МэВ/нуклон.

Группами СФЕРА, ДЕЛЬТА (ИЯИ РАН), СЯО выполнен цикл экспериментальных измерений на внутренней мишени нуклотрона по изучению выхода π - и K -мезонов и ядерных фрагментов — от протонов до изотопов гелия и лития — в дейтрон-ядерных столкновениях при импульсе 3,7 ГэВ/с [3].

В ноябрьском сеансе физические группы СФЕРА, ДЕЛЬТА и СЯО продолжили измерения спектров вторичных адронов при начальных энергиях 0,2, 0,7, 1,3, 2,0 ГэВ/нуклон (рис. 3). При этом скорость набора статистики достигала 10^3 событий в цикл. Значение магнитного поля в кольце ускорителя фиксировалось на уровнях 2, 4, 6, 8,5 кГс. Интенсивность ускоренного пучка составила $5 \cdot 10^9$ частиц в цикл, в то время как время жизни пучка определялось взаимодействием в мишени.

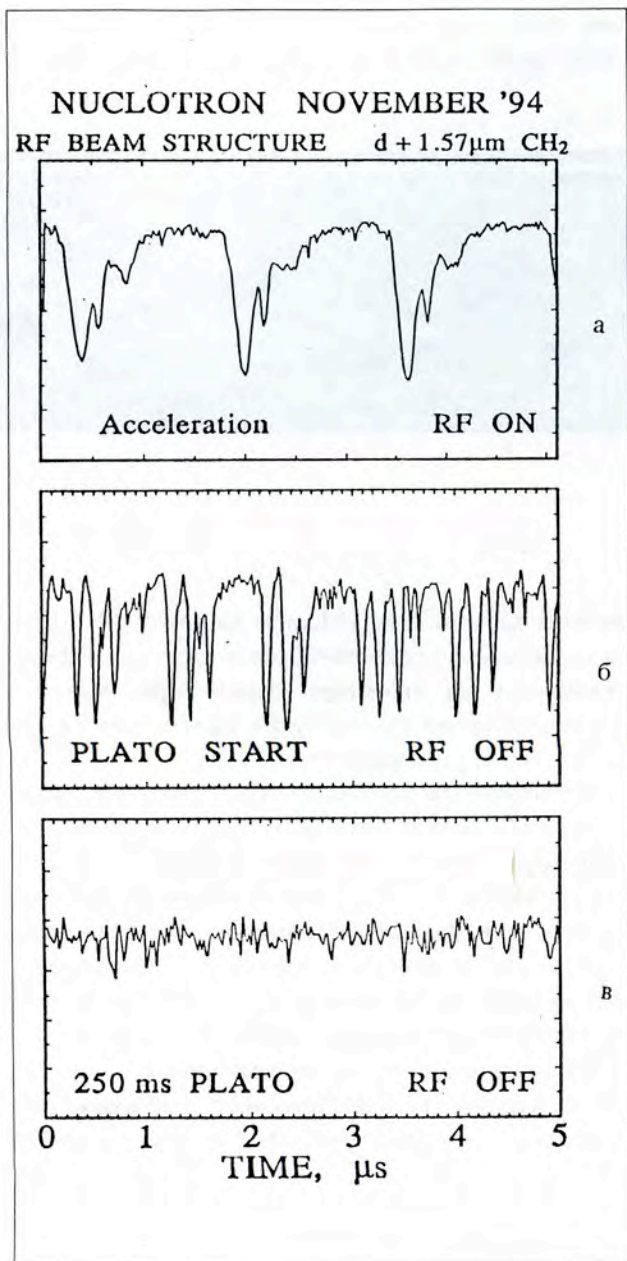


Рис.1. Высокочастотная структура пучка в нуклотроне в различных фазах по данным сотрудничества СФЕРА: а — начало ускорения; б — начало плато магнитного поля, ускоряющее напряжение снято; в — середина плато магнитного поля, исчезновение банчей

ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ВЫВЕДЕННЫХ ПУЧКАХ ЛВЭ

В 1994 г. проведены два сеанса работы на синхрофазотроне: сеанс на поляризованных дейтронах в начале года и осенний сеанс на пучках релятивистских протонов, дейтронов, α-частиц и ядер углерода — общей продолжительностью около 700 часов.

АЛЬФА. На спектрометре АЛЬФА в Дубне и на ускорителе SATURNE (Франция) измерены диф-

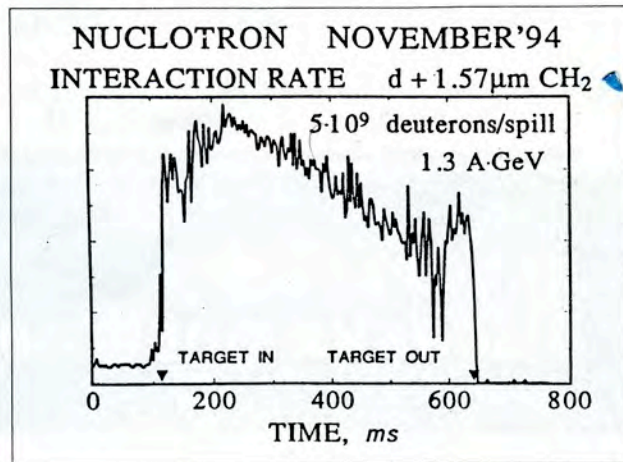


Рис.2. Временная структура взаимодействия дейтронного пучка нуклотрона с внутренней мишенью из полиэтилена толщиной 1,57 мк при кинетической энергии дейтронов 1,3 ГэВ на нуклон (данные сотрудничества СФЕРА). Регистрируются ультрафиолетовое и рентгеновское излучения при возбуждении атомов мишени дейтронами

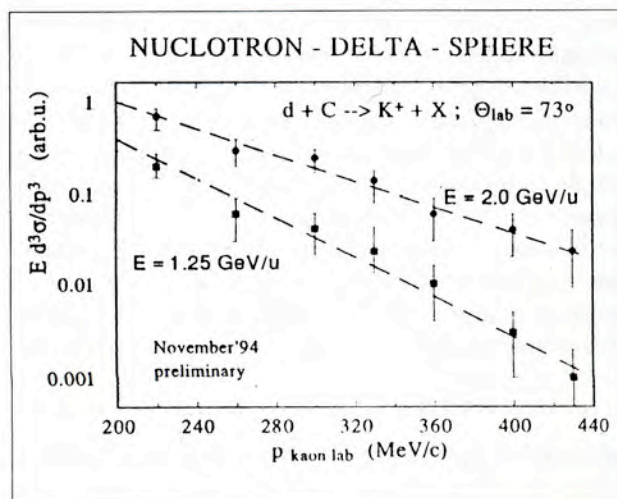


Рис.3. Зависимость дифференциального сечения образования K⁺-мезонов от импульса каона вблизи порога реакции, полученная в ноябрьском сеансе на установке ДЕЛЬТА (ИЯИ РАН)

ференциальные сечения, тензорная анализирующая способность T₂₀ и коэффициент передачи поляризации от дейтрона к протону K₀ в реакциях упругого дейтрон-протонного рассеяния «назад» в системе покоя дейтрона и во фрагментации дейтрона на ядрах с вылетом протона-фрагмента «вперед» практически во всем доступном на этих ускорителях

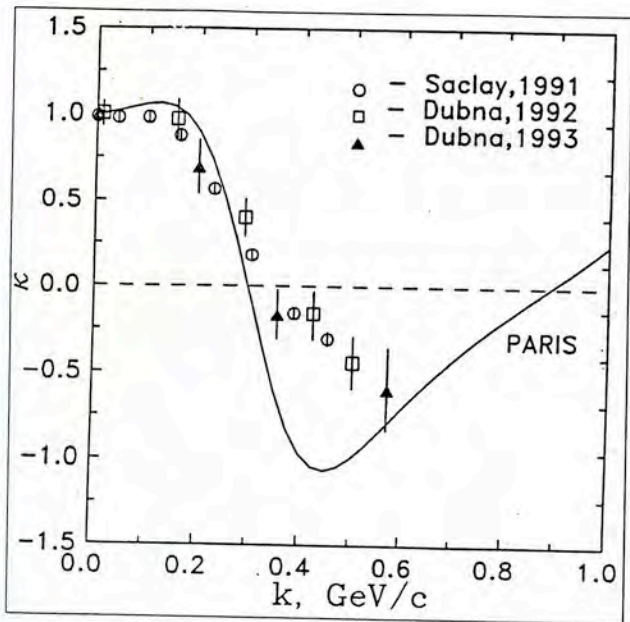


Рис.4. Экспериментальные данные сотрудничества АЛЬФА по коэффициенту передачи векторной поляризации от дейтрона к стриппинговому протону κ («каппа») в зависимости от внутреннего импульса в дейтроне

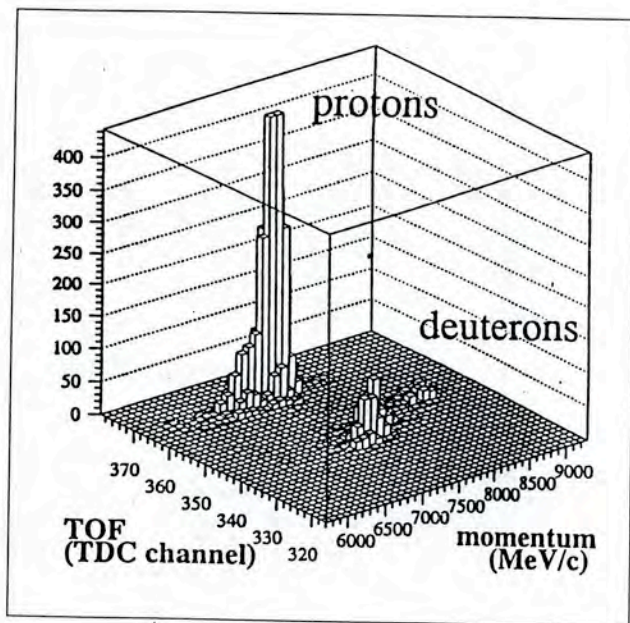


Рис.5. Эксперимент АНОМАЛОН: двумерное распределение по времени пролета и импульсу детектированных частиц при импульсах дейтронов 8,7 ГэВ/с и вторичных частиц 7,5 ГэВ/с. Масштаб по временной шкале 220 пс/канал. Наблюдается четкое разделение релятивистских протонов и дейтронов по времени пролета

диапазоне энергий (рис. 4) [4,5,9]. Новые данные указывают на ограниченность традиционных представлений о структуре дейтрона, сложившихся на основе опытов при низких (несколько сотен МэВ) энергиях.

АНОМАЛОН. Коллаборацией АНОМАЛОН совместно с физиками Университета (г. Нагоя, Япония) выполнено исследование тензорной анализирующей способности реакции фрагментации дейтронов $d \uparrow + {}^{12}\text{C} \rightarrow p(0^\circ) + X$ (рис. 5) до максимально высоких значений внутренних импульсов (1 ГэВ/с), доступных на пучке дейтронов ЛВЭ — $p_d = 9$ ГэВ/с (рис.6) [6].

ДИСК. На магнитном спектрометре ДИСК проведены первые эксперименты по измерению векторной анализирующей способности A_N в реакциях

$$d \uparrow + p \rightarrow \pi^\pm + \dots,$$

$$d \uparrow + C \rightarrow \pi^\pm + \dots$$

в интервале энергий поляризованного дейтрона от 2 до 9 ГэВ с рождением пионов в области фрагментации мишени (рис. 7 и 8).

КАСПИЙ. На установке КАСПИЙ Института ядерных исследований РАН в ядро-ядерных взаимодействиях обнаружены и изучены редкие процессы подпорогового рождения K -мезонов и антипротонов и установлено усиленное рождение «морских» частиц в околопороговой области (см. рис. 9) [7, 8] по сравнению с протон-ядерными взаимодействиями.

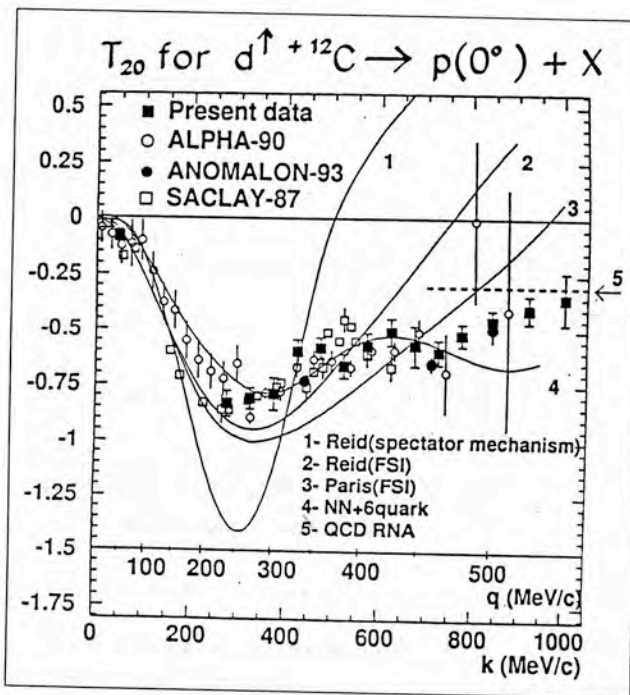


Рис.6. Данные коллаборации АНОМАЛОН по тензорной анализирующей способности T_{20} в зависимости от внутреннего импульса в дейтроне, полученные при фрагментации тензорно-поляризованных релятивистских дейтронов

СМС. На установке Московского университета СМС для экспериментов по изучению спиновых эффектов во взаимодействии поляризованных про-

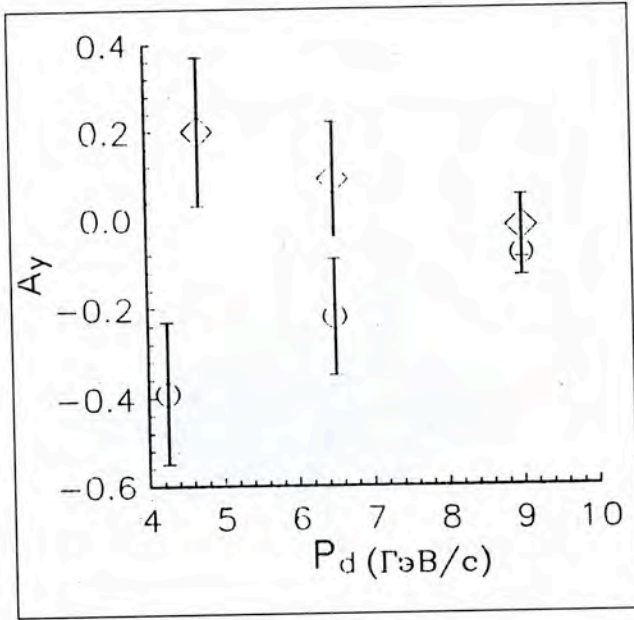


Рис.7. Эксперимент ДИСК: зависимость анализирующей способности A_y процесса $\vec{d} + H \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$ от импульса дейтрона p_d для $\pi^+(\circ)$ - и $\pi^-(\circ)$ -мезонов с импульсом 300 МэВ/с

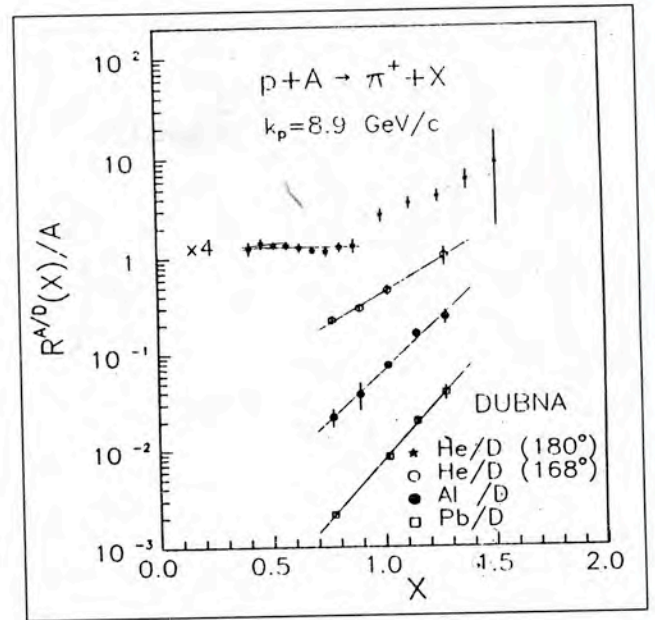


Рис.8. Зависимость инклюзивных сечений по отношению к ядру дейтерия $R^{A/D}(X)$ в процессе $p + A \rightarrow \pi^+ + X$ от кумулятивного числа X для ядер He, Al, Pb (данные сотрудничества ДИСК)

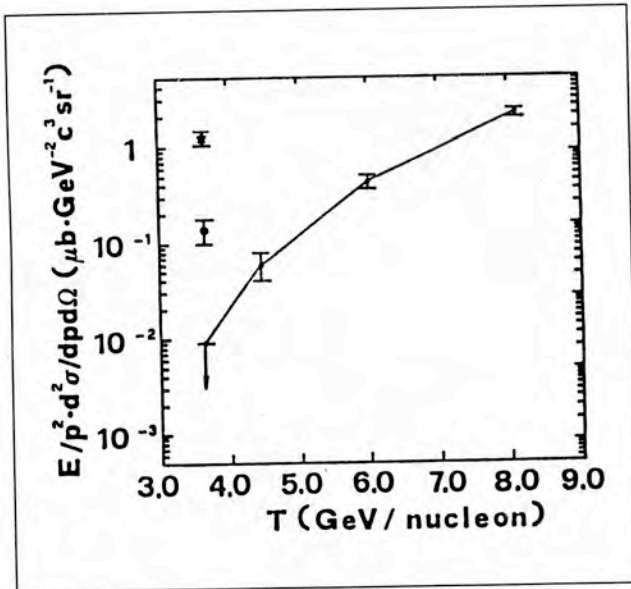


Рис.9. Спектрометр КАСПИЙ (ИЯИ РАН): энергетическая зависимость инвариантного дифференциального сечения образования антипротонов под углом 24° и с импульсом 800 МэВ/с. Группа точек, объединенных линией, соответствует протон-углеродным соударениям, крайняя левая точка при 3,65 ГэВ — верхняя оценка сечения, \circ — дейтрон-углеродные соударения, \star — углерод-углеродные соударения

тонов с ядрами сформирован пучок поляризованных протонов в диапазоне энергий $T = 0,7 + 3,6$ ГэВ с поляризацией 60% и интенсивностью до $2 \cdot 10^6$ частиц в цикл. Накоплен опыт прецизионных измерений анализирующей способности в протон-углеродном рассеянии и в области квазиупругого рассеяния протонов на внутриядерных нуклонах.

ГИБС. На установке ГИБС получены интересные данные о взаимодействии изобар с ядерной материей. Был обработан фотоматериал по исследованию реакции перезарядки ($t, {}^3\text{He}$) на углеводе

(рис. 10). Полностью подтвердился результат, полученный ранее на магнии: вероятность возбуждения квазисвободной Δ -изобары в ядре-мишени существенно меньше предсказанной [10, 11].

Проведены расчеты спектра π^- -мезонов для различных возможных механизмов реакции: возбуждения квазисвободной Δ -изобары в ядре-мишени, возбуждения Δ в тритоне, когерентного образования пионов через промежуточное состояние с Δ -изобарой и с более тяжелыми резонансами, квазисвободного рождения тяжелых резонансов. Совместный анализ экспериментальных и расчетных данных указывает на важную роль механизма когерентного рождения пионов через возбуждение тяжелых изобар и механизма возбуждения Δ в тритоне [12,13]. Этот физический результат оказался неожиданным, так как в теории когерентное рождение через тяжелые резонансы даже не обсуждалось.

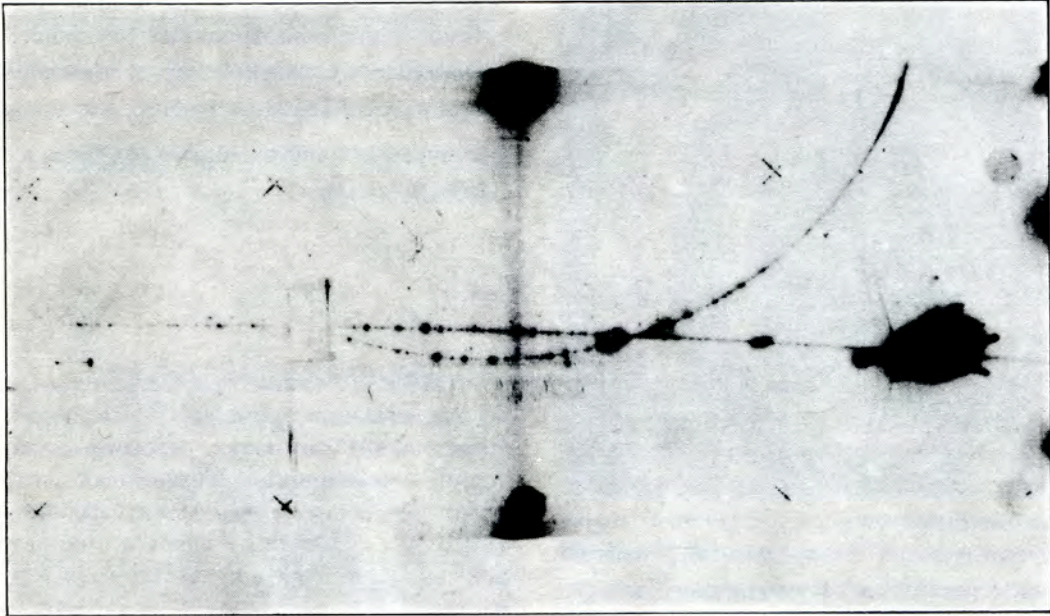
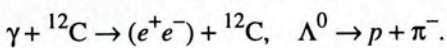
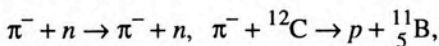
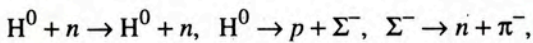
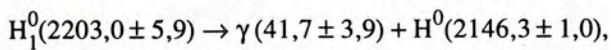
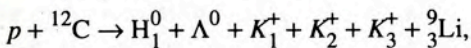


Рис.10. Стримерная камера ГИБС: процесс перезарядки трития (левый трек) в ^3He (прямой трек справа), отбираемый триггером. Виден трек π^- -мезона от распада Δ -изобары

Пропановая пузырьковая камера. Был продолжен поиск стабильных дибарионов со странностью $S = -2$ и $S = -3$ на фотографиях двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной в пучке протонов с импульсом 10 ГэВ/с. В 1994 г. было детектировано событие, интерпретированное как рождение легкого (т.е. массой, меньшей $2M_\Lambda$) стабильного дибариона со странностью $S = -2$ в возбужденном состоянии H_1^0 с последующим электромагнитным переходом в основное состояние H^0 .

Эксклюзивный многовершинный кинематический анализ позволил расшифровать явления, описываемые следующими реакциями:



Водородная пузырьковая камера. Обработка статистики на водородной пузырьковой камере дала следующие результаты:

- В реакции $np \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ при $p_n = 5,20 \pm 0,16$ ГэВ/с обнаружены дибарионные резонансы в системе $rrp\pi^+$ при массах (2511 ± 5) , (2607 ± 2) и (2716 ± 4) МэВ/с² с малыми (≤ 10 МэВ/с²) ширинами. Превышение эффектов над фоном равно

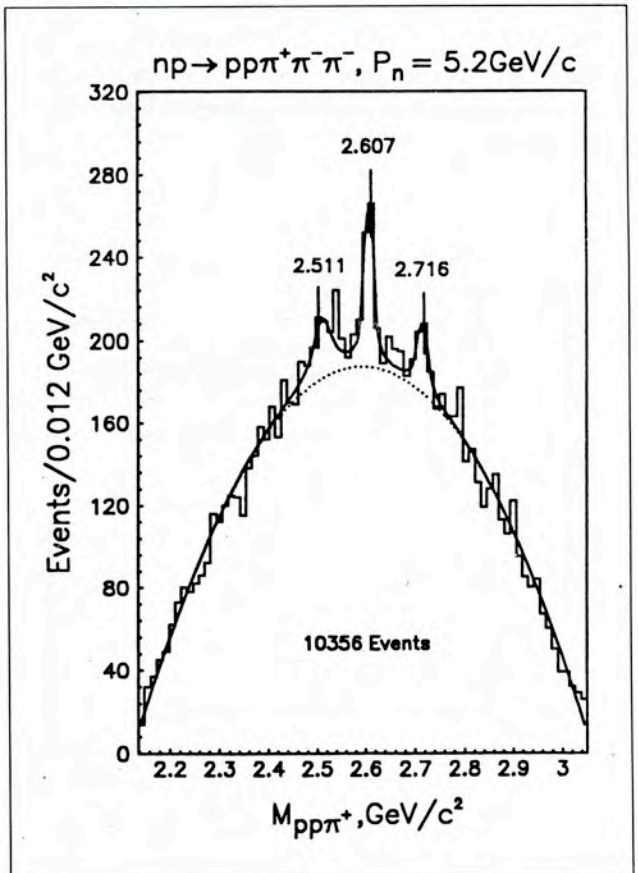


Рис.11. Распределение по эффективным массам комбинаций $rrp\pi^+$ из реакции $np \rightarrow rrp\pi^+\pi^-\pi^-$ при импульсе нейтронов $p_n = 5,2$ ГэВ/с (данные с водородной пузырьковой камеры)

4,0, 6,8 и 3,4 стандартных отклонения соответственно. Распределение $M_{pp\pi^+}$ показано на рис. 11 [14].

- В реакциях $d + C_3H_8 \rightarrow \gamma + X$ при $p_d = 2,5$ ГэВ/с в спектрах γ -квантов обнаружены узкие особенности при $E_\gamma = 30, 60, 120$ и 160 МэВ, которые

могут быть объяснены радиационными эффектами от узких дибарионных резонансов [15].

- Проведено сравнение np - и dp -взаимодействий при $p_n = 1,7$ ГэВ/с на нуклон, что позволило четко выделить чисто ядерные эффекты в dp -взаимодействиях [16].

ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Передвижная поляризованная мишень (ППМ).

Для будущих экспериментов на передвижной поляризованной мишени, доставленной из Сакле (Франция), один из каналов главного экспериментального корпуса реконструирован для получения пучка квазимонохроматических поляризованных нейтронов на основе стриппинга релятивистских дейтронов. При интенсивности первичного пучка дейтронов 10^9 частиц в цикл получена интенсивность около 10^6 нейтронов при импульсе 4,5 ГэВ/с, что соответствует условиям работы с мишенью. В декабре 1994 года завершена наладка ППМ в Лаборатории ядерных проблем. Измерения планируется провести в 1995 году на пучке стриппинговых нейтронов синхрофазотрона с продольной и поперечной поляризацией на этой поляризованной протонной мишени.

СФЕРА. Главная задача эксперимента СФЕРА — исследование природы кумулятивного эффекта. Изучение кумулятивного рождения на пучках векторно- и тензорно-поляризованных дейтронов позволит установить связь между наличием мультикварковых состояний в ядрах и спиновой структурой высокоимпульсной части волновой функции дейтрона.

Для осуществления этой программы в рамках проекта СФЕРА предложено исследование спиновой зависимости сечений рождения кумулятивных мезонов и подпорогового рождения антипротонов при фрагментации релятивистских тензорно-поляризованных дейтронов. Для измерения тензорной анализирующей способности T_{20} в качестве экспериментального оборудования используется канал 4В, включающий пять отклоняющих магнитов, и магнитный спектрометр СФЕРА, расположенные в основном экспериментальном зале ускорителя ЛВЭ.

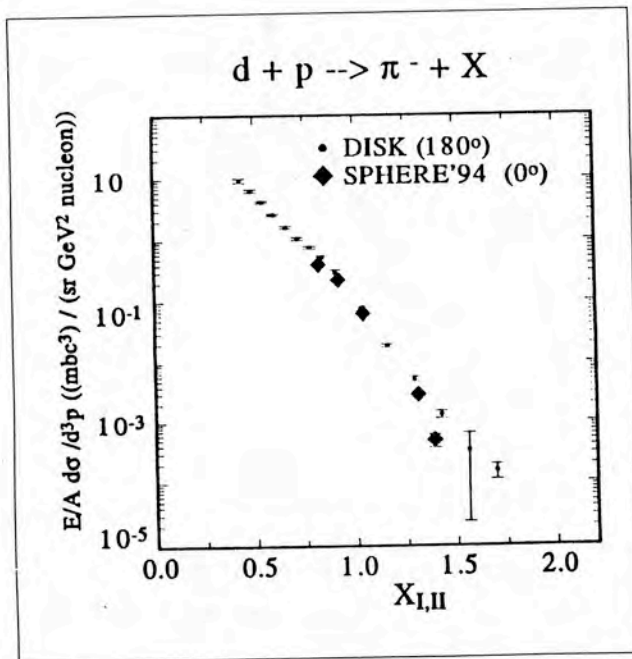


Рис.12. Сравнение результатов по дифференциальному сечению фрагментации дейтронов на протонах в кумулятивные пионы «вперед» (СФЕРА-94) и «назад» (ДИСК-82) в зависимости от инвариантного кумулятивного числа

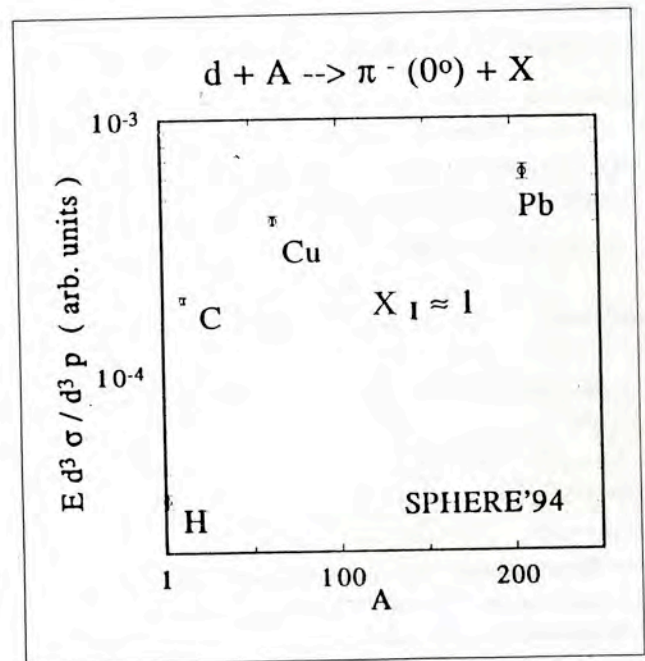


Рис.13. Зависимость выхода кумулятивных пионов от массового числа мишени при фрагментации релятивистских дейтронов (данные сотрудничества СФЕРА). Видно слабое влияние ядра-мишени в области средних и тяжелых ядер

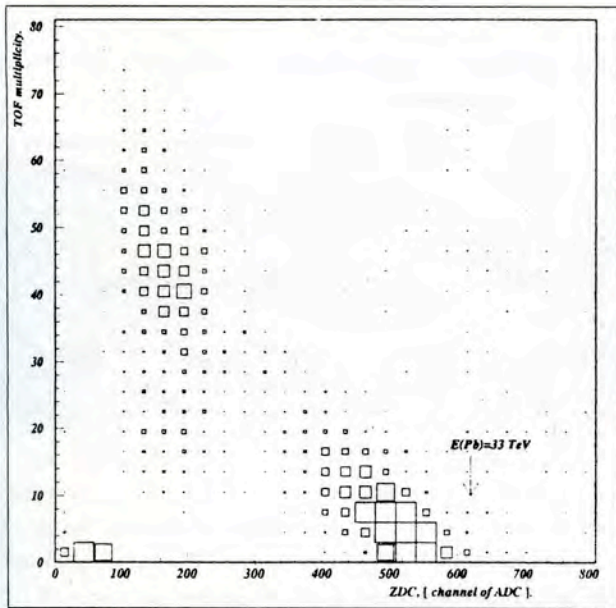


Рис.14. Эксперимент WA98: корреляция множественности отрицательных частиц, зарегистрированных времяпролетным годоскопом, и энергии, зарегистрированной в адронном калориметре переднего направления в соударениях свинец—свинец при 160А ГэВ

Рис.16. Упрощенная структура MPC-детектора: 1 — Ni; 2 — SiC; 3 — p-Si; 4 — Al; A — область лавинного умножения, FD — область обеднения (2 мкм), D — диффузионная область (около 20 мкм)

В осеннем сеансе на синхрофазотроне проведены методические измерения выхода кумулятивных пионов на мишенях от водорода до свинца (рис.12,13).

Спектрометр ядер отдачи (СЯО). В феврале — марте 1994 г. группой СЯО проведен эксперимент на пучке поляризованных протонов с энергией 500 МэВ ускорителя TRIUMF (Канада) по изучению выхода пар протонов в протон-ядерных взаимодействиях. Цель этого эксперимента — поиск дибарионных резонансов и изучение кластерной структуры ядра. Набрана статистика около 20 млн. событий реакций $A(p\uparrow, 2p)$ и $A(p\uparrow, pd)$.

Для изучения корреляций выхода протонов и легких фрагментов в ядро-ядерных столкновениях на внутренней мишени нуклотрона изготовлены телескопы, состоящие из полосковых кремниевых детекторов (6×6 см, 380 мкм, число полос 30) и кристаллов NaI(Tl).

WA98. Группа ОИЯИ с 1992 года участвует в эксперименте с тяжелыми ионами WA98 на ускорителе SPS в ЦЕРН, в котором изучаются Pb-Pb-столкновения при энергии пучка 160А ГэВ. Для этого эксперимента в ОИЯИ совместно с коллабо-

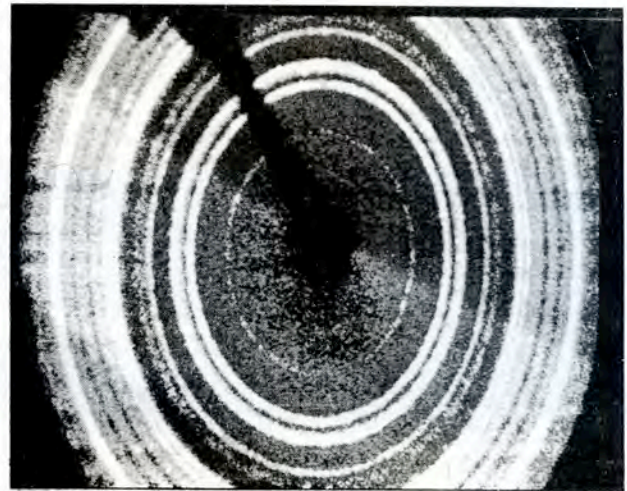
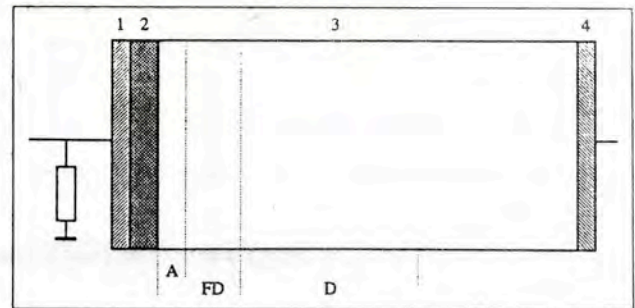


Рис.15. Дифракционная картина, полученная от порошковой структуры (валидол) с помощью двухмерного рентгеновского детектора высокого разрешения



рацией изготовлен пучковый адронный калориметр, времяпролетная система и вето-детектор заряженных частиц.

В течение 1994 г. проведены сборка и наладка пучкового адронного калориметра и времяпролетной системы, калибровка адронного калориметра на тестовом пучке в ЦЕРН, два сеанса по отладке всей установки WA98 на пучке протонов по 6 недель каждый и один сеанс по набору статистики на ядрах Pb длительностью 5 недель (рис. 14). По предварительным результатам, получено энергетическое разрешение калориметра 3,3% на ядрах Pb с энергией 160А ГэВ, что согласуется с результатами моделирования. Сделана оценка временного разрешения времяпролетной системы около 100 пс.

Детекторы изображений. Совместно с Институтом кристаллографии РАН (Москва) осуществлен методический запуск нового рентгеновского дифрактометра КАРД-7 на основе двумерного беспараллаксного детектора высокого разрешения с числом разрешаемых элементов 1000×1000 и начаты исследования белков (рис. 15) [17]. Совместно с

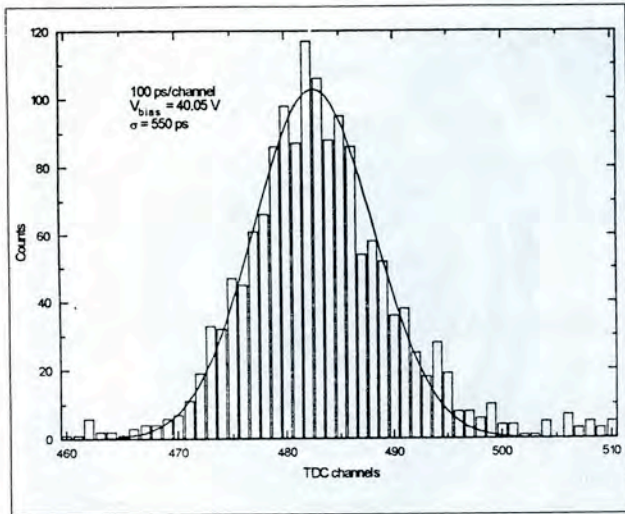


Рис.17. Временной спектр совпадений на β -источнике: «старт» от сцинтилляционного счетчика, «стоп» от лавинного детектора

Институтом макромолекулярной химии ЧАН (Прага) создан одномерный рентгеновский детектор высокого разрешения и начаты экспериментальные исследования полимеров [18].

Кремниевые лавинные детекторы. Проведены исследования временных характеристик кремниевых лавинных детекторов на основе структуры металл — резистивный слой — полупроводник с отрицательной обратной связью, предлагаемых для времяпролетных систем. Детекторы диаметром 3 мм изготовлены на низкоомном p -кремнии и имеют структуру Ni—SiC—Si—Al (рис. 16). Детекторы работают при комнатной температуре и напряжении 37÷40 В, при этом достигается коэффициент усиления порядка 10^4 (для лучших образцов — 10^5). Получено временное разрешение 550 пс на β -источнике ^{106}Ru (рис. 17) и 250 пс — на световых импульсах от светодиода с длиной волны 610÷780 нм [19].

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldin A.M., Malakhov A.I. — *Nucl. Phys.*, 1994, vol.A566, p.611.
2. Baldin A.M. et al. — In: *Advances in Cryogenic Engineering*. Edited by P. Kittel. New York, Plenum Press, 1994, vol.39, p. 501.
3. Baldin A.M. et al. — *JINR Rapid Communications No.2[65]-94, Dubna, 1994, p.26.*
4. Kuehn B. et al. — *Phys. Lett.*, 1994, vol.B334, p.298.
5. Azhgirey L.S. et al. — *JINR Preprint E1-94-155, Dubna, 1994. Subm. to «Few Body XIV Conference», May 1994, USA.*
6. Nomofilov A.A. et al. — *Phys. Lett.*, 1994, vol.B325, p.327.
7. Baldin A.A. et al. — *Nucl. Phys.*, 1990, vol.A519, p.407.
8. Baldin A.A. et al. — *Nuovo Cim. (in press).*
9. Ситник И.М., Ладыгин В.П., Рекало М.П. — *Ядерная физика (в печати); Sitnik I.M., Ladygin V.P., Rekalov M.P. — JINR Preprint E1-94-23, Dubna, 1994.*
10. Avramenko S.A. et al. — In: *Excitation of Delta in Nuclei*. Ed. Toki H., Ichimura M., Ishihara M. Singapore, World Scientific, 1994, p.103.
11. Avramenko S.A. et al. — In: *Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics*. Ed. Baldin A.M., Burov V.V. JINR, Dubna, 1994, p.533.
12. Avramenko S.A. et al. — *JINR Comm. E1-94-311, Dubna, 1994.*
13. Afanasiev S.V. et al. — *JINR Rapid Communications No.1[69]-95, Dubna, 1995, p.47.*
14. Troyan Yu.A. et al. — *JINR Rapid Comm. No.4[67]-94, Dubna, 1994, p.67.*
15. Троян Ю.А. и др. — *Краткие сообщения ОИЯИ No.5[68]-94, Дубна, 1994, с.51.*
16. Pastircak B. et al. — *Acta Phys. Pol. B*, 1994, vol.25, No.8, p.1199.
17. Zanevsky Yu.V. et al. — *Physica Medica*, 1994, vol. X, No.4, p.136.
18. Chernenko S.P. et al. — *Nucl. Instr. and Meth.*, 1994, vol.A348, p.261.
19. Afanasiev S.V. et al. — *JINR Rapid Communications No.3[66]-94, Dubna, 1994, p.5.*