



**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ
ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В 1991-95 гг.

сборник аннотаций проектов

ДУБНА 1989



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P1,2-89-631

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ
ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
В 1991-95 гг.**

сборник аннотаций проектов

ДУБНА 1989

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

I. Предложения по экспериментам и развитию установок на пучках НУКЛОТРОНА

	стр.
1. Развитие спектрометра СФЕРА для исследования множественного кумулятивного рождения частиц в 4π - геометрии Ставинский В.С., Малахов А.И.	8
2. Передний спектрометр ПАМР-2 Морозов Б.А.	15
3. Предложение по экспериментам и развитию установки ИМС на 199I-1995 г.г. Кулаков Б.А.	20
4. Проект ФАЗА - развитие установки для исследования мультифрагментации ядра-мишени в ядро-ядерных взаимодействиях при промежуточных и высоких энергиях Карнаухов В.А.	28
5. Исследования по релятивистской ядерной физике на универсальной пузырьковой камере. Глаголев В.В., Лебедев Р.М.	33
6. Исследование кварк-адронной структуры во взаимодействиях релятивистских ядер Гришин В.Г., Кузнецов А.А.	39
7. Исследование узких адронных резонансов Троян Ю.А.	46
8. Поиск и исследование мультикварковых, стабильных и метастабильных состояний. Шахбазян Б.А.	59
9. Поиски кумулятивных η -и ω -мезонов и проверка динамических свойств сохраняющихся квантовых чисел в процессах кумулятивного рождения ω -мезонов. Вишневский В.Ф.	71

10. Исследование механизма неупругих взаимодействий релятивистских ядер методом фотоэмульсий с использованием сильного магнитного поля (СЛОН)
Толстов К.Д., Коваленко А.Д. 79
11. а) Развитие исследования ненуклонных степеней свободы легких ядер и поиск новых высоковозбужденных адронных систем на период 1991–1995 г.г. (ИНЕСС–АЛЬФА)
Струнов Л.Н. 83
- б) Развитие исследования спиновых эффектов во взаимодействиях легких ядер и коллективных явлений в ядерной материи
Пискунов Н.М., Ситник И.М. 90
12. Программа экспериментов по релятивистской ядерной физике на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ в 1991–1995 г.г. с помощью двухплечевого магнитного спектрометра МАСПИК
Ажгирей Л.С. 96
13. Исследование кумулятивного рождения частиц на установке ДИСК
Ставинский В.С., Панебратцев Ю.А. 103
14. Установка на внутреннем пучке Нуклотрона и синхрофазотрона для исследования ядро–ядерных взаимодействий – проект СЯО
Никитин В.А., Номоконов П.В. 109
15. Исследование процессов инклюзивного образования η' - и ω -мезонов в столкновениях релятивистских ядер. Исследование спектров нейтральных пионов в центральных взаимодействиях – проект ФОТОН–МАССЕР–КОНУС
Хачатурян М.Н., Манько В.И. 119
16. Эксперименты на установке КОНУС–М и на магнитном спектрометре–идентификаторе СИМ в 1990–1995 г.г. (предложения ИАЭ им. И.В.Курчатова)
Манько В.И. 124

17. Предложение экспериментов Института Ядерных исследований на 1991–1995 гг. в Лаборатории высоких энергий
Курепин А.Б. I31
18. Программа эксперимента ЛИДИРУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ на 1991–1995 г.г. (предложение НИИЯФ МГУ)
Бельзер Л.И. I36
19. Развитие методики и исследование процессов фрагментации механизмов образования и распада радиоактивных нуклидов на пучках релятивистских частиц и ядер синхрофазотрона ЛВЭ – проект ГАММА
Бутцев В.С., Кулаков Б.А. I43
- II. Предложения по экспериментам на ускорителях других Институтов
20. Исследование характеристик странных, очарованных частиц и экзотических резонансов, рожденных нейтронами на ядрах водорода, углерода, алюминия и меди при серпуховских энергиях нейтронов ~ 40 ГэВ (Предложение темы по завершению обработки и анализа данных с установки БИС-2, условное название – ФОР БИС-2).
Лихачев М.Ф. I51
21. Нейтринные исследования с помощью гибридного нейтринного спектрометра на УНК – проект ГИНЕС
Нагайцев А.П., Соловьев М.И.,
Фадеев Н.Г., Чеплаков А.П. I55
22. Модернизация установки ДЕЛФИ и проведение на ней физических исследований
Боголюбов П.Н., Мицельмахер Г.В.,
Цыганов Э.Н. I60
23. Центральная трековая система установки УНК-УКД
Цыганов Э.Н. I62

- III. Развитие методики и средства регистрации и обработки экспериментальных данных
24. Разработка и применение детекторов изображений.
Заневский Ю.В. I65
25. Разработка аппаратуры, матобеспечения и новых принципов организации систем регистрации анализа и обработки данных спектрометров физики элементарных частиц и атомного ядра и систем управления базовыми установками – проект ЭЛЕКТРОНИКА.
Колшаков И.Ф. I67
26. Развитие измерительно-вычислительного комплекса Лаборатории высоких энергий для решения задач релятивистской ядерной физики – проект ЦЕНТР
Сеннер А.Е. I71
27. Модульный суперкомпьютер для моделирования и обработки событий спектрометров элементарных частиц – проект СУПЕРКОМПЬЮТЕР.
Колшаков И.Ф. I78
- IV. Развитие ускорительного комплекса ЛВЭ
28. Инжекционный комплекс НУКЛОТРОНА
Семенюшкин И.Н. I85
29. Перспективы развития ускорительного комплекса ЛВЭ
Балдин А.М., Коваленко А.Д., Макаров Л.Г., Шелаев И.А. 210

Данный сборник содержит аннотации проектов и предложения развития установок, методики и ускорительного комплекса для пятилетки 1991-1995 гг, разработанные группами, коллаборациями и подразделениями Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, а также других лабораторий ОИЯИ и институтов стран-участниц, использующих пучки релятивистских ядер синхрофазотрона (нуклотрона).

Проблематика Лаборатории концентрируется на одном научном направлении: хромодинамике больших расстояний, наименее разработанной области применимости универсальной теории элементарных частиц (стандартной модели). Среди наиболее активно разрабатываемых Лабораторией проблем: связанные состояния цветных объектов (резонансы), скрытый цвет, ядерная хромодинамика, многокварковые системы, кварк-глюонная плазма, кластеры, спиновые явления в хромодинамике, релятивистская ядерная и гиперъядерная физика. Для конкурентоспособных исследований в этой области Лаборатория использует как собственную ускорительную базу (синхрофазотрон-нуклотрон), так и крупные детекторы на серпуховском ускорителе.

Ускорительный комплекс ЛВЭ в период 1991-1995 гг. будет непрерывно развиваться в направлении улучшения пучкового обеспечения исследований в области хромодинамики больших расстояний (освоение пучков нуклотрона, создание уникального инжекционного комплекса, проектирование супернуклотрона).

С целью концентрации ресурсов на этом направлении в Лаборатории выработана конкурсная система отбора проектов. Этот отбор осуществляется на заседаниях Научно-технического совета Лаборатории на основе экспертной оценки их научной значимости и реализуемости.

Материалы воспроизведены в том виде, в котором поступили от авторов. Общий список предложений, сгруппированных для удобства в четыре раздела, приведен в содержании, где указаны также руководители проектов.

Мы надеемся, что наш сборник даст более широкую информацию научной общественности в ОИЯИ, в странах-участницах и в организациях, сотрудничающих с нами, о возможностях развития научных исследований в Лаборатории высоких энергий, а экспертам - основу для их количественных оценок.

Ответственные за выпуск сборника:

А.Д.Коваленко, Б.Кюн, Ю.А.Панебратцев, И.С.Сайтов

А Н Н О Т А Ц И Я

проекта на 1991 - 1995 гг. "Развитие спектрометра СФЕРА для исследования множественного кумулятивного рождения частиц в 4π-геометрии"

Ответственные руководители: Ставинский В. С.,
Малахов А. И.

А. У. Абдурахимов, Г. С. Аверичев, С. А. Аверичев, Ю. С. Анисимов, Н. Г. Анищенко, В. В. Архипов, С. В. Афанасьев, А. М. Балдин, С. Н. Базылев, В. Д. Бартенев, Ю. Т. Борзунов, В. К. Бондарев¹, Р. Висневски², В. Я. Волков, Н. Гиордзнеску³, Л. Б. Голованов, И. Г. Голутвина, В. Греку³, В. И. Дацков, А. Ф. Елишев, Л. Г. Ефимов, А. В. Ефремов, Л. Я. Жильцова, П. И. Зарубин, И. Эборовски, Л. К. Иванова, В. Г. Иванов, Э. Капусцик⁴, А. Д. Кириллов, И. Кноурек⁵, И. Ф. Колпаков, В. С. Корольев, В. А. Кузнецов, В. Е. Ковтун⁶, О. Ю. Кульпина, А. Г. Литвиненко, А. И. Малахов, П. К. Маньяков, Е. Н. Матвеева, Е. А. Матъшевский, Г. Л. Мелкумов, Н. С. Мороз, К. Нистор³, А. С. Никифоров, А. А. Немашкало⁷, В. Олейничак⁸, Ю. А. Панебратцев, А. Н. Парфенов, М. Пахр⁹, М. Пенця¹⁰, В. Г. Перевозчиков, Т. Д. Пилипенко, А. В. Пиляр, С. Н. Пляшкевич, С. Г. Резников, О. Г. Рубина, А. Ю. Семенов, А. Е. Сеннер, Б. Словински², В. А. Смирнов, В. С. Ставинский, Ю. И. Титов⁷, В. В. Трофимов, В. А. Трофимов, Е. Хмелевски, М. Хорой¹⁰, А. Н. Хренов, Г. П. Цвинева, А. П. Цвинева, В. Ф. Чумаков, Ю. А. Шишов, А. И. Широков, Н. А. Шутова, М. Шумбера⁹, Д. Энхболд

В области релятивистской ядерной физики, основы которой были заложены в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, в последние годы проводятся широкие исследования во многих научных центрах мира.

Начиная с 70-х годов на установке ДИСК ЛВЭ ОИЯИ изучалась предельная фрагментация ядер. Подробно были исследованы инклюзивные сечения

1) ЛГУ (Ленинград); 2) ИФ ВПИ (Варшава), ПНР; 3) Ун-т (Бухарест), СРР;

4) ИЯФ (Краков), ПНР; 5) ЦМ ЧСАН, ЧССР; 6) ХГУ (Харьков);

7) ХФТИ (Харьков); 8) Ун-т (Лодзь), ПНР; 9) ИЯФ ЧСАН (Ржеж), ЧССР;

10) ЦИФ (Бухарест), СРР;

образования заряженных π -, K - мезонов, протонов, антипротонов, дейтронов и ядер трития на различных ядрах (от водорода до урана) под действием протонов, дейтронов, альфа-частиц и ядер углерода [1]. В этих экспериментах достигнута нижняя граница сечений $(1/A)E_1(d\sigma/dp_1) = 5 \cdot 10^{-36} \text{см}^2 \text{ГэВ}^{-2} \text{ср}^{-1}$. Особое внимание было уделено области кинематики, запрещенной для однонуклонных столкновений (кумулятивный эффект).

Исследования в этой области привели к обнаружению ряда важных свойств кварк-партоновых структурных функций ядер. Интерес к этим работам обусловлен не только установлением естественного предела справедливости протонной модели ядра, но и связью обнаруженных явлений с квантовой хромодинамикой больших расстояний, построение которой составляет одну из центральных проблем современной физики.

ЛВЭ ОИЯИ в настоящее время располагает ядерными пучками с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон, набор и качество которых возрастут после создания нового сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер - нуклотрона.

Для проведения экспериментальных исследований на этом ускорителе создается установка СФЕРА.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА

Физическая программа исследований на установке СФЕРА изложена в работе [2]. В настоящее время в связи с планируемым созданием гамма-детекторов в 4π -геометрии ее можно уточнить.

Задачей экспериментальных исследований является изучение фрагментации покоящегося ядра-мишени (любые ядра) при бомбардировке любыми снарядами, вплоть до самых тяжелых, ускоренных на нуклотроне с интенсивностью более 10^7 ядер за цикл. Одна из основных физических задач - изучение инклюзивного рождения:

- а) псевдоскалярных мезонов π^0 , η ("чистый" октет), η' ("чистый" синглет) с массами 0,14; 0,549; 0,958 (в ГэВ/с²);
- б) векторных мезонов $\rho(0,77)$, $\omega(0,78)$, $\phi(1,02)$ [3];
- в) возбуждений нуклонов (Δ -изобара и т. д.).

Довольно близкие значения масс мезонов, псевдоскалярных и векторных, позволит ответить на вопрос о разных вероятностях их рождения, независимо от массовых поправок.

Изучение кумулятивного рождения Δ -изобар позволит разобратся в вопросе, какой механизм более реалистичский в проявлении нуклонных степеней свободы: малонуклонные корреляции или малонуклонная кумуляция.

Возможность регистрации всех энергичных продуктов реакции (4π -геометрия), рожденных совместно с кумулятивной частицей, позволяет существенно продвинуться в решении вопроса о зависи-

мости параметра $\langle X \rangle$ (или T_0) от множественности акта взаимодействия. В настоящее время показано, что эти параметры для кумулятивных протонов не зависят от множественности в событии вплоть до $\langle N \rangle \approx 7$.

Таблица 1. Статистика в режиме облучения ядра A_{II} , ускоренного ядром A_I , за 300 часов работы ускорителя

Интенсивность пучка в цикл.	Класс задач	Кумулятивное число, X	Число событий каждой из частиц за 300 ч
10^9-10^{10}	Инклюзивное рождение частиц:		
	π^+ , π^0 , π^- , K^+ , K^0 ,	1,0	$4 \cdot 10^9 (10^8)^*$
	(K^-) , η , η' , ρ^+ , ρ^- , ρ^0 , ω , (ϕ) , Δ^{++} и др.	2,8	$10^4 (10^3)^{**}$
10^9-10^{10}	Исследование корреляций в парном рождении частиц, каждая из которых находится в фазовом объеме $\Delta X \approx 0,1$	X_1+X_2 1,0	$(1-10) \cdot 10^7^*$
		2,8	25 - 250
10^{11}	События кумулятивного типа с рождением мюонных пар для		
	$R_T > 1$ ГэВ/с $R_T > 2$ ГэВ/с	$X \geq 1,5$	$3 \cdot 10^5$ 10^4

Другой аспект проблемы заключается в возможности наблюдения динамических корреляций в кумулятивном рождении частиц. Для описания кумулятивного рождения мезонов в настоящее время существует в основном два подхода, исходящих из локальной природы в соответствии с наблюдаемыми A-зависимостями. Это механизм кварковой фрагментации и механизм жесткого рассеяния с рождением инклюзивной частицы C:

$$X_I M_I + X_{II} M_{II} \rightarrow C + (X_I M_I + X_{II} M_{II} + m_2)$$

*) по условию триггера набор статистики осуществляется с равной скоростью для разных кумулятивных чисел, определяемой максимальным кумулятивным числом.

***) статистика обеспечивает возможность получения данных для большого набора мишеней (≈ 100).

4π-геометрия установки позволяет осуществить поиск этой бинарной реакции по наблюдению "нуклонной струи" ($X_1M_1 + X_{II}M_{II} + m_2$) как "отдачи" при рождении частицы "С".

Подобные динамические корреляции можно изучать и при наблюдении кумулятивных нуклонов с попыткой обнаружить кинематический "след" малонуклонной корреляции, т.е. наблюдение "струи" нуклонов как кинематической отдачи при разрушении корреляции и наблюдении рожденного из нее кумулятивного протона.

Одной из главных задач по-прежнему является задача изучения рождения мюонных пар с большими эффективными массами, соответствующими кумулятивному рождению. Это дает возможность получить независимую информацию о кварковых распределениях валентных и морских кварков, т.е. изучить проблему "жесткого" моря, существование которого следует из кумулятивного рождения K^- -мезонов, исследованного на установке ДИСК.

ПАРАМЕТРЫ И СОСТАВ АППАРАТУРЫ УСТАНОВКИ С Ф Е Р А

Предполагалось [2], что вторая очередь установки будет дополнена пропорциональными камерами, электромагнитными калориметрами, ЭВМ типа микро-VAX.

Дальнейшая проработка проекта показала, что центральный детектор установки должен иметь 4π-геометрию, более полную, чем планировалось, т.е. требуется полное окружение мишени детекторами. Кроме того, необходимо повысить разрешение по импульсу для инклюзивных частиц. Для этих целей предлагается использовать в центральном детекторе сверхпроводящий соленоид больших размеров (длина 2,6 метра и внутренний диаметр 2,0 метра) с однородным ($< 1\%$) магнитным полем 1,5 Тл.

Как показал анализ, эффективность переднего детектора при изучении фрагментации мишени мала ($< 1\%$), и для изучения этого круга задач в нем нет необходимости. Кинематика реакции показывает, что отдача "нуклонной струи" ($X_1M_1 + X_{II}M_{II} + m_2$), т.е. динамическая связь фрагментации мишени и снаряда лежит за пределами углов переднего детектора и охватывается центральным детектором. С другой стороны, распределение частиц по элементам фазового объема в снаряде может быть получено релятивистским преобразованием распределений для мишени.

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ СФЕРА:

1. Телесный угол, в пределах которого регистрируются вторичные частицы, близкий к 4π.
2. Пучок: ядра от протонов до урана, интенсивность до 10^{12} , энергия не ограничена, т.к. исследуются автомоделльные процессы.
3. Разрешение: временное - $0,2 \cdot 10^{-9}$ с, импульсное и по эффективной массе - 1-5% (зависит от типа изучаемого процесса).

СОСТАВ АППАРАТУРЫ:

- сцинтилляционные годоскопы на 1180 каналов*
- черенковские счетчики на 520 каналов*
- электромагнитные калориметры на 3000 каналов*
- пропорциональные камеры на 30 тыс. сигнальных нитей
- мишени: ядерная, жидководородная
- сверхпроводящий соленоид диаметром 2 м и длиной 2,6 м
- ЭВМ типа DEC Micro VAX II
- электроника в стандартах КАМАК, ФАСТБАС и ВМЕ.

КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ:

1. Пропорциональные камеры	- 2,6 млн. руб.
2. Электромагнитные калориметры	- 3,0 млн. руб.
3. Сверхпроводящий соленоид диаметром 2 м	- 1,2 млн. руб.
4. Криогенные мишени	- 0,1 млн. руб.
5. ЭВМ типа DEC Micro VAX II	- 0,16 млн. руб.
6. Электронное оборудование в стандартах ФАСТБАС и ВМЕ	- 0,44 млн. руб.

Итого: 7,5 млн. руб.
(в том числе валюта I категории - 300 тыс. руб.,
валюта II категории - 300 тыс. руб.)

СОТРУДНИЧАЩИЕ ОРГАНИЗАЦИИ:

- ЧССР - ИЯФ ЧСАН (Ржеж), ЦМ АН ЧСАН (Прага)
СРР - Университет (Бухарест), ЦИФ (Бухарест), ИКПЭ (Бухарест)
НРБ - Университет (Пловдив), Университет (София)
ВНР - ЦИФИ ВАН (Будапешт)
ПНР - ИФ ВПИ (Варшава), ФИ университета (Лодзь), ИЭ (Люблин)
ИЯФ (Краков)
КНДР - ИЯЭ (Пхеньян)
СССР - Университет (Харьков), ХФТИ (Харьков),
Университет (Ленинград), ВНИИ ЭИМ (Рига)

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Одним из недостатков предложенного в 1985 году проекта СФЕРА [2] является то, что использование неоднородного в пространстве магнитного поля, формируемого сверхпроводящим коротким соленоидом, усложняет обработку результатов измерений.

*) измеряются амплитуды и время прихода сигнала (примерно в 10 тыс. каналах).

От этого недостатка позволяет избавиться предлагаемая конструкция установки, содержащая длинный сверхпроводящий соленоид длиной 2,6 м и диаметром 2 м (М1), внешнее поле которого замыкается стальным сердечником (ярмом) (рис. 1) [4, 5].

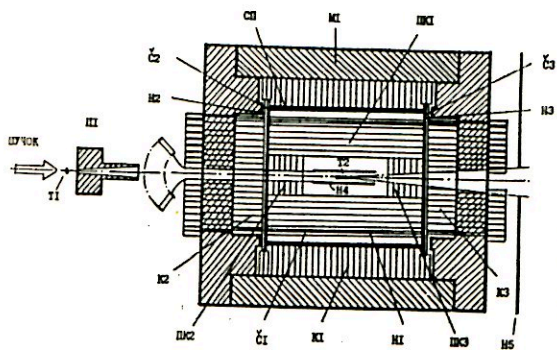


Рис. 1. Схема установки СФЕРА.

М1 - сверхпроводящий магнит; СП - сверхпроводящая обмотка магнита; ПК1 - цилиндрическая многослойная пропорциональная камера; ПК2, ПК3 - торцевые многослойные пропорциональные камеры; Н1 - цилиндрический сцинтилляционный годоскоп; Н2, Н3 - плоские сцинтилляционные годоскопы; Н4 - цилиндрический сцинтилляционный годоскоп окружения мишени; Н5 - иронный годоскоп; С1 - цилиндрический черенковский годоскоп; С2, С3 - плоские черенковские годоскопы; К1 - цилиндрический электромагнитный калориметр на основе свинцового стекла; К2, К3 - электромагнитные калориметры на основе сдвигачей свинец-сцинтиллятор; Т1 - мишень для генерации нейонных пар; П1 - пучковый поглотитель Т2 - распределенная ядерная мишень.

многослойных пропорциональных камер. Центральный трековый детектор со всех сторон окружают сцинтилляционные годоскопы: один цилиндрический Н1 и два плоских Н2, Н3, служащие для выработки триггера, для TOF - и dE/dX - измерений. За этими годоскопами следуют твердотельные черенковские годоскопы С1, С2, С3, служащие для отделения вторичных π - и К-мезонов от протонов в области импульсов от 0,3 до 2 ГэВ/с.

В электронной системе сбора данных установки наряду с использованием стандарта КАМАК широко применяются современные стандарты ФАСТБАС и ВМЕ. Быстрая электроника будет создана в стандарте ЕКЛАИН. В качестве главной ЭВМ установки будет использоваться микро-ЭВМ типа Micro VAX II с оперативной памятью 16 Мб и широким набором внешних устройств.

Большая часть регистрирующих элементов установки располагается внутри соленоида. Поле внутри магнита равно 1,5 Тл с однородностью не хуже 1%. Некоторые характеристики детекторов установки СФЕРА приведены в таблице 2. Распределенную ядерную мишень Т2 окружает трехслойный сцинтилляционный цилиндрический годоскоп Н4, необходимый для формирования триггера установки и TOF - измерений. Траектории вторичных частиц, вылетающих в интервале углов по отношению к оси пучка $5^\circ < \theta < 185^\circ$, определяются с помощью центрального трекового детектора, состоящего из цилиндрической (ПК1) и двух торцевых (ПК2, ПК3)

Таблица 2. Некоторые характеристики детекторов установки СФЕРА.

Обозначение детектора	Кол-во сигн. нитей, тыс.	Шаг или ширина элемента, мм	Кол-во плоскостей	Кол-во элементов	Кол-во ФЭУ	Тип ФЭУ	Размеры детектора, м
ПК1	20,4	3	15	-	-	-	D=0,6-2,0 L=2,6
ПК2	4,5	2	15	-	-	-	D=0,6 L=0,6
ПК3	4,5	2	15	-	-	-	D=0,6 L=0,6
H1	-	40	1	160	320	87	D=2, L=2,6
H2	-	40	1	50	100	87	D=2
H3	-	40	1	50	100	87	D=2
H4	-	2	3	580	580	60	D=0,15 L=0,8
H5	-	100	1	40	80	85	4 x 4
C1	-	40	1	160	320	85	D=2, L=2,6
C2	-	40	1	50	100	85	D=2
C3	-	40	1	50	100	85	D=2
K1	-	100	1	2100	2100	110	D=2,2, L=2,6
K2	-	100	1	300	300	84	D=2, L=0,3
K3	-	100	1	300	300	84	D=2, L=0,3
Итого:				29,4 тыс. сигн. нитей	4400 ФЭУ		

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Ставинский. IX Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Д1,2-88-652, Дубна, ОИЯИ, 1988, т.1, с.190.
2. С. А. Аверичев и др. Сообщение ОИЯИ, P1-85-512, Дубна, 1985.
3. А. М. Baldin, S. B. Gerasimov. JINR, E2-11804, Dubna, 1978.
4. H. Albrecht et. al. Nucl. Instr. and Meth., A275, 1989, p. 1-48.
5. A. Astbury. Physica Scripta. Vol.23, 1981, p. 397-408.

ПЕРЕДНИЙ СПЕКТРОМЕТР ПАМИР-2

(Краткое описание)

Авторы: Л.С.Барабаш, С.Б.Бородин, Л.С.Золин, Б.А.Морозов, В.Ф.Переседов, В.П.Петухов, А.А.Повторейко, Б.Г.Сандуковский, А.Ю.Суханов, В.И.Цовбун.

В реализации проекта участвуют следующие организации: ИФВЭ (Серпухов), ИЯФ СО АН СССР, Политехнический институт, Афины, Греция, ЛИЯФ (Ленинград).

Ввод в текущей пятилетке новой базовой установки ОИИИ, НУКЛОТРОНА, открывает широкое поле деятельности для дальнейшей экспериментальной программы по исследованию взаимодействия релятивистских ядер. Ранее мы рассматривали создание установки ПАМИР и решаемые с помощью её задачи как начальные этапы к подготовке программы исследований на НУКЛОТРОНЕ при соответствующем развитии экспериментальных возможностей на последующей установке ПАМИР-2. Очевидно, что качеством спектрометрии частиц передним спектрометром определяется тот круг исследований, который планируется провести. Кроме задач по фрагментации, мы рассмотрели возможную организацию триггеров на следующие процессы:

- 1) образование тождественных пар заряженных мезонов с импульсом $\geq 0,4$ ГэВ/с,
- 2) образование кумулятивных ρ - и ω -мезонов,
- 3) образование быстрых гиперфрагментов,
- 4) образование дибарионных резонансов при разрешении спектрометра по массе $\Delta M = 3$ МэВ на пороге рождения π^0 в реакции $pp \rightarrow pp\pi^0$.

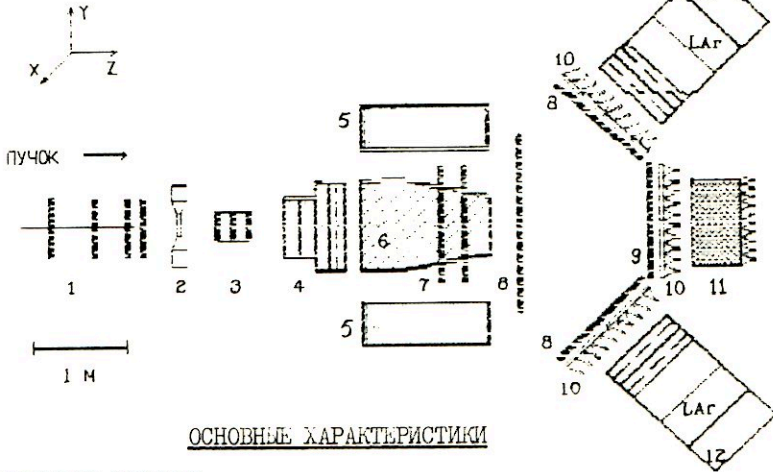
В настоящем предложении приведены результаты структурной оптимизации спектрометра ПАМИР-2 при взаимодействии ядер ^{56}Fe (импульс 6 А ГэВ/с) с активной и жидководородной мишенями установки ПАМИР-2.

СТРУКТУРА УСТАНОВКИ И ЕЁ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Установка состоит из следующих составных частей:

- 1) четыре блока 3-координатных пучковых камер,
- 2) времяпролетный (стартовый) сцинтилляционный счётчик,
- 3) секционированная по пучку активная мишень,
- 4) блок многослойных микродрейфовых камер вершинного детектора,

- 5) широкоапертурный магнит с профилем полюса в виде
- 6) усеченного эллипса,
- 7,8,9) четырехкоординатные пропорциональные камеры,
- 10) времяпролетные стоповые сцинтилляционные годоскопы,
- 11) ячеистый γ - детектор,
- 12) секционированный жидкоаргонный калориметр.



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

пучковые камеры:

число блоков пропорциональных камер	4
точность определения X -, Y - координаты в плоскости мишени	0,4 мм,
точность определения пространственного угла	0,3 мрад,

активная мишень:

размеры в плоскости $X - Y$	(18x24) мм ²
количество черенковских радиаторов	40 шт.
толщина радиатора по пучку	1 мм,
количество стриповых S_c -детекторов	40 шт.,
шаг стрипов детекторов	450 мкм,
ширина стрипов	200 мкм
порог регистрации черенковского детектора	0,5±2 А ГэВ,
разрешение по заряду черенковского детектора	0,3 ,
разрешение по заряду полупроводникового детектора	0,1 ,
точность определения точки взаимодействия по оси Z при минимальной длине пробега	0,1±0,5 мм, 0,5 мм,
количество спектрометрических каналов черенковских детекторов	40

полупроводниковых детекторов

1600,

вершинный детектор:

размер в плоскости X - Y	(0,6x0,6) м ² ,
число плоскостей	8
размер по оси Z	0,7 м,
количество сигнальных проволочек	2400,
шаг сигнальных проволочек	2 мм,
пространственное разрешение одной плоскости	60 мкм,
точность восстановления Z - координаты вершины	0,7 мм, ^{х)}
множественность для однозарядовых частиц	20

х) для углов эмиссии > 3° в симметричной геометрии и с учетом многократного рассеяния.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

аксептанс по телесному углу в интервале импульсов 0,4 ÷ 6 ГэВ/с	0,1±0,07 ср,
разрешение по импульсу протонов	
импульс протонов	6,0 ГэВ/с ±0,3%
импульс протонов	0,4 ГэВ/с ±2,0%
множественность для регистрации заряженных частиц	20,
угловой аксептанс в плоскости X-Z	±300 мрад,

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

длина пролетной базы	4700 мм,
временное разрешение	350 пс,
разделение π и К мезонов на 20% уровне по времени пролета (максимальный импульс)	1,5 ГэВ/с,
разделение π и p на 20% уровне по времени пролета (максимальный импульс)	3,0 ГэВ/с

γ - детектор:

материал радиатора	свинцовое стекло,
размер в плоскости X -	(0,8x0,8) м ² ,
поперечный размер радиатора	(50x50)/мм ² ,
продольный размер радиатора	350 мм,
количество радиаторов	208,

разрешение по импульсу (3 ГэВ/с)	6,8%,
разрешение по координате (3 ГэВ/с)	8 мм,
- жидкоаргонный калориметр:	
материал активной среды	жидкий аргон,
материал пассивной среды	<i>AL</i>
структура	ячеистая
размер в плоскости X - Y	$(1,0 \times 1,0) \text{ м}^2$,
количество продольных блоков	7
длина среды по пучку	260 см,
размер ячейки	$(60 \times 60) \text{ мм}^2$
число ячеек	900
число $\Delta E/E$ промежутков	4
разрешение по энергии ($E_{\gamma} = 1$ ГэВ)	6%

ЭЛЕКТРОНИКА УСТАНОВКИ

Основой электронной части аппаратуры является электроника установки ПАМИР в стандарте КАМАК. Общий объем электроники составляет около 28 корзин. Электроника регистрации и сбора информации с пропорциональных камер имеет локальное расположение и снабжена контроллерами "ужатия" и форматирования данных. Установка имеет две ЭВМ PDP II/34 (организаторы события), осуществляющие сбор информации по каналу прямого доступа с буферной памяти емкостью 4 Мбайта. ЭВМ через шину VME соединены в общую многопроцессорную систему, включающую в себя вычислительные и графические возможности на основе микрокомпьютеров. Скорость приема информации составляет ~ 150 событий/сбор при длине события в 1,5 кбайта. Математические средства аналогичны применяемым в установке ПАМИР и включают в себя систему приема данных и записи их на магнитную ленту, графическое представление данных, протокольное хранение и сортировку обработанной информации.

МЕСТО РАСПОЛОЖЕНИЯ УСТАНОВКИ

Спектрометр располагается на том же месте, что и установка ПАМИР. Занимаемая ею площадь составляет 76 м^2 при протяженности по пучку в 14 м. Средняя длина кабельных коммуникаций составляет 40 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В трех лабораториях (Brookhaven, CERN и ОИЯИ) готовятся или проводятся в настоящее время эксперименты по изучению ядро-ядерных взаимодействий при энергии выведенных пучков выше 4 А ГэВ. Функциональные возможности установки ПАМИР-2 во многом по-

добны передним спектрометрам других экспериментальных проектов /1,2,3,4/, Круг решаемых на ней задач, а также возможное изменение конфигурации аппаратуры будут окончательно определены на основании результатов экспериментальных исследований на ее предшественнице - установке ПАМИР, цикл работ на которой завершается в 1992 г.

В заключение отметим основные направления по модернизации спектрометра:

- 1) увеличение акцептанса по телесному углу в 30 раз - ПАМИР-2 - 0,1±0,07 ср в интервале импульсов 0,4±6 ГэВ/с,
- 2) применение 2-х широкоапертурных жидкоаргонных калориметров с диаметром рабочего окна в 1,2 м и длиной 2,6 м с целью идентификации заряженных частиц и γ - квантов,
- 3) дополнение активной мишени стриповыми полупроводниковыми детекторами для определения вершины взаимодействия или распада и для идентификации фрагментов мишени.

Основные работы планируется провести в период 1992-1995 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Experiments at CERN in 1985 (CERN, Geneva, 1985)
M.A.Faessler, Preprint CERN-EP/86-102.
2. D.Alburger et al., Proposal Submitted to the AGS PC 1984.
3. С.А.Аверичев и др. Сообщения ОИЯИ, PI-85-5I2, 1985.
4. Матюшин В.Т. - В сб.: Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Д2-82-568, Дубна: ОИЯИ, с.120.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ

по экспериментам и развитию установки ГИБС на 1991-1995 гг.

Авраменко С. А., Аксиненко В. Д., Аникина М. Х., Банник Б. П.,
Варденга Г. Л., Волков Ю. Н., Глаголева Н. С., Голохвастов А. И.,
Каминский Н. И., Козубский Э. В., Кузнецов А. А., Кулаков Б. А.,
Лукстиныш Ю., Мандрик О. Ю., Маньяков П. К., Матвеева Е. Н., Матюшин
А. Т., Матюшин В. Т., Мухин С. В., Никитюк Н. М., Оконов Э. О., Охрименко
Л. С., Радоманов В. Д., Сайтов И. С., Седых С. А., Хорозов С. А. - ОИЯИ ЛВЭ,
Абдурахимов А. У., Бутенко В. А., Завьялов В. Ф., Иванов В. Г., Мороз
В. И., Останевич Т. Г., Приходько В. И., Сусов Ю. И. - ОИЯИ, ЛВТА.
Тонеев В. Д. - ОИЯИ, ЛТФ.
Баранов П. С., Поль Ю. С., Таран Г. Г. - ФИАН им. П. Н. Лебедева (Москва).
Лившиц Э. М., Русинов М. М. - ЛИТМО (Ленинград).
Беликов Ю. А., Краснов Л. В., Кондратьев В. П., Литвин В. Ф., Степанов И. В.,
Шевченко И. Е. - НИИФ ЛГУ (Ленинград).
Нургожин Н. Н., Хусаинов Е. К. - ИФВЭ АН КазССР (Алма-Ата).
Джобава Т. Д., Тулиани И. И., Чхаидзе Л. В. - Ун-т (Тбилиси).
Марков П. К., Пенев В. Н. - НРБ ИЯИЯЭ (София).
Заюжевски Я., Скужипчак Э. - ПНР Ун-т (Варшава).
Пиантковски А., Мирковски Я. - ИРЭ ВПИ (Варшава).
Фирковски Р. - ИЯИ (Лодзь).
Малецки Х., Стемпински М. - ИФ (Лодзь).
Болдея В., Топор В. - СРР ЦИФ (Бухарест).
Малы М. - ЧССР ФИ ЧСАН (Прага).
Жофка Я. - ИЯФ ЧСАН (Ржеж).

Установка ГИЭС в настоящее время (1989 г.) включает в себя:

- 1/ стримерную камеру ($2 \times 1 \times 0.6 \text{ м}^3$), помещенную в магнитное поле напряженностью $\approx 0.9 \text{ Тл}$, с системой ГИН и системой контроля параметров на ЭВМ "МЕРА".
- 2/ триггерные системы и системы контроля пучка с электроникой в стандарте СМАС.
- 3/ систему съема информации (стереофотоаппарат) и набор программ для ее обработки.

Установка расположена на канале 6В в корпусе 205.

Точность измерения импульсов $\approx 1\%$ (π -мезоны), 5-7% для частиц с радиусом кривизны около 30 м. Точность измерения углов-единицы миллирадиан. Быстродействие-1 раз в цикл синхрофазотрона. Типичные рабочие интенсивности- 10^4 - 10^5 первичных частиц в цикл.

Предполагаемое развитие установки в 1991-1995 гг.

1. Повышение быстродействия (до 0,5-1 Гц - для работы на пучках нуклотрона), повышение стабильности и надежности работы камеры.
2. Разработка детекторов с высокой стабильностью и однородностью, высоким временным и амплитудным разрешением для триггерных систем. Разработка новых триггерных систем.
3. Автоматизация систем контроля пучка, режимов работы триггерных детекторов с записью информации для совместной обработки с фотоинформацией. Совершенствование и развитие автоматизированных систем контроля режимов работы камеры.
4. Создание систем пропорциональных камер для измерения координат и углов первичной (пучковой) частицы и вторичной частицы с большим импульсом.
5. Развитие программного обеспечения для обработки фотоматериала, создание программ для совместной обработки пленочной и беспленочной информации.
6. Проведение перспективных исследований -- возможности беспленочного съема информации со стримерной камеры, возможности проведения ионизационных измерений.

Научная программа включает исследование процессов образования и распада релятивистских гиперядер, изучение роли коллективных эффектов в процессах перезарядки релятивистских ионов (возбуждение Δ -изобары в ядрах) и исследование динамики многонуклонных (центральных) столкновений ядер с ядрами.

Исследование релятивистских гиперядер является новым направлением в физике гиперядер. На период 1991-1995гг основными задачами являются:

1. Измерение сечений образования релятивистских гиперядер в зависимости от типа первичного ядра и его энергии.
2. Измерение времен жизни гиперядер.
3. Исследование двухчастичных пионных распадов гиперядер с образованием вторичного ядра в возбужденном состоянии.
4. Поиск и исследование свойств гиперядер, предсказанных теорией, но не наблюдавшихся в экспериментах.
5. Поиск связанной системы $n\Lambda$.

Измерение сечений образования различных гиперядер в пучках релятивистских ионов с разной энергией дает не только важную информацию о механизме их образования, но и создает основу для дальнейшего систематического изучения их свойств (выбор типа реакции, энергии первичного пучка). Имеющиеся в настоящее время модельные оценки сечений расходятся в предсказаниях на 1-2 и даже более порядков. Экспериментальные данные весьма бедны (образование ${}_{\Lambda}^{16}\text{N}$ в пучке ${}^{16}\text{O}$ - Беркли, 1976г и образование ${}_{\Lambda}^4\text{H}$ в пучке ${}^4\text{He}$ - Дубна, ГИБС, 1988г).

Все имеющиеся на сегодняшний день экспериментальные данные по временам жизни гиперядер получены методами, не позволяющими корректно учесть систематические ошибки. При этом большая часть этих данных имеет и значительные (30-50%) статистические ошибки. Измерение пробегов до распада релятивистских гиперядер позволит получить наиболее точные и надежные данные по временам жизни.

Даже довольно грубые оценки соотношения частот пионных распадов

гиперядер в состоянии с разными возбуждениями дочернего ядра в ряде случаев могут дать важную информацию о структуре гиперядра и гамилтониане слабого распада Δ -частицы в ядерной среде. Теоретические расчеты этих частот имеются, но экспериментальные данные отсутствуют.

Опыт проведенных облучений показывает, что при условии модернизации триггерных систем за сеанс длительностью 200 часов на синхрофазотроне можно зарегистрировать один или несколько десятков гиперядер (на нуклотроне около 100). Таким образом, значительная часть гиперядерной программы может быть выполнена на пучках синхрофазотрона, но полная реализация этой программы предполагает работу на пучках нуклотрона.

Роль коллективных эффектов в процессах перезарядки релятивистских ионов была убедительно продемонстрирована в экспериментах, выполненных в Дубне (группа Л.Н.Струнова) и в Сакле. Однако интерпретация наблюдаемого эффекта как возбуждения Δ -изобары в ядрах не является однозначной. Оба упомянутых эксперимента проводились методом недостоющей массы. Исследование процесса перезарядки (например, ${}^3\text{H} + \Lambda \Rightarrow {}^3\text{He} + \dots$) на стримерной камере с мишенью внутри чувствительного объема может дать гораздо более детальную информацию о процессе перезарядки, хотя и на меньшей (около 10^4 событий за сеанс 200 часов на синхрофазотроне) статистике.

Исследование динамики многонуклонных столкновений ядер с ядрами включает поиск проявлений адронной и кварковой плазмы и исследование корреляций вторичных частиц.

В начале пятилетки на 20 тыс Mg-Mg взаимодействиях был получен экспериментальный материал по изучению аномалий в ядро-ядерных соударениях.

Особенность предлагаемой экспериментальной программы в том, что планируется изучать возбужденное вещество и при значительных температурах (T), и при больших барионных плотностях. Как показывают теоретические оценки, в таком "тормозном" ("барионном")

режиме можно достичь условий фазового перехода в кварк-глюонную материю ("кваргму") при энергиях $E \cong 3-10$ АГэВ и $T \cong 150-200$ МэВ, в то время как "безбарионный" режим требует энергии $E \cong 1$ АГэВ и $T \cong 200 - 300$ МэВ.

Для тормозного режима (в отличие от безбарионного) образование избыточной "странности" ($s\bar{s}$) оказывается хорошим сигналом при поиске "кваргмы", а эффективным методом исследования является стримерный спектрометр, который позволяет отбирать многонуклонные (центральные) взаимодействия ядер (ЦВ) и одновременно регистрировать практически в 4 π -геометрии сложные по топологии редкие события.

На установке СКМ-200 было показано, что с увеличением степени центральности ядерных соударений (с ростом числа взаимодействующих протонов) можно достигнуть равновесного состояния (по крайней мере, локального) с бальцмановской температурой, близкой к критической ($T_{\Lambda, K} \cong 150$ МэВ) При этом наблюдалось также увеличение относительного выхода кумулятивных Λ^K -частиц в области средних быстрот (\cong в 5 раз). Если испускание этих Λ -гиперонов связано с образованием нового источника, то его температура значительно больше ($\cong 200$ МэВ). Кроме того, было получено указание на то, что распределение π^- -мезонов, рожденных в ЦВ с Λ^K -частицами, становятся также более изотропным.

Создание нуклотрона даст возможность провести статистически более обеспеченные исследования уже обнаруженных эффектов, а также других ожидаемых следов кваргмы при энергии до $E_{\Lambda} \cong 150 - 300$ ГэВ (т.е. при ускорении ядер ^{40}Ar и ^{86}Kr).

На основании анализа 4000 Λ -гиперонов и 2000 K_S^0 -мезонов, зарегистрированных в пучках ядер ^{40}Ar и ^{84}Kr , за 500 - 600 часов работы нуклотрона предполагается решить следующие основные задачи:

- исследовать зависимость от E параметров: $\langle p_t \rangle$ и T , рост которых в рамках имеющихся модельных представлений должен замедляться, когда образуется смесь адронной и кварк-глюонной фаз, что может, в свою очередь, привести к разделению s - и \bar{s} -кварков и,

следовательно, к различию значений T для Λ и K частиц.

- изучить спектральные характеристики кумулятивных Λ^K частиц в области средних быстрот (на статистике $500 \Lambda^K$).

- провести поиск подпорогового образования $\bar{\Lambda}$; Ξ ; Ω^- - гиперонов, а также N -дигиперонов с каскадным распадом $N + p \bar{\Lambda} + p \bar{\Lambda} + p \bar{\Lambda}$ на уровне относительной множественности $\langle n \rangle / \langle n_{\pi^-} \rangle = 10^{-3} - 10^{-4}$.

- проверить эффект термализующего влияния образования Λ^K -гиперонов на характеристики π^- -мезонов (на общей статистике $5000 \pi^-$).

- исследовать зависимость поляризации Λ -гиперонов (P_{Λ}) от E_A и $\langle p_t \rangle_{\Lambda}$, проверив предсказание теории о том, что $P_{\Lambda} \rightarrow 0$ при достижении условий образования квагмы (с точностью $\Delta P_{\Lambda} \approx 8 \times 10^{-2}$).

На уже имеющемся материале (центральные $Mg-Mg$ столкновения - около 20000 звезд) и на материале, который предполагается получить при изучении центральных столкновений более тяжелых ядер, планируется провести исследование корреляций. Сюда относятся корреляции тождественных частиц (определение размеров и формы излучателя), а также изучение струй с использованием релятивистски-инвариантной переменной b_{ik} (разность 4-скоростей частиц i и k). В программу исследований входит:

1. Изучение автомодельных свойств барионных кластеров в зависимости от атомных весов взаимодействующих ядер.

2. Дальнейшая проверка гипотезы факторизации (т.е. возможности независимого описания свойств каждого кластера) для кластеров, образующихся в столкновении ядер с $A > 12$.

3. Изучение свойств высокотемпературных барионных кластеров как возможного проявления образования смешанной кварк-адронной фазы в релятивистских ядро-ядерных столкновениях. Определение области асимптотического поведения характеристик этих кластеров во взаимодействиях ядер с различными атомными весами.

Три последних пункта взяты из программы сотрудничества на пропановой камере. Отметим, что специфические черты установки со стримерной камерой (простота смены мишеней в чувствительном объеме

камеры, управляемость и малое время памяти) в ряде случаев обеспечивают возможность постановки экспериментов, трудноосуществимых на пропановой камере.

НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ

Для выполнения научной программы, для решения методических проблем, совершенствования гиперядерного триггера, совершенствования системы телевизионного просмотра необходимы следующие ресурсы:

1. Камера и генератор с системой газообеспечения	350 т. руб.
2. Система телевизионного контроля информации	100 т. руб.
3. Триггерная система	350 т. руб.
4. Пропорциональные и дрейфовые камеры	200 т. руб.
5. ЭВМ СМ-1420	250 т. руб.
ИТОГО	1250 т. руб.
6. Механические работы, включая ОП	35 т. н-час.
7. Валюта 1 категории	20 т. руб.
8. Валюта 2 категории	300 т. руб.
9. Ускоритель	4500 часов.

Затраты на основную деятельность

1. Зарплата	770 т. руб.
2. Ускоритель	1600 т. руб.
3. ЭВМ	300 т. руб.
4. Мех. работы, материалы	120 т. руб.
5. Командировки	110 т. руб.
6. Накладные расходы	1200 т. руб.
ИТОГО	4100 т. руб.

В составлении настоящего предложения принимали участие т. т. Васильев М. А., Виноградов А. А., Григорьян Ю. И., Лебедев А. Л., Манько В. И., Оглоблин А. А. из ИАЭ им. И. В. Курчатова (Москва), Амаглобели Н. С. из ИФВЗ ТГУ (Тбилиси), Котляревский Д. М. из ИФ АН ГрузССР (Тбилиси), Гулямов У. Г. из ИЯФ (Ташкент) и Гуламов К. Г. из ФТИ (Ташкент).

СПИСОК СОТРУДНИЧАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

- НРБ - ИЯИЯЗ БАН (София).
- ГДР - ЦИЯИ (Россендорф), ВПШ (Лейпциг).
- ПНР - Ун-т (Варшава), ИРЭ ВПИ (Варшава), Ун-т (Лодзь).
- СРР - ЦНФ (Бухарест).
- ЧССР - ФИ ЧСАН (Прага).
- СССР - ФИ АН СССР (Москва), НИИФ ЛГУ (Ленинград), ЛПИМО (Ленинград), ИФВЗ ТГУ (Тбилиси), ИФВЗ АН Каз ССР (Алма-Ата), Ун-т (Тбилиси), ИЯФ АН Уз ССР (Ташкент), ИАЗ им. И. В. Курчатова (Москва), НИИЯФ МГУ (Москва), НИИ Вента (Вильнюс), ОИЯИ (Дубна) - ЛВЗ, ЛВТА, ЛТФ.

ПРОЕКТ "ФАЗА"

РАЗВИТИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИФРАГМЕНТАЦИИ ЯДРА-МИШЕНИ
В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Руководитель проекта: В.А.Карнаухов.

Авторы проекта: Карнаухов В.А., Петров Л.А., Кузнецов В.Д.,
Авдеев С.П. (ЛЯП ОИЯИ), Оглоблин А.А., Яньков Г.Б., Бочкарев О.В.,
Кузьмин Е.А., Муха И.Г., Чулков Л.В. (ИАЭ им. И.В.Курчатова),
Выдай Ю.Т. (НПО "Монокристалл", Харьков), Чултем Д. (МНР).
Общее число сотрудников ЛЯП, занятых в проекте, - 7.

Основные научные тезисы проекта

Целью проекта является исследование механизма множественного испускания фрагментов промежуточной массы ($Z_f = 2+20$) спектатором мишени в ядро-ядерных взаимодействиях. В результате будет получена информация об уравнении состояния ядерного вещества при температурах вплоть до критической $T_c \approx 15-17$ МэВ, о возможных фазовых переходах типа "крекинг" и "жидкость-газ". В настоящее время эта проблема является одной из животрепещущих в ядерной физике, и интерес к ней огромен. Решение ее возможно только с помощью многодетекторных установок с геометрией, близкой к 4П, позволяющих одновременно измерять энергетические и зарядовые спектры фрагментов, угловые распределения и корреляции, дифференциальные и полные множественности фрагментов.

Методической основой работы является установка, создаваемая сейчас в рамках проекта ЛИФТ. Она включает детектор множественности фрагментов - ДМФ (64 сцинтилляционных счетчика с пленочными $CsJ(T\ell)$) и пять телескопов-спектрометров фрагментов - ТС ($\Delta E_1 \times \Delta E_2 \times E$: пропорциональный счетчик \times ион. камера \times ППД). ТС - обеспечивает идентификацию фрагмента по Z_f с хорошей спектрометрией; ДМФ определяет множественность фрагментов, направление их вылета. При реализации проекта ФАЗА установка существенно модернизируется. Вводится амплитудный анализ во всех каналах ДМФ. В дополнение к ДМФ будет создан детектор множественности нуклонов - ДМН (64 канала) путем замены $CsJ(T\ell)$ слоенным сцинтиллятором $CsJ(T\ell)$ + пластик с использованием соответствующей электроники для разделения импульсов по форме. Введение ДМН позволит фиксировать параметр соударения ядер и даст информацию о нуклонном канале процесса мультифрагментации.

Общий вид установки показан на рис. I. Она будет размещена на канале № 38 второго медленного вывода СФТ ОИЯИ. Первая очередь установки (в рамках проекта ЛИФТ) будет создана в текущем пятилетии. Будут проведены и первые эксперименты на пучках релятивистских ядер ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$.

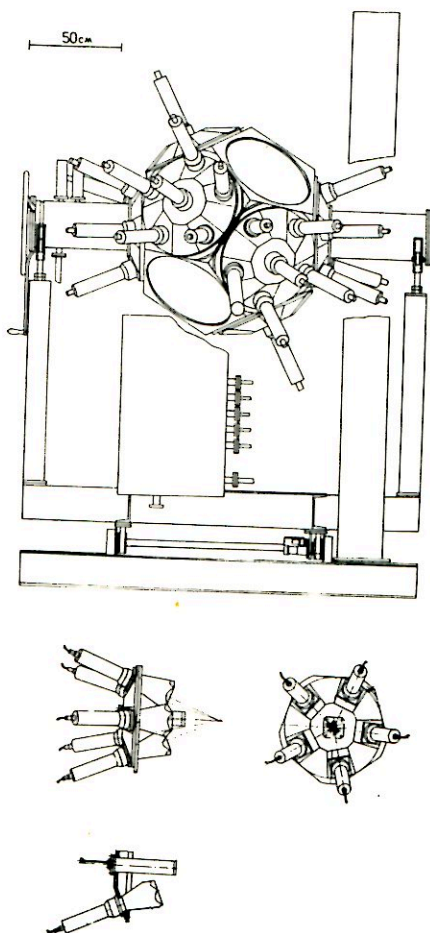


Рис. I. Общий вид установки ФАЗА (вверху) и один из ее модулей с пятью сцинтилляционными счетчиками с пленочным CsI(Tl) и телескопом-спектрометром фрагментов.

Расходы по основной деятельности - 109,2 т.р. в год.

Расходы по капитальному строительству оцениваются в 300 т.р. Эти средства предназначены для приобретения ЭВМ и блоков электроники (ИАЭ им. И.В.Курчатова участвует в дополнительном финансировании проекта - 200 т.р.).

Сотрудничающие организации:

- а) Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова (Москва)
- б) Радиевый институт им. В.Г.Хлопина (Ленинград)
- в) ЛВЭ ОИЯИ,
- г) Монгольский госуниверситет, Улан-Батор.
- д) ИЯФ, Краков (ПНР).
- е) НПО "Монокристалл" (Харьков)

ж) Теоретический анализ будет проводиться при участии следующих ученых: Л.Монхов с сотр. (ИЯИ, Россендорф), Милуштин И.Н. (ИАЭ, Москва), Ильинов А.С. (ИЯИ, Троицк), Тонеев В.Д. (ЛТФ ОИЯИ).

Распределение расходов по годам

	1991	1992	1993	1994	1995
О/Д	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2 т.р.
К/С	250	20	20	5	5 т.р.

По разделу К/С: переводные рубли - 290 т.р., конвертируемые рубли - 10 т.р. (на приобретение накопителей на магнитном диске). Наличие основных средств на начало работ: ориентировочно 220 т.р. Командировочные расходы - в пределах средней нормы + 1000 р. в год для приема специалистов из сотрудничающих организаций.

Конкурентоспособность проекта определяется:

- актуальностью физической задачи;
- разработкой современной электронной установки, позволяющей исследовать процесс множественной эмиссии ядерных фрагментов в по-

становке, близкой к эксклюзивной (накопленный к настоящему времени обширный экспериментальный материал получен, в основном, в инклюзивных опытах);

- реальной возможностью приступить к экспериментам в ближайшие годы.

Результаты моделирования

Был создан макет модуля установки "ФАЗА", включавший телескоп-спектрометр и сцинтилляционный счетчик фрагментов с пленочным (10 мг/см^2) $\text{CsJ}(\text{Tl})$. Были проведены модельные эксперименты на выведенных пучках ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$ ($3,6 \text{ ГэВ/нуклон}$) с использованием мишени из Ta (1 мг/см^2). На рис.2 показан зарядовый спектр фрагментов, полученный на пучке ${}^4\text{He}$. Аналогичные спектры получены и для взаимодействия ${}^{12}\text{C} + \text{Ta}$. Выбранная конструкция T_C обеспечивает удовлетворительное разрешение по Z_f и достаточно низкий уровень фона. Данные по уровню фона в сцинтилляционном счетчике, связанному с ореолом пучка, позволяют пока рассчитывать на работу с интенсивностью до 10^8 I/сброс .

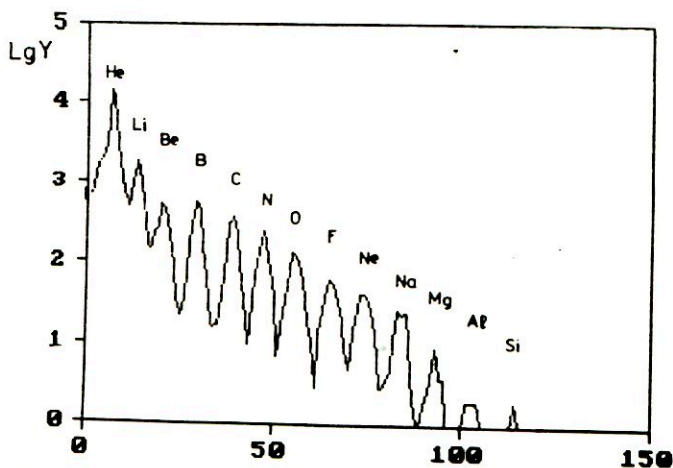


Рис.2. Зарядовое распределение фрагментов для взаимодействия ${}^4\text{He}$ ($3,6 \text{ ГэВ/А}$) + Ta. Интенсивность пучка 10^9 I/сброс , время измерения 3,5 ч. Полное число зарегистрированных фрагментов около $4,5 \cdot 10^4$.

Необходимые ресурсы ЛВЭ

Основываясь на результатах модельных опытов, продолжительность одного эксперимента на установке "ФАЗА" выбирают равной 50 ч (при интенсивности 10^8 I/сброс). При использовании пучка ${}^{12}\text{C}$ за это

время будет зарегистрировано $1,5 \cdot 10^6$ событий фрагментации спектра мишени, если в качестве триггерной частицы (в ТС) берутся фрагменты с $Z_f \geq 2$; при этом число событий с триггером $Z_f \geq 5$ будет $1,7 \cdot 10^5$. Этого достаточно для получения данных о множественности, энергетических и зарядовых спектрах, угловых распределениях и корреляциях фрагментов с необходимой статистической точностью. Общий запрос на время СФТ ОИЯИ составляет ~ 400 ч /год, что необходимо для проведения систематических исследований процесса мультифрагментации с использованием различных бомбардирующих частиц (p, ^4He , ^{12}C) в диапазоне энергий (0,5–3,6) ГэВ/нуклон.

Ожидаемый результат

Будут проведены эксперименты по изучению процесса множественной эмиссии фрагментов в ядро-ядерных взаимодействиях. Будут получены данные о множественности фрагментов, их энергетических и зарядовых спектрах, угловых распределениях и корреляциях. (Данные последнего типа важны для получения информации о временной шкале процесса). Будет проведен анализ экспериментального материала с целью установления механизма мультифрагментации, выяснения связи этого процесса с возможными фазовыми переходами в ядерном веществе.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПЕРИОД 1991-1995 гг.
"ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКЕ НА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ "

Ответственные руководители: В.В.Глаголев, Р.М.Лебедев.

Список участников: А.Ш.Гайтинов, А.П.Коленько, И.Я.Часников, С.С.Шеманский, В.Вислицки, П.Зелински, Т.Семярчук, В.Н.Алмазов, В.В.Глаголев, Ю.Д.Зернин, Э.В.Комогоров, В.А.Кузнецов, Р.М.Лебедев, В.П.Сергеев, Б.И.Терентьев, Е.П.Устенко, В.Н.Фомин, А.В.Беляев, Н.А.Буздавина, А.Г.Залкина, В.Г.Иванов, В.И.Краснослободцев, Й.Молнар, В.И.Мороз, В.С.Рихвицки, В.Н.Самойлов, Н.Г.Симонова, С.К.Слепнёв, В.И.Сусов, Т.Эрдэнэдэлгер, И.Главачова, М.Кравчикова, Б.Пастирчак, М.Семан, Л.Шандор, Г.Мартинска, Й.Урбан, М.Яворек, К.У.Хайретдинов, К.Г.Гуламов, В.Д.Липин, К.Олимов, С.Н.Шпилев, А.А.Юлдашев, У.Г.Гулямов, Ш.Э.Насыров, Г.Д.Пестова, И.Э.Шокиров, А.С.Балаян, И.А.Ибрагимов, Ю.П.Кратенко, А.М.Худайбергенов, А.К.Качарова, Д.Г.Мирианашвили, М.С.Ниорадзе, Т.Л.Рогава, З.Р.Салуквадзе.

Предлагаются эксперименты по исследованиям динамических корреляций, структуры и особенностей взаимодействия легчайших ядер (в том числе поляризованных дейтронов), дибарионных состояний во взаимодействиях релятивистских ядер с ядрами неона и водорода.

В течение ряда лет на установке со 100 см водородной пузырьковой камерой в пучках релятивистских ядер (^2H , ^3He , ^4He , ^{16}O) и квазимонохроматических нейтронов проводились исследования, в которых были получены следующие основные результаты:

1. Обнаружены узкие дибарионные резонансы в области эффективных масс (1.9 - 2.2) ГэВ/ c^2 .
2. Изучено поведение дифференциальных спектров протонов, вылетающих под большими углами и показана существенная роль виртуальных возбуждённых состояний, особенно в процессах перезарядки.
3. Отработана методика исследований в пучке поляризованных дейтронов и получены указания на то, что некоторые особенности процесса

перезарядки не удаётся описать в рамках простого импульсного приближения.

4. Наблюдены эффекты коалесценции быстрых нуклонов в дейтрон.

5. Обнаружены и описаны сильные корреляции вторичных нуклонов, связанные с взаимодействием в конечном состоянии.

6. В пучках ядер гелия-3 и гелия-4 получено указание на аномальное поведение поперечных сечений вторичных двухзарядных фрагментов.

7. Ведётся изучение фрагментации ядра кислорода на водороде и другие работы.

Перечисленные результаты были достигнуты благодаря концентрации усилий и ресурсов в рамках международного сотрудничества. Ряд полученных результатов имеет также и прикладное значение, например: в физике Солнца, для уточнения картины формирования Вселенной, для оценки выхода мюонов в исследованиях по μ -катализу, в исследованиях по радиационному повреждению материалов и в других областях. Обрабатываемый экспериментальный материал используется при подготовке научных кадров для научных центров стран-участниц и республик Советского Союза.

В ходе проводившихся исследований, как в Дубне, так и в ряде лабораторий сотрудничества была развита высокая культура обработки фильмовой информации. При этом важно отметить, что весь фильмовый материал был получен на установках ОИИ в пучках синхротрона, развитие средств обработки, включая программное обеспечение, проводилось на базе ЛБТА ОИИ.

С целью значительного повышения методического уровня проводимых исследований предлагается провести модернизацию действующей в ЛБЭ установки ВПК-100, включая: осуществление наполнения камеры неоноводородной смесью переменной концентрации, перевод на освещение рабочего объёма камеры лазерным источником света, замену устаревшего электронного оборудования, введение контроля и автоматической стабилизации режима с помощью ЭВМ. Предполагается участие сотрудников НЭОФИ ЛБТА в развитии методики и повышении точности полуавтоматических (ПУОС) и автоматических (НРД) измерений. В частности, в ближайшее время будут введены ПЭС-матрицы на измерительных устройствах, повышающие точность съёма координат и открывающие новые методические возможности по оценке зарядов быстрых ядерных фрагментов. Сотрудниками отдела математической обработки экспериментальных данных ЛБТА развивается эффективная система автоматизированной математической обработки на ЭВМ CDC-6500 и ЕС-1061.

Указанные мероприятия позволят: наряду с ядро-протонными изучать ядро-ядерные взаимодействия, регистрировать с достаточной эффектив-

ностью радиационные распады. При этом полностью сохраняется возможность заполнения камеры чистым водородом, что делает установку универсальной без существенных конструктивных изменений. Повысится качество получаемого материала и возрастёт скорость его обработки. Станет возможным проведение измерений ионизационных характеристик.

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Научная программа эксперимента включает в себя следующие вопросы

а) Исследование взаимодействий легчайших релятивистских ядер с водородом

1) Изучение пр-перезарядки на поляризованном дейтроне с целью выяснения влияния ядерной структуры, а также эффектов, связанных с обменом зарядом и спином в моделях с валентными кварками.

2) Накопление материала для увеличения надёжности результатов по наблюдению узких дибарнионных резонансов.

3) Изучение в условиях 4π-геометрии динамических корреляций вторичных частиц, в том числе в области предельной кинематики.

4) Исследование в.д. легчайших ядер в области $> 0,2$ ТэВ/с.

5) Поиск проявлений процессов возбуждения ненуклонных степеней свободы в легчайших ядрах и их влияние на характеристики квазинуклонных взаимодействий.

б) Исследование взаимодействий кислорода с неоном и водородом

1) Кумулятивное рождение частиц: будут изучены инклюзивные спектры кумулятивных частиц и их зависимости от характеристик процессов множественного образования адронов в $^{16}\text{O-p}$ и $^{16}\text{O-}^{20}\text{Ne}$ -взаимодействиях. Особое внимание уделено исследованию корреляционных эффектов в процессах кумулятивного рождения, экспериментальная информация о которых представляется ещё недостаточной. В частности, будут определены размеры области испускания кумулятивных частиц и оценена роль различных механизмов образования кумулятивных частиц.

2) Струйные механизмы рождения частиц. Предполагается исследовать универсальные характеристики струй частиц, образованных в областях фрагментации "снаряда" и мишени в обоих типах соударений (ядронуклон-ядро-ядро), провести поиск динамических корреляций (особенно азимутальных) как между продуктами фрагментации одного, так и обоих ядер.

3) Процессы образования многобарнионных состояний. Поиск узких многобарнионных состояний в спектрах эффективных масс протонов, зависимость образования таких состояний от различных характеристик ядро-

ядерного взаимодействия, исследование корреляционных эффектов в процессах их образования. Выяснение роли многобарийных состояний в процессах кумулятивного образования частиц.

4) Процессы "мяткой" фрагментации ядер. Изучение топологических импульсных характеристик процессов фрагментации снаряда и мишени в $^{16}\text{O}-^{20}\text{Ne}$ - и $^{16}\text{Oр}$ -взаимодействиях, корреляционных эффектов между продуктами фрагментации как одного, так и обоих ядер. Поиск коллективных эффектов в процессах фрагментации и изучение механизмов их возникновения. Изучение процессов, ведущих к полному разрушению взаимодействующих ядер.

5) Исследование "мятких" процессов множественного рождения частиц в $^{16}\text{O}-^{20}\text{Ne}$ -соударениях. Будут изучены спектры протонов (и нейтронов) во всей доступной кинематической области в зависимости от геометрических и топологических характеристик ядро-ядерного взаимодействия.

6) Будут регистрироваться нейтральные, распадающиеся с испусканием γ -квантов, частицы, образованные в $^{16}\text{O}-^{20}\text{Ne}$ и $^{16}\text{Oр}$ -взаимодействиях. В зависимости от молярного состава неоноводородной смеси эффективность регистрации γ -квантов составит 10-20 % по сравнению с 1% в чистом водороде.

Существенным является то, что высокая эффективность регистрации сохраняется в очень широком диапазоне энергий γ -квантов (от 10 до нескольких сотен МэВ), что трудно обеспечить при использовании детекторов обычного типа. Точность определения энергии γ -квантов будет 10%. При этом точность определения масс дипротоннов в комбинации pp будет на уровне $M \sim 5 \text{ МэВ}/c^2$.

Таким образом, при сохранении преимуществ водородной камеры как прибора с высоким разрешением по массам и обладающего 4п-геометрией, в данном эксперименте появляется новое качество - высокая эффективность регистрации γ -квантов. Всё это позволяет решать принципиально важные задачи, отмеченные выше. Точности измерения импульсов, по сравнению с пропановой камерой, примерно в 1,5 раза выше, но для хорошего определения импульсов останавливающихся протонов требуется поддержание состава смеси с точностью $\sim 1\%$.

Для реализации намеченной программы потребуется получить 200 тыс. фотографий при наполнении камеры водородом и 500-600 тыс. фотографий при работе с 30 % молярной фракцией неона. Более половины материала будет обрабатываться в сотрудничающих лабораториях.

Проработана принципиальная схема неоноводородного заполнения камеры. При её реализации предполагается использование части оборудо-

вания, высвободившегося от других экспериментов (например, с установки "Людмила"). Схема предусматривает создание замкнутого контура по неону с его очисткой и хранением. Для 30 % молярной концентрации неона при 28°K потребуется примерно 50 м³ газа высокой чистоты.

Параметры рабочего режима камеры при её наполнении неоноводородной смесью близки к существующим для водородного наполнения. Поэтому особых конструктивных изменений установки не потребуется.

Для обеспечения обработки экспериментальных данных в ОИЯИ и сотрудничающих с ним в этой области организациях необходимо в тем. плане ЛВТА предусмотреть следующие работы:

1. Адаптация прикладных программ системы "Гидра" к требованиям предлагаемых экспериментов.
2. Сопровождение соответствующего программного обеспечения на базовых ЭВМ ЦВК.
3. Повышение уровня автоматизации процесса обработки фотометрической информации за счёт разработки программ, обеспечивающих замену действий человека операциями ЭВМ, разработки и внедрения экспертных систем и специализированных баз данных.
4. Передача программного обеспечения в сотрудничающие с ОИЯИ организации и помощь в его освоении.

НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ

Капитальные затраты:

1. Материалы и оборудование для реализации схемы неоноводородного наполнения, приобретение неона	95 тыс.руб.
2. Средства на замену устаревшего электронного оборудования	45 тыс.руб.
3. Разработка и изготовление лазерного источника света	150 тыс.руб.
4. Приобретение ПЭВМ	60 тыс.руб.
5. Магнитные носители для обработки фотометрической информации	3 тыс.руб.

Итого: 353 тыс.руб.

(В том числе валюты I категории - 10 т.руб.;
валюты III категории 100 тыс.руб.).

Основная деятельность: 1300 тыс.руб.

Другие ресурсы:

1. ЦОЭП ЛВЭ	10 тыс.н/ч
2. КБ ЛВЭ	0,60 тыс.н/ч
3. НИКО ЛВЭ	70 чел.мес.
4. Ускоритель (синхрофазотрон, нуклотрон)	3000 час.
5. ЭВМ СДС 6500	400 час.
6. ЭВМ ЕС 1061	800 час.
7. ЭВМ ЕС 1055	3000 час.
8. Просмотровые столы УПС 50-80	6 смен
9. Просмотрово-измерительные столы САМЕТ и микроскопы ПУОС	325000 треков
10. Автомат НРД	25 недель
11. Стол "Аист"	1,5 стола

Сотрудничающие организации

В обработке и анализе результатов эксперимента примут участие более 50 физиков из 10 лабораторий Сотрудничества: ИФВЭ (Алма-Ата), ИЯП (Варшава, ПНР), ЛВЭ ОИЯИ (Дубна), ЛВТА ОИЯИ (Дубна), ИЭФ САН (Кошице, ЧССР), Университет им. П.И.Шафарика (Кошице, ЧССР), ФИАН (Москва), ФТИ (Ташкент), ИИФ АН УзССР (Ташкент), ТашГУ (Ташкент), ИФВЭ ТГУ (Тбилиси).

ПРЕДЛОЖЕНИЕ

эксперимента " Исследование кварк-адронной структуры ядерной материи во взаимодействиях релятивистских ядер " на 1991-1995 гг.

Авторы предложения:

1. От ОИАИ: Н. Ангелов, А. М. Балдин, Е. Богданович, В. Г. Гришин, Л. А. Диденко, А. Н. Зубарев, Е. Н. Кладницкая, А. А. Кузнецов, А. Г. Кочуров, В. Б. Любимов, В. Л. Любошиц, Я. Плиута, М. Н. Подгоренский, Т. Б. Прогулова, А. Г. Сазонов, М. И. Соловьев, П. Тас, Р. Тогоо.
2. От НРБ: ВМЭИ (Варна), ИЯИЯЭ (София): Д. Армутлийски, Н. Ахаббян, Л. Грекова, И. Лукарска, С. Прокопиева.
3. От ГДР: Университет (Лейпциг) и ЦИЯИ АН ГДР: И. Ранфт, К. Хансен, Г. Барц, Г. Иве.
4. От МНР: ИФТ (Улан-Батор): Ц. Баатар, Ц. Батсайхан, Д. Тувдendorж, Г. Шарху.
5. От ПНР: ИФВПИ (Варшава), Университет и ИЯФ (Краков): Э. С. Стругальски, Я. Пэрыт, В. Среднява, Е. Бартке.
6. От СРР: Университет и ЦИФ (Бухарест): К. Бешлиу, В. Болдеа, О. Валеа, С. Дица, Т. Понта.
7. От ЧССР: Университет (Прага) и ФИЦЭФИ САН (Братислава): И. Долейши, П. Холин, Э. Трка, Я. Тркова, А. Ногова.
8. От СССР: 1) НИИЯФ МГУ (Москва): И. Н. Ерофеева, С. Ю. Сивоклоков, А. Н. Соломин, Г. П. Тонеева, Л. Н. Щеглова.
2) ЕрФИ (Ереван): Г. Р. Гулканян, И. М. Рабинович, М. Я. Чубарян.
3) ИТФ АН УССР (Киев): Г. М. Зиновьев.

- 4) Университет (Самарканд): М. М. Муминов, Р. Н. Бек-мирзаев, И. Суванов, У. Д. Шеркулов, М. Султанов.
- 5) ИЯФ ФТИ АН Уз. ССР (г. Ташкент): У. Г. Гулямов, К. Г. Гуламов, С. О. Едгоров, М. Ю. Кратенко, К. Т. Турдалиев, А. А. Елдашев, Б. С. Елдашев.
- 6) ИФВЭ ТГУ (Тбилиси): Ю. В. Тевзадзе, Н. С. Григалашвили, Э. В. Метревели, Р. А. Кватадзе.
- 7) ЛИЯФ (Ленинград): Е. М. Левин, Ю. М. Шабельский, М. В. Стабников, К. П. Ермаков.
- 8) ИФВЭ АН Каз ССР (Алма-Ата): И. Я. Часников, А. Х. Веницкий, М. И. Избасаров.
9. От СФРЮ: ИФ и Ун-т (Белград) и Ун-т (Титоград): С. Вацкович, С. Драндаревич, Д. Крпич, Д. Симич.

Содержание предложения обсуждено и одобрено на Рабочем совещании сотрудничества (23-25 мая 1989 г.) и на семинаре ЛВЭ ОИЯИ по релятивистской ядерной физике 24 мая 1989 г.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И СИСТЕМА ОБРАБОТКИ

Исследование взаимодействий релятивистских ядер будет проводиться с помощью установки ТПК-2М (пузырьковая камера с наполнением тяжелыми жидкостями и с мишенями из чистых материалов внутри рабочего объема камеры). Отличительные особенности установки: 4π -геометрия опыта и использование мишеней из разных материалов (Li , C , Cu , Ta , Pb), что позволяет изучать A -зависимость множественных процессов. Большой объем камеры (800 литров пропана, фреона или их смесь) дает высокую эффективность регистрации нейтральной компоненты $\Lambda \rightarrow$ ядерных взаимодействий: гамма-квантов - (50-70)%, K -мезонов и $\rightarrow p\pi$ - 100% и около (40-50)% для нейтронов с $p \geq 1$ ГэВ/с. Другие элементы установки: система диагностики пучка, автоматизированный контроль режима работы камеры и создание системы лазерного освещения рабочего объема камеры для улучшения ее разрешения до 30-40 микрон.

Камера размещена в корпусе 1 "Б" ЛВЭ ОИЯИ на канале № 34 и может облучаться всеми ядрами, ускоренными на синхрофазотроне ОИЯИ с импульсом до 5 ГэВ/с.н. В дальнейшем планируется переход и на облучение камеры ядрами, ускоренными на нуклотроне. Система обработки событий, зарегистрированных на камерных снимках, полностью отлажена в ЛВТА ОИЯИ от стадии просмотра до стадии получения магнитной ленты суммарных данных. Для эффективного анализа полученных данных необходимо приобретение еще 8-10 персональных компьютеров в 1991-1995 гг. Предусмотрена модернизация стадии обработки данных, которая позволяет обрабатывать около 200 тыс. треков в год в ЛВТА ОИЯИ и примерно такое же количество в лабораториях-участницах Сотрудничества, что соответствует около 30-40 тысячам неупругих ядерных взаимодействий различного типа. Затраты со стороны ОИЯИ по капитальному строительству на автоматизацию установки, создание системы лазерного освещения, приобретения ПЭВМ составляют около 800 тыс. рублей.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИИ

Установка ТПК-2М позволяет изучать все характеристики ядерных процессов, протекающих на уровне до (1-3)% от полных неупругих сечений взаимодействия ядер. Этим и определяются те физические задачи, которые целесообразно изучать на этой установке и которые пока недоступны для исследований другими методами. Условно эти направления исследований можно разбить на три группы:

1. Изучение универсальных, автомодельных свойств множественных процессов в зависимости от атомных весов взаимодействующих ядер.
2. Исследование интерференционных корреляций и фазовых переходов кварк-адронной материи.
3. Изучение общих закономерностей образования вторичных частиц в ядерных взаимодействиях в столкновениях различных ядер.

А. Автомодельные свойства множественных процессов

В экспериментах последних лет при изучении ядерных взаимодействий при релятивистских энергиях обнаружены универсальные закономерности, которые были сформулированы А. М. Балдиным как автомодельности второго рода /1/. Математически эти гипотезы

можно записать следующим образом:

$$(1) \quad W(b_{\alpha k}, b_{\beta k}, \dots, b_{\alpha\beta}) \Big|_{b_{\alpha\beta} \rightarrow \infty} \longrightarrow \frac{1}{b_m} W^{\alpha}(b_{\alpha k}, x_k = \frac{b_{\beta k}}{b_{\alpha\beta}}) \cdot W^{\beta}$$

где W - инвариантное сечение процесса, b_{ik} - относительные 4-скорости вторичных частиц (подробнее см. в работах /1/).
 Смысл выражения (1) заключается в том, что, начиная с некоторых скоростей (например, $b_{\alpha\beta} \geq 2$ /1/), процесс образования частиц в ядерных столкновениях можно описывать независимыми функциями (W^{α} и W^{β}), характеризующимися асимптотическим поведением по двум параметрам подобия b_k и x_k . При изучении pC- и dC-взаимодействий при $p=4.2$ и 10 Гэв/с такие кластеры (W^{α} , W^{β}) были обнаружены, причем среднее значение кинетической энергии протонов в них оказалось $\langle T_k \rangle = 70$ МэВ. В GC- и α C- соударениях наблюдалось рождение кластеров двух типов: с $\langle T_k \rangle = 70$ МэВ и $\langle T_k \rangle = 150$ МэВ. Причем кластеры с $\langle T_k \rangle = 150$ МэВ составляют около $\approx (5-7)\%$ от всех неупругих GC- взаимодействий. "Холодные" кластеры ($\langle T_k \rangle = 70$ МэВ) имеют универсальные распределения по b_k и x_k , т.е. не зависят от типа налетающей частицы и ее энергии в интервале 4-40 ГэВ/с. Для "горячих" кластеров необходимы новые данные для взаимодействий ядер с $A > 12$ /1/. Этот пример показывает, что необходимо изучение автомодельных свойств барионных кластеров в зависимости от атомного номера взаимодействующих ядер.

Необходима также дальнейшая проверка гипотезы факторизации (1) для образования адронных кластеров во взаимодействиях более тяжелых ядер. В этом случае предполагается изучение корреляционных функций и угловых корреляций между кластерами.

В связи с этим кругом задач предполагается облучение камеры ядрами Mg (A=24) и более тяжелыми до A=40-56 (Ca, Fe)

В. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ В ПРОЦЕССАХ МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ КУМУЛЯТИВНОГО ТИПА

Изучение кластеризации вторичных адронов в условиях независимости методики исследований от массы этих адронов открывает широкие возможности для понимания механизма множественного рождения адронов в ядерных взаимодействиях и их связь с кумулятивным рождением частиц. Существенно для этих исследований изучение свойств кластеров в зависимости от атомного номера взаимодействующих ядер, что необходимо для выяснения механизма образования кластеров и характера их распада.

В. ИЗУЧЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

В настоящее время установлено, что характер двухчастичных корреляций тождественных частиц при малых относительных импульсах связан с размерами области их генерации. Теория этого направления подробно изложена в обзоре /2/. В настоящее время этот метод получения данных о размерах и форме области излучения вторичных частиц широко применяется при анализе экспериментов, выполненных на всех крупнейших ускорителях как в СССР, так и за рубежом.

Особенно большое значение этот метод имеет для анализа ядерных взаимодействий, которые представляют собой совокупность сложных процессов. Например, он широко применяется для получения данных о возможном существовании кварк-глюонного состояния ядерного вещества, поиск которого интенсивно проводится в столкновениях ядер высоких энергий ($E=200$ А ГэВ, эксперимент NA-35).

При относительно низких энергиях ($E=5$ А ГэВ) он также имеет существенное значение для определения динамики ядерных взаимодействий. Например, нами было показано, что протоны с импульсами $p \leq 0.3$ ГэВ/с излучаются всем ядром-мишенью, а протоны с $p > 0.3$ ГэВ/с - "трубкой" нуклонов на пути ядра-снаряда /1/. С помощью этого метода была определена эффективная температура ядерной материи (в СС-соударениях) в зависимости от плотности энергии, что позволяет судить о наличии кварк-адронной фазы в ядерных взаимодействиях.

Представляет интерес провести аналогичные исследования для взаимодействия более тяжелых ядер (вплоть до $A=56$). Получить данные о размерах протонных кластеров (см. п. 1). Первые оценки их размеров в СС-соударениях получены и $r_k = 2.7 \pm 0.5$ фм. Отсюда можно получить данные об "эффективной" температуре их состояния в зависимости от плотности энергии.

Второе направление в этой области исследований связано с получением данных о размерах и форме области излучения протонов и пионов во взаимодействиях легких и средних ядер, что дает ценную информацию о динамике их взаимодействия. Сравнение этих данных с аналогичными результатами при $E=200$ А ГэВ (NA-35) позволяет судить о природе наблюдаемого в этом эксперименте явления: существенного увеличения (до 8 фм) размеров области излучения пионов в центральной области быстрот (2.5 ± 1.0) по сравнению с областью фрагментации (40 фм) в $O + Au$ -взаимодействиях.

Третье направление изучения корреляций вторичных частиц с близкими импульсами связано с изучением кумулятивных процессов, которые происходят в результате многокварковых взаимодействий, что дает информацию о "размерах" этих событий.

Г. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ СОУДАРЕНИЯХ ПРИ $E=5 \cdot A \cdot \text{ГэВ}$

Общие характеристики вторичных частиц (пионов, нуклонов, странных частиц) в условиях 4π -геометрии для взаимодействий ядер с $A > 12$ практически отсутствуют. Они необходимы как для понимания механизмов взаимодействия ядер, так и для развития соответствующих теоретических моделей.

Целая программа исследований пространственно-временного развития процессов рождения частиц в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях с использованием ядра-мишени как детектора, предложена группой физиков Варшавского технического университета (руководитель профессор Э. Стругальский). Для этой цели предполагается использовать как имеющиеся данные по взаимодействию адронов и ядер с ядрами ксенона, углерода и тантала, так и те, которые будут получены при облучении ТПК-2М ядрами с $A > 12$. Эти исследования целевым образом финансируются ИФ ВТУ.

Необходимо продолжить также программу исследований, связанную с возможностью регистрации в пропановой камере нейтральных странных частиц. Сюда нужно отнести изучение зависимости характеристик ядро-ядерных взаимодействий с образованием странных частиц в зависимости от степени центральности событий, что должно дать важную информацию о процессах термализации кварк-глюонной плазмы в такого сорта взаимодействиях. В этой связи интересны также исследования поляризации странных частиц в зависимости от поперечного импульса.

3. РЕСУРСЫ НА 1991 - 1995 гг.

По капитальному строительству	---	800 тыс. руб.
По основной деятельности	---	4 млн. руб.
Работа ускорителя	---	1500 часов
ЭВМ CDC-6500	---	3000 часов
ЭВМ ЕС-1060	---	400 часов
ПУОС - САМЕТ	---	50000 часов
КБ	---	4000 часов
ООЭП	---	15000 часов (по 3000 в год)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. М. Балдин и др. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", ц 3-84, с. 5, 1984; ц 17-86, с. 19, 1986; ЯФ, 1986, т. 44, с. 1209; ЯФ, 1989, т. 49, с. 1034
2. М. И. Подгорецкий. ЭЧАЯ, 1989, т. 20, вып. 3, с. 628

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗКИХ АДРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
(проект эксперимента на I99I-I995 гг)

Ю.А.Троян (руководитель проекта), В.И.Печёнов, В.Б.Илеханов,
В.Л.Львошин, В.И.Мороз, А.И.Иерусалимов, А.И.Стельмах,
С.Г.Аракелян, Г.Р.Гулкян, И.И.Равинович, М.Р.Чубарян,
И.С.Григалашвили, А.Абдивалиев, К.Бешлю, Ф.Которобай,
Д.Пантеа

I. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИТУАЦИЯ

Данное предложение имеет целью изучение узких ($\Gamma=1+10 \text{ МэВ}/c^2$) адронных резонансов прежде всего в системах, содержащих u - и d -кварки. Наибольшее число полученных результатов относится к системам из двух протонов $/I+I3/$. Из имеющегося материала можно сделать некоторые общие выводы.

Во-первых, сигналы от узких резонансов наблюдаются в широком диапазоне эффективных масс от $1903 \text{ МэВ}/c^2 /7/$ до $2233 \text{ МэВ}/c^2 /10/$.

Большинство авторов вместо истинных шириин приводят экспериментальные значения шириин резонансов, что приводит к большому разбросу данных.

Статистическая значимость наблюдаемых особенностей лишь в редких случаях превышает 5 ошибок над фоном, что делает выводы о самом существовании некоторых особенностей довольно ненадежными.

Эксперименты выполнены различными методиками и имеют свои, присущие данному эксперименту, систематические ошибки. Поэтому можно говорить лишь о грубом совпадении масс наблюдаемых особенностей (в пределах экспериментальных шириин).

Попытка определить квантовые числа резонансов сделана лишь в работе /5/, где установлена отрицательная четность возможных резонансов с массами 1968 и $1989 \text{ МэВ}/c^2$ и набор их спинов $0, 1, 2$.

В экспериментах, использующих ядерные мишени, эффекты наблюдаются на очень большом фоне. Например, в экспериментах В.Татисефф /11/ эффект составляет лишь несколько процентов от фона, в других для выявления эффекта приходится производить дополнительные выборки, что снижает достоверность результатов.

Все эти наблюдения приводят нас к выводу о том, что необходим эксперимент с водородной мишенью и нуклоном-снарядом, выполненный в широком диапазоне первичных энергий одной методикой.

В 1986-1990 гг такой эксперимент проводился нами с использованием I м водородной камеры ЛВЭ, облученной пучками монохроматических нейтронов разных энергий из синхротрона.

Результаты, полученные при исследовании реакции $n p \rightarrow p p \pi^-$ при $P_n = 1,25$ ГэВ/с, представлены на рис. I. В таблице I приведена сводка полученных данных. Здесь в первой колонке указано значение массы резонанса в МэВ/с², во второй – экспериментальное значение полной ширины резонанса, в третьей – истинная ширина резонанса, в четвертой – сечение образования резонанса в данной реакции, в пятой – число ошибок над фоном, в шестой – вероятность того, что данный резонанс является случайным выбросом. На рис. 2 представлены результаты из той же реакции при импульсах первичных нейтронов 1,43, 1,72 и 2,23 ГэВ/с. В таблице II дана сводка результатов, полученных из этого материала. Обозначения – как в таблице I.

Фоновые кривые на обоих рисунках построены методом случайного розыгрыша экспериментальных данных в лабораторной системе /3/.

Из представленных данных видно, что в диапазоне от суммы масс двух протонов до массы ~ 2400 МэВ/с² наблюдаются сигналы от 16 резонансов, часть из которых повторяется в других экспериментах (соответствующие работы, цитированные в /3/, отмечены на рис. I и 2).

Весь материал о реакции $n p \rightarrow p p \pi^-$ (20000 событий) получен на сравнительно небольшом числе фотографий (около 100000), хотя сечение этой реакции составляет от полного сечения $n p$ -взаимодействий около 5%. Это связано с тем, что из-за отсутствия заряда у падающего нейтрона допустимые потоки нейтронов на камеру на порядок выше, чем при облучении заряженными частицами.

Другой важный факт заключается в монохроматичности пучков нейтронов по энергии. При всех энергиях в созданном в ЛВЭ пучке нейтронов разброс по импульсам в первичном пучке $\Delta P_n / P_n$ не превышает 3%. Это даёт возможность применять известные для заряженных пучков способы выделения каналов реакций с использованием χ^2 – процедуры и проводить изучение явлений в эксклюзивной постановке опыта.

Для сравнения методических возможностей предлагаемого эксперимента (I м водородная камера в нейтронных пучках) мы приводим таблицу III, в которой дана краткая характеристика имеющихся электронных экспериментов по изучению pp -резонансов и нашего эксперимента (рис. I и 2).

В первой колонке таблицы указаны авторы эксперимента и изучавшаяся реакция, во второй – полученная статистика в единицах числа событий на микробарн сечения, в третьей – разрешение установки по эффективной массе (полная ширина), в четвертой – наличие или отсутствие выборок в эксперименте, в пятой – число ошибок над фоном в наблюдаемых эффектах.

Таблица II

Экспер., метод	Соб/мкбн	Граз (МэВ/с ²)	Выборка	$n_{\text{эфф}}/\text{С}_{\text{эфф}}$
Lisowski, $\text{C}_{\text{np}}^{\text{tt}}$ э.	< 0,3	5	нет	нет
Tatischeff $\text{p}^3\text{He} \rightarrow \text{d}\alpha$ э.	$5 \cdot 10^4 + 10^7$	~ 3	θ	3+7,7
Bock $\gamma \text{d} \rightarrow \text{pp}\pi^-$ э.	17	4+8	θ	4,7
Kawai $\text{dp} \rightarrow \text{ppn}$ э.	13+30	10+30	ρ, θ	нет
Santi $\text{P}^3\text{He} \rightarrow \text{d}\alpha$ э.	$\sim 5 \cdot 10^4$	3+8	θ	2+4
Garçon $\text{G}_{\text{pp}}^{\text{e}}(\text{E})/\theta$ э.	~ 500	~ 3	θ	нет
СЯО $\text{G}_{\text{pp}}^{\text{e}}(\text{E})/\theta$ э.	2000	$\sim 0,26$	θ	3+4,2
1 м Н ₂ камера $\text{np} \rightarrow \text{pp}\pi^-$ к.	10	3+18	нет	3+5,4

Из таблицы видно, что в ряде случаев наши камерные данные по статистической обеспеченности не уступают электронным, по разрешению уступают только эксперименту на установке СЯО, проведенному нами совместно с группой проф. В.А.Никитина, не имеют выборок ни по углам, ни по импульсам регистрируемых частиц, статистическую обеспеченность эффектов имеют не худшую, чем во всех проведенных экспериментах, что связано с гораздо лучшим отношением эффекта к фону.

Т.о., в нашей постановке эксперимента, как нам кажется, имеются все возможности для изучения проблемы. Это достаточно быстрый набор статистики, что связано с использованием нейтронного пучка, надежное выделение каналов реакций, что связано как с монохроматичностью нейтронного пучка, так и с высокими точностями измерения характеристик треков в водородной камере, хорошее разрешение по массам, надежная идентификация частиц вплоть до импульса 1100 МэВ/с, 4 π -геометрия, минимальные потери частиц из-за нерегистрации очень коротких треков ($\rho < 80$ МэВ/с), возможность одновременного излучения спектров масс и других характеристик различных комбинаций частиц, что потребовало бы в электронной постановке эксперимента применения широкого набора разного качества детекторов для регистрации частиц разного сорта (например, для регистрации реакции $\text{np} \rightarrow \text{pp}\pi^-$ в электронной постановке не-

обходимо принципиально разные детекторы для регистрации медленных и быстрых протонов, Π^- - мезонов и протонов, и совершенно особый детектор для регистрации Π^0 - мезонов. Между тем эта реакция без труда выделяется в нашем эксперименте (χ^+ -процедурой).

Отмеченная выше узость резонансов допускает их распад с испусканием χ - кванта /14/. Изучение таких распадов может дать существенную новую информацию о свойствах этих систем. Исследование каскадных переходов, углового распределения χ - излучения, вероятностей переходов дает информацию как о квантовых числах резонансов, как и о конфигурациях излучающих систем. Первые результаты, полученные в работе /15/, показывают, что дипротонные резонансы с примерно равной вероятностью распадаются по каналам pp и $pp\chi$, что говорит об их очень малой, по сравнению с обычной адронной, ширине.

В проводимом нами эксперименте на двухметровой пропановой камере ЛВЭ, облученной дейтонами с импульсом 1,25 ГэВ/с на нуклон, в спектре χ - квантов из нуклоноподобных реакций типа $n\rho \rightarrow p\rho\pi^- p_s(\chi)$, $p\rho \rightarrow p\rho\pi^+ n_s(\chi)$, $pp \rightarrow p\rho\pi^+ n_s(\chi)$ (здесь p_s, n_s - нуклоны-спектаторы) обнаружены пики при E_χ около 50, 50, 170 МэВ. Спектр χ - квантов представлен на рис.3. Подобные особенности не имеют объяснения с привлечением каких-либо известных адронных и ядерных процессов. На рис.4 показан спектр масс $pp\chi$ с того же материала. Видны особенности при массах, отмеченных на рисунке. Материал получен с 60000 кадров.

Привлекательность такого подхода заключается в том, что если наблюдаемые особенности в спектрах χ - квантов связаны исключительно с распадом узких резонансов, то резонансы получают "метку" от χ - кванта. Выделяя события с χ - квантом в определенном энергетическом диапазоне, мы выделим дипротонный резонанс на малом фоне, что значительно облегчит определение его квантовых чисел.

Использование создаваемой в настоящее время 2-метровой пропановой камеры позволит повысить вероятность регистрации χ -квантов почти до 40%, которая слабо зависит от их энергии в очень широком диапазоне (10 +500 МэВ). Одновременно произойдет увеличение точности измерения энергии χ - кванта (примерно до 10%).

Обратимся теперь к другим адронным системам. На рис.5 представлено распределение эффективных масс $p\pi$ систем из реакции $n\rho \rightarrow p\rho\pi^-$ при 1,25; 1,43; 1,72 и 2,23 ГэВ/с ($p\pi^-$ - комбинации) и $n\rho \rightarrow n\rho\pi^+$ при $P_n = 2,23$ ГэВ/с ($p\pi^+$ - комбинации). Распределение аппроксимировалось рядом резонансов и фоном, взятым в виде полинома (отмечен точками). Для ясности картины аппроксимирующая кривая на рисунок не нанесена. Отмечены положения заложенных в аппроксимацию резонансов и их превышение в количестве ошибок над фоном (числа в

скобках). На том же рисунке нанесен ход полного сечения $\pi^+\pi^-$ -рассеяния (данные взяты из /6,17/), измеренного различными авторами. Мы обращаем внимание на совпадение положения выбросов, наблюдаемых в нашем эксперименте, и особенностей в сечении $\pi^+\pi^-$ -рассеяния (примерно такая же картина наблюдается при сравнении с сечением

$\pi\pi^-$ -рассеяния). Ширины наблюдаемых особенностей (экспериментальные!) составляют несколько $\text{МэВ}/c^2$, и с учётом экспериментального разрешения снова, как и в случае pp -резонансов, мы приходим к выводу, что истинные ширины предполагаемых резонансов чрезвычайно малы.

В таблице IV в первой колонке выписаны значения эффективных масс $\rho\pi$ -систем, при которых наблюдаются выбросы на рис.5. В колонке 2 приведены значения масс, которые получаются, если к массам из первой колонки прибавить значение $m_\rho - m_\pi \approx 799 \text{ МэВ}/c^2$. В третьей колонке приведены значения эффективных масс pp -систем, при которых наблюдаются выбросы в нашем эксперименте (рис.1,2) или других экспериментах. Видно, что положение пиков в системе $\rho\pi$ просто сдвинуто по отношению к массам резонансов в системе двух протонов на величину $m_\rho - m_\pi$. Тогда можно написать общую формулу для двухчастичных резонансов $M_{\alpha\beta} = m_\alpha + m_\beta + \xi^i$ (2), где m_α и m_β - массы двух резонирующих частиц, а $\xi^i - i$ - возбуждение, одинаковое для любых m_α и m_β .

Этот вывод, конечно, надо рассматривать только в пределах ошибок и только как гипотезу. Однако предположение об универсальности возбуждений, независимых в первом приближении от масс резонирующих частиц, представляется нам очень важным. В частности, в струнной кварковой картине /18/ возбуждаемые в системе 6 или 5 кварков частоты близки, и предсказываемые последовательности масс удовлетворяют описанной картине. Если природа резонансов электромагнитная, то, возможно, основной вклад в возбуждения вносят заряды частиц, а их массы играют роль поправок.

На рис.6 представлено распределение эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций из реакции $n\bar{p} \rightarrow n\bar{p}\pi^+\pi^-$ при $P_n = 2,23 \text{ ГэВ}/c$. Снова наблюдаются особенности малой ширины.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Если обычные широкие резонансы с возбуждениями порядка $200 + 300 \text{ МэВ}$ можно предсказать на основе модели сферического кваркового мешка, то узкие резонансы не согласуются с расчетами в рамках такого подхода. Малые ширины в такой модели можно получить лишь в предположении очень больших размеров мешка /19/, что приводит к необходи-

мости, исходя из КХД, вводить растущие потенциалы взаимодействия между кварками. Это, в свою очередь, порождает струнный механизм взаимодействия, который, вообще говоря, уже довольно далек от представлений классического МИТ — мешка. При этом мы имеем дело с большим влиянием граничных эффектов, так называемым "запиранием" кварков, которое введено в теорию как постулат.

Отсюда ясно, что в рамках КХД чрезвычайно трудно воспроизвести наблюдаемые эффекты узких особенностей. Наибольший интерес представляют узкие нуклон-нуклонные резонансы, которые не содержат антикварка и в которых поэтому в более чистом виде выступают степени свободы, связанные с цветом. В свою очередь, в нуклон-нуклонных резонансах особенно интересны резонансы с массами, меньшими $2m_p + m_\pi$, которые характеризуются малыми возбуждениями и, следовательно, ограниченным количеством каналов распада (на 2 нуклона и 2 нуклона + δ -кванты). Можно думать, что из-за большого числа кварков (шесть) и малых возбуждений эти системы имеют большие размеры и могут служить хорошей лабораторией для изучения проблем "confinement". С другой стороны, нуклон-нуклонные резонансы с малыми возбуждениями могут возникать внутри ядер и существовать внутри них какое-то время, достаточно большое, однако, по сравнению с временем, например, сильного взаимодействия адрона с ядром. Тогда для полного понимания структуры ядра и картины адрон-ядерных взаимодействий необходимо учитывать эффекты от резонансов подобного рода.

Эксперименты по изучению узких pp -резонансов показывают, что имеются сигналы от таких резонансов в области очень больших эффективных масс (вплоть до $2400 \text{ МэВ}/c^2$). Что обеспечивает стабильность таких сильно возбужденных систем, до сих пор не ясно. Возможно, что они имеют очень большие спины, и возникающий центробежный барьер препятствует их распаду. В таком случае возможно изучение систем с высокими спинами, что является новой интересной задачей физики элементарных частиц.

О кварковых подходах см. /18, 19, 20/. Объяснение узких резонансов в системе двух протонов с кварковой точки зрения не является единственным.

Другая возможность, рассмотренная Ю.Е.Покровским, состоит в учёте мезонных обменов и возбуждения Δ -изобары в промежуточном состоянии при вычислении амплитуды нуклон-нуклонного взаимодействия /21/. Предсказываемый ряд резонансов близок к экспериментально наблюдаемому.

Третья версия как существования pp -резонансов, так и объяснения их малых ширин предложена недавно Б.А.Арбузовым и др. /22/. Она зак-

лючается в гипотезе существования кулоновского релятивистского квази-потенциала с поглощающей частью при положительных энергиях связи. Соответствующие расчёты дают как серию наблюдаемых особенностей в pp - системах, так и объясняют их малые ширины, которые должны быть порядка электромагнитных. Особенно привлекает то, что в этой модели, кроме постоянной тонкой структуры α и массы электрона m_e , нет никаких подгочных параметров.

Общей чертой всех трех подходов является необходимость рассмотрения непертурбативных эффектов, которые и являются ответственными за узкие резонансы. Все три подхода приводят к дальностдействию, учёт которого существенно уточнит наши представления о силах, действующих между частицами.

III. ПРЕДЛОЖЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Из всего вышеизложенного следуют три основные задачи в области изучения узких адронных резонансов:

- 1) установление последовательности резонансов по степени их возбуждения в данной системе частиц;
- 2) установление связи последовательностей резонансов в различных системах частиц;
- 3) определение квантовых чисел резонансов, их ширины и способов распада.

Мы постарались показать, что при небольших первичных энергиях (до 10 ГэВ) применение камерной методики дает возможность с достаточной точностью изучать богатый спектр резонансов, содержащих самые разнообразные составляющие. На кварковом языке это системы из 3, 4, 5, 6 кварков. Изучение радиационных распадов таких систем может дать новую существенную информацию об их свойствах.

В пятилетие 1991-1995 гг. мы предполагаем значительно увеличить статистику изучаемых процессов.

Для этого:

1) получить 200 тыс. фотографий в пучке нейтронов с импульсом 1,25 ГэВ/с на 1 м водородной камере. Это дает возможность добыть сведения о pp -резонансах в области масс до порога образования мезона на уровне 10 ошибок над фоном, сопоставить pp и $p\pi^-$ -резонансы и определить их квантовые числа;

2) получить 200 тыс. фотографий в пучке нейтронов с импульсом 2,25 ГэВ/с. Это даст возможность изучать pp -резонансы в области масс выше порога мезообразования на уровне около 7 ошибок над фоном в широком диапазоне масс вплоть до массы 2400 МэВ/с². На этом же материале в реакции $np \rightarrow n\rho^+\pi^-$ можно изучить систему $n\rho$, а также

подробно исследовать $p\pi^+$ -комбинации в области масс $1236 \text{ МэВ}/c^2$ на предмет узких $p\pi^+$ -резонансов и их связь с Δ -изобарой;

3) получить 200 тыс. фотографий на 2 м пропановой камере в пучке дейтронов с импульсом $1,25 \text{ ГэВ}/c$ на нуклон с целью поиска радиационных распадов резонансов, возникающих как в нуклоноподобных, так и в ядерных реакциях. По сравнению с имеющимся количеством $pp\pi$ -комбинаций статистика увеличится в 8 раз и достигнет порядка 7000 событий в нуклоноподобных реакциях;

4) завершить обработку 40 тыс. пятилучевых звезд в $n\rho$ -взаимодействии при $P_n = 5,1 \text{ ГэВ}/c$, данные о которых имеются на магнитных лентах. Первые результаты обработки этих событий на статистике 5000 взаимодействий показали наличие резонансных сигналов в системе $p\pi^+\pi^+$ (изотопический спин $5/2$), $\pi^-\pi^-$ (изотопический спин 2) и ряд других эффектов.

Необходимо отметить исключительное богатство информации, получаемой из этих событий. Например, систему из двух мезонов можно изучать почти во всех изотопических проекциях одновременно для изотопического спина 2 ($\pi^-\pi^-, \pi^+\pi^+, \pi^+\pi^0, \pi^-\pi^0, \pi^+\pi^-$). То же относится к системе с изотопическим спином $5/2$ /1/. Помимо исследования экзотических резонансов этот материал дает возможность изучить механизмы образования обычных резонансов, таких, как Δ -изобара, $\chi^0, \omega^0, \rho^{0\pm}$ и др. в нуклон-нуклонных взаимодействиях в эксклюзивной постановке опыта.

Нельзя не отметить важность получаемого из $n\rho$ -взаимодействий материала для исследований в области релятивистской ядерной физики. Чтобы извлекать информацию о многонуклонных взаимодействиях при столкновении ядер, необходимо знать фон от NN -взаимодействий. Нашими данными широко пользовались фотоэмульсионная, пропановая коллаборации и коллаборация, обрабатывающая ядерные взаимодействия в водородной камере.

Для получения и обработки данных требуются на пятилетие следующие затраты:

I. Расходы по основной деятельности	I млн. руб.
В том числе:	
зарплата	150 тыс.руб.
ускоритель I500 ч (совмещ. режим)	250 тыс.руб.
ЭВМ ЕС I055 4500 ч	200 тыс.руб.
ЭВМ СДС-6500 500 ч	25 тыс.руб.
фотоленка 200 км	49 тыс.руб.
магнитная лента 200 шт.	I,8 тыс.руб.
приобретение ПЭВМ	60 тыс.руб. (переводные)

2. Измерения 500 тыс. треков
3. Просмотр 3 стола УПС-50/80 в две смены
4. Зарубежные командировки.

Участвующие организации:

1. ЛВЭ ОИЯИ
2. ЛВТА ОИЯИ
3. ЦИФУН-т (Бухарест)
4. ЕрФИ (Ереван)
5. ФТИ (Ташкент)
6. ТГУ (Тбилиси)
7. Гос.пед.ин-т (Ленинабад)

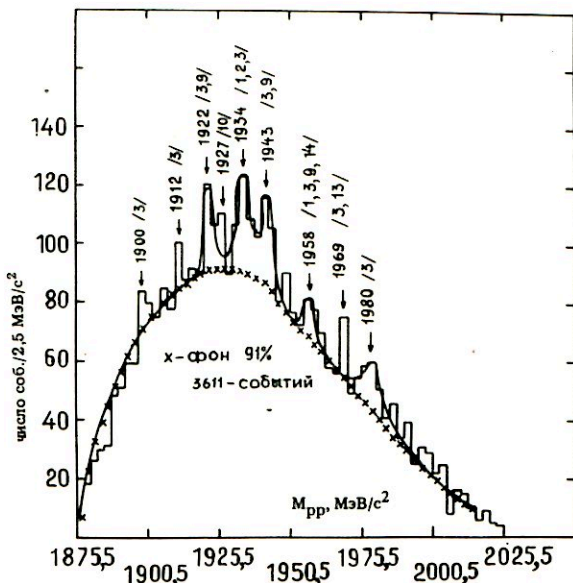


Рис. I. Распределение эффективных масс rr -комбинаций из реакции $nr \rightarrow rrr^-$ при $P_n = 1,25$ ГэВ/с

Таблица 1

$M_R \pm \Delta M$	$\Gamma_{exp} \pm \Delta \Gamma$	$\Gamma_r = \Gamma_{exp} - \Gamma_{фон}$	$\sigma(\mu b)$	SD	P
1922 ± 1	$4.0^{+1.5}_{-0.5}$	$0.6^{+1.5}_{-0.5}$	15 ± 5	3.2	$3.5 \cdot 10^{-2}$
1934 ± 1	$5.0^{+1.5}_{-1.0}$	$1.0^{+1.5}_{-1.0}$	19 ± 5	3.6	$7.1 \cdot 10^{-3}$
1943 ± 1	$5.0^{+1.5}_{-1.0}$	$0.8^{+1.5}_{-0.8}$	16 ± 5	3.6	$8.1 \cdot 10^{-3}$
1958 ± 1	$4.6^{+3.0}_{-2.0}$	0.0 ± 3.0	6 ± 3	2.1	$1.7 \cdot 10^{-1}$
1980 ± 2	$6.0^{+6.0}_{-4.0}$	$0.6^{+6.0}_{-0.6}$	14 ± 4	4.0	$1.3 \cdot 10^{-3}$

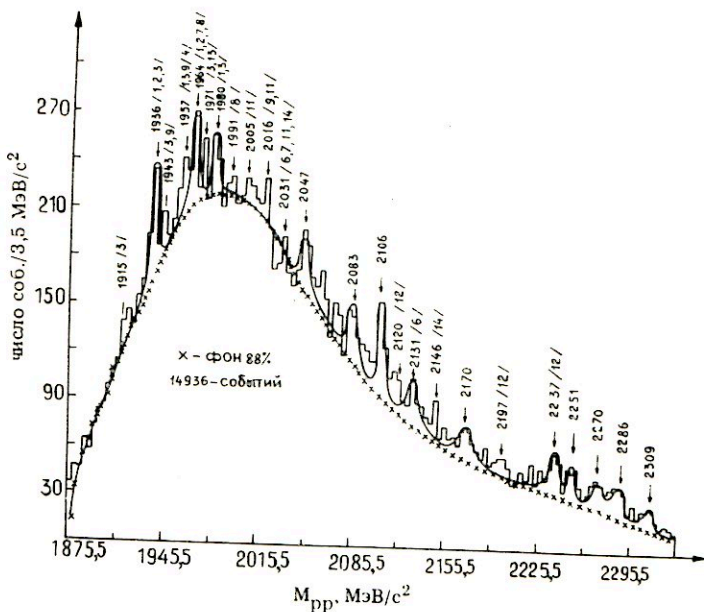


Рис.2. Распределение объективных масс pp -комбинаций из реакции $pp \rightarrow pp^-$ при $P_p = 1,48; 1,72$ и $2,23$ ГэВ/с.

$M_R \pm \Delta M$	$\Gamma_{\text{exp}} \pm \Delta \Gamma$	$\Gamma_R = \Gamma_{\text{exp}} - \Gamma_{\text{фгс}}$	S.D	P
1936 ± 1	$7 \pm 1,5$	$2,6 \pm 1,5$	5,2	$14 \cdot 10^{-5}$
1964 ± 1	$7 \pm 0,5$ $1,0$	$1,0 \pm 0,5$ $1,0$	3,5	$2,0 \cdot 10^{-2}$
1980 ± 1	$7 \pm 0,5$ $1,0$	$0,2 \pm 0,2$ $0,2$	2,7	$2,4 \cdot 10^{-1}$
2047 ± 1	$9 \pm 2,0$	$0,0 \pm 2,0$	3,8	$1,1 \cdot 10^{-2}$
2083 ± 2	$14 \pm 2,5$ $1,5$	$1,8 \pm 1,5$ $1,5$	3,7	$1,5 \cdot 10^{-2}$
2106 ± 1	$12,3 \pm 2,0$ $1,5$	$0,0 \pm 2,0$	5,8	$9,7 \cdot 10^{-8}$
2130 ± 2	$17,0 \pm 3,5$	$2,0 \pm 3,5$ $2,0$	4,2	$2,3 \cdot 10^{-3}$
2171 ± 2	$16,0 \pm 5,0$ $3,5$	$0,8 \pm 5,0$ $0,8$	4,1	$2,2 \cdot 10^{-3}$
2237 ± 1	$18,0 \pm 3,0$ $4,0$	$0,0 \pm 3,0$	5,8	$9,2 \cdot 10^{-7}$
2251 ± 1	$18,0 \pm 2,0$ $1,5$	$0,0 \pm 2,0$	3,3	$8,3 \cdot 10^{-2}$
2270 ± 2	$18,0 \pm 4,0$ $3,0$	$0,0 \pm 4,0$	3,8	$1,1 \cdot 10^{-2}$
2286 ± 2	$21,0 \pm 3,0$	$1,0 \pm 3,0$	5,3	$1,4 \cdot 10^{-5}$
2310 ± 2	$21,0 \pm 3,5$	$1,0 \pm 3,5$	3,7	$1,5 \cdot 10^{-2}$

Таблица II

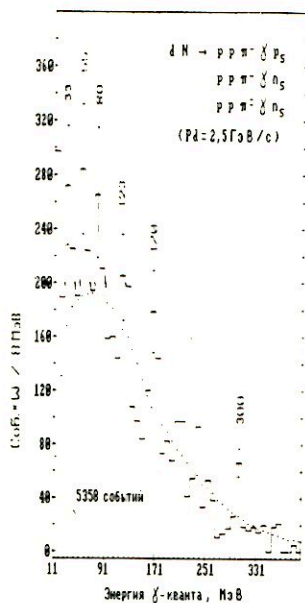


Рис.3. Энергетический спектр γ - квантов из реакции $dN \rightarrow p p \pi^+ \gamma p_5$; $p p \pi^+ \gamma n_5$; $p p \pi^0 \gamma n_5$ при $P_d = 2,5$ ГэВ/с

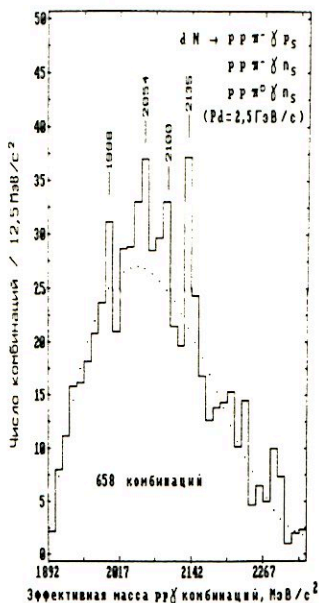


Рис.4. Распределение эффективных масс $p p \gamma$ комбинаций из реакции $dN \rightarrow p p \pi^+ \gamma p_5$; $p p \pi^+ \gamma n_5$; $p p \pi^0 \gamma n_5$ при $P_d = 2,5$ ГэВ/с.

Таблица IV

$M_{\pi N}^{\text{эф}}$ МэВ/с ²	$M_{\pi N}^{\text{эф}}$ + ($m_{\pi^+} - m_{\pi^-}$) МэВ/с ²	$M_{\pi\pi}^{\text{эф}}$ МэВ/с ²
1113	1912	1912
1120	1919	1922
1132	1931	1935
1149	1948	1949
1168	1967	1964
1184	1983	1980
1197	1996	1991
1204	2003	2005
1215	2014	2016
1226	2025	2026
1236	2035	2031
1244	2043	2043
1271	2070	2081
1304	2103	2106
1340	2139	2143

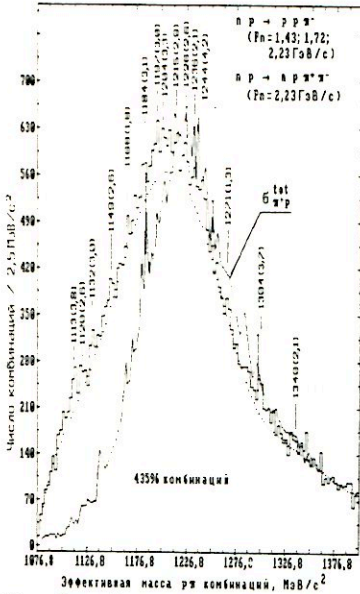


Рис.5. Распределение эффективных масс $\pi\lambda$ -комбинаций из реакций $np \rightarrow pp\pi^0$ при $P_{\lambda} = 1,43; 1,72; 2,23$ ГэВ/с и из реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ при $P_{\lambda} = 2,23$ ГэВ/с.

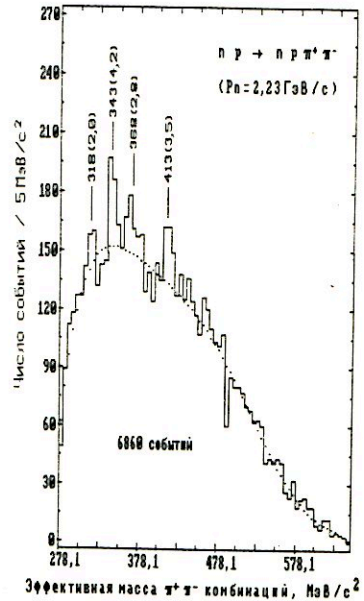


Рис.6. Распределение эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций из реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ при $P_{\lambda} = 2,23$ ГэВ/с.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бешлыу К. и др. ОИИИ, ДИ-83-815, Дубна, 1983
2. Троян Ю.А. и др. ,Кр. сообщ. ОИИИ, I3-85, Дубна, 1985, с. 12
3. Троян Ю.А. и др. , ОИИИ, ДИ-88-329, Дубна, 1988
4. Балгансурен И. и др. , ОИИИ, РИ-88-503, Дубна, 1988
5. Абдинов О.Б. и др., Кр. сообщ. ОИИИ, I5-86, Дубна, 1986, с. 54.
6. Азимов С.А. и др., ЯФ, 1985, т. 42, вып. 4, с. 913.
7. Azimov S.A. et al. РТИ 60-88-РНЕ, Tashkent, 1988.
8. Агакишиев Г.Н. и др. , ОИИИ, I-84-108, Дубна, 1984.
9. Bock B. et al. Nucl.Phys., A459, 1986, p.573.
10. Tatischeff B. et al. Europ.Phys.Lett. 4(6), 1987, p.671.
11. Tatischeff B. et al. Z.Phys.A Atomic Nuclei, 32B, 1987, p.147.
12. Andreev V.P. et al., Z.Phys.A Atomic Nuclei, 32B, p.147, 1987.
13. Santi L. et al. Phys.Rev.C., v.38, No.5, p. 2466.
14. Бешлыу К. и др. ОИИИ, ДИ-85-433, Дубна, 1985
15. Абдинов О.Б. и др. ОИИИ, РИ-88-102, Дубна, 1988
16. Flaminio V. et al. CERN-HEFA, 83-01, 1983.
17. Барашенков В.С., в кн. "Сечения взаимодействия элементарных частиц", Наука, Москва, 1966.
18. Троян Ю.А., ОИИИ, Р2-86-35, Дубна, 1986 .
19. Баханский И.И. и др. ОИИИ, Р2-88-501, Дубна, 1988.
20. Kondratyuk L.A., Vasilets A.V. ИТЕФ, 128-88, Moscow, 1988.
21. Покровский Ю.Е., ЯЭФ, т. 94, вып. 10, 1988, с. 55.
22. Арбузов Б.А. и др., ИИИФ МГУ, 89-1/78, Москва, 1989.

ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИКВАРКОВЫХ, СТАБИЛЬНЫХ И МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Б.А.Шахбазян

Краткий обзор состояния проблемы

Наша группа давно ведет поиск мультикварковых состояний ^{/1/}. Первоначальной целью исследований было выяснение роли квантовых чисел барионного заряда, странности и гиперзаряда в сильных взаимодействиях. Метод исследования свелся к изучению спектров инвариантных масс сорока девяти адронных систем, названные выше квантовые числа которых варьировались в достаточно широких пределах: $0 \leq B \leq 6$, $-2 \leq S \leq 1$ и $0 \leq Y \leq 6$.

Оказалось, что резонансные пики наблюдаются в спектрах масс только тех систем, гиперзаряд которых не превышает единицы - $Y \leq 1$. Поскольку инвариантные массы относятся к свободным системам, направируется правило отбора по гиперзаряду: "Гиперзаряд свободных адронов (включая и мультикварковые) не может превышать единицы: $Y \leq 1$ ". Здесь $Y = B + S + C + \bar{b}$. Подчеркнем, что в ядерном веществе существование мультикварковых состояний с $Y > 1$ возможно. Но вырвать такое состояние за пределы ядра удаётся лишь возбуждив в нём ароматы S , C или \bar{b} , превратив его тем самым в состояние с $Y \leq 1$ ^{/1/}. Возможно, сформулированное выше правило основано на новом принципе симметрии.

Из полученных результатов следует, во-первых, что способность системы к образованию адронов, мультикварковых в том числе, определяется величиной гиперзаряда и вырождена относительно его слагаемых. Во-вторых, - возможность существования стабильных мультикварковых состояний. Действительно, поскольку мультикварковые резонансы узкие, можно ожидать, что с уменьшением гиперзаряда стабильность системы будет возрастать, вплоть до образования стабильных к быстрым распадам связанных состояний.

Систематическое исследование проблемы мультикварковых состояний в рамках теоретических моделей началось с работы Джаффе ^{/2/}, применившего разработанный к тому времени аппарат модели мешков (ММ) МИТ к мультикварковым системам.

I. Наиболее интригующим результатом этого исследования явилось предсказание стабильного к быстрым распадам связанного шестикваркового состояния N кваркового состава $s^2 u^2 d^2$ с квантовыми числами $I = 0$, $J^P = 0^+$, с массой $2150 \text{ МэВ}/c^2 < 2 M_\Lambda = 2231,2 \text{ МэВ}/c^2$. Учёт спиновых состояний ^{/3/} привел к массе $2164 \text{ МэВ}/c^2$ при тех же квантовых числах для связанного $s^2 u^2 d^2$ состояния и к трём возбужденным состояниям 2350 ($I = 0, 1$; $J^P = 1^+$, $B = 2$, $S = -2$, $Y = 0$), 2411 ($I = 0, 1$;

$J^P = 2^+, B = 2, S = -2, Y = 0$) 2500 ($I = 1; J^P = 1^+, B = 2, S = -2, Y = 0$). Модель мешков при учёте взаимодействия валентных кварков с вакуумом КХД привела к массе связанного состояния 2090 МэВ/с² и к резонансу 2340 МэВ/с² /4/. Модель кварковых кластеров приводит к сравнительно слабо связанному состоянию - стабильному дибариону с массой ($22II \pm 5$) МэВ/с² /5/.

Модель Скирми недавно была возрождена Виттеном /6/, обосновавшим её для предела КХД при больших N_c . Модель, распространённая на дибарионные системы /7/, предсказала массу стабильного $I = 0, J^P = 0^+$ дибариона 2200 МэВ/с², однако оказалось не в состоянии воспроизвести спектр масс частиц с $B = 1$ и $S = -1$. Этот недостаток был устранен в работе /8/. Новый подход, примененный к дибарионам дал связанное состояние с $I = 1, J^P = 0^+$ и 2350 МэВ/с² (в отличие от $I=0, J^P = 0; 2150, 2164$ МэВ/с²) /9/. В модели /10/ предсказывается стабильное $I = 0, J^P = 0^+$ состояние с массой в пределах (1500 - 1900) МэВ/с².

Проблему стабильных дибарионов пытались также решить с помощью техники КХД - решетки. В работе /11/, которую сами авторы не считают завершённой, $M_n > 2 M_\Lambda$, т.е. дибарион нестабилен. В более полной работе, использующей более крупные ячейки, получен результат $2M_n < M_n \ll 2M_\Lambda$, т.е. дибарион заведомо стабилен /12/.

Наблюдение двух двойных гиперядер наложило довольно узкие пределы на массу H - дибариона /14/. Только, если $2219 \text{ МэВ/с}^2 \leq M_n \leq 2M_\Lambda$, наблюдаемые время жизни ($\sim 10^{-10}$ сек) и моды распада двойных гиперядер не несовместимы с альтернативной модой распада ${}^6\text{He} \rightarrow H + \alpha$.

Большой интерес вызывает предсказание существования стабильного дибариона (назовем его A) - изодублета с $J = 1, 2$ со странностью $S = -3$. Расчёт показал, что в рамках одних и тех же двух моделей дибарион A ($S = -3$) связан сильнее, чем дибарион H ($S = -2$), что согласуется с нашим правилом отбора по гиперзаряду. Масса определяется как $M_A = M_n + M_\Omega + B = 2365 \text{ МэВ/с}^2$, где $B = -245 \text{ МэВ/с}^2$ /13/.

Дауэр /17/ указал на возможность существования связанного тетрабарионного состояния $H^2 = (HH)_{L=0}$, $J^P = 0^+, I = 0, S = -4$ - аналог α - частицы. Возможные каналы слабых распадов; $H^2 \rightarrow 4\Lambda, \Sigma^- p H$.

Вероятно, имеет смысл искать также слабые распады $S = -4$ дибариона $Y \rightarrow p \Omega^-$.

Апофеозом каскада захватывающих предсказаний за последнее десятилетие явились работы Виттена, Джаффе, Фархи и др., в которых они приходят к выводу о том, что основным состоянием вещества является не обычная ядерная материя, а "странная материя", содержащая примерно поровну u, d, s - кварки и которая в определенных условиях может быть стабильной.

Подводя итог этому сжатому обзору, посвящённому мультикварковым стабильным состояниям, можно сказать, что аргументов в пользу существования стабильного дибариона явно больше, чем против него.

2. Другим важным предсказанием перечисленных выше моделей является возможность существования ещё более обширного класса мультикварковых метастабильных состояний. Нас в первую очередь интересуют Q^6 , Q^9 -, $Q^4\bar{Q}^1$ - состояния.

В силу возможного правила отбора по гиперзаряду особый интерес представляют мультикварковые метастабильные барионы с гиперзарядом $Y < 1$.

Обнаружение таких адронов с изоспином $I = 2$, например, $\Lambda\pi^+\pi^+$ и $\Lambda\pi^-\pi^-$, является однозначным доказательством их мультикварковой структуры с составом цветных кварков $S^1u^3d^1$ и $S^1\bar{u}d^3$.

Громадный интерес представляют дибарионные резонансы $\Lambda\rho$, $\Lambda\rho^+$, $\Lambda\Lambda$, трибарионные резонансы $\Lambda\rho\rho$, поиск резонансов в системах $K_S^0\rho$ и др. Все эти проблемы, как правило, исследуются в соответствующих спектрах инвариантных масс. Однако для систем, распадающихся на две частицы, как, например, $\Lambda\rho$, $K_S^0\rho$ и др. возможен ещё и другой путь - измерение сечений упругого рассеяния или, по крайней мере, спектров масс продуктов распада после упругого рассеяния.

В соответствии с наметившимися двумя главными направлениями исследования наш эксперимент посвящён поиску и исследованию мультикварковых стабильных и метастабильных к быстрым распадам состояний.

Мы убеждены, что новые экспериментальные факты, добытые в целенаправленном поиске объектов двух указанных классов, способны пролить свет на ряд ключевых проблем, ждущих своего решения, и, в конечном счёте, привести к созданию теории сильных взаимодействий.

1.1. Способы наблюдения стабильных дибарионов и измерения их масс

Предложено несколько методов наблюдения и измерения масс стабильных дибарионов.

1. Если $M_H > 2M_\Lambda$, то H заведомо нестабилен и его следует искать в спектрах инвариантных масс M - систем.

2. Если $M_{\Sigma^-} + M_N < M_H < 2M_\Lambda$, то возникает возможность наблюдения H по модам слабого распада ($|\Delta S| = 1$) $H \rightarrow p\Sigma^-$, $n\Sigma^0$, $n\Lambda^0$. Согласно ^{1/2} вероятности этих мод относятся как 3 : 2 : 1. Мода $H \rightarrow p\Sigma^-$, $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$ наиболее удобна для эксперимента. Внешне - это V^0 - частица с изломом у отрицательного следа из-за распада $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$. Таким образом, в этом случае имеется возможность прямого наблюдения H . $M_N + M_\Lambda < M_H < M_N + M_{\Sigma^-}$, $H \rightarrow \Lambda n$ ($|\Delta S| = 1$).

3. Если $2M_\Lambda < M_H < M_N + M_\Lambda$, то возможен распад $H \rightarrow 2n$, хотя и

сильно подавленный ($|\Delta S| = 2$).

4. Предложено детектировать Λ не в прямых экспериментах, а в экспериментах по недостающей массе $\Xi^- \rightarrow \Lambda n$ /15/ и $K^- \rightarrow \Lambda n$ /15/.

5. В 1986 году /16/ мы предложили метод детектирования Λ , совершенно свободный от предположений о его массе. Основан он на том, что дважды странный адрон Λ , взаимодействуя сильно с нуклоном, должен конвертировать в два гиперона. Из всех возможных каналов внутриядерной конверсии наиболее информативен, а следовательно, и может быть идентифицирован с наивысшим уровнем значимости канал $\Lambda p \rightarrow \Lambda p$. Методика основана на трехвершинном фите. В условиях нашего эксперимента имеется возможность использовать всю статистику, которая разделится на выборки, приводящие к 6С-, 4С- и 2С - трехвершинным фитам. Предварительно показано, что два события удовлетворяют этой реакции (о чем ниже).

В 1988 году /17/ была предложена аналогичная, но более трудная для идентификации реакция $\Lambda p \rightarrow \Xi^- p p$.

6. Реакция $p p \rightarrow \Lambda K^+ K^+$, использованная в эксперименте /17/, дала отрицательный результат. Однако общепризнано, что точность эксперимента недостаточна для однозначного вывода об отсутствии Λ .

1.2 Экспериментальные результаты по поиску стабильных дибарионов

Как видно из предыдущего, методы 1, 2, 5, 6 вполне осуществимы с помощью пропановой пузырьковой камеры. Для поиска стабильных дибарионов мы использовали пучки протонов 10 ГэВ/с, нейтронов 7 ГэВ/с, отрицательных пионов при 4,0 ГэВ/с и ядер ^{12}C с $p = 4,2$ ГэВ/с/н.

На сегодня обнаружено два события прямого наблюдения медленного распада Λ .



Рис. 1. Быстрый Λ , без видимого распада $\Sigma^- \rightarrow n \pi^-$.

Первое из них (рис. 1) с импульсом 8 ГэВ/с опубликовано ранее /1/. В результате последовательных 2С- и 1С-одновершинных фитов была показана высокая значимость гипотезы о реакции $p d \rightarrow \Lambda p K^+ K^0$, где d - внутриядерный двухбарионный кластер. Ныне выполнен двухвершинный 3С - фит этой же реакции с $\chi^2 = 2,82$ (С.Л. = 40%). Масса $M_\Lambda = (2174,6 \pm 13,14)$ МэВ/с² в пределах погрешностей совпадает с прежним значением /1/. Напомним, что время жизни этого события $\tau = 0,668 \cdot 10^{-10}$ с. К сожалению, на треке отрицательной частицы, кинематически идентифицируемой,

как Σ^- -гиперон, отсутствует излом - следствие медленного распада $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$. Однако для Σ^- с импульсом 5 ГэВ/с вероятность пролететь путь, равный длине измеренного трека (40 см), не распавшись, составляет 11,36%.

В октябре 1988 года обнаружен второй кандидат в Н.

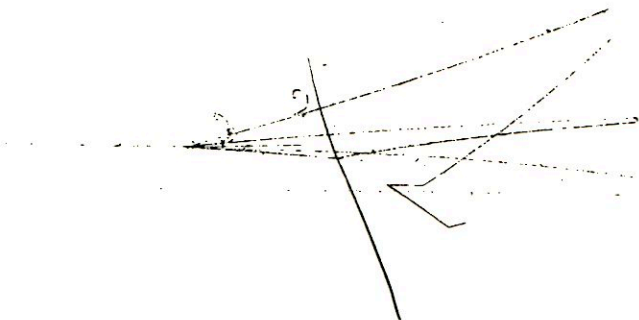


Рис.2. Медленный Н. Виден распад $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$.

С шестилучевой звездой ассоциируется V^0 -частица, распадающаяся на протон, который, рассеявшись, останавливается в пропане ($P = (0,316 \pm 0,006$ ГэВ/с), и на более энергичную отрицательную частицу с серым коротким треком с изломом. Из-за малой длины этого трека ионизация частицы количественной оценке не поддается. Трек же после излома явно принадлежит Π^- -мезону ($P = (0,320 \pm 0,032)$ ГэВ/с). Кинематический анализ в двухвершинном 2С-фите при шести неизвестных параметрах $M_n, P_n, P_{\Sigma^-}, P_{\pi^-}, \beta_n, \alpha_n$, где β_n и α_n - угол погружения и азимутальный угол вылета нейтрона из распада $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$, выполнен для всех возможных мод распада (таблица I) V^0 -частицы при пяти гипотезах о её природе и трёх звездах, ассоциируемых с ней, отстоящих от её вершины на 10,3 и 17 см.

Гипотезы о том, что V^0 распадается на протон и Π^- -мезон, который затем рассеивается на нейтроне или ядре ^{12}C , отвергаются для всех звезд.

Гипотеза $N \rightarrow p\Sigma^-$, $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$ - с высокой значимостью удовлетворяется только для шестилучевой звезды ($L = 10$ см). Менее вероятен, но не исключается полностью распад $A \rightarrow p\Xi^-$, $\Xi^- \rightarrow n\pi^-$ для той же звезды. Гипотезу $Y \rightarrow p\Omega^-$, $\Omega^- \rightarrow \Xi^-\pi^-$ следует отвергнуть по $\chi^2 \approx 12$ ($C.L. = 0,25\%$). Эта же гипотеза с модой распада $\Omega^- \rightarrow \Lambda K^-$ отвергается по ионизации ($I_{\pi^-} = 1,02$ при ожидаемой для $I_{K^-} = 2,00$). Отвергаются гипотезы для $L = 3$ и 17 см также.

Таблица I. Кинематический анализ события для гипотез барионов с $S = -1$ и дибарионов с $S = -2, -3, -4$, ассоциированного с тремя звездами *

S	Мода распада	L = 10 см		L = 3 см	L = 17 см
		χ^2	C.L.(%)	χ^2	χ^2
- 1	$\Lambda \rightarrow p\pi^-$	77,3	-	226	нет фита
	$n \rightarrow n\pi^-$	92,6	-	224	нет фита
- 2	$H \rightarrow p\Sigma^-, \Sigma^- \rightarrow n\pi^-$	0,88	64,0	240	25
- 3	$A \rightarrow p\Sigma^-, \Sigma^- \rightarrow \Lambda\pi^-$	6,65	3,5	226	25
- 4	$Y \rightarrow p\Omega^-, \Omega^- \rightarrow \Sigma^-\pi^-, \Lambda K^-$	12	0,25	218	49
		-	-	-	-

Масса по 18 измерениям совпадает $M_H = (2218 \pm 12) \text{ МэВ}/c^2$ при стандартном отклонении $S = 12 \text{ МэВ}/c^2$ и погрешности среднего $\sigma = 2,8 \text{ МэВ}/c^2$

$P_H = (1,091 \pm 0,075) \text{ ГэВ}/c$, $P_{\Sigma^-} = (0,871 \pm 0,077) \text{ ГэВ}/c$, $\tau_{\Sigma^-} = 1,37 \cdot 10^{-10} \text{ с}$. Характеристики для A : $M_A = (2335 \pm 11) \text{ МэВ}/c^2$,

$P_A = (1,113 \pm 0,083) \text{ ГэВ}/c$, $P_{\Sigma^-} = (0,895 \pm 0,077) \text{ ГэВ}/c$, $\tau_A = 2,10 \cdot 10^{-10} \text{ с}$.

Два значения M_H из двух событий совпадают в пределах двух погрешностей. Однако, возможно, мы столкнулись с двумя различными объектами. Если же принять, что имеем два измерения массы одной и той же частицы, то среднее значение равно $M_H = (2198 \pm 9) \text{ МэВ}/c^2$. Формальная оценка сечения образования H в p-пропан взаимодействиях составляет 40 нб/ядро ^{12}C . Наконец, в статистике событий с двумя Λ -гиперонами обнаружено по одному событию в нейтронном (7 ГэВ/с) и протонном (10 ГэВ/с) облучениях, удовлетворяющих гипотезе внутриядерной конверсии $H p \rightarrow \Lambda\Lambda p$ при фиксированной массе $M_H = 2174 \text{ МэВ}/c^2$. Имеем:

7n - облучение

$$\chi^2 = 2,1 \quad (C. L. = 14,8\%)$$

$$P_H = (2,539 \pm 0,067) \text{ ГэВ}/c$$

$$M_M = 2344 \text{ МэВ}/c^2$$

$$M_{Mp} = 3363 \text{ МэВ}/c^2$$

10p- облучение

$$\chi^2 = 0,77 \quad (38\%)$$

$$P_H = (4,733 \pm 0,119) \text{ ГэВ}/c$$

$$M_M = 2363 \text{ МэВ}/c^2$$

$$M_{Mp} = 3875 \text{ МэВ}/c^2$$

Близость масс M в обоих случаях с массой резонанса M, обнаруженного нами ранее с параметрами $M_R^M = (2365,3 \pm 9,6) \text{ МэВ}/c^2$, $\Gamma = (47,2 \pm 15,1) \text{ МэВ}/c^2$, и удаленность масс M_{Mp} от массы резонанса $M_{Mp} = 3568 \text{ МэВ}/c^2$ /1/, видимо, указывает на конверсию $H p \rightarrow R$

с последующим $R \rightarrow \Lambda$. Сечение конверсии 230 нб.

Изложенные факты свидетельствуют в пользу существования стабильного дибариона H .

Очевидно также, что для надёжного установления факта существования стабильных состояний остро необходимо увеличение статистики хотя бы до нескольких десятков событий, которые реально получить в предлагаемом проекте эксперимента. Помимо надёжного измерения масс это позволило бы оценить сечение образования стабильных состояний и время их жизни по отношению к слабым распадам.

2. Экспериментальные результаты поиска мультикварковых состояний (резонансов)

Основные результаты поиска мультикварковых резонансных состояний сведены в табл. 2-6.

$\Lambda\rho$ - дибарионы ($I = 1/2, Y = 1, B = 2, G = -1$)

Модель для анализа спектра масс $\Lambda\rho$ основывалась на двух гипотезах.

1. Справедливо импульсное приближение.

2. $\Lambda\rho$ - резонансы образуются исключительно в S - канале в $\Lambda\rho$ - упругом взаимодействии. Наблюдаются также особенности, обусловленные бинарными реакциями $\Sigma^{\pm}N \rightarrow \Lambda\rho$ и $\Lambda\rho \rightarrow \Sigma^{\pm}p, \Sigma^{\pm}n, \Lambda\gamma$. Это оправдано тем, что $\sigma(\Lambda\rho \rightarrow \Lambda\rho)$, $\sigma(\Sigma^{\pm}N \rightarrow \Lambda\rho)$, $\sigma(\Lambda\rho \rightarrow \Sigma^{\pm}p, \Sigma^{\pm}n, \Lambda\gamma) \gg \sigma(\Sigma N \rightarrow \Lambda\rho m\pi)$ и $\sigma(\Lambda\rho \rightarrow \Sigma^{\pm}m\pi)$, $m = 1, 2, \dots$ в области исследуемых масс (2054-2600) МэВ/с², что соответствует импульсу Λ в с.п. протона $p_{\Lambda} = (0-2500)$ МэВ/с. Таким образом, полагаем, что все конечные состояния с Λ и ρ возникают при прохождении первичной частицы сквозь ядро в результате 1) образования Λ и ρ в разных стадиях ядерно-каскадного процесса; 2) бинарных процессов $\Sigma^{\pm}N \rightarrow \Lambda\rho$; $\Lambda\rho \rightarrow \Sigma^{\pm}p, \Sigma^{\pm}n, \Lambda\gamma$; 3) внутриядерное упругое рассеяние $\Lambda\rho \rightarrow \Lambda\rho$.

При вычислении вероятностей этих процессов использовались все существующие данные и учитывались геометрическая и измерительная эффективности наших экспериментов. Теоретическое сечение $\sigma_{\Lambda\rho}^{el}(\rho_{\Lambda})$ параметризовалось в виде суммы 1) низкоэнергетического $\Lambda\rho$ рассеяния в приближении эффективного радиуса; 2) набора сечений упругого резонансного рассеяния, зависящих от полных спинов и орбитальных моментов. При совместном фитировании спектра масс $\Lambda\rho$ и измеренных в пяти других экспериментах сечений упругого $\Lambda\rho$ -рассеяния производилась сверка с измеренными гауссовыми функциями разрешения. Выбор оптимального числа резонансов производился путем изучения зависимостей

$C.L.(N_{Res})$ и $N_{ст.от.}(N_{Res})$. Модели оказались значимыми ($C.L. > 1\%$) для $N_{Res} = 6-17$. В этих же пределах значимы лишь пики из таблицы 2.

Зависимость С.Л. ($n_{\text{эф}}$) достигает максимума в 39% при $n_{\text{эс}} = 10 - 13$ и быстро падает к краям: С.Л.(6) = 6% и С.Л.(17) = 10%.

2. Λp ($I = 1/2$, $Y = 1$, $B = 2$, $S = - 1$)

M (МэВ/с ²)	Γ (МэВ/с ²)	Значимость N ст.от.	θ (мкб/ ¹² C)	Предсказание модели мешков M (МэВ/с ²)	J ^P
2095,0 ± 2,0	7,0 ± 2,0	5,70 ± 1,20	55±16	2110	1 ⁻
2181,0 ± 2,0	3,2 ± 0,5	4,36 ± 1,21	60±15	2169	1 ⁺
2223,6 ± 1,8	22,0 ± 1,9	6,24 ± 1,23	40±12	2230	0 ⁺
2263,0 ± 3,0	15,6 ± 2,3	8,55 ± 1,35	85±20	2241	2 ⁺
2356,6 ± 4,0	98,6 ± 2,5	13,81 ± 1,39	65±17	2353	1 ⁺
2129,2 ± 0,3	0,7 ± 0,16	11,37 ± 1,37	90±20	Антисвязан. состояния	

3. $\Lambda p \pi^-$ ($I=3/2$, $1/2^-$, $Y = 1$, $B = 2$, $S = - 1$)

2495,2 ± 8,7	204,47 ± 5,6	12,86 ± 1,68	70±15	2500	0 ⁻ , 1 ⁻ , 2 ⁻
--------------	--------------	--------------	-------	------	--

4. $\Lambda(I = 0$, $Y = 0$, $B = 2$, $S = - 2$)

2365,3 ± 9,6	47,2 ± 15,1	4,2 ± 1,4	24±7	2357	2 ⁺
--------------	-------------	-----------	------	------	----------------

5. Λp ($I = 1/2$, $Y = 1$, $B = 3$, $S = - 2$)

3568,3	< 60			3570	5/2 ⁺
--------	------	--	--	------	------------------

6. $\Lambda \pi^+ \pi^+$ ($I = 2$, $Y = 0$, $B = 1$, $S = - 1$)

1704,9 ± 0,9	18,0 ± 0,5	5,3 ± 1,6	19,0±0,6	1710	1/2 ⁻
2074,6 ± 4,0	172,9 ± 12,4	10,3 ± 1,5	88,0±27,0	2120	1/2 ⁻
2604,9 ± 4,8	85,9 ± 21,5	5,2 ± 1,4	31,9±9,0	2615	3/2 ⁻

Таким образом, при С.Л. = 39% правильно воспроизводятся и спектр масс Λp и мировые данные по сечениям упругого рассеяния.

Подобранные значения параметров низкоэнергетического рассеяния $\alpha_s = (-1,96 \pm 0,43)$ фм, $\tau_s = (4,63 \pm 0,60)$ фм, $\alpha_t = (-2,44 \pm 0,50)$ фм, $\tau_t = (4,30 \pm 0,55)$ фм находятся в хорошем согласии с мировыми данными. Массы резонансов близки к предсказанным ММ. Наши результаты из $n^{12}\text{C}$ (7 ГэВ/с) подтверждены во взаимодействиях $\pi^-^{12}\text{C}$ (4 ГэВ/с), $K^0(1,5\text{ГэВ/с})$ pp (2,9 ГэВ/с) и на малой статистике в $p^{12}\text{C}$ (10 ГэВ/с). Увеличение статистики при 10 ГэВ/с позволит не только подтвердить пики таблицы 2, но и обнаружить более тяжелые резонансы (если они существуют), для проявления которых фоновые условия более благоприятны.

$\Lambda\rho\bar{\pi}$ - дибарионы ($I = 3/2, I/2; Y = 1, B = 2, S = -1$)

В спектре масс $\Lambda\rho\bar{\pi}^\pm$ из P^{12}C (7 ГэВ/с) наблюдается значимый пик при 2495 МэВ/с² (таблица 3). Учитывались фоны от: 1) ядерного каскада; 2) $n\bar{n} \rightarrow \Lambda\rho K^\pm, m\pi$, $m = 1, \dots, 7$; 3) $\Lambda N \rightarrow \Lambda\rho(n\bar{\pi})$, $n = 1, \dots, 4$. Масса пика близка к предсказанной ММ. Наблюдаются еще три пока незначимые особенности. Пик 2495 МэВ/с² наблюдается и в спектре из ограниченной статистики $\rho^{12}\text{C}$ (10 ГэВ/с). Увеличение статистики $\rho^{12}\text{C}$ (10 ГэВ/с) позволит решить участь трех пока незначимых пиков.

$\Lambda\Lambda$ - дибарионы ($I = 0, Y = 0, B = 2, S = -2$)

Большой интерес представляет семейство $\Lambda\Lambda$ -резонансов, предсказываемых упоминавшимися моделями. Пока что наблюдался один кандидат (таблица 4). В $\rho^{12}\text{C}$ (10 ГэВ/с) найдены $\Lambda\Lambda$ -события, что позволило увеличить сегодняшнюю статистику в 1,5 раз^{1/16/}. Пик 2365 МэВ/с² подтвердился. Предложение позволит повысить его значимость и поискать другие члены семейства $\Lambda\Lambda$ -резонансов.

$\Lambda\rho$ - трибарион ($I = 1/2, Y = 1, B = 3, S = -2$)

Здесь также увеличение статистики за счёт $\rho^{12}\text{C}$ (10 ГэВ/с) подтвердило пик 3568 МэВ/с² ^{1/16/} (таблица 5), совпадающий с предсказанным ММ.

$\Lambda\bar{\Lambda}^\pm$ барион ($I = 2, Y =, B = 1, S = -1$)

Выше отмечалась важность обнаружения подобных барионов. Отсюда необходимость подтверждения найденных уже трех состояний (таблица 6), что наше предложение может обеспечить.

3. Эксперимент

3.1. Методика 2 м пропановой пузырьковой камеры является адекватной поставленной задаче по следующим причинам: 1) 4П-геометрия. 2) В отсутствие интенсивных Ω^- , Ξ^- , Σ^- или хотя бы K^- - пучков наличие в мишени-пропане легкого ядра ^{12}C , бомбардируемого протонами 10 ГэВ/с, позволяет использовать его как нуклонную и мультибарионную мишень высокой плотности в пучках вторичных частиц всех сортов с отрицательной странности. Учитывая измеренную вероятность взаимодействия, например Λ -гиперонов в ^{12}C , равную 50%, имеем резкое возрастание всех процессов с барионным обменом по сравнению с элементарным актом. 3) Наличие водорода в пропане позволяет использовать статистику элементарных актов для имитации ряда фоновых процессов. Успешные результаты демонстрируют правильность выбора методики в наших условиях.

3.2. Экспериментальным материалом для выполнения проекта темы на 1991-1995 годы будут служить события с фотографий 2 м пропановой

пузырьковой камеры, облученной протонами с импульсом 10 ГэВ/с. После вступления в строй новой камеры желателен переход на новые фотографии. Пока же весь расчёт ведется, исходя из наличного фотоматериала. С 450 тыс. фотографий облучения 10р предполагаем иметь:

1. По стабильным дибарионам $\Lambda\Lambda$ - несколько десятков событий, что позволит уточнить значение $M_{\Lambda\Lambda}$.

2. Несколько кандидатов ($S = -3$) и ($S = -4$) дибарионы

3. Около 500 $\Lambda\Lambda$ пар.

4. Λ и Λ, K_S^0 - 15 - 18 тысяч.

5. K и $K_S^0 K_S^0$ - 10 - 12 тысяч.

Поиск стабильных дибарионов будет вестись 1) по медленным распадам и 2) по сильным взаимодействиям их с нуклонами в ядре с последующей конверсией в соответствующее число Λ - гиперонов. Используя технику многовершинного фита, к такому поиску можно привлечь не только события, содержащие 3 Λ и 2 Λ , но и события с одиночными Λ и K_S^0 . При этом будут проверяться гипотезы о распаде Λ - гиперона в самой звезде, т.е. гипотеза о том, что π^- и p из звезды являются продуктами распада Λ - гиперона. Эта же техника применима для выделения каналов упругого рассеяния $\Lambda p \rightarrow \Lambda p$, $K_S^0 p \rightarrow K_S^0 p$. Заметим, что эта методика уже апробирована нами. Все эти события параллельно используются для исследования спектров инвариантных масс $m_{\Lambda p \pi^0 \pi^0}$, $m_{K_S^0 p \pi^0 \pi^0}$ (где $m, n, \ell = 0, 1, 2, \dots$) обычных и мультикварковых систем.

На большой статистике будут изучены процессы рождения кумулятивных Λ - и K_S^0 - частиц. Ранее полученный результат с большой поляризацией кумулятивных Λ - будет проверен на большой статистике.

Наконец, будут выполнены исследования по асимптотическим свойствам барионной материи с участием странных частиц.

Состав участников и необходимый ресурс

Проект предполагается выполнить силами пяти сотрудников ЛВЭ, 1-2 сотрудников Ереванского физического института, 1-2 сотрудников ФИАН СССР.

Фотоматериал, как уже отмечалось, уже снят в пучке протонов $p = 10$ ГэВ/с, так что сеансы на У10 не требуются. Мы используем фотографии, которыми пользуется пропановая коллаборация. Ситуация повторится после вступления в строй новой 2м пропановой камеры.

Измерительный ресурс - до 60 тыс.треков в год.

Просмотровых столов - 4 - 6,

Времени на ЭВМ СДС-6500 - 250 ч/год. Возможно уменьшение этого ресурса.

Магнитных лент - 10 в год.

Расходы по основной деятельности	
+ страховой сбор	21,4 тыс.рублей
Ресурс ЛВТА	
(СДС-6500 + Изм.оборуд.)	25,6 тыс.руб.
<hr/>	
Всего:	47 тыс.руб.

С учётом накладных расходов по ОИЯИ и ЛВЭ сметная стоимость темы составит 84 тыс.рублей в год, 420 т.р. на 5 л. Предполагаемое возможное сокращение ресурса ЛВТА может свести сметную стоимость к 70 тыс.рублей в год или 350 тыс.рублей на 5 лет.

*) Примечание. Уже по завершении подготовки этого предложения было показано, что гипотезы о цепочках реакций, могущих имитировать событие 1) $\bar{K}^0_n \rightarrow \bar{K}^0_p, K^- \rightarrow \mu^- \gamma$ или $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$
 2) $\bar{K}^0_n \rightarrow \bar{K}^0_p, K^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ или $K^- \rightarrow \Sigma^- \pi^0$ - несостоятельны. Кроме того, вероятность наблюдать на 10^5 кадров имитирующую реакцию $n \bar{n} \rightarrow p \pi^-$ с последующим рассеянием $\pi^- I^2C \rightarrow \pi^- I^2C$ или $\pi^- \bar{n} \rightarrow \pi^- n$, составляет $2 \cdot 10^{-5}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. B.A.Shahbazian et al. Z.Phys.C39, 151(1988), имеются ссылки на более ранние работы.
2. R.L. Jaffe, Phys.Rev.Lett., 38, 195(1977) and 38 1617E(1977).
3. P.J.G.Mulders, A.T.M.Aerts and J.J. de Swart, Phys.Rev.D21, 2553(1980).
4. A.E.Dorokhov, N.I.Kochelev, JINR Preprint E2-86-847,(1986).
5. U.Strauss et al., Phys.Lett., 200B, 241(1988).
6. E.Witten, Nucl.Phys., B223, 422 and 433(1983).
7. A.P.Balachandran et al., Phys.Rev.Lett., 52, 887(1984) and Nucl.Phys., B256, 525(1985).
8. C.G.Callan and I.Klebanov, Nucl.Phys., B262, 365(1985).
9. J.Kunz and P.J.Mulders, NIKHEF Preprint, Amsterdam (July 1988).
10. R.L.Jaffe and C.L.Korpa, Nucl.Phys., B258, 468(1985).
11. P.B.MacKenzie and H.B.Thacker, Phys.Rev.Lett., 55, 2359(1985).
12. Y.Iwasaki et al., Phys.Rev.Lett., 60, 1371(1988).
13. T.Goldman et al., Phys.Rev.Lett., 59, 627(1987).
14. Б.О.Кербиков, ЯФ, 39, 516(1984).
15. G.V.Franklin, Nucl.Phys., A450, 117(1986).
16. B.A.Shahbazian et al., Proc. of VIII Int.Seminar on High Energy Problems 1986, Dubna, D1,2-86-668, vol.II, p.84, JINR Preprint P1-86-626, Dubna, 1986, Proc. of IX Int.Seminar on High Energy Problems 1988, D1,2-88-652, vol.I, p.33.
17. C.B.Dover, Invited Talk at 1988 Int.Symp. on Hypernuclear and Low Energy Kaon Physics, Legnaro(Italy), Sept.12-16, 1988.

ПОИСКИ КУМУЛЯТИВНЫХ η - И ω -МЕЗОНОВ И ПРОВЕРКА ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОХРАНЯЮЩИХСЯ КВАНТОВЫХ ЧИСЕЛ В ПРОЦЕССАХ КУМУЛЯТИВНОГО РОЖДЕНИЯ ω -МЕЗОНОВ

В.Ф.Вишневский, С.М.Елисеев, А.П.Стельмах, Г.Г.Тахтамышев

АННОТАЦИЯ

проекта эксперимента на синхрофазотроне (нуклотроне) ЛВЭ, предлагаемого с целью наблюдения процессов кумулятивного рождения η - и ω -мезонов, выяснении механизма таких процессов и проверки гипотезы об универсальности векторных взаимодействий в процессах кумулятивного рождения векторных мезонов.

Одним из замечательных свойств взаимодействия векторных мезонов: ρ , ω , ϕ является универсальность констант их взаимодействий с адронами, т.е. пропорциональность величины констант квантовым числам адронов, сохраняющимися в сильных взаимодействиях. Эффекты динамического проявления сохраняющихся квантовых чисел и пропорциональность констант связи ρ -, ω -, ϕ -мезонов квантовым числам изоспина, барионного числа и гиперзаряда особенно активно обсуждался ранее Сакураи^{/1,2/}.

Вопрос о проверке идеи универсальности в кумулятивных процессах образования векторных мезонов был поставлен и обсужден в работе А.М.Балдина и С.Б.Герасимова^{/3/}. Обращение к кумулятивным процессам в данном случае обосновано особым интересом, который они вызывают с ряда точек зрения. Отметим две из них. Во-первых, это важно с точки зрения дополнительной проверки фундаментальной динамической симметрии физики адронов, во-вторых, такие процессы представляют интерес в качестве средства изучения мультибарионных кварковых кластеров (т.е. виртуальных состояний типа кварковых "мешков" с барионным числом $B \geq 2$), существование которых в ядерной материи, по-видимому, играет определяющую роль в физике кумулятивного образования частиц. Если это так, то в области фрагментации ядра-мишени или налетающего ядра с увеличением порядка кумулятивности (т.е. минимального числа нуклонов ядра кинематически необходимого для протекания реакции) следует ожидать существенное увеличение выхода векторных мезонов, что, в частности, должно проявиться в сравнении с выходом псевдоскалярных мезонов.

Константы связи гипернейтральных векторных мезонов, являющихся продуктами фрагментации барионного кластера как целого, должны быть пропорциональны барионному числу кластера, гиперзаряду или изоспину. Численное значение этих констант увеличивается с увеличением числа нуклонов в мультикварковом кластере (т.е. с увеличением порядка кумулятивности), и следует ожидать, что для ω - мезонов эффект будет

выражен сильнее, чем для ρ - мезонов, поскольку ω_{NN} -константа имеет большую величину, а барионное число или гиперзаряд кластера складывается из соответствующих нуклонных квантовых чисел аддитивно.

Несмотря на давний и весьма обоснованный интерес, рождение η и векторных мезонов, в частности ω - мезонов, в кумулятивных процессах до сих пор не наблюдалось. Причиной этого явилось, скорее всего, недостаточное соответствие используемой методики особенностям изучаемого явления - относительно небольшое сечение, весьма малая эффективность регистрации всех частиц - продуктов распада η и ω - мезонов и тяжелые фоновые условия для используемой электроники. Этим, видимо, можно объяснить и неудачу поисков с помощью построенного специально черенковского масс-спектрометра ^{14-6/}.

Ранее мы отмечали, что эта задача может быть решена с помощью спектрометра "Резонанс", основой которого является стримерная камера, помещенная в магнитное поле ^{17/}. Как известно, это практически изотропный трековый прибор, который допускает большие загрузки и даёт возможность с точностью $\sim 1,5\%$ определять импульсы заряженных частиц по снимкам их треков в камере. Эти факторы определяют важное в данном случае, и, возможно, решающее преимущество. Теперь это подтверждено дополнительными оценками на основе новых расчётов и моделирования. Данное обстоятельство оправдывает проведение поисковых работ на этой установке, тем более учитывая большую теоретическую значимость результатов, которые могут быть получены в обсуждаемом эксперименте.

Работы по проекту предполагается начать с поисков процессов кумулятивного рождения η - и ω - мезонов в оптимальных для этого условиях. Обнаружение и оценка сечения этих процессов явится первым серьёзным результатом и откроет путь к проверке предсказания о когерентном усилении выхода кумулятивных ω - мезонов. Проявление этого эффекта на опыте явится не только подтверждением указанного следствия гипотезы об универсальности векторных взаимодействий и кластерной модели механизма образования кумулятивных частиц, но и мощным доводом против альтернативных ей моделей.

На втором этапе работы будут вестись с целью выяснения механизма кумулятивного рождения частиц. Представляется реальной следующая программа.

1. А-зависимость соотношения выходов кумулятивных η - и ω -мезонов.

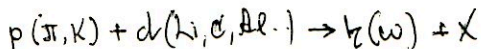
2. Зависимость сечений образования кумулятивных η - и ω - мезонов от угла вылета.

3. Поляризационные явления в процессах кумулятивного рождения ω - мезонов.

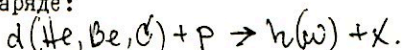
4. Поиски эффектов, обусловленных поляризацией дейтрона в $d p$ - взаимодействиях с выходом кумулятивных η и ω - мезонов.

Детализация и планирование второго этапа работ будет осуществлено с учётом результатов первого этапа.

Рассматривались оба возможных варианта постановки эксперимента: в реакциях, когда фрагментация η и ω - мезонов происходит на ядре-мишени:



и на ядре-снаряде:



У каждого из этих вариантов свои достоинства, свои недостатки, и в зависимости от решаемой задачи выгоден тот или другой. Для решения всего указанного выше комплекса задач разумно, видимо, использовать оба варианта. Для решения задач, соответствующих названию проекта и большей части других задач, оптимальным является первый вариант. Он, в частности, допускает большее продвижение по степени кумулятивности, обеспечивает более низкий уровень фоновых загрузок и, как следствие, относительно простую и надёжную триггерную систему, простоту и большую скорость обработки экспериментального материала. С учётом фактора времени эти преимущества являются решающими.

Спектрометр "РЕЗОНАНС" расположен в корпусе 205 на канале 4В, где может облучаться пучками ускоренных протонов и ядер или мезонами от внешней мишени. Стримерная камера $140 \times 80 \times 48 \text{ см}^3$, с помощью которой будут вестись поиски распадов η и ω - мезонов, помещена в магнит СП-40 с полем $\approx 10,5 \text{ КНс}$. Внутри камеры расположена криогенная мишень, которая может заполняться жидким водородом или дейтерием $1/8$, и, если нужно, заменяться практически любой другой мишенью.

Триггерные системы в обоих вариантах рассчитаны на регистрацию распадов $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ($BR \approx 24\%$) и $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ($BR = 89,3\%$), возникших внутри стримерной камеры. Регистрация π^0 - мезонов, точнее γ -квантов от распада $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$, и определение импульса будет осуществляться годоскопом, состоящим из множества γ - спектрометров полного поглощения, каждый из которых представляет собой радиатор из свинцового стекла ТФ-I и фотоумножитель с отдельным каналом электроники для связи с ЭЕМ. Годоскоп в виде стены (предположительно $200 \times 80 \text{ см}^2$) располагается непосредственно перед камерой (см. рисунок). Регистрация π^\pm - мезонов будет осуществляться двумя группами сцинтилляционных счётчиков, перекрывающих боковые стенки камеры. Пучок на мишень будет пропускаться через отверстие в центре "стенки". Для запуска установки потребуются срабатывание одного сцинтилляционного счётчика в любой из двух групп (регистрируется π^+ - или π^- - мезон

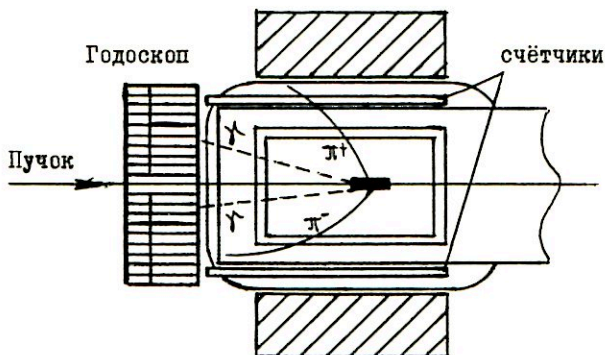


Рис. I. Схема постановки эксперимента.

от распада ω - мезона) и сигналы от черенковского годоскопа, свидетельствующие о попадании в него двух γ - квантов с энергией, выше пороговой.

Возможно, что годоскопическая "стенка" будет перекрыта γ -конверторами (листы латуни) и координатными камерами для более точного определения координат точек попадания γ - квантов в годоскоп и, следовательно, углов их вылета из мишени. В триггерную систему они включаться не будут.

При каждом срабатывании установки будут фотографироваться следы всех заряженных частиц в стримерной камере, относящихся к данному событию, в том числе обоих мезонов (π^+ и π^-) от распада ω - мезона, даже когда сигнал для запуска установки дал только один из них. Одновременно на магнитную ленту будет записываться информация об амплитуде сигналов от каждого из γ - спектрометров черенковского годоскопа, определяющих энергию, выделенную γ - квантами и регистрироваться информация о координатах точек попадания γ - квантов в черенковский годоскоп.

Процедура обработки снимков следов частиц в стримерной камере, как и обычно, будет начинаться со стадии визуального отбора, когда по определенным критериям будет исключена подавляющая часть фоновых событий и будут отобраны случаи для дальнейшей обработки. Операция несложная, требующая мало сил и времени.

Следы на отобранных событиях будут обмеряться на полуавтоматах и обсчитываться по стандартным программам. При этом будут получены данные о импульсах π^+ и π^- мезонов и координаты точки, где они возникли (точки генерации ω - мезона). Затем с использованием информации на магнитной ленте об энергии каждого из γ - квантов и координатах точек попадания их на годоскопы, в предположении, что все указанные частицы являются продуктами распада одной, более тяжелой частицы, возникшей в кумулятивном взаимодействии, будут определены её масса и энергия. Распределения по этим величинам явятся основой для заключения о кумулятивном рождении η и ω - мезонов.

Оценка ошибок в определении масс частиц, продуктами которых считаются регистрируемые установкой частицы, получена в предположении, что импульсы заряженных частиц (π^+ и π^- - мезоны) измерялись с точностью $\approx 1,5\%$ (область энергий $\leq 0,5$ ГэВ), точность измерения координат точки генерации не хуже 2 мм, точек попадания γ - квантов в спектрометр не хуже 2 см и ошибки измерений энергии γ - квантов будут составлять 20 - 30%. С учётом геометрии опыта это дало величину ≈ 30 МэВ, что превышает ширину ω - мезона всего в 3 раза. Отсюда, в частности, следует, что для надёжного вывода о кумулятивном рождении ω - мезонов будет достаточно наблюдение нескольких десятков событий.

Эффективность регистрации ω - мезонов определялась путем моделирования по программе ТВИСТ /8/. При оптимальных размерах и расположении элементов триггерной системы для ω - мезонов с импульсом 100 МэВ/с, вылетающих назад (180° к направлению пучка), она должна быть на уровне $1 \cdot 10^{-3}$ и быстро расти с увеличением импульса.

Для оценки относительного количества фоновых запусков установки были использованы снимки с 2-метровой пропановой камеры, облученной протонами с импульсом 10 ГэВ/с. По событиям с e^+e^- - парами с соответствующими энергиями была определена относительная доля случаев сопровождения γ - квантов, вылетающих из точки рождения назад ($180^\circ \pm$

30° к пучку протонов), хотя бы одной заряженной частицей, исходящей из той же точки, имеющей импульс и угол вылета, необходимые для попадания на любой из счётчиков. Важно, что такие события должны содержать и случаи кумулятивного рождения η и ω - мезонов. Таким способом было установлено, что на каждые два случая регистрации кумулятивного ω - мезона будет приходиться не более одного фонового запуска установки.

Вычисления скорости набора экспериментального материала были выполнены на основе модельных оценок дифференциального сечения кумулятивных η и ω - мезонов, в том числе опубликованных /10, 11/. Следует

отметить, что результаты их между собой достаточно хорошо согласуются и для ω - мезонов с импульсом $p\omega = 100 \text{ МэВ/с}$ (кумулятивное число $X \approx 1$), вылетающих под углом 180° к направлению пучка, сходятся на величине $\approx 1 \text{ мб ГэВ}/(\text{ГэВ/с})^3$. Для ψ - мезона она равна $\sim 1,5 \text{ мб ГэВ}/(\text{ГэВ/с})^3$.

Для поисков кумулятивных ψ - и ω -мезонов оптимальной в реальных условиях является углеродная мишень. Используя указанные сечения, полагая, что интенсивность пучка равна 10^7 протонов за цикл, а длина мишени 5 см, увидим, что за час нормальной работы установки нужно ожидать регистрацию $\sim 3,5$ кумулятивных ω - мезонов и ~ 5 ψ - мезонов. Таким образом, для выполнения первого этапа работы будет достаточно 100 часов нормальной работы на пучке ускорителя.

Теоретическая оценка эффекта когерентного усиления выхода кумулятивных ω - мезонов, в чем ожидается проявление динамических свойств сохраняющихся квантовых чисел, дана для дейтериевой мишени ^{3/}. Логично и для экспериментальной проверки использовать тоже дейтериевую мишень. Использование более тяжелых ядер пока не обеспечено теоретической проработкой, но в перспективе, по-видимому, будет представлять интерес.

Соответствующие вычисления показывают, что с криогенной мишенью в стримерной камере спектрометра "РЕЗОНАНС", заполненной дейтерием ^{8/}, для проверки указанного эффекта потребуется ~ 500 часов работы на пучке, если, разумеется, использованные для расчётов оценки сечений и самого эффекта соответствуют действительности.

Впрочем, и это следует иметь в виду, имеется возможность увеличить скорость набора экспериментального материала. Во-первых, за счёт увеличения интенсивности пучка в 3-4 раза, что потребует только соответствующего усиления радиационной защиты установки, и, во-вторых, за счёт отказа от требования регистрации π^+ -или π^- - мезона, продуктов распада ψ - и ω - мезонов, для запуска установки. В этом случае скорость набора материала увеличится больше чем на порядок, но число фоновых запусков установки за счёт кумулятивных π^0 - мезонов возрастет до уровня 20 на каждый случай регистрации ω - мезона. Разумеется, оба способа можно совместить.

Для реализации описываемого проекта нет необходимости в сколь-нибудь существенных изменениях универсальной части спектрометра "РЕЗОНАНС", но, как отмечалось, для выделения кумулятивных ψ - и ω - мезонов и запуска установки нужна триггерная система, основу которой должен составлять черенковский годоскоп, состоящий из большого количества отдельных черенковских γ - спектрометров полного поглощения. Каждый из них представляет собой радиатор (квадратную в основании

призму из стекла ТФ-I) и фотоумножитель с отдельным каналом электроники для связи с ЭВМ. Стоимость их составит 70-80% всех средств, запрашиваемых на реализацию проекта.

Вообще говоря, черенковский годоскоп придаёт спектрометру "РЕЗОНАНС" и вообще установкам со стримерными камерами новое и весьма важное качество - способность регистрировать и измерять энергию не только заряженных частиц, но и γ - квантов, в том числе от распадов $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Как следствие, сильно расширяет возможности и область использования такого рода установок. В частности, весьма интересной представляется возможность регистрации K^+ - мезонов, остановившихся в радиаторах и распавшихся по радиационным модам, не сразу после остановки, а со сдвигом во времени, чтобы исключить имитацию, вызванную, например, γ - квантами от распада π^0 . Тем самым надёжно выделить случаи рождения K^+ - мезонов и, следовательно, возникших с ними частиц со странностью - I. Такой, K^+ - мезонный триггер обеспечивает возможность выполнения ряда важных исследований и в том числе поиски шестикварковых странных дибарионов, вопрос о существовании которых связывается с представлением о силах, связывающих кварки и глюоны в ядрах, и потому является одним из ключевых для квантовой хромодинамики и, следовательно, актуальным.

Как показало моделирование, такой K^+ - мезонный триггер со спектрометром "РЕЗОНАНС" позволит больше чем на два порядка ускорить набор экспериментального материала для поисков странных дибарионов, ведущихся на основе снимков пропановой камеры и тем самым вывести их из тупиковой ситуации.

Мы выражаем благодарность С.Б.Герасимову, А.Б.Говоркову и Г.И.Лыкасову за обсуждение теоретических аспектов проекта и В.Б.Любимову и Р.Тогоо за помощь в оценке фоновых событий.

ТРЕБУЕМЫЕ РЕСУРСЫ

1. Кап. строительство	350 т.р.
в том числе валюта I кат.	10 т.р.
"- "- II "-	25 т.р.
2. Ускоритель	1500 часов
3. КБ	1500 "
4. Механические работы	6000 "
5. ЭВМ ЕС-1055	1000 "
6. Материалы	50 т.р.
7. Командировки	5 т.р.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sakurai J.J., Ann. Phys. (NY), 1960, 11, p. 1
2. Sakurai J.J., Phys. Rev. Lett. 1966, 17, p. 102
3. Baldin A. Li, Gerasimov S. B. JINR, E2-11804, Дубна, 1978
4. В.В.Архипов и др. ОИЯИ, I-13012, Дубна, 1980.
5. В.В.Архипов и др., ОИЯИ, PI-81-504, Дубна, 1981.
6. В.В.Архипов и др., ОИЯИ, PI-82-614, Дубна, 1982
7. А.А.Аскарходжаев и др. Труды совещания по релятивистской ядерной физике, Д2-82-568, Дубна, ОИЯИ, 1982, с. 92.
8. Ю.Т.Борзунов и др. ОИЯИ, I3-80-30, Дубна, 1970.
9. Г.Г.Тахтамышев, ОИЯИ, I-80-64, Дубна, 1980.
10. С.А.Аверичев и др., ОИЯИ, PI-85-512, Дубна, 1985.
11. Б.С.Голубятникова, В.Л.Шмонин. Препринт ИФВЭ АН Каз ССР, 88-18, Алма-Ата, 1989.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР МЕТОДОМ ФОТОЭМУЛЬСИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

(Аннотация проекта СЛОН)

Руководители проекта: Толстов К.Д., Коваленко А.Д.

Авторы от ЛВЭ ОИЯИ: С.А.Аверичев, Н.А.Блинов, Л.Н.Бокова,
М.А.Воеводин, Ю.В.Гусаков, В.И.Каплин,
С.А.Краснов, Е.А.Матюшевский, А.Г.Муры-
зин, Ш.Э.Сайфулин, В.В.Смирнов, Г.С.Шабра-
това.

Организации, участвующие в реализации проекта: ИЯИЯЭ БАН (София),
ИФИ АН МНР (Улан-Батор), ИЯФ (Краков), ЦИФ (Бухарест), Ун-т (Коши-
це), ИЯФ (Ржеж), ИФВЭ Каз ССР (Алма-Ата), ЕрФИ (Ереван), ФТИ,
Ун-т (Душанбе), ТМИ (Душанбе), ЛИЯФ (Ленинград), ЛПИ (Ленинград),
РИ (Ленинград), ФИАН (Москва), ИТЭФ (Москва), МИСИ (Москва),
ФТИ (Ташкент), ИЯФ (Ташкент).

В исследованиях взаимодействий релятивистских ядер фотоэмульсия, представляющая собой одновременно 4П-детектор и мишень с набором целого ряда ядер, в силу наиболее высокого, в настоящее время, пространственного разрешения (~ 1 мкм) дает возможность получения уникальной информации о событиях с множественностью вторичных заряженных частиц вплоть до 400-500.

На материале облучения ядерных фотоэмульсий релятивистскими ядрами, полученными в ОИЯИ, работают 18 институтов из 6-ти стран-участниц Института.

В 1986-88 г.г. фотоэмульсионным сотрудничеством получен [1-5] ряд новых результатов по фрагментации ядер снарядов и мишени, в том числе полному разрушению ускоренных ядер ^{28}Si и ядер свинца, введенных в фотоэмульсию. Выяснен двухкомпонентный состав распределений по поперечным импульсам вторичных частиц, описываемый совокупностью распределений Релея. Получены данные, указывающие на проявление коллективных эффектов в релятивистских ядерных взаимодействиях, в частности:

- усиление эффектов, связанных с асимметрией (Рис.1) и коллинеарностью испускания частиц в азимутальной плоскости как при уменьшении

параметра столкновения, так и при увеличении атомного веса ядра-снаряда;

- наблюдение событий с большой плотностью быстрых частиц в пространстве псевдобистрот $\Delta\eta_s/\Delta\eta \gtrsim 100$ в интервале полярных углов вылета этих частиц $(30-60)^\circ$;

- выделение "особых" событий, в которых не наблюдается вылет быстрых частиц с углами, меньшими $(6-7)^\circ$, средний поперечный импульс быстрых частиц для этих событий составляет 0,6 ГэВ/с, что существенно ниже как значения $\langle P_\perp \rangle$ для всех взаимодействий, так и $\langle P_\perp \rangle$, полученного по каскадно-испарительной модели для такого рода событий ($\langle P_\perp \rangle \sim 0,35$ ГэВ/с (Рис.2)). Увеличение зарядов и энергии ускоряемых ядер представляет новые возможности в исследовании кулоновского возбуждения ядер и генерации частиц. Основываясь на впервые изученной нами ранее реакции $^{12}\text{C} + \text{A} \rightarrow \text{A} + 3\alpha$, можно ожидать, что сечение кулоновского возбуждения, например ядра аргона в реакции $^{40}\text{Ar} + \text{Ag}$, составит 20% от неупругого сечения.

Новые экспериментальные возможности, позволяющие более детально исследовать подобного рода явления, дает облучение ядерных фотоэмulsionей в сильном магнитном поле (установка СЛОН).

Установка СЛОН представляет собой мощную высоковольтную конденсаторную батарею с энергозапасом более 1,5 МДж, разряжаемую через управляемые коммутаторы тока на одновитковый соленоид специальной конструкции.

Ток в соленоиде достигает величины порядка нескольких миллионов ампер за период разряда $T \approx 100-150$ мкс. Установка содержит весь необходимый набор электронных систем и устройств для синхронизации, управления, контроля, формирования пучка с короткой длительностью и его мониторингования и на сегодня является уникальным прибором, не имеющим аналогов в мире.

В конце 1988 г. осуществлен пуск установки СЛОН, а в январе 1989 г. проведен первый методический сеанс на пучке протонов по облучению фотоэмulsionей. В этом сеансе магнитное поле было ~ 25 Тесла, к концу 1989 г. планируется проведение рабочего облучения при напряженности поля ~ 50 Тесла.

В следующем пятилетии будут проведены работы по усовершенствованию систем установки с целью достижения напряженности поля до 70-100 Тл.

Приведенная ниже таблица показывает возможности определения импульсов, зарядов и масс вторичных частиц в широком диапазоне энергий. Увеличение точности определения импульса, как видно из таблицы, возможно с увеличением длины L , по которой измеряется след.

Вторичные частицы	Импульс (ГэВ)	L (см)	D _{магн.} (мм) 50 T	10DT	D _{кул.}	D _{кул./D_{маг}} (50T) %
¹² C	60	1	37,5	75	3,1	8,3
		2	150	300	8,8	5,9
¹⁰ C	50	1	45	90	3,75	8,3
		2	180	360	10,57	5,9
протоны	5	1	75	150	6,2	8,3
		2	300	600	17,6	5,9
"-"	0,92	0,2	16,3	32,6	1,78	10,9
		0,5	102	204	13,0	12,8
"-"	0,22	0,2	68,8	137	7,61	11

На эмульсиях, облученных в сильном магнитном поле (установка СЛОН), будут исследоваться перечисленные выше эффекты, в том числе на пучках более тяжелых ядер (вплоть до урана) и на эмульсиях с введенными в них тяжелыми ядрами (например, свинца). Планируются поиск и изучение проявлений новых необычных свойств ядерной материи, в частности, проявлений кварк-глюонной фазы ядерной материи, на основе информации о энергии, массах и зарядах основной совокупности вторичных частиц при большом их числе в отдельных центральных взаимодействиях ядер.

При увеличении энергии ядерных пучков возможно проведение поисковых работ по рождению короткоживущих частиц в ядро-ядерных взаимодействиях (например, очарованных частиц).

Для получения в более короткие сроки статистически обоснованных результатов и исследований редких процессов необходимо проведение автоматизации просмотра и измерения. В настоящее время помимо выпуска автоматизированных микроскопов в странах-неучастниках ОИЯИ имеются конкурентоспособные разработки в ряде институтов СССР и ЧССР, позволяющие автоматизировать имеющийся в странах-участницах микроскопный парк.

Запланирован выпуск автоматизированного микроскопа на Ленинградской оптико-механической фирме ЛОМО. Необходим заказ не менее одного такого устройства, снабженного малой ЭВМ с ориентировочной стоимостью 100 т.р.

Необходимые ресурсы:

1. Финансирование:

а) капитальное строительство

- 0,5 млн.руб.

б) основная деятельность - 2,3 млн.руб.
 в том числе инвалют 1 категории - 20,0 тыс.руб.
 III категории - 300,0 тыс.руб.

Основные расходы по капитальному строительству связаны с необходимостью приобретения систем автоматизации просмотра и оборудования для установки СЛОН.

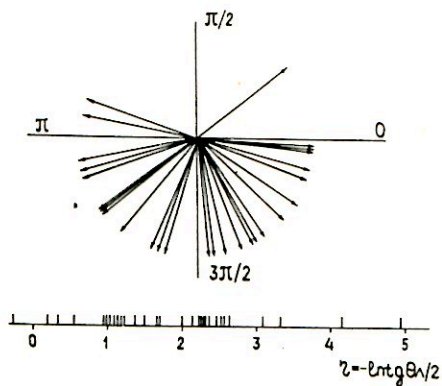


Рис. 1. Асимметрия вылета ливневых частиц (ξ) и их распределение по $\eta = -\ln \operatorname{tg} \theta/2$.

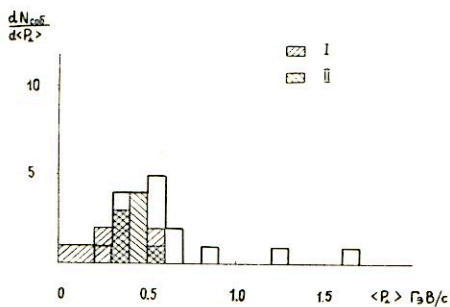


Рис. 2. Распределение по $\langle P_{\perp} \rangle$ для особых событий. I и II - расчеты по КИМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Р.Ванник et al. Zeit. fur Phys. A 329, 341 (1988).
2. С.А.Краснов и др. Сообщ.ОИЯИ P1-88-389 (1988)
3. В.А.Лескин и др. Краткие сообщ. ОИЯИ N17-86 (1986): с.5.
4. А.Абдужамилев и др. XX Междун.конфер. по космическим лучам. М.:Наука, том HE 1-2-4 (1987).
5. С.А.Краснов и др. Сообщ.ОИЯИ P1-89-213 (1989).

РАЗВИТИЕ ПОЛИРИЗАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕЯДРОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ
ЛЁГКИХ ЯДЕР И ПОИСК НОВЫХ ВЫСОКОВОЗБУЖДЁННЫХ АДРОННЫХ СИСТЕМ

ПРОЕКТ "ИНТЕСС-АЛЬФА"

Г.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов, С.В.Джухадзе, Б.Кюн, В.П.Ладугин,
Б.Науманн, Л.Науманн, А.А.Номофилов, Н.М.Никитюк, П.К.Маньяков,
Е.А.Матюшевский, Л.Пенчев, Л.Н.Струнов, В.И.Шаров,
А.И.Швинёв (ОИЯИ, Дубна, СССР), П.Михель, Т.Мюллер, В.Нойберт,
Э.Теш (ИФЭ, Россендорф, ГДР), Л.Антонов, И.Атанасов,
К.Дмитров, К.Янев (ИЯАНБ БАН, София, НРБ), Л.Визирева (ВХТИ, София),
А.П.Кобушкин (ИТФ, Киев, СССР)

1. УСТАНОВКА для таких исследований сотрудничеством "АЛЬФА"-ОИЯИ (ЛВЭ, ЛЯП, ЛТФ, ЛВТА); ИТФ АН УССР (Киев); КазГУ (Алма-Ата); ЛГУ, ЛИБР (Ратчина); ИЯФ СОАН СССР (Новосибирск), ЛГУ, ФИАН, ИТОФ, ИАЭ (Москва); ИЯАНБ, ИИЯЭ (БАН (София); ВХТИ (София); ИИЯИ АН ГДР (Россендорф); ИЯИ (Варшава); ИЯФ (Краков); ТашГУ (Ташкент); ИИЯИ (Будапешт), ФТИ (Харьков) - создаётся в корп. 205 ЛВЭ ОИЯИ согласно проекту "АЛЬФА-ПОЛИС". Выполнен её монтаж в двухплечевой геометрии, отлажена на пучке \vec{I} -ая очередь установки, в опытах по d р - рассеянию и фрагментации $\vec{d} \rightarrow p$, успешно реализуется актуальная программа поляризационных исследований структуры дейтрона на малых расстояниях и начаты на пучках релятивистских ядер пробные корреляционные эксперименты по исследованию высоковозбуждённых состояний d^* , α^* малонуклонных систем. Для этих исследований и предлагаемого их развития (см. 2А1-5, 2В) предстоит доукомплектовать установку многопроволочными детекторами с регистрирующей электроникой и другим оборудованием, необходимым для эксклюзивных измерений, модернизировать систему приёма, накопления и обработки данных, в том числе заменить ЭВМ ЕС1010, которая давно уже выработала свой ресурс. П. 2В - вне программы-минимум на пятилетку.

2. НАУЧНАЯ ПРОГРАММА И ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. Справедливость обоснования предложенных исследований подтверждена полученными в рамках выполнения проекта "АЛЬФА-ПОЛИС" приоритетными результатами мирового класса^{1,2/}: а) по стриппингу релятивистских ядер d , \vec{d} , He^3 , He^4 и их структуре на малых межнуклонных расстояниях (в том числе по спиновой структуре дейтрона из реакции фрагментации встроённых дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с, где впервые измерена тензорная анализирующая способность $T_{20}(K)$ вплоть до значений внутреннего импульса фрагмента $K = 0,6$ ГэВ/с); сравнение результатов расчётов с "реалистическими" потенциалами и наших данных по фрагментации лёгких ядер указывает на важную роль ненуклонных степеней свободы при расстояниях, меньших 1 фм; б) по коллективному возбуждению дельта-изобарных степеней свобо-

ды ядер C_{12} в процессах перезарядки при O^0 гелия-3 в тритоны при релятивистских энергиях $/2/$. Полученная оригинальной и высокоэффективной методикой совокупность прецизионных данных (раскрывающих структуру легчайших ядер на малых межнуклонных расстояниях и свойства дельта-изобарных возбуждений в ядерной среде) показала актуальность и конкурентоспособность развития дальнейших исследований на установке "АЛБ - ФА" на выведенных пучках релятивистских ядер. По сравнению с применяемыми и планируемыми $/3/$ на пучках электронов методиками измерения тензора поляризации дейтрона $T_{20}(K)$ при больших внутренних импульсах K разработанный авторами $/1/$ метод даёт порядки выигрыша в скорости счёта при исследованиях $T_{20}(K)$ на пучках выстроенных дейтронов. Это позволяет продвинуть в Дубне поляризационные исследования дейтрона вплоть до $K \sim 1000$ МэВ/с - в область, недоступную для поляризационных исследований на пучках электронов $/3/$, где сильно различаются предсказания о структуре "кора" дейтрона (как консервативных моделей с KK -конституентами, так и "КХД - мотивированных" $/3/$) и для результатов опытов А1-4.

А. Планируется получить данные о (1) фрагментации выстроенных дейтронов вплоть до $K \sim 1$ ГэВ/с. При этом учитываются возможности повышения интенсивности пучка поляризованных дейтронов синхрофазотрона и для некоторых опытов - повышение энергии пучка на новом ускорителе. (2) В опытах по стриппингу векторно-поляризованных дейтронов синхрофазотрона будет измерена K -зависимость поляризации протонов - спектаторов. (3) Дополнительно, но с той же целью - определения K зависимости поляризации протона в дейтроне - будут выполнены эксклюзивные светосильные эксперименты. Высокая светосила эксклюзивного эксперимента, на порядки превышающая светосилу опыта (2), связана с тем, что предварительно не создаётся пучок спектаторных протонов. Поляризация протона-конституента дейтрона измеряется по лево-правой асимметрии его рассеяния на протоне-мишени, взаимодействие с которым и приводит к фрагментации дейтрона. (4) С использованием аналогичной геометрии опыта эксклюзивных измерений, при известном механизме реакции рассеяния фрагмента - конституента налетающего ядра (d , 3He , 4He) будут получены новые данные по импульсным распределениям конституентов легчайших ядер вплоть до ~ 1 ГэВ/с. (5) В экспериментах на высокоинтенсивном релятивистском пучке 4He , при стриппинге $^4He \rightarrow d$ и поляриметрии дейтронов-спектаторов (с импульсом $0 < K \leq 400$ МэВ/с), будут проведены исследования роли тензорных сил в dd - конфигурации альфа-частицы $/4/$.

Совокупность данных (1)-(5), вместе с уже полученными на установке "АЛБФА" результатами инклюзивных измерений стриппинга d , \bar{d} , 3He , 4He и данными экспериментов по рассеянию электронов, позволит сделать

более определённые заключения о структуре ядерной материи в широком диапазоне внутриядерных расстояний: от больших (больше 1 фм), где конститuentами ядра являются нуклоны и, в какой-то степени, изобары, до малых (примерно 0,1 фм) расстояний, где, надо думать, доминируют ненуклонные конститuentы. Можно с уверенностью полагать, что весьма актуальная физика этой переходной области будет интенсивно исследоваться в ближайшее десятилетие — здесь смыкается физика высоковозбужденных состояний (релятивистская ядерная физика) с физикой элементарных частиц и высоких энергий.

Б. В поисковых исследованиях d^* , Δ^* будут использованы разные способы их возбуждения и наблюдения, проработанные в проекте "АЛЬФА-ПОЛИС". Суть их состоит в корреляционных исследованиях на высокоинтенсивных пучках релятивистских ядер при обеспечении чувствительности ≈ 1 нб и разрешения по эффективным массам от ~ 1 МэВ до ~ 10 МэВ (в зависимости от величины возбуждения). Увеличение на нуклотроне энергии пучков лёгких ядер и, главное, растяжки пучка в десятки раз, может оказаться решающим фактором при поиске многокварковых систем d^* , Δ^* и других экзотических адронных систем.

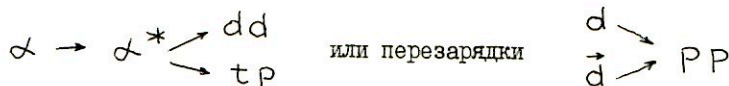
В. Повышение почти в два раза энергии выведенных пучков ядер ${}^3\text{He}$, d , \bar{d} , ускоренных нуклотроном, позволит, отчасти апробированным способом ^{/2/}, отчётливее и полнее выявить роль мезонов и дельта-изобар (не только Δ_{33}) в спин-изоспиновом возбуждении ядерной материи, возникающем при ($\text{He}^3 \rightarrow t$ или $d \rightarrow pp$) перезарядке под 0^0 , и проработать перспективы таких исследований при еще более высоких энергиях. Именно при таких специфических условиях возбуждения следует ожидать (возможно, уже при энергии нуклотрона) фазового перехода из чисто нуклонной фазы к изобарной фазе ядерного вещества ^{/5/}. Его поиск может быть осуществлен в исследованиях функции отклика $f(E_{\text{He}} - E_t)$ уже хорошо апробированной нами методикой в процессах (${}^3\text{He}$, t) перезарядки; применение спектрометрической системы детекторов, окружающих мишень, обеспечит в этих экспериментах эксклюзивность анализа при высоком энергетическом разрешении. Сравнение таких данных на протонной мишени и ядерных (d , He , Li , Be , C , ... U) позволит извлечь уникальную информацию, как о механизме перезарядки, так и свойствах резонансов в пустоте и ядерной материи. Уже полученные нами на синхрофазотроне ОИЯИ данные указывают на существенно нетривиальное поведение ядерной материи при возбуждении в ней Δ - изобар.

Высокая светосила и разрешающая способность создаваемого оборудования для измерения под малыми углами пар быстрых заряженных частиц (p^+p^- , K^+K^- , e^+e^- , $\mu^+\mu^-$) позволяет наблюдать рождение в пучках протонов и релятивистских ядер векторных мезонов ρ , ω , φ (в том числе в кумулятивной области) на водородной и ядерной мишенях. По-ви-

димому, особо подходят для таких исследований области эффективных масс в районе массы φ -мезона. Систематическое отслеживание выхода K^+K^- -пар φ -мезона и его формы линии - при вариации масс сталкивающихся ядер (вплоть до UU -столкновений) - вероятно, позволит наблюдать фазовые переходы ядерной материи.

Таким образом, реализация программы позволит в оптимальных условиях получить результаты, существенно влияющие на создание теории фундаментальных взаимодействий - провести поиск наиболее ярких ожидаемых эффектов в релятивистской ядерной физике (метастабильные двенадцатикварковые и $6q$ -состояния d^*, α^* , а также экзотические мультибарионные состояния с высоким изотопическим спином $^{6/}$). Кроме того, она обеспечит исследование структуры легчайших ядер на рекордно малых расстояниях, поиск и изучение супервозбужденного ядерного вещества.

3. ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ, РЕСУРСЫ, КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ. Приведенная схема измерений уже используется в опытах по проекту "АЛЬФА-ПОЛИС" (примерно 1,6 тыс. каналов информации с ПК, сцинтилляционного годоскопа, $\Delta E-E$ - телескопов отдачи, времяпролетных сцинтилляционных счётчиков и пороговых черенковских счётчиков) и будет развита (до ~ 8 тыс каналов регистрации) для исследований по проекту "ИНЕСС-АЛЬФА", п.2А,Б, в т.ч. для первоочередных исследований d^*, α^* в реакциях дифракционной диссоциации



на протонах и ядрах при доступных энергиях и интенсивностях пучков альфа-частиц и (поляризованных) дейтронов.

ТИПЫ ДЕТЕКТОРОВ И ОБОРУДОВАНИЕ двухплечевой системы в основном описаны в проекте "АЛЬФА-ПОЛИС". Предстоит дополнить эту систему пропорциональными камерами, в т.ч. с косой намоткой, сцинтилляционными годоскопами, широкоапертурными черенковскими счётчиками, мишенями и другим оборудованием.

Установка "ИНЕСС-АЛЬФА" на высокоинтенсивном пучке нуклотрона с растяжкой вывода до 9 с.ч. позволит проводить эффективный поиск высоковозбужденных состояний d^* и α^* при сечениях их генерации $\lesssim 1$ нб и разрешении по эффективным массам от 1 до 10 МэВ в широком диапазоне исследуемых энергий возбуждения (от десятков МэВ до нескольких ГэВ).

На начальном этапе эксклюзивных исследований структуры лёгких ядер (см. п.А раздела 2) в качестве системы ДОМ можно использовать имеющиеся $\Delta E-E$ -детекторы в плечах отдачи, дополнив их координатными детекторами - пропорциональными камерами (ПК). Предварительно обсуждена с ЛИЯФ и ЦИФИ возможность использования уже работающего (Сатурн) широкоапертурного плеча отдачи такого типа (ПК, $\Delta E, E$).

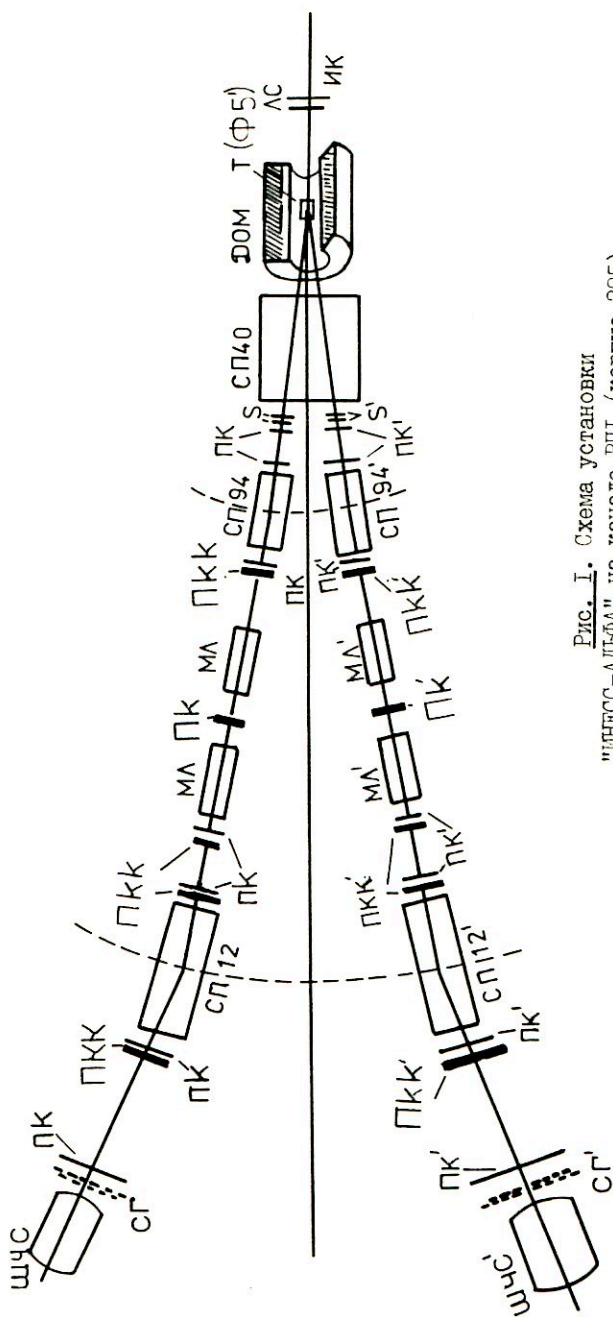


Рис. 1. Схема установки
"HESS-ALFA" на канале ВПИ (корпус 205).

Т - мишень в фокусе Ф5' канала ВПИ, ДОМ - детектор окружения мишени, ЛС - лавинный счётчик (монитор пучка, ИК - ионизационные мониторы пучка, СП12, СП94, СП40 - магниты, МЛ - квадратные линзы, S - сцинтилляционные счётчики, ПК - многопролочные пропорциональные камеры, ПКК - ПК (U, V, W) с кривой намоткой U, W - плоскостей, СГ - сцинтилляционные годоскопы, ШС - широкоапертурные черенковские счётчики. При выполнении некоторых пунктов программы СП-40 включен, МЛ, МЛ' выводятся из апертуры установки.

До конца 1990 года будут использоваться ЕС1010 и ПЭВМ, подклю-
 ченные к её шине ввода - вывода; одновременно будут развиваться прог-
 раммное обеспечение для работы *on-line* и разрабатываться транспью-
 терные платы. В 1991-1992 г.г. крайне необходимо заменить ЕС1010 на
 современную супер-мини-ЭВМ с дисковыми и ленточными накопителями
 большой ёмкости и программно совместимую с работающими ПЭВМ. Таким
 образом, система автоматизации установки будет создаваться на базе
 сети ПЭВМ на линии с аппаратурой регистрации (в стандарте КАМАК, VME
 и FAST BUS) и общей для них супер-мини-ЭВМ. Необходимая произ-
 водительность системы обеспечивается включением 32-разрядных
 микропроцессорных модулей (транспьютерных плат). Транспьютерные пла-
 ты, содержащие арифметическое устройство, память и унифицированные
 скоростные каналы обмена обеспечат систему необходимыми связями,
 распараллеливанием съёма и обработки данных.

В качестве развитой спектрометрической системы ДОМ (необходимой,
 в частности, для исследований по п.2В, не включаемых в программу-ми-
 нимум на следующую пятилетку) можно использовать создаваемые в ЛЯП
 ОИЯИ спектрометры "ПИОН" или "АРЕС" с близкой к 4π цилиндрической
 геометрией трековых и сцинтилляционных детекторов и с подходящими
 осевыми отверстиями для пучка и мишеней. С физиками ЛЯП и ИАО прора-
 батывается их совместное использование в качестве ДОМ (по приведён-
 ной схеме) в опытах по п.2В и исследованиях реакций типа $d\rho \rightarrow \eta^3\text{He}$ ^{7/}
 вблизи порога (в которых открываются уникальные возможности для
 изучения редких распадов меченых η - мезонов, а с другой стороны -
 для поиска и исследования резонансных особенностей в высоко возбу-
 жденных малонуклонных системах).

НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ НА 1991-1995 г.г. Капитальные вложения
 I,15 млн. руб. (в том числе валюта I-категории 30,0 тыс. руб., валю-
 та III - категории 700,0 тыс. руб.). ДЛЯ СОЗДАНИЯ детекторов и мишеней
 0,3 млн. руб.; электроники регистрации 0,5 млн. руб.; он-лайн систе-
 мы 0,35 млн. руб.; ОП ОИЯИ 20 тыс. н/ч , ЦОЭП ЛВЭ 10 тыс. н/ч ;
 У-10 (нуклотрон) 4 тыс. ч ; ЭВМ (ЦВК) 2,5 тыс. ч .

Высокая КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ программы поиска и исследований но-
 вых высоковольтных адронных систем определяется параметрами пучка
 синхрофазотрона и нуклотрона (высокая энергия, интенсивность и растяж-
 ка выведенных пучков лёгких ядер и поляризованных дейтронов), свето-
 сильной схемой эксперимента, высоким разрешением по массе возбужден-
 ной системы и высокой степенью избирательности к нужному классу собы-
 тий, которая связана с возможностью соответствующей настройки геомет-
 рии установки и триггерной системы. Ускорение на синхрофазотроне и
 нуклотроне поляризованных дейтронов и их использование на установке

"ИНЕСС-АЛЬФА" обеспечит исследование поляризационных эффектов, недоступных во всех планируемых экспериментах на пучках электронных ускорителей^{/3/}. Параметры поляризованного пучка дейтронов и развитие установки позволят выполнить поиск и исследование, в реакции $\vec{d} \rightarrow pp$ перезарядки, дибарионных резонансов на высоком уровне по статистике, $\sim 10^5$ событий, разрешению по массе $\Delta M \sim 1$ МэВ, с дополнительными важными возможностями наблюдения резонансных особенностей в поведении тензорной и векторной асимметрии в зависимости от M_{pp} .

В работах по проекту "ИНЕСС-АЛЬФА" предполагается участие (наряду с указанными выше сотрудниками и другими соавторами выполненных на установке "АЛЬФА" работ^{/1/, /2/} и др.) ряда новых специалистов из лабораторий ОИЯИ, стран-участниц и западных центров (Сатурн, БНЛ и др.)

- 1.а) V.G. Ableev et al. Nucl. Phys. 1983, A393, p.492; A411, p.541E.
- б) С.А. Запорожец и др. В кн. Труды 8-го Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, ОИЯИ, ДД, 2-86-668, Дубна, 1986, т. I., с. 341.
- в) В.Г. Аблеев и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 45, с. 467.
- г) В.Г. Аблеев и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, т. 47, с. 558.
2. В.Г. Аблеев и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, с. 35.
V.G. Ableev et al. Preprint JINR E1-87-242, Dubna 1987.
В.Г. Аблеев и др. Препринт ОИЯИ PI-87-374, Дубна, 1987.
3. Обзор Арвью и Камерона в "Adv. Nucl. Phys.", 1987, 19, p. 107.
4. J.F. Germond, C. Wilkin. J. Phys. G: Nucl. Phys. 1987, 13, p. L259.
5. Д.И. Дьяконов, А.Д. Мирлин. ЯФ, 1988, т. 47, вып. 3, с. 662.
6. В.Г. Аблеев и др. Краткие сообщения ОИЯИ №13-85, с. 5, Дубна, 1985 г.
Л.А. Кондратюк, А.В. Василец. Препринт ИТЭФ I28-88, Москва, 1988 г.
В.Б. Копелиович, Б.Е. Штерн. Письма в ЖЭТФ, т. 45, вып. 4, с. 165.
E. Braaten, L. Carson. Phys. Rev. D, 1988, v. 38, p. 3525.
7. J. Berger et al. Nouvelles de Saturne, 1989, 13, p. 37.
R. Beurtey et al. Nouvelles de Saturne, 1989, 13, p. 63.

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ЛЕГКИХ ЯДЕР И КОЛЛЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ

Сотрудничество "АЛЬФА"*

ОИЯИ (ЛВЭ, ЛЯП, ЛТФ, ЛВТА); ЦИЯИ АН ГДР (Россендорф); ИТФ АН
УССР (Киев); КазГУ (Алма-Ата); ЛЯЯФ (Гатчина); ИЯФ СОАН СССР
(Новосибирск); ИТЭФ (Москва); ЦЛАНП БАН (София); ИЯИЯЭ БАН
(София); ВХТИ (София); ИЯП (Варшава); ИЯФ (Краков); ТашГУ
(Ташкент); ЦИФИ (Будапешт); ИАЗ (Москва); МГУ (Москва); ФИАН
(Москва)

Установка "ИНЕСС-АЛЬФА"

В аннотации предлагается развитие исследований структуры легких ядер от дейтрона до ${}^4\text{He}$, начатых ранее, а также исследований по коллективным возбуждениям нуклонных резонансов (Δ -изобар) в ядрах. Основные итоги уже проведенных исследований сводятся к следующему /1-9/.

Импульсные распределения (ИР) нуклонов и более тяжелых фрагментов в ядрах, полученные из реакций $A(d,p)$, $A({}^3\text{He},p)$, $A({}^3\text{He},d)$, $A({}^4\text{He},p)$, $A({}^4\text{He},t)$, хорошо согласуются с ИР, извлеченными из экспериментальных данных по электродезинтеграции легких ядер. Экспериментальные ИР не описываются расчетами с использованием реалистических NN-потенциалов. Недавно полученные данные по анализирующей способности T_{20} реакции $A(d^{\uparrow},p)$ дают указания на то, что S-волновая компонента волновой функции дейтрона, взятая в импульсном представлении, не меняет знака, тогда как для большинства реалистических NN-потенциалов такое изменение должно происходить. Аналогичное указание следует из данных по реакции $({}^4\text{He},t)$. Существует, однако, ряд расчетов, которые объясняют наблюдаемые эффекты вкладом механизмов взаимодействия в конечном состоянии. Неоднозначность интерпретации имеющихся данных требует дальнейшего экспериментального изучения процессов, характеристики которых в сильной степени определяются структурой легких ядер. Для дейтрона эту неоднозначность, возможно, устранят данные эксперимента по изучению передачи поляризации от дейтрона к протону (июль 1989 г., данные обрабатываются).

*) Авторами данной аннотации, составленной с использованием материалов сотрудничества "АЛЬФА", являются: В.Г.Аблеев, Л.Визирева, В.М.Гребенюк, С.А.Запорожец, Б.Кюн, Л.Пенчев, Н.М.Пискунов, И.М.Ситник, Е.А.Строковский.

При исследованиях реакции перезарядки ядер гелия-3 в тритоны на углероде было впервые обнаружено, что главный вклад в сечения реакции дает процесс Δ -изобарного возбуждения ядра-мишени, имеющий признаки коллективности. К этому заключению приводит сравнение полученных сечений с сечениями $p(^3\text{He}, t)\Delta^{++}$ -реакции, а также анализ эффектов ферми-движения нуклонов в ядре и глауберовские расчеты. На повестке дня - более детальное изучение характеристик таких коллективных мод Δ -возбуждения ядер (от легких до тяжелых). Представляет интерес также и вопрос о возможных коллективных эффектах при возбуждении страных резонансов в ядрах.

Развитие установки по проекту "Альфа-Полис" находится в следующей стадии.

В корпусе 205 синхрофазотрона ЛВЭ создана I-я очередь двухплечевой установки с водородной мишенью, состоящая из двух магнитных спектрометров с пропорциональными камерами (1,5 тыс. каналов регистрации), сцинтилляционных и пороговых черенковских счетчиков (далее-"быстрые плечи"). Введена в эксплуатацию время-пролетная система с разрешением около 2 нс, позволяющая выделять события с быстрой частицей в каждом из плеч. Отлажены два телескопа сцинтилляционных счетчиков для регистрации частиц отдачи, вылетающих из мишени под углом, близким к 90° . Расширена система on-line анализа зарегистрированных событий путем подключения ПЭВМ "Правец-16" к ЭВМ ЕС1010. Начаты работы по оснащению пропорциональных камер с косою намоткой новой регистрирующей электроникой на 6 тыс. каналов.

Установка позволяет использовать ее как поляриметр. Измерения как векторной, так и тензорной поляризации выполняются с помощью анализирующей реакции упругого $d p$ -рассеяния со статистической точностью $\approx 5\%$ за 15 минут, и могут проводиться в ряде экспериментов одновременно с основными. На одном из плеч спектрометра проведены эксперименты по измерению анализирующей способности $d \uparrow \rightarrow p$ фрагментации (T_{20}) и определению передачи поляризации от дейтрона к протону.

Проведен методический сеанс по изучению процесса $d + p \rightarrow p + p + X$ с использованием двух быстрых плеч спектрометра. Обработка данных показала, что для работы в пучках с интенсивностью больше $5 \cdot 10^8$ (что необходимо для повышения светимости эксперимента) требуется:

1) улучшение характеристик время-пролетной системы (разрешающее время до 0,2 нс),

2) введение в эксплуатацию новых пропорциональных камер, что обеспечит возможность анализа многотрековых событий в каждом из быстрых плеч,

3) кардинальное расширение вычислительного комплекса установки, без чего будет невозможна качественная работа с двумя быстрыми плечами спектрометра. До конца 1990 г. будут использоваться мини-ЭВМ и ПЭВМ,

подключенные к ее шине ввода-вывода; одновременно будут развиваться программное обеспечение для работы on-line и разрабатываться транспьютерные платы. В 1991-1992 гг. крайне необходимо заменить мини-ЭВМ на современную супер-мини-ЭВМ с дисковыми и ленточными накопителями большой емкости и программно совместимую с работающими ПЭВМ.

Таким образом, система автоматизации установки будет создаваться на базе сети ПЭВМ на линии с аппаратурой регистрации в стандарте КАМАК (VME и FASTBUS) и общей для них супер-мини-ЭВМ. Необходимая производительность системы обеспечивается включением 32-разрядных микропроцессорных модулей (транспьютерных плат). Транспьютерные платы, содержащие арифметическое устройство, память и унифицированные скоростные каналы обмена, обеспечат систему необходимыми связями, распараллеливанием съема и обработки данных.

4) Для ряда экспериментов потребуются также широкопертурные черенковские счетчики и детекторы регистрации медленных частиц, вылетевших вперед.

Указанное развитие установки необходимо для выполнения следующей программы физических исследований.

А. Исследования на пучке поляризованных дейтронов.

1) Измерение T_{20} реакции упругого dp рассеяния назад в интервале импульсов $3 \div 5$ ГэВ/с (мировые данные до $\approx 3,7$ ГэВ/с).

2) Упругое рассеяние $d \uparrow p$ при векторной и тензорной поляризациях пучка при нескольких энергиях (возможно, $d \uparrow p \uparrow$ с использованием поляризованной мишени).

3) Дальнейшее продвижение к кинематическому пределу в изучении T_{20} реакции $d \uparrow \rightarrow p$ фрагментации (одновременно - измерение T_{20} для глубоконеупругого $d \uparrow \rightarrow d$).

4) То же - в изучении передачи поляризации от дейтрона к протону (и от дейтрона к дейтрону при глубоконеупругом рассеянии).

5) Эксклюзивные измерения реакции $p(d \uparrow, p)p$ (наблюдателем является нейтрон) совместно с ДИИФ (Гатчина).

6) Изучение анализирующей способности реакции подхвата $p(d \uparrow, {}^3\text{He})$ при нескольких энергиях.

Реакция (1) представляет интерес по следующим причинам. В рамках модели одноклонного обмена, сформулированной с использованием переменных светового фронта, данные по этой реакции дают ИР нуклонов в дейтроне, хорошо совпадающее с ИР из данных по $d \rightarrow p$ фрагментации практически во всем интервале импульсов протона-спектатора в системе покоя дейтрона (q). Значения T_{20} для этих реакций совпадают, начиная с $q \approx 0,25$ ГэВ/с. Измерения (1) позволят проследить эту тенденцию (совпадение T_{20}) при $q > 0,4$ ГэВ/с.

Эксперимент (2) необходим для опыта (4) и представляет самостоятельную ценность для задач поляриметрии. Кроме того, существующие данные по упругому dp -рассеянию с неполяризованными

дейтронами объясняются как с привлечением ненуклонных степеней свободы в дейтроне, так и через различные глауберовские поправки. Поляризационные характеристики этого процесса будут хорошим тестом существующих моделей.

Эксперименты (3) и (4) важны в связи с тем, что в рамках импульсного приближения (ИП) данные о любой из указанных реакций совместно с данными о сечениях $d \rightarrow p$ фрагментации предсказывают поведение соответствующей характеристики для другой реакции (из (3) следуют предсказания для (4) и наоборот). Поэтому их изучение в широком интервале импульсов протона-наблюдателя позволит однозначно определить область, где доминирует механизм ИП и разделить (в этой области) S- и D-компоненты волновой функции дейтрона.

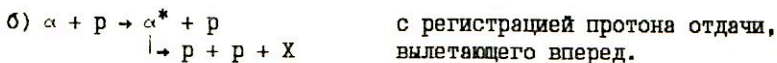
Актуальность эксперимента (5) окажется весьма высокой, если эксперименты (3,4) не подтвердят доминирования механизма ИП в каких-либо областях по импульсу протона-спектатора.

Эксперимент (6), видимо, прольет свет на природу расхождения IP фрагментов в ${}^3\text{He}$ с расчетами.

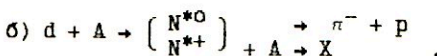
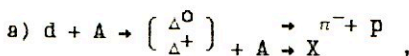
Б. Исследования на неполяризованных пучках в 2-плечевой конфигурации.

Мы считаем наиболее приоритетными следующие задачи.

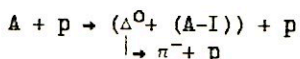
7) Поиск узких возбужденных состояний в α -частице в реакциях



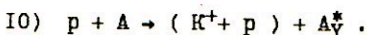
8) Поиск ненуклонных степеней свободы в дейтроне



9) Изучение коллективных Δ -изобарных возбуждений в ядрах в реакциях



с регистрацией π^- и p (в быстрых плечах спектрометра) и медленного протона отдачи, вылетающего вперед, а также поиск коллективных эффектов при возбуждении в ядрах резонансов со странностью:



Эксперимент (7) нацелен на поиск узких резонансов с возбуждением вплоть до величины ≈ 1 ГэВ в ${}^4\text{He}$, предсказываемых некоторыми моделями КХД. Наиболее ожидаемый канал распада такого состояния $\Delta^* \rightarrow 4N$. В этом случае регистрация протона отдачи вперед будет сигнализировать о дифракционном возбуждении Δ^* , регистрация одного или двух протонов в быстрых плечах и метод недостающих масс позволят определить спектр возбужденных состояний Δ^* . Надежно установить существование резонанса можно в канале распада $\Delta^* \rightarrow t + p$, однако светимость такого канала существенно ниже по сравнению с каналом $\Delta^* \rightarrow 4N$.

В настоящий момент нет недостатка в моделях дейтрона с вкладом шестикварковых мешков, проецирующихся на состояния $(\Delta\Delta)$, (N^*N^*) и т.д. Существующие экспериментальные данные ($t+d$ реакция) дают оценки для вклада $(\Delta\Delta)$ -состояния в дейтрон в пределах 0,5–3,5%. Эксперимент (8) внесет вклад в решение этой проблемы.

Опыты (9), (10) позволят продолжить изучение высоких коллективных возбуждений ядерной материи и, возможно, ответят на вопрос о существовании коллективных возбуждений со странностью. Есть основания полагать, что они существуют, однако экспериментальных указаний на это пока нет, поскольку данные по K^+A -взаимодействию при импульсах $\approx 1-2$ ГэВ/с практически отсутствуют. Отметим, что указания на существование коллективных эффектов с Δ -изобарами в ядрах появились после 1970 г., когда были получены подробные данные по πA -взаимодействию.

В стадии обсуждения находится постановка эксперимента $d + p \rightarrow p + p + n$ с целью обнаружения резонансов в (pn) -системе, а также с целью определения сечения (ΔN) взаимодействия.

Возможности сотрудничества и состояние установки таковы, что не позволяют рассчитывать на реализацию (в течение пятилетки) всех перечисленных экспериментов, тем более, что опыты (5), (6), (8), (9) и (10) нуждаются в более тщательной проработке. Вместе с тем относительная важность некоторых экспериментов может измениться в результате появления новых данных, в том числе по предложенной программе. Поэтому мы, намечая как первоочередные эксперименты на первую половину пятилетки опыты (1–4) поляризационной части и эксперимент (7), считаем правом коллаборации скорректировать физическую программу в ходе реализации проекта.

В перспективе возможно сотрудничество с физиками из ЧССР, основанное на применении имеющейся у них поляризованной мишени.

При выполнении некоторых экспериментов предполагается сотрудничество с группой МАСПИК.

Ресурсы, необходимые для реализации данного предложения

в 1991–1995 гг. составляют 1,15 млн. руб. (из них 0,6 млн. руб. – валюта третьей категории и 0,03 млн. руб. – валюта первой категории). На замену и расширение on-line системы требуется 0,4 млн.руб., а на

создание детекторов и электроники к ним - 0,715 млн. руб.. В рамках затрат ОИЯИ и ЛВЭ необходимо выделение 3 тыс. ч ускорительного времени, 6 тыс. ч на ЭВМ ЛВЭ и ОИЯИ, 12,5 тыс. ч в мастерских ЛВЭ и 15 тыс. часов в ОП ОИЯИ.

Авторы выдвигают ответственными исполнителями предлагаемого проекта Н.М.Пискунова и И.М.Ситника.

В реализации проекта предполагается участие следующих физиков и специалистов:

ОИЯИ - В.Г.Аблеев, В.К.Балашов, Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов, В.М.Гребенюк, С.В.Джмухадзе, С.А.Запорожец, Б.Кюн, В.П.Ладугин, А.А.Номофилов, П.К.Маньяков, Л.Пенчев, Н.М.Пискунов, И.М.Ситник, Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов, А.П.Цвинев, Е.В.Черных, В.И.Шаров; ЦИЯИ АН ГДР - П.Михель, Х.Мюллер, Б.Науманн, Л.Науманн, В.Нойберт, З.Теш; ИТФ АН УССР - А.П.Кобушвин; ИЯФ СОАН СССР - В.Ф.Дмитриев; ЦЛАНП БАН - И.Атанасов, Х.Димитров, К.Янев; ВХТИ - Л.Визирева; ТашГУ - М.В.Токарев; ИАЭ - Ю.В.Гапонов; МГУ - В.Г.Неудачин; ФИАН - В.А.Карманов и др., которые приняли активное участие в формировании и обсуждении физической программы и путей развития установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.G.Ableev et al., Nucl.Phys.1983,A393,p.492;A411,p.541E.
2. В.Г.Аблеев и др., Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, с.35.
3. С.А.Запорожец и др., В кн. Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, ОИЯИ, ДП.2-86-666, Дубна, 1986, т.1, с.341.
4. В.Г.Аблеев и др., Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, с.467.
5. V.G.Ableev et al., Preprint JINR E1-87-242, Dubna, 1987.
6. В.Г.Аблеев и др., Препринт ОИЯИ PI-87-374, Дубна, 1987; ЯФ, 1988, т.48, с.27.
7. V.G.Ableev et al., Preprint JINR E1-88-250, Dubna, 1988.
8. В.Г.Аблеев и др., Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, с.558.
9. V.G.Ableev et al., Preprint JINR E1-89-341, Dubna, 1989.

А Н Н О Т А Ц И Я

программы экспериментов по релятивистской ядерной физике на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ в 1991–1995 г.г. с помощью двухплечевого магнитного спектрометра МАСПМК

Ответственный руководитель Л.С.Ажгирей

Список участников: Л.С.Ажгирей, Г.Ф.Акимова, Л.В.Будкин, И.К.Взоров, В.Н.Емиров, Т.Ф.Емирова, П.В.Зрелов, В.З.Иванов, М.А.Игнатенко, Ю.А.Кожевников, А.С.Кузнецов, С.В.Разин, Г.Д.Столетов, Э.Мулас, Н.П.Юдин

Предлагаемая программа экспериментов является продолжением исследований механизма ядерных реакций при релятивистских энергиях с помощью двухплечевого магнитного спектрометра МАСПМК на пучках частиц синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ.

В этих исследованиях уже получены следующие результаты.

1. Изучены импульсные спектры вторичных протонов и дейтронов, испускаемых с большими поперечными импульсами в соударениях релятивистских дейтронов с ядрами, и выявлена важная роль эффектов многократных нуклон-нуклонных столкновений во взаимодействиях релятивистских ядер^{/1,2/}.

2. Получена оценка верхней границы дифференциального сечения образования узких дибарионных резонансов в реакции ${}^1_0\text{H}(d,p)d^*$ при 9 ГэВ/с^{3/}.

3. Показано, что данные о когерентных неупругих взаимодействиях релятивистских дейтронов с протонами, полученные при передачах импульса дейтрону 0,8–1,5 (ГэВ/с)², могут служить источником информации о параметрах взаимодействия короткоживущих нуклонных резонансов с нуклонами^{/2/}.

4. Обнаружена универсальность формы высокоимпульсных частей спектров протонов, испускаемых с большими поперечными импульсами в реакциях фрагментации релятивистских дейтронов на ядрах^{/1/} (см. рис.1). Тем самым показано, что изучение таких процессов является эффективным средством исследования структуры релятивистского дейтрона.

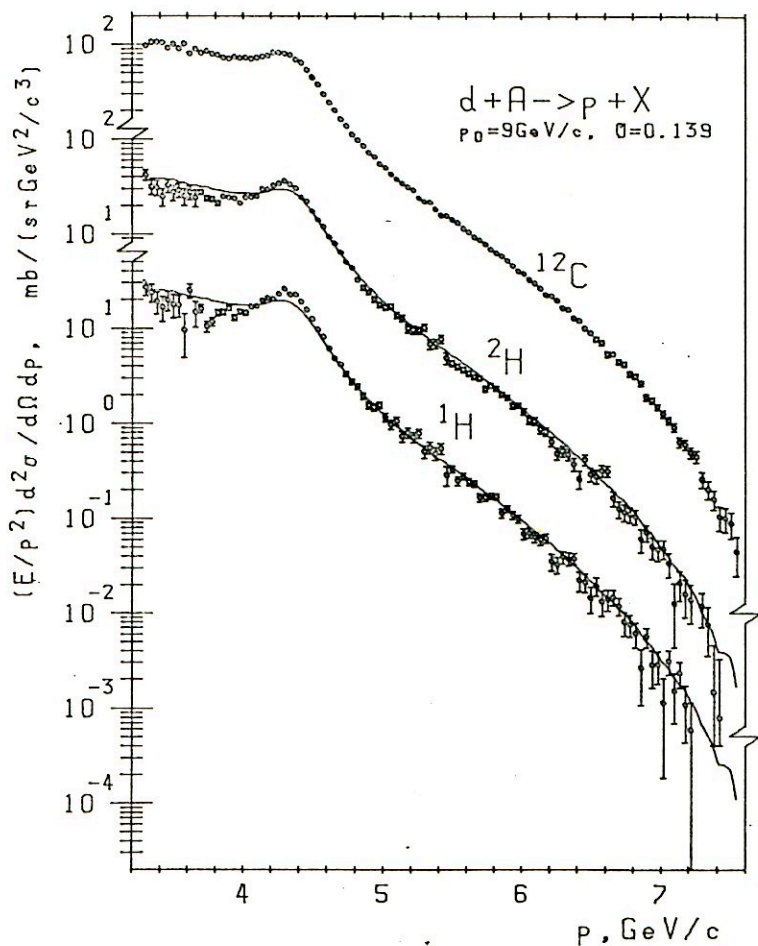


Рис. I. Импульсные спектры протонов, зарегистрированных под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом $9 \text{ ГэВ}/c$ с ядрами водорода, дейтерия и углерода. Сплошные кривые — результат сплайн-интерполяции инвариантного дифференциального сечения для углеродной мишени, умноженный на коэффициенты $0,371$ и $0,243$.

5. Анализ спектров протонов, образующихся в реакции ${}^1_0\text{n}(\text{d}, \text{p})\text{x}$ при 9 ГэВ/с, выполненный в рамках релятивистской модели жестких соударений, показал^{/1,4,5/}, что импульсное распределение нуклонов в дейтроне, полученное из экспериментальных данных в рамках этой модели, согласуется с распределениями, извлеченными из данных о реакциях ${}^2_0\text{n}(\text{e}, \text{e}')\text{x}$ ^{/6/} и ${}^1_0\text{n}(\text{d}, \text{p}(\theta^{\circ}))\text{x}$ ^{/7/}, но отличаются от распределений, предсказываемых нерелятивистскими потенциальными моделями нуклон-нуклонных взаимодействий^{/8,9/}.

Схема двухплечевого магнитного спектрометра МАСПИК показана на рис. 2^{/10/}. Эта установка характеризуется следующими основными параметрами. Область изменения угла регистрации частиц основным плечом составляет от 4° до $11,5^{\circ}$, сопряженным плечом – от 45° до 135° , причем импульсный анализ производится обоими плечами спектрометра. Импульсное разрешение основного плеча составляет около 0,5 % при 8 ГэВ/с, импульсный акцептанс – около 12 %; для сопряженного плеча соответствующие характеристики составляют примерно 2% при 1 ГэВ/с и 30%.

В качестве регистрирующей аппаратуры используются сцинтилляционные счетчики и пропорциональные камеры на линии с ЭВМ ЕС-1010. Импульсы от ФЭУ служат как для выработки триггерного сигнала установки, так и для измерения времени пролета регистрируемых частиц. Временное разрешение основного плеча составляет около 0,4 нс (полная ширина на полувысоте). Разработанные на основе анализа данных об амплитудах импульсов критерии разделения релятивистских частиц по заряду позволяют выделять двухзарядные частицы на фоне до 10^6 однозарядных при уровне потерь 3% и примеси однозарядных 1%.

Электронная аппаратура установки позволяет регистрировать до 400 событий за импульс ускорителя длительностью около 0,5 с. При этом экспериментальная информация накапливается в специальном блоке буферной памяти, а в промежутках между импульсами ускорителя передается в ЭВМ и записывается на магнитные ленты.

Наиболее интересными пунктами научной программы, исходя из возможностей уже существующей экспериментальной установки, представляются нам следующие.

I. Исследование когерентных неупругих взаимодействий легких ядер с протонами.

Известно, что исследования ядерных реакций с помощью пучков релятивистских ядер в ряде случаев имеют преимущества по сравнению с опытами, в которых изучаемые ядра покоятся; при исследовании когерентных взаимодействий облегчаются возможности выделения этих процессов на фоне других ядерных реакций, поскольку провзаимодействовавшие когерентно ядра имеют более жесткий спектр импульсов.

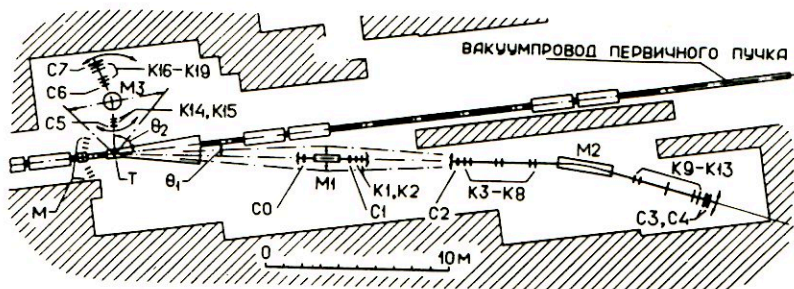


Рис.2. Схема экспериментальной установки. т - мишень, м - мониторы пучка, м1, м2, м3 - магниты, со - с7 - сцинтилляционные счетчики, к1 - к19 - пропорциональные камеры.

Измерение и анализ дифференциальных сечений реакций ${}^1_0\text{n}({}^2_1\text{H}, {}^2_1\text{H})\text{x}$, ${}^1_0\text{n}({}^3_1\text{He}, {}^3_1\text{He})\text{x}$, ${}^1_0\text{n}({}^4_2\text{He}, {}^4_2\text{He})\text{x}$ в области недостающих масс $m_{\text{x}} > m_{\text{p}} + m_{\text{x}}$ при передачах импульса, отвечающих области, где доминируют многократные адрон-адронные взаимодействия, позволит получить сведения о динамике формирования и прохождения через ядерное вещество возбужденных короткоживущих адронных состояний. Это, пожалуй, единственный способ определения параметров амплитуд упругого рассеяния короткоживущих нуклонных состояний на нуклонах. Информация такого сорта имеет важное значение для проверки предсказаний некоторых кварковых моделей /II, I2/.

2. Измерение упругого рассеяния поляризованных дейтронов на водороде в области значений квадрата переданного 4-импульса $0,2 < t < 0,8$ $(\text{ГэВ}/\text{c})^2$.

Проведение таких измерений представляет интерес с двух точек зрения. Во-первых, при выполнении опытов с пучком поляризованных дейтронов необходимо непрерывно контролировать поляризацию пучка. В области энергий синхрофазотрона в настоящее время отсутствуют данные об анализирующих способностях каких-либо реакций, которые можно было бы использовать для контроля первичной поляризации дейтронов. Исключение составляют результаты измерений асимметрии в упругом $d\text{p}$ рассеянии при довольно малых значениях квадрата переданного четырехимпульса, в интервале $|t| = 0,005 - 0,054$ $(\text{ГэВ}/\text{c})^2$ /13/. В интересующей нас области энергий величина асимметрии не превышает 8%.

На рис.3 приведены результаты выполненных в модели Глаубера рас-

четов дифференциального сечения упругого d - p рассеяния при различных ориентациях спина дейтрона^{/14/}. Пунктирными кривыми здесь показаны результаты расчетов для неполяризованных дейтронов. Видно, что в области передач $|t| = 0,2 - 0,8$ (ГэВ/с)² дифференциальные сечения поляризованных и неполяризованных дейтронов заметно различаются.

С другой стороны, существуют трудности с описанием упругого адрон-дейтронного рассеяния в модели Глаубера. Тщательный анализ данных по упругим π - d ^{/15/} и p - d ^{/16/} рассеяниям показал, что не удастся с одним и тем же набором параметров количественно описать области, в которых доминируют однократные и двукратные столкновения. В связи с этим было высказано предположение о существовании так называемого "одновременного" двукратного рассеяния, не учитываемого в модели Глаубера^{/16/}. При рассеянии дейтронов с различными ориентациями спина на протонах относительные вклады однократных и двукратных n - n соударений меняются, и измерения соответствующих угловых зависимостей могли бы стать дополнительным тестом на детали глауберовской картины.

3. Измерение импульсных спектров протонов, испускаемых в результате взаимодействий поляризованных дейтронов с ядрами, на совпадения с протонами отдачи, регистрируемыми сопряженным плечом спектрометра.

В импульсном приближении дифференциальное сечение рассматриваемого эксклюзивного процесса можно связать с дифференциальным сечением упругого p - p рассеяния, структурной функцией дейтрона и множителями, зависящими от спиновых степеней свободы и кинематики взаимодействия. Данные об импульсных спектрах, соответствующих разным поляризациям первичных дейтронов, позволят содержательно поставить вопрос о том, какого сорта динамика реализуется при больших внутренних импульсах нуклонов в дейтроне, так как поляризация нуклона в дейтроне имеет разную величину в динамике светового фронта^{/17/} и в мгновенной форме динамики^{/18/}.

Предлагаемую программу экспериментов предполагается реализовать в рамках темы, связанной с подготовкой к исследованиям на ускорительно-накопительном комплексе в Протвино, поскольку целесообразность продолжения эксплуатации установки МАСПИК на пучках релятивистских ядер синхрофазотрона ОИЯИ, помимо возможности получения новых научных результатов, диктуется также и необходимостью проведения методических исследований в процессе разработки и создания аппаратуры в соответствии с проектами экспериментов на УНК.

Эксплуатацию установки МАСПИК предполагается проводить в рамках затрат по основной деятельности, без дополнительных капитальных вложений. Потребность во времени на синхрофазотроне (нуклотроне) на 1991-1995 годы оценивается в объеме 1750 часов, по 350 часов в год.

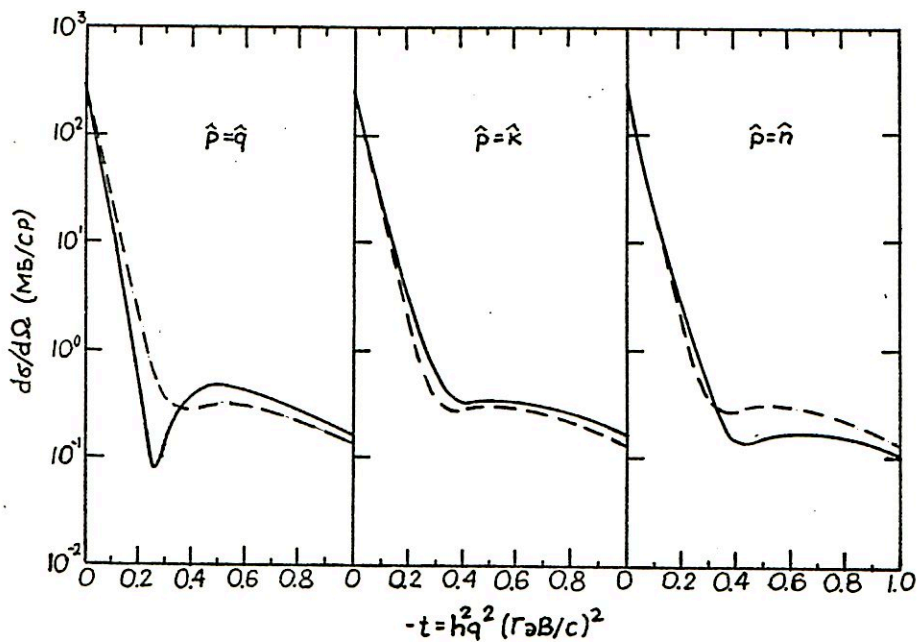


Рис.3. Вычисленные в модели Глаубера зависимости дифференциальных сечений упругого $d\sigma$ рассеяния от квадрата переданного 4-импульса для трех ориентаций спина дейтрона: \vec{q} - вдоль переданного импульса, \vec{k} - вдоль направления пучка, \vec{n} - вдоль нормали к плоскости рассеяния. Пунктиром показано дифференциальное сечение упругого рассеяния неполяризованных дейтронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.С.Ажгирей и др. ЯФ, 1987, т.46, с.1134.
2. Л.С.Ажгирей и др. ЯФ, 1988, т.48, с.1758.
3. Л.С.Ажгирей и др. В кн.: Нуклон-нуклонные и адрон-адронные взаимодействия при промежуточных энергиях. Труды симпозиума, 21-23 апреля 1986 г., ЛИЯФ, Гатчина, 1986; с.43.
4. Л.С.Ажгирей, С.В.Разин, Н.П.Юдин. ЯФ, 1987, т.46, с.1657.
5. Л.С.Ажгирей и др. ЯФ, 1988, т.48, с.87.
6. P. Bosted et al. Phys. Rev. Lett. 1982, v.49, p. 1380.
7. С.А.Запорожец и др. Труды 8 Междунар. семинара по проблемам физики высоких энергий, 19-24 июня 1986 г., Дубна (ОИЯИ, Д1,2-86-668, Дубна, 1986, т.1, с.341).
8. R.V.Reid, jr. Ann. Phys. 1968, v. 50, p. 411.
9. M.Lacombe et al. Phys. Rev. 1980, v.C21, p. 861.
10. Л.С.Ажгирей и др. В кн.: Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. ОИЯИ, Д2-82-568, Дубна, 1982, с.83.
11. Е.М.Левин, М.Г.Рыскин. ЯФ, 1981, т.34, с.1114.
12. А.С.Пак, Н.О.Садиков, А.В.Тарасов. ЯФ, 1985, т.42, с.975.
13. В.В.Авдейчиков и др. Препринт ОИЯИ, Р1-88-796, Дубна, 1988.
14. V.Franco, R.J.Glauber. Phys. Rev. Lett. 1969, v. 22, p. 370.
15. F.Bradamante et al. Nucl. Phys. 1971, v. B33, p. 165.
16. G.Warren et al. Nucl. Phys. 1982, v. B207, p. 365.
17. М.В.Терентьев. ЯФ, 1976, т.24, с.207.
18. V.A.Karmanov. Nucl. Phys. 1981, v. A362, p. 331.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

по исследованию кумулятивного рождения частиц на установке ДИСК
на пятилетку 1991 - 1995 гг.

Аверичев Г.С., Бондарев В.К., Гиордэнеску Н., Зарубин П.И.,
Зборовский И., Мороз Н.С., Литвиненко А.Г., Корнель Н., Кульпина О.Ю.,
Козма П., Панебратцев Ю.А., Пенця М., Перевозчиков В.Г., Полянская А.,
Ставинский В.С., Хренов А.Н., Хорош М., Хоршева Г.Б.

К настоящему времени получен большой набор экспериментальных данных, относящихся к исследованию в адрон-ядерных, ядро-ядерных и лептон - ядерных взаимодействиях проявления кварк - глюонных степеней свободы в атомных ядрах. Обнаружен целый ряд новых физических явлений (кумулятивный ядерный эффект, EMC - эффект, A - зависимости процессов с большими p_T , эффекты цветового экранирования, закономерности кумулятивного рождения K^- - мезонов и \bar{p} и др.). Совокупность экспериментальных данных и их теоретическая интерпретация позволяют ввести новый объект адронной физики - кварк - партонную структурную функцию ядра, которая качественно отличается от нуклонных структурных функций и не может быть сведена к суперпозиции последних.

Цель настоящего предложения - выполнить ряд новых экспериментов, которые ориентированы на изучение свойств ядерных структурных функций в инклюзивной и корреляционной постановке опыта, проверку ряда теоретических моделей, рассматривающих возможные проявления кварк-глюонных степеней свободы в ядрах.

Предлагается изучить несколько физических процессов:

1. Детально измерить спектры кумулятивных протонов из ядер дейтерия вплоть до кинематической границы реакции для различных углов регистрации.
2. Измерение сечений рождения странных частиц при взаимодействии протонов с легчайшими ядрами (водород, дейтерий, гелий, литий) и в ядро-ядерных взаимодействиях.
3. Исследование двухчастичных динамических корреляции кумулятивных частиц с целью проверки предсказаний различных теоретических моделей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРАГМЕНТАЦИИ ЯДЕР ДЕЙТЕРИЯ

Реакция с диссоциацией дейтрона при взаимодействии с протонами $p + D \rightarrow p + \dots$ является простейшей и ключевой для понимания нуклонных степеней свободы в ядро-ядерных взаимодействиях, определения

ненулевой компоненты в структурной функции дейтерия.

В настоящее время при высоких энергиях спектры протонов с нулевой составляющей поперечного импульса в реакции фрагментации дейтерия изучены при первичной энергии 9 ГэВ на установке ДИСК^{1/}, а также при энергии 2,1 ГэВ/нуклон в Беркли^{2/} и 3,7 ГэВ/нуклон в Дубне на установке АЛЬФА^{3/}. Кроме того, на установке НАСПИК^{4/} получены экспериментальные данные по фрагментации дейтерия в протоны под углом 0,139 рад.

Для описания высокоимпульсной части спектра протонов сформулирован ряд теоретических подходов, в которых предложены различные способы учета релятивистских эффектов^{5,6,7,8/}.

В ряде теоретических работ^{9,10/} показано, что при высоких энергиях при импульсах протонов вблизи кинематической границы реакции $p + D \rightarrow p + \dots$ возможно проявление вклада от б \bar{q} - конфигураций. Причем с увеличением первичной энергии налетающих протонов кинематический предел реакции становится выше и тем самым "возрастает" вклад малых межнуклонных расстояний (больших относительных импульсов нуклонов в дейтерии), где и можно ожидать проявление б \bar{q} - конфигураций. Поэтому нам представляется важным исследовать поведение спектра протонов при высоких энергиях (в нашем случае 9 ГэВ) вблизи кинематической границы реакции в зависимости от продольной и поперечной составляющей импульса.

В работе^{11/} в качестве возможного механизма образования кумулятивных протонов рассмотрен процесс, обусловленный проявлением цветовой силы и состоящий в том, что при двукратной цветовой перезарядке налетающего адрона на разных нуклонах ядра может дифракционно возбудиться цветовой диполь, распад которого приводит к вылету одного из нуклонов в заднюю полусферу. Расчеты в рамках этой модели, выполненные в работе^{11/}, содержат предсказание существования резонансных особенностей в спектре кумулятивных протонов.

Установка позволяет провести подробные измерения спектров протонов в реакции $p + D \rightarrow p + \dots$ в интервале импульсов вторичных протонов от 250 МэВ/с вплоть до кинематической границы, в интервале углов от 180° до 60°. При этом предполагается использовать времяпролетные спектры протонов для улучшения импульсного разрешения установки и измерить импульсный спектр протонов с шагом ≤ 20 МэВ/с.

В результате этих опытов в одном эксперименте будет исследована зависимость сечений рождения протонов от поперечной и продольной составляющей импульса, может быть исследована энергетическая зависимость сечений.

Эти экспериментальные данные, несомненно, будут способствовать

выяснению механизма фрагментации дейтерия в протоны.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ С ЛЕГЧАЙШИМИ ЯДРАМИ И В
ЯДРО - ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Исследование рождения странных частиц в адрон - ядерных и ядро - ядерных реакциях является актуальным и включено в научную программу по релятивистской ядерной физике в ЦЕРН, Брукхейвене, Дармштадте, ИГЭФ, ИЯИ АН СССР.

В ЛВЭ при исследовании процессов кумулятивного рождения был получен ряд чрезвычайно важных научных результатов:

1) Показано, что для тяжелого ядра при одинаковом значении масштабной переменной X выполняются приближенные соотношения

$$Ed\sigma/dp (\pi^+) \approx Ed\sigma/dp (\pi^-) \approx Ed\sigma/dp (K^+).$$

2) Описание сечений рождения кумулятивных странных частиц зависимостью типа A^α показало, что для случая рождения K^+ - мезонов $\alpha \approx 1.4$ и отличается от A - зависимости сечений рождения кумулятивных пионов. В работах группы ДИСК этот факт интерпретируется как следствие того обстоятельства, что одновременно с K^+ - мезоном рождается Λ - гиперон. Поэтому A - зависимость близка к протонной. Однако этот вопрос нуждается в дальнейшем теоретическом и экспериментальном исследовании.

3) Экспериментально установлено, что поведение сечений рождения K^- - мезонов в зависимости от масштабной переменной X такое же, как и для π^+ и K^+ , но составляет величину около 5% от сечения рождения последних. Таким образом, экспериментальные данные по отношению " K^+/K^- " не подтверждают общепринятого утверждения о том, что морские кварки имеют более "мягкое" распределение. Экспериментально этот результат в настоящее время подтвержден в работах группы ИГЭФ^{12/}. Таким образом, получены первые экспериментальные данные, которые указывают на существование "жесткого моря" в структурной функции ядра в области X от 1,0 до 2,5. Импульсное распределение кварков в "жестком море" в кумулятивной области подобно распределению валентных кварков.

В работе^{13/} дано теоретическое обоснование для введения этого совершенно нового элемента ядерной структуры - дополнительного коллективного ядерного кварк - антикваркового моря. Характеризуясь некоторым малым параметром, который возникает при описании ЕМС - эффекта, это новое "море", однако, имеет ту же "жесткость", спектра импульсного распределения, как и валентные кварки. Это

дополнительное море позволяет объяснить как EMC-эффект, так и рождение кумулятивных K^- - мезонов.

Таким образом, исследование кумулятивных странных частиц в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях является чрезвычайно актуальным. ОИЯИ занимает в этом вопросе лидирующее положение, и мы считаем необходимым продолжить эти исследования. В частности, исследовать кумулятивное образование K^+ и K^- - мезонов на легчайших ядрах дейтерия и гелия и в ядро-ядерных взаимодействиях.

Сложность экспериментальных исследований кумулятивного рождения каонов обусловлена их малым сечением рождения. При одинаковом импульсе на ядрах среднего и тяжелого атомного веса сечение рождения K^+ на два порядка меньше, чем пионов, а сечение рождения K^- подавлено еще примерно на два порядка. Акселтанс существующей установки ДИСК $4,5 \cdot 10^{-5}$ ср. При таком акселтансе исследования можно было проводить в пучках высокой интенсивности (до $2 \cdot 10^{11}$ частиц/цикл) с мишенями толщиной до 10 г/см^2 . В случае исследования с криогенной мишенью мы ограничены толщиной мишени $\leq 1 \text{ г/см}^2$, в случае исследования ядро-ядерных взаимодействий интенсивностью первичных ядер (в настоящее время до $5 \cdot 10^8$ ядер/цикл). Поэтому перспективу этих исследований мы связываем с работой в пучках протонов и ядер высокой интенсивности. Приведем ожидаемый выход каонов с импульсом 500 МэВ/с и углом эмиссии 180° из дейтериевой мишени толщиной 1 г/см^2 . При интенсивности $5 \cdot 10^{11}$ протонов/цикл за час работы ускорителя ожидается $\sim 6 K^+$ - мезонов (здесь уже учтено дополнительное подавление сечений рождения положительных каонов на дейтерии примерно на порядок) и $0,6 K^-$ - мезонов.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

К настоящему времени на установке уже освоена методика двухчастичных корреляционных измерений и получены результаты по измерению двухчастичных pp^- , $p\bar{p}^-$, $d\bar{p}^-$ корреляций в кумулятивном рождении частиц. Предлагается продолжить эти исследования.

В работе^{14/} развит единый подход к описанию реакции с образованием частиц с большими поперечными импульсами и процессов кумулятивного рождения адронов. В основе подхода лежит идея минимального экономичного взаимодействия, согласно которой инклюзивное сечение рождения частиц в экстремальных ситуациях, то есть либо кумулятивное рождение, либо рождение адрона с большим поперечным импульсом, определяется (зависит) от минимально возможной полной

энергии сталкивающихся конститuentов. В рамках этого подхода имеются предсказательные расчеты, указывающие на наличие кинематических областей, в которых величина двухчастичного коррелятора $R_2 \gg 1$. Эти предсказания возможно проверить на установке ДИСК после модернизации второго плеча установки для регистрации частиц с импульсом $p \geq 1,5$ ГэВ/с и углами эмиссии примерно $10 - 20^\circ$.

Кроме того, предполагается проверить (в том числе и на легчайших ядрах) предсказания для корреляционных экспериментов и ряда других теоретических моделей (модель малонуклонных корреляций, модель жесткого рассеяния, фрагментационная модель).

Нам представляется интересным и актуальным изучение процессов кумулятивного рождения частиц на ядрах с поперечными импульсами величиной несколько ГэВ. Исследование процессов рождения частиц с большими поперечными импульсами на ядрах ранее изучалось в экспериментах ФНАЛ^{15/} и ИФВЭ^{16/}. Отметим, что в работе^{17/} показано, что для объяснения экспериментальных данных, полученных в ИФВЭ при значениях $p_T \approx 4,65$ ГэВ/с и $x_T \approx 0,8$, доминирует механизм жесткого рассеяния на флуктоне. Отметим, что после окончания корреляционных измерений второе плечо установки можно использовать для решения этой задачи. Для этого необходимо создание газового черенковского счетчика и оснащение магнитного спектрометра второго плеча координатными детекторами.

Таким образом, предполагается выполнить ряд новых экспериментов на базе существующего двухплечевого магнитного спектрометра ДИСК, модернизируя его для решения предусмотренных в проекте задач. Причем существенная модернизация установки необходима только для измерения сечений кумулятивного рождения частиц с большими p_T .

Отметим, что мишень установки ДИСК расположена в промежуточном фокусе F3, что позволяет работать на ней одновременно с установками 205 корлуса ЛВЭ практически во всех режимах ускорителя.

НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ :

Капитальное строительство - 500 тыс.руб
(в том числе 250 тыс. руб на модернизацию установки и
250 тыс. руб на приобретение ЭВМ СМ 1420)

Число участников от ОИЯИ 12 - 15 человек

Ускоритель (синхрофазотрон, нуклотрон) - 5000 час
ЭВМ ЕС-1065M - 5000 час

СОТРУДНИЧАЮЩИЕ ОРГАНИЗАЦИИ :

ЧССР - ИЯФ ЧСАН ; СРР - Университет, ЦИФ (Бухарест)
СССР - ЛГУС Ленинград) , ЛИЯФ , НПО КИ АН АзССР (Баку)

ЛИТЕРАТУРА

- 1) А.М. Балдин и др. Сообщение ОИЯИ, P1-11168, Дубна, 1977.
- 2) Adneron et. al. Phys.Rev. v.28, p.1228 (1983)
- 3) С.А. Запорожец и др. Труды VIII Межд. сем. по пробл. физ. выс. энерг. , D1,2-86-668, стр.341, Дубна, ОИЯИ, 1986.
- 4) Л.С. Ажгирей и др. Труды VIII Межд. сем. по пробл. физ. выс. энерг. , D1,2-86-668, стр. 334, Дубна, ОИЯИ, 1986.
- 5) Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. ЭЧАЯ, 1980, т.11, с.571.
- 6) Kobushkin A.P. , Vizireva L. J. Phys. B :Nucl. Phys., 1982, v.8, p.893.
- 7) Карманов В.А. Письма в ЖЭТФ, 1985, т.42, с.116.
- 8) Браун М.А., Токарев М.В. Вестник ЛГУ, 1986, вып.1, с. 7.
- 9) Игнатенко М.А., Лыкасов Г.И. ОИЯИ, P2 - 86 - 629, Дубна, 1986.
- 10) Ефремов А.В. и др. ЯД, 1988, т.47, с. 1364.
- 11) Колелиович Б.З., Нидермайер Ф. ЖЭТФ, 1984, т. 87, с. 1121.
- 12) Бояринов С.В. и др. Труды IX Межд. сем. по пробл. физ. высоких энергии , Д1,2 -88-652, Дубна, ОИЯИ, 1988.
- 13) Ефремов А.В. Сообщения ОИЯИ, P2 - 87 - 762, Дубна, 1987.
- 14) Ставинский В.С., Краткие сообщения ОИЯИ 18-86, стр.5, Дубна, ОИЯИ, 1986.
- 15) Antreasyan D. et al. Phys.Rev., 1979, v.D19, p.764.
- 16) Абрамов В.В. и др. ЯФ, 1985, т.41, с.357.
- 17) Efremov A.V., Kim V.T., Lykasov G.I. JINR E2-85-537, Dubna, 1985.

УСТАНОВКА "СЯЮ" X
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ НУКЛОТРОНА И СИНХРОФАЗОТРОНА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДРО - ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Предложение на 1991 - 1995 гг.

Будилов В.А., Жидков Н.К., Никитин В.А., Номоконов П.В.,
Павлюк А.В.

Лаборатория высоких энергий, ОИЯИ

Авдейчиков В.В., Богданов А.И., Ложкин О.В., Мурын Ю.А.

Радиовый институт им. Лопина, Ленинград

Зломанчук Ю.

Институт экспериментальной физики Варшавского
университета

Голембовский А., Зелинский П., Филипковский А.

Институт ядерных проблем, Варшава

Трайкова М.

Высший химико-технологический институт, София

I. Программа физических исследований предполагает поэтапное выполнение и включает эксперименты на ускорителе СФ-10 и развитие исследований на ускорителе Нуклотрон. При этом эксперименты "Измерение векторной анализирующей способности неупругого $d\uparrow A$ -взаимодействия" (п. IV) и "Измерение радиуса области взаимодействия методом р-р-интерференции (п.3.4) выполняются на СФ-10.

2. ВВЕДЕНИЕ. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Адрон-ядерные и ядро-ядерные взаимодействия при высоких энергиях представляют собой весьма сложное и многоплановое явление. Можно выделить четыре группы проблем, обсуждаемых и рассматриваемых в этой области физики.

I. Исследование адронной материи на малых расстояниях ($\lesssim 0,1$ фм) путём выделения событий с большой передачей импульса (в частности, кумулятивные процессы). Конституентами ядра при этом считаются кварки и глюоны, и главная задача состоит в определении структурной функции ядра.

х) Спектрометр ядер отдачи

2. Интерпретация АА-взаимодействий как процесса образования и распада возбуждённого и термализованного адронного вещества. Актуальной задачей в этой группе проблем является поиск фазовых переходов (адроны - кварк-глюонная плазма) или "жидкость - газ" (на уровне конститuentов-нуклонов), или "жидкость - пионный конденсат", а конечная цель состоит в определении уравнения состояния адронного вещества. На пути к этой цели, кроме поиска сигналов фазовых переходов, важно научиться измерять термодинамические параметры системы. Фазовые переходы пока не обнаружены, хотя предпринимаются серьёзные поиски и есть указания на эффект.

3. Интерпретация АА-взаимодействий как простой суперпозиции почти независимых NN - взаимодействий. Основой этого подхода является каскадная модель. Ценность каскадной модели состоит в том, что она задаёт " фон ", отклонение от которого может сигнализировать о новом явлении.

4. Исследование взаимодействия поляризованных пучков и мишеней. Конечной целью в этой области исследований является определение поляризационной структурной функции ядра. Применительно к исследованиям на Нуклотроне и синхрофазотроне речь идет об экспериментах на поляризованном пучке дейтронов и на струйной поляризованной мишени.

По некоторым названным здесь вопросам у авторов есть опыт и результаты /1-5/, полученные на действующей ныне на синхрофазотроне установке СЯО.

3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

3.1 Исследование термодинамических параметров высоковозбуждённой ядерной материи

Проблема определения энтропии S через экспериментальное измерение температуры T и плотности ρ модельно - зависима и связана с механизмом и модами распада системы. В статистической квантовой модели найдена связь энтропии с множественностью N вторичных частиц. Энтропия горячей ядерной системы извлекается из совокупных данных (в функции параметра удара) по выходу лёгких фрагментов. Температура определяется из формы энергетических спектров при учёте скорости движения источников и по относительному выходу различных нуклидов и их изотопов /1/. Об определении плотности ρ см. п.3.4.

Величины S, T, ρ будут определяться в функции параметра соударения ядер b , который пропорционален в каждом событии множественности N , $b \sim N$ и в функции быстроты или псевдобыстроты источника.

Знание величин S, T, ρ позволит судить о свойствах

термализованной системы, о возможности перехода от процесса бинарного распада к мультифрагментации.

3.2 Поиск фазового перехода газ-жидкость

Теоретический анализ уравнения состояния ядерной материи показывает, что для центральных соударений массивных ядер должна существовать некоторая критическая начальная энергия, при которой возбужденная и расширяющаяся ядерная материя проходит через критическую точку. Остаются вопросы о характере сигналов фазового перехода. Одно из предсказаний модели - минимум в энергетической зависимости параметра \bar{T} в зарядовом распределении фрагментов $\sigma \sim Z^{-\bar{T}}$. Этот минимум был обнаружен в экспериментах [2]. Для однозначной интерпретации \bar{T} - феномена (рис. I) необходимы дополнительные измерения характеристик системы в области минимума \bar{T} (величин S, T, ρ и их корреляций с множественностью N частиц).

3.3 Исследование явления мультифрагментации

Большая множественность сложных фрагментов в центральных ядерных взаимодействиях обнаружена экспериментально и предсказывается в ряде моделей. Планируется изучение зарядовых, энергетических и угловых корреляций фрагментов при их множественном образовании. Будет измерена зависимость N_Z от множественности серых и релятивистских частиц.

3.4 Исследование пространственно-временного размера

Информация о пространственно-временных характеристиках области формирования вторичных частиц позволяет делать выбор между различными модельными подходами к рождению частиц, поскольку разные теории приводят к излучающим объемам различной величины и формы. Основным методом является наблюдение интерференции тождественных частиц. В наших работах радиус области взаимодействия получен из анализа отношений сечений образования фрагментов σ_{He} / σ_H^2 , $\sigma_{He} \cdot \sigma_H / \sigma_H^3$ и т. п. [3].

В исследованиях на Нуклотроне планируется получение информации о продольных и поперечных размерах области генерации по интерференции тождественных частиц ($p-p, d-d, t-t, d-d$) и по соотношениям выходов изотопов. Будут установлены корреляции размеров источников с множественностью вторичных частиц, наличием частиц в кумулятивной области, образованием тяжёлых фрагментов. Полученные к настоящему времени данные об области эмиссии высокоэнергетических протонов, пионов и фрагментов (систематика приведена на

рис.2), полученные методом $p-p$, $\pi-\pi$ -корреляций, из d/p -отношений, и нашим методом ($F_2 + X$) /3/, не противоречат утверждению об едином (общем) источнике образования протонов, пионов и фрагментов.

На рис.3 приведена функция корреляции $R_2 = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}$ пары протонов в реакции $\alpha C - p_1 + p_2 + X$. Измерения выполнены на установке СЯО (рис.4) в течение ~ 100 часов.

3.5 Исследование характеристик центральных соударений

Сравнительный анализ pA - и AA -взаимодействий даёт информацию о специфике взаимодействий многобаронных систем (например: увеличение жесткости частиц, направленный выброс частиц, полное расщепление ядер (PP) и т.п.).

В экспериментах на Нуклотроне планируется получение данных о зарядовых, массовых, угловых и энергетических распределениях продуктов PP , об энергии возбуждения системы и энергетическом пороге PP . Будет проведён поиск и изучение специфического эффекта, предсказываемого в одном из вариантов термодинамической модели, — уменьшение величин энергии возбуждения остаточных ядер и их продольного импульса с ростом энергии первичного ядра (для $A_{pr} < 10$).

3.6 Исследование структурной поляризационной функции ядра

Разработка струйной газовой мишени для работы на внутреннем пучке Нуклотрона позволит использовать в эксперименте поляризованные ядра-мишени $Li \uparrow$ и $Na \uparrow$. Измерение анализирующей способности реакций взаимодействия протонов с поляризованными ядрами $p + A \uparrow \rightarrow h + X$ позволит получить первые сведения о поляризационной структурной функции ядра. В этих исследованиях помимо полупроводниковых детекторов будут использованы два магнитных спектрометра с телесным углом $0,1$ ср, которые позволят (вместе с времяпролётной техникой) проводить идентификацию пионов, протонов, каонов в интервале импульсов $0,3 - 2,0$ ГэВ/с.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ АНАЛИЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕАКЦИИ НЕУПРУТОГО $d \uparrow + A$ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Физическое обоснование

Предлагается провести на пучке векторно поляризованных дейтронов измерения A_y в реакции $d \uparrow + A \rightarrow p, d, \dots + X$ при нескольких значениях энергии налетающего дейтрона в диапазоне $0,6 - 4,5$ ГэВ/нуклон. Эти измерения расширят информацию, полученную в Лос-Аламосе С.Френ-

келем и др./5/ в 1978 - 81 гг., где была изучена реакция $p + A \rightarrow p + X$ при энергии налетающего протона 800 МэВ.

Иллюстрация поведения анализирующей способности из работы /5/ и нашей работы /6/ приведена на рис.5.

В этих данных представляется наиболее интересным понять природу большой величины A_y для кумулятивных ($Q > 4m_p$) протонов - является ли она следствием когерентного рассеяния на сильно возбужденном ядре как целом или возникает на более элементарном уровне? Измерение зависимости A_y от энергии налетающей частицы позволит решить эту задачу.

Методика и набор статистики

Характерные величины сечений, которые надо измерить, - 1 мкб/ст. При интенсивности пучка поляризованных дейтронов 5×10^8 , угле регистрации детектора $0,05 \text{ ср}$, толщине мишени $0,1$ ядерной длины и ширине интервала 50 МэВ регистрируется один протон за 20 циклов ускорения. Измерение при этих условиях A_y с точностью 3% требует 200 часов работы на ускорителе.

В качестве детекторов будут применяться блоки сцинтилляторов общей массой около 300 кг . Конфигурация установки приведена на рис.6.

5. ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ НА НУКЛОТРОНЕ

Установка предназначена для получения достаточно полной информации об ядро-ядерных взаимодействиях посредством регистрации фрагментов с $2 \leq Z \leq 12$ в области "спектаторов" ($0,6 - 15 \text{ МэВ/нуклон}$), а также протонов (пионов)-участников с импульсом до 2 ГэВ/с .

Установка имеет структуру, обеспечивающую:

- большой телесный угол, в котором производится идентификация и спектрометрия фрагментов,
- регистрацию и отбор событий с различной множественностью заряженных частиц,
- организацию триггера на исследуемые процессы с большой передачей энергии ядру.

Состав аппаратуры / рис.7/

1. Полупроводниковые детекторы - $\Delta E - E$ - телескопы регистрируют фрагменты в интервале углов $15 - 165^\circ$. Энергия измеряется в интервале $8 - 60 \text{ МэВ/нуклон}$ с точностью 2% . На первом этапе телесный угол $3 \cdot 10^{-2} \text{ ср}$, позже доводится до величины близкой к 4π .
2. Полупроводниковые детекторы - $\Delta E - E$ - телескопы для регистрации

низкоэнергетических фрагментов с $Z = 3-12$. Энергия измеряется в интервале 0,6-15 МэВ/нуклон. Детекторы в телескопе полоскового типа охватывают телесный угол $1,5 \cdot 10^{-3}$ стерад. Количество - 4-5 штук.

3. Два магнитных и время-пролетных спектрометра с телесным углом 0,1 стерад регистрируют пионы и протоны в интервале импульса 0,3-2,0 ГэВ/с с точностью 5%. Спектрометры вращаются вокруг мишени независимо в угловом интервале 15-165°.
4. Детектор множественности "серых частиц" (протонов с $E \geq 25$ МэВ) состоит из 132 пластиков толщиной 1 см, охватывающих угол от 6° до 30° (96 штук) и от 30° до 60° (36 штук). Идентификация частиц не производится.
5. Используются пленочные мишени в режиме многократного прохождения через них внутреннего пучка. При количестве частиц на орбите ускорителя 10^{10} число ядерных взаимодействий в мишени составляет $3 \cdot 10^8 - 10^9$ с $-I$.
6. Возможно использование поляризованных атомарных мишеней $H \uparrow, D \uparrow, Li \uparrow, Na \uparrow$ (плотность $10^{12} - 10^{14}$ ат/см³). При количестве протонов на орбите ускорителя 10^{11} - интенсивность взаимодействия с поляризованной мишенью $Li \uparrow$ составляет 10^7 с $-I$.

6. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ

Полупроводниковые детекторы и тонкая мишень с высокой светимостью позволяют регистрировать широкий спектр масс фрагментов в большом энергетическом интервале и получить полную информацию о свойствах ядра-остатка и области "участников" в ядро-ядерных взаимодействиях, дифференцированную по параметру удара (множественности). В большинстве известных установок такая задача не ставится.

Поляризованные ядерные мишени еще не применялись в физике высоких энергий. Полученные недавно указания на сильную поляризацию моря в протоне представляют загадку для теории, что подчеркивает актуальность исследований поляризационных явлений.

Отметим три методических достоинства предлагаемой установки.

- Работы на внутренней мишени могут проводиться параллельно с большинством других экспериментов на ускорителе.

- Установка имеет открытую геометрию, т.е. допускает дополнение, модификацию аппаратурных средств для поэтапного выполнения программы (в том числе на существующем ускорителе СФ-10) и решения вновь возникающих задач.

- Целый ряд аппаратурных разработок, проводимых по программе "Парус" (полупроводниковые телескопы, аналоговая электроника, систе-

мы сбора и обработки информации ...), может быть использован в рассматриваемой установке.

7. ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЕСУРСЫ ПО ОСНОВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Время на пучке ускорителя | - 5000 часов |
| 2. Основная деятельность (8 чел.) | - 380 тыс.руб. |
| 3. Валюта для развития детекторов, спектрометрической электроники и компьютерной техники | - 50 тыс. инв.руб. |

8. ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЕСУРСЫ

Узел или комплектующие экспериментального устройства	Количество или число каналов регистрации	Стоимость тыс.руб.
1. Полупроводниковые детекторы	120	50 ^x
2. Спектрометрическая электроника	120	60 ^x
3. Электроника триггера	250	10
4. Сцинтилляторы	170	10
5. ФЭУ, источники питания, делители	170	20
6. Аналого-цифровые преобразователи	300	30 ^x
7. Быстрая электроника	300	20
8. ЭВМ и система сбора информации	1	250 ^x + 50
9. Дрейфовые камеры	150	50
10. Спектрометрические магниты	2	100
11. Пленочная мишень	1	30
12. Струйная мишень	1	100 ^x
13. Вакуумная камера	1	50
Работы в ОП ОИЯИ	20 тыс. н.ч.	80
Работы в ЦОЭП ЛВЭ	10 тыс. н.ч.	-
Резерв развития		100
Итого:		1010
х) Аппаратура двойного назначения, финансируемая по проекту ПАРУС.	В том числе: проект ПАРУС	490
	Радиовый институт ЛВЭ	250 270

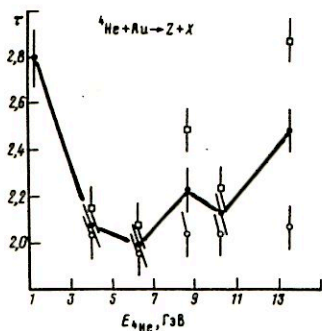


Рис.1. Зависимость от энергии пучка ${}^4\text{He}$ для реакции ${}^4\text{He} + \text{A} .$

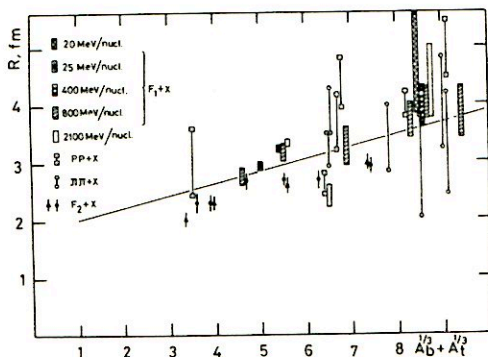


Рис.2. Средний радиус области взаимодействия по данным p-p-корреляций, $\pi-\bar{\pi}$ -корреляций, по отношению выходов ${}^2\text{H}/({}^1\text{H})^2$ (F_1+X) и по отношению выходов фрагментов (F_2+X).

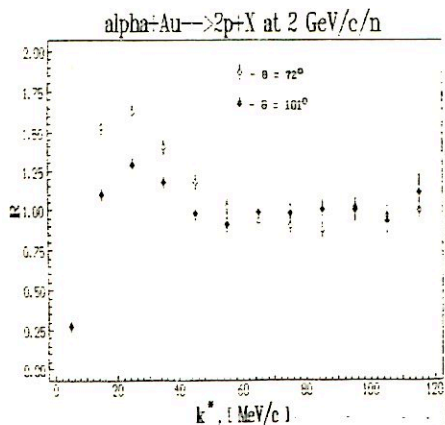


Рис.3. Функция корреляции двух протонов R ; $k^* = |\vec{p}_1 - \vec{p}_2|$ - относительный импульс пары протонов. Приведенным кривым соответствуют следующие размеры источника:
 $r(\theta = 72^\circ) = (2.6 \pm 0.2) \text{ фм}$
 $r(\theta = 102^\circ) = (3.3 \pm 0.4) \text{ фм}$
 в интервале импульса пары $(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)/2 = 370 - 500 \text{ МэВ/с}$. Предварительные данные.

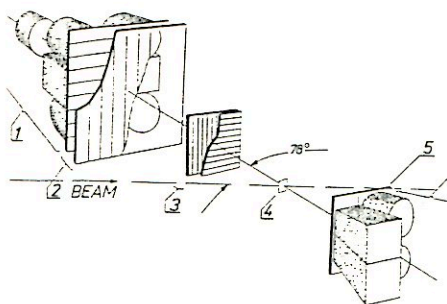


Рис.4. Установка на синхротроне для измерения p - p -корреляций. Состоит из годоскопической системы пластиковых сцинтилляторов и кристаллов $NaX(Tl)$.

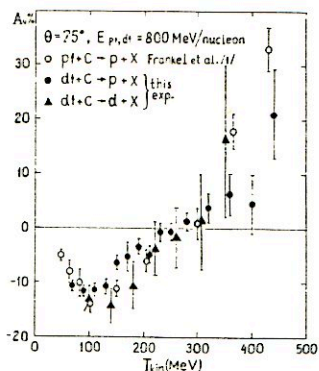


Рис.5. Зависимость векторной анализирующей способности A_y в реакциях $p+A \rightarrow pX$ и $dt+A \rightarrow p, d, X$ при энергии первичного пучка 800 МэВ/нуклон.

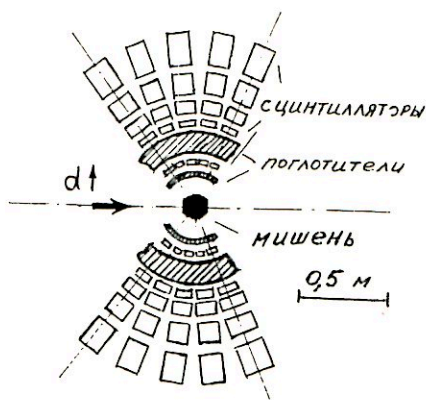


Рис.6. Установка, создаваемая для измерения A_y в неупругих dtA реакциях на пучке синхротрона.

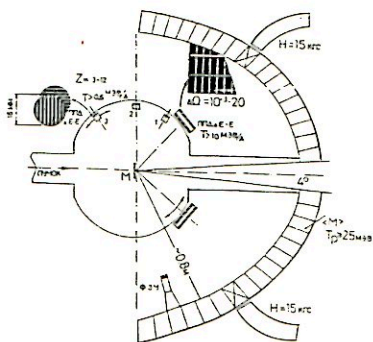


Рис.7. Проектируемая установка на внутреннем пучке Нуклотрона для исследования ядро-ядерных взаимодействий.

АВТОРЫ И ИСПОЛНИТЕЛИ

Для создания экспериментального устройства и выполнения программы исследований организуется сотрудничество научных групп из ЛВЭ ОИЯИ, Радиового института, ФТИ АН Уз ССР, ИЭФ и ИЯП (Варшава).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдейчиков В.В. Возбуждение ядра-мишени в модели фэйрстрик. *Phys.Lett.* , 201, 4(1989) 432.
2. M.Mani, A.T.Bujak et al., *Phys.Rev.Lett.* 60, n19(1988) 1936.
3. Авдейчиков В.В. и др. О размере источника формирования легких фрагментов, испускаемых в релятивистских ядерных взаимодействиях. Препринт ОИЯИ, 1984, I-84-49I.
4. Авдейчиков В.В. и др. Измерение анализирующей способности упругого $\vec{d}p$ -рассеяния в интервале импульса 2-12 ГэВ/с и реакции $\vec{d}C \rightarrow pX$ при импульсе 2,38 ГэВ/с. Препринт ОИЯИ, 1988, PI-88-796.
Frankel S. et al., *Phys.Rev.Lett.* 41, N3 (1978) 148.
Brody H. et al., *Phys.Rev.* C24, N5 (1981) 2157.
5. Авдейчиков В.В. и др. Измерение анализирующей способности реакции $\vec{d}C \rightarrow pX$ при энергии 800 МэВ/нуклон. Препринт ОИЯИ, 1988, E2-88-609.
Frankel S., Frati W., *Phys.Rev.*, C24, N6 (1981) 2739.

Предложение эксперимента на период 1991–1995 гг.

"ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ η^0 - и ω -МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ НЕЙТРАЛЬНЫХ ПИОНОВ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ"

Проект ФОТОН-МАССЕР-КОНУС

Ответственные руководители: М.Н. Качатурян, В.И. Манько.

Список участников: Х.У. Абрамян, Б.П. Адьяевич, В.Г. Антоненко, В.В. Архипов, Б. Бончак, М.А. Васильев, Ю.А. Григорьян, А.Ф. Елишев, В.М. Изъяров, К.С. Ипполитов, К.В. Карадчев, В.А. Каширин, А.Л. Лебедев, В.И. Манько, Г.И. Мгебришвили, Г.Л. Мелкумов, С. Михалык, С. Николаев, С.Н. Пляк-кевич, В.И. Прохоров, Р.П. Полунин, С.Л. Фокин, М.Н. Качатурян, А.Г. Хулавердян, Л.С. Черных, А.И. Широков, В.Л. Ямнин.

1. В проекте предлагается с помощью действующих установок ФОТОН-МАССЕР (ЛЭО ОИИ) и КОНУС (ИЯЭ им. Курчатова) исследовать на синхротроне, а в дальнейшем на сверхпроводящем ускорителе релятивистских ядер – нуклотроне, процессы инклюзивного образования η^0 - и ω -мезонов в столкновениях релятивистских ядер и спектры нейтральных пионов в центральных взаимодействиях.

Целью предлагаемых экспериментов является:

1. Измерение инклюзивных сечений образования η^0 - и ω -мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях в той области энергий, которая кинематически запрещена для нуклон-нуклонных столкновений ($X \geq 1$, где X – кумулятивное число).

2. Выяснение роли мультибарийных кластеров в процессах кумулятивного образования ω -мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях.

3. Исследование теневого эффекта в двухчастичных корреляциях с участием нейтральных пионов.

4. Исследование спектров нейтральных пионов в кинематической области фэйрбола в зависимости от множественности события.

5. Исследование характеристик "суперцентральных" событий.

Эти данные позволят проверить теоретические предсказания и модели процессов инклюзивного и кумулятивного образования резонансов.

В настоящее время на установке ФОТОН-МАССЕР проводятся эксперименты, основной задачей которых является измерение A -зависимостей инклюзивного рождения Π^0 -мезонов в области энергий, кинематически запрещенной для нуклон-нуклонных взаимодействий. Эти исследования

дадут возможность выяснить механизм кумулятивного эффекта в процессах рождения адронов в ядро-ядерных взаимодействиях.

Уже измерены и опубликованы результаты для реакций $pC \rightarrow \Pi^0 X$ и $\alpha C \rightarrow \Pi^0 X$ при импульсе 4,5 ГэВ/с нуклон [1,2]. Эти эксперименты показали что:

а) дифференциальное сечение по p_{\perp}^2 параметризуется функцией $f(p_{\perp}^2) = A \exp(-B \cdot p_{\perp}^2)$ с параметром, характеризующим наклон функции $f(p_{\perp}^2)$, равным $B_1 = (6,3 \pm 0,2)$, (ГэВ/с) $^{-2}$ для реакции $pC \rightarrow \Pi^0 X$ и $B_2 = (6,7 \pm 0,1)$ и $B_3 = (10,4 \pm 0,1)$, (ГэВ/с) $^{-2}$ для реакции $\alpha C \rightarrow \Pi^0 X$ соответственно для интервалов $0 \leq p_{\perp}^2 \leq 0,32$ и $0,32 \leq p_{\perp}^2 \leq 0,82$;

б) инвариантное инклюзивное сечение $f(X_F)$ для реакции $pC \rightarrow \Pi^0 X$ в интервале $0,50 < X_F < 0,95$ параметризуется функцией $f(X_F) = A_4 (1 - X_F)^{B_4}$ с параметром, характеризующим наклон функции $f(X_F)$, равным $B_4 = (2,72 \pm 0,14)$ (X_F - переменная Фейнмана). Это согласуется с предсказаниями кварковых моделей. Инвариантное инклюзивное сечение для реакции $\alpha C \rightarrow \Pi^0 X$ параметризуется функцией $E \cdot dC/d\bar{p} \sim \exp(-X/X_0)$ с параметром X_0 , характеризующим кварк-партоновую структурную функцию ядра, равным $X_0 = 0,128 \pm 0,003$ (X - кумулятивное число);

в) имеется существенное различие параметров X_0 при импульсах 2,89 ГэВ/с.н. (Беркли) и 4,5 ГэВ/с.н. (Дубна). С увеличением энергии "наклон" инвариантных сечений увеличивается и приближается к $X_0 = 0,12 \pm 0,13$;

г) совпадение инвариантных инклюзивных сечений $f(X_F)$ для реакций $pC \rightarrow \Pi^0 X$ при импульсах 1,75; 2,89 (Беркли) и 4,5 ГэВ/с (Дубна) указывает на то, что скейлинг по X_F наступает уже при импульсе 1,7 ГэВ/с;

д) вклад двухнуклонных взаимодействий в реакции $\alpha C \rightarrow \Pi^0 X$ порядка 1%.

II. Физическая программа исследований в 1991-1995 г.г.

I. Исследование качественного состава кумулятивных адронов.

Одной из важнейших характеристик кумулятивного эффекта является качественный состав кумулятивных частиц, т.е. отношения сечений образования кумулятивных адронов разного сорта. Принципиально новым результатом, который позволил бы уточнить свойства источника кумулятивных частиц, могут быть данные о сечениях образования кумулятивных η^0 и ω - мезонов. В частности, можно было бы получить ответы на следующие вопросы: является ли излучение таких частиц равно-

весным, какова его эффективная температура, как влияет барионный заряд источника на интенсивность излучения векторных мезонов и т.д.

2. Исследование углового распределения кумулятивных η^0 - и ω -мезонов.

Имеется указание на зависимость инклюзивных сечений образования кумулятивных Π -мезонов от угла их вылета. Эта зависимость может быть представлена в факторизованном виде $E \cdot d^3C_{\pi}/d\vec{p}^3 \approx \Psi(\Theta) \cdot f(X)$, где Θ - угол вылета, а X - кумулятивное число. Такое поведение сечения, возможно, обусловлено значительным угловым моментом источника кумулятивных мезонов. Исследование угловой зависимости сечений для тяжелых η^0 - и ω -мезонов позволяет проверить эти представления.

3. Проверка динамических свойств сохраняющихся квантовых чисел.

При взаимодействии многобарионных систем несколько барионов могут оказаться на достаточно близком расстоянии друг от друга. В этом случае эффективная константа взаимодействия мезона с такой группой, которую можно рассматривать как единое целое, будет пропорциональна барионному или гиперзарядовому квантовому числу.

Ожидаемый эффект заключается в том, что в области фрагментации налетающего ядра должно наблюдаться существенное увеличение (как X^2) выхода ω -мезонов [3].

4. Исследование азимутальных корреляций γ -квантов (Π^0 -мезонов) позволяет изучить теневой эффект и, следовательно, оценить важные для понимания динамики столкновения параметры как время жизни ядерных систем, плотность и размеры холодных остатков сталкивающихся ядер.

5. Исследование энергетических спектров электромагнитного излучения в зависимости от степени центральности столкновения. Энергетический спектр γ -квантов (Π^0 -мезонов) связан с энергией возбуждения фэйрбола. Изучение энергетического спектра от центральности столкновения позволяет определить изменения энергии возбуждения фэйрбола с изменением прицельного параметра.

6. Исследование "суперцентральных" столкновений.

Столкновения ядер при нулевом значении прицельного параметра представляют особый интерес, т.к. в них получают максимальные значения плотности частиц и энергии возбуждения.

III. Ожидаемая статистика в режиме облучения ядра-мишени ускоренными ядрами интенсивностью 10^6 частиц/цикл за 100 часов работы

Таблица I

ΔX	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-2.0
$N(\eta^2)$	$1.6 \cdot 10^5$	$5.3 \cdot 10^4$	$1.6 \cdot 10^4$	$4.5 \cdot 10^3$	$2.3 \cdot 10^3$
$N(\omega)$	$1.2 \cdot 10^4$	$6.0 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	$5.0 \cdot 10^2$	$1.2 \cdot 10^2$

IV. Состав аппаратуры

Установка включает:

а) детектор пучковых частиц, состоящий из сцинтилляционных счетчиков и пропорциональных камер на 300 каналов,

б) детектор γ - квантов, состоящий из активных конверторов-счетчиков из свинцового стекла на 24 канала; пропорциональных камер на 1250 каналов; сцинтилляционных годоскопов на 40 каналов, детекторов γ - квантов из свинцового стекла на 90 каналов,

в) детекторы множественности: 2 кольца сцинтилляционных счетчиков на 96 каналов,

г) сцинтилляционные спектрометры заряженных частиц на 4 канала,

д) ЭВМ,

V. Параметры установки:

Пространственное разрешение	2-3 мм,
Угловое разрешение	$0,1^\circ$
Энергетическое разрешение	$(4.5/\sqrt{E})\%$ Е-ГэВ.
Эффективность регистрации квантов	- 100%
Динамический диапазон	50-4000 МэВ.
Площадь γ - спектрометров	$215 \times 140 \text{ см}^2 \approx 3 \text{ м}^2$

VI. Капитальные затраты:

В размере 600 тыс.руб. -

ОИЯИ - 300 тыс.руб., Ереванский физический институт - 200 тыс.руб., Институт атомной энергии им. Курчатова - 100 тыс.руб. в т.ч. валюта II категории - 200 тыс.руб.

УП. Сотрудничающие организации:

1. Государственный университет, Ереван,
2. Государственный университет, Москва,
3. Университет г.Лодзь, ПНР,
4. Институт физики, Ереван,
5. Физико-технический институт, Ленинград,
6. Институт атомной энергии, Москва,
7. Институт физики высоких энергий, Алма-Ата.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абраамян Х.У. и др. ОИЯИ, Р1-88-334, Дубна, 1988.
2. Абраамян Х.У. и др. ОИЯИ, Р1-89-240, Дубна, 1989.
3. Baldin A.M., Gerasimov S.B., JINR, E2-11804, Dubna, 1978.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА УСТАНОВКЕ "КОНУС-М" И НА МАГНИТНОМ
СПЕКТРОМЕТРЕ-ИДЕНТИФИКАТОРЕ СИМ В 1990-95 г.г.
(ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИАЭ им.И.В.КУРЧАТОВА)

Адьясевич Б.П., Антоненко В.Г., Фокин С.Л., Григорьян Ю.И.,
Ипполитов М.С., Караджев К.В., Лебедев А.Л., Манько В.И.,
Мгебришвили Г.М., Николаев С.А., Полунин Ю.П.,
Васильев М.А., Виноградов А.А.

I. Эксперименты на установке "КОНУС-М".

Предлагается провести в 1990-92 г.г. на пучках синхрофазотрона эксперименты по следующим направлениям:

- 1) Изучение двухчастичных азимутальных корреляций при больших углах вылета при участии
 - а) легких ядерных фрагментов (протонов, дейтронов, тритонов),
 - б) заряженных пионов.
- 2) Изучение энергетических спектров протонов, дейтронов и тритонов в области фрагментации ядра-мишени в зависимости от множественности заряженных продуктов ядро-ядерных столкновений.

Рассмотрим каждое из этих направлений более подробно.

Изучение двухчастичных корреляций

В двухчастичных корреляциях при больших углах разлета, измеренных в столкновениях ядер при энергиях 0,8 ГэВ/нуклон, были обнаружены эффекты, обусловленные коллективными гидродинамическими потоками, возникающими вследствие сжатия ядерного вещества [1]. Большой интерес вызывает вопрос, возбуждаются ли коллективные движения при более высоких энергиях столкновения.

Для прояснения этого вопроса мы измерили при энергии 3,6 ГэВ/нуклон корреляции между заряженной частицей, испускаемой в интервале углов $10-18^\circ$ (все углы - в лаб. системе) и заряженным фрагментом (протоном, дейтроном или пионом), вылетающим под некоторым углом в интервале $45-130^\circ$ [2]. Измерения были проведены для следующих комбинаций ядер: $^{12}\text{C} + (\text{Al}, \text{Cu}, \text{Pb})$ и $^4\text{He} + (\text{Al}, \text{Pb})$.

При измерениях использовался разностный метод, максимально исключая возможные систематические ошибки. На рис. I представлены для примера функции корреляции для взаимодействия 3,6 ГэВ/нуклон $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ при участии протонов (рис. Ia) и пионов (Iб). Зависимость функции корреляции $C(\varphi)$ от азимутального угла хорошо описывается функцией $C_0 \cos \varphi$. Отметим, что амплитуда C_0 положительна, если участвующие в корреляции частицы испускаются

преимущественно в одну и ту же сторону от оси столкновения и отрицательна, если они испускаются преимущественно в противоположные стороны. Полученные нами данные обнаруживают следующие интересные закономерности. Во-первых, во всех случаях наблюдается коррелированное испускание частиц. При этом поведение корреляций с участием ядерных фрагментов (протонов и дейтронов) и корреляций с участием пионов различно.

Основные особенности протонных и дейтронных корреляций:

- а) амплитуда корреляций отрицательна во всех случаях;
- б) корреляции с участием дейтрона сильнее, чем с участием протона;
- в) амплитуда корреляции уменьшается с увеличением массового числа ядра-мишени и для более тяжелых налетающих ядер;
- г) амплитуда корреляции уменьшается с увеличением множественности события (т.е. с увеличением его центральности).

По-иному ведут себя амплитуды пионных корреляций - они отрицательны для легкого ядра-мишени (Al), близки к нулю для средних ядер (Ca) и положительны для тяжелого ядра-мишени (Pb). Кроме этого, пионные корреляции не зависят, по-видимому, от множественности события.

Поведение протонных и дейтронных корреляций согласуется с представлением о коллективных гидродинамических потоках [1] (явления отскока).

Закономерности, наблюдаемые в пионных корреляциях, могут быть объяснены как проявление теневого эффекта, обусловленного отражением пионов при прохождении ими холодного вещества из нуклонов-наблюдателей.

Предлагаемое развитие в 1990-92 г.г. вышеописанных корреляционных экспериментов будет состоять в следующем:

- а) будут добавлены новые системы в установку для измерения корреляций и она будет содержать четыре сцинтилляционных телескопа для регистрации ядерных фрагментов и пионов ($S_{1L}, S_{2L}, S_{1R}, S_{2R}$) и два кольца множественности - MA1 и MA2 - каждое из которых содержит по 48 детекторов заряженных частиц (рис.2);
- б) включение второго массива множественности (MA2) позволит исследовать корреляции из другой кинематической области - например, исследование обеих коррелирующих частиц из горячего мишенного слоя;
- в) к корреляциям с участием протонов и дейтронов будут добавлены корреляции с участием тритонов;
- г) будет расширено до пяти число ядер-мишеней, а также прове-

дены измерения с пучками протонов и ядер ^{28}Si ;

д) зависимость амплитуды корреляции от множественности будет исследована с уровнем статистики, примерно на порядок превышающем имеющийся.

Энергетические спектры протонов, дейтронов и тритонов

Для столкновений ионов ^4He и ^{12}C с энергией 3,6 ГэВ/нуклон с несколькими мишенями нами были измерены спектры протонов (для нескольких углов вылета) в зависимости от множественности зарегистрированных частиц, регистрировавшихся системой множественности MAI [2].

Были получены следующие особенности:

- а) для налетающего ядра ^{12}C :
- энергетический спектр протонов зависит от множественности события;
 - параметр наклона больше (спектр "горячее") для событий большей множественности;
 - чем больше угол вылета протона, тем слабее зависимость параметра наклона от множественности;
- б) для налетающего ядра ^4He :
- зависимости параметра наклона энергетического спектра протонов от множественности не замечено.

Качественное объяснение наблюдавшихся в случае ионов ^{12}C явлений может быть следующим: чем более центрально взаимодействие, тем "горячее" фэйрбол (спектры под передними углами), тогда как температура горячего мишенного слоя, заселяющего область больших углов, постоянна.

Предлагаемое развитие в 1990-92 г.г. этого направления исследований будет состоять в следующем:

- а) с использованием увеличенного вдвое массива множественности (рис.2) в едином эксперименте (вместе с изучением корреляций) будут исследованы зависимости энергетических спектров протонов, дейтронов и тритонов от множественности события;
- б) будут добавлены более легкие (протоны) и более тяжелые (ионы ^{28}Si) налетающие частицы.

Требуемые пучки и время

1990 г. Пучок ^{12}C .

5 мишеней: C, Al, Ca, Sn, Pb.

По 150 часов на мишень - всего 750 часов.

1991 г. Пучок протонов.

3 мишени - всего 400 часов

Пучок ^{12}C .

5 мишеней - всего 450 часов.

1992 г. Пучок ^{28}Si (или тяжелее).

Одна мишень - 500 часов.

II. Эксперименты на установке спектрометр-идентификатор магнитный (СИМ).

Наиболее интересные процессы протекают в максимально "разогретой" и "сжатой" области взаимодействия - в зоне фэйрбола, образующейся из перекрывающихся частей налетающего ядра и ядра-мишени. Именно здесь следует ожидать наиболее яркого проявления эффектов коллективного типа, признаков деконфайнмента и, следовательно, фазовых переходов в кварк-глюонную плазму. Применявшаяся до сих пор времяпролетная методика позволяла перекрывать область фрагментации мишени. Магнитные же анализирующие системы позволят продвинуться в кинематическую область, соответствующую излучению фэйрбола. Сравнительные динамические диапазоны спектрометров обоих типов полукачественно демонстрируются рис.3 (диапазон магнитного спектрометра соответствует интегралу магнитного поля $\sim I T_m$).

Ниже мы рассмотрим два типа задач, имеющих перспективу быть поставленными на установке СИМ: инклюзивные, эксклюзивные и полуклассифицированные опыты. Схема установки приводится на рис.4.

Инклюзивные эксперименты

Некоторую, общую для взаимодействия, информацию есть надежда получить из анализа инклюзивных импульсных спектров легких продуктов взаимодействия, таких, как p , d , t , 3He , 4He , π^\pm и K^\pm -мезонов. К этой информации относятся "температура" (параметры наклона) спектров, угловые зависимости выходов мезонов, барионов и барионных кластеров (параметры коалесценции), разнообразные А-зависимости и т.д. Такие данные являются ценным дополнением к уже полученным нами данным в области фрагментации ядра-мишени и помогут лучше понять механизм взаимодействия релятивистских ядер.

Полуклассифицированные эксперименты

Несмотря на несомненный интерес к инклюзивным данным, наиболее перспективны, с точки зрения получения принципиально новой информации,

опыты в полуклассической и классической постановке. Такие эксперименты требуют применения дополнительных детекторных систем для организации отбора событий.

В предлагаемой установке предусматривается использование системы отбора событий по множественности СОСМ. Применение СОСМ позволит измерять спектры вторичных адронов и легких фрагментов в зависимости от прицельного параметра, связанного, как известно, с множественностью события. Дискриминация центральных и периферических событий позволит исследовать характеристики фибрбола (такие, как, например, энергия возбуждения) в зависимости от степени центральности столкновения.

Интерферометрия пар тождественных адронов

Используя метод интерферометрии, т.е. изучения корреляций вылета пар тождественных частиц, можно получить информацию о пространственно-временной структуре источника излучения этих частиц. Измерения корреляционной функции, совмещенные с одновременным определением множественности события, могут дать прямую информацию о сжатии ядерного вещества в источнике. Изучение этого эффекта для различных частиц (протонов, пионов, каонов и т.д.) даст сведения о различных фазах взаимодействия. Это позволит продвинуться в изучении уравнения состояния ядерного вещества, а точнее его компрессионной части.

Корреляционная функция имеет вид

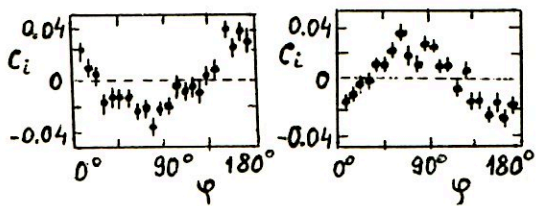
$$R(q, \Delta E) = 1 \pm \exp\left\{-\frac{q^2 R_0^2}{2t^2}\right\} \exp\left\{-\frac{\Delta E^2 \tau_0^2}{2t^2}\right\}.$$

Для бозонов в этом выражении берется знак "+", для фермионов "-".

Для очень малых времен жизни τ_0 возбужденной системы или для частиц с одинаковой энергией - $E=0$, последний множитель ≈ 1 . Это означает, что, например, для случая двух бозонов $R \rightarrow 2$ для частиц с $q \rightarrow 0$. В реальном случае существует ряд поправок, несколько уменьшающих значение R .

Форма корреляционной функции отражает размер области испускания.

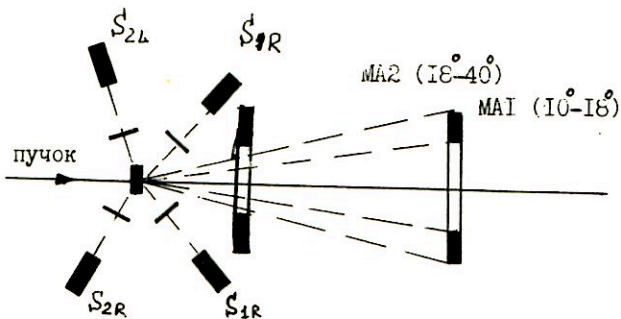
В реальном эксперименте ожидаемые двухчастичные события должны суммироваться в интервалах Δq , не превышающих ~ 30 МэВ/с. Для получения исчерпывающей информации о форме корреляционной функции необходимо продвинуться до абсолютных значений $q \approx 30r$ или $q \approx \approx 300$ МэВ/с. Последнее обстоятельство немедленно предъявляет требование к геометрии установки, а точнее к апертуре спектрометра, измеряющего двухтрековые события: при среднем импульсе частиц около



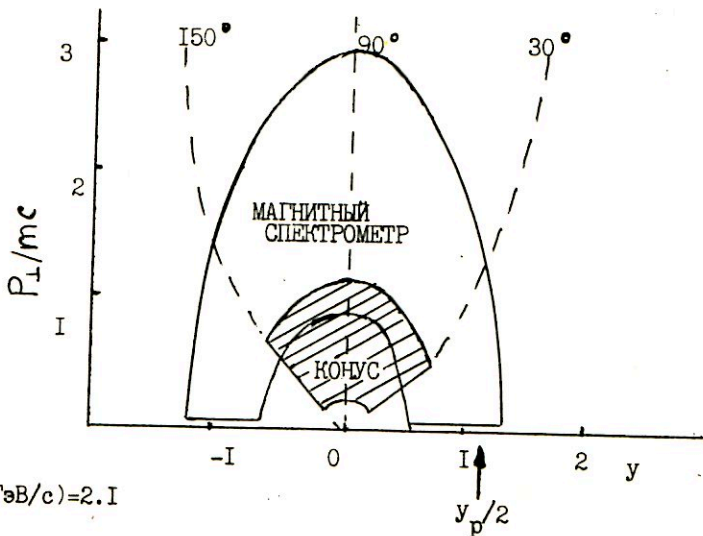
б)

а)

Р И С. 1

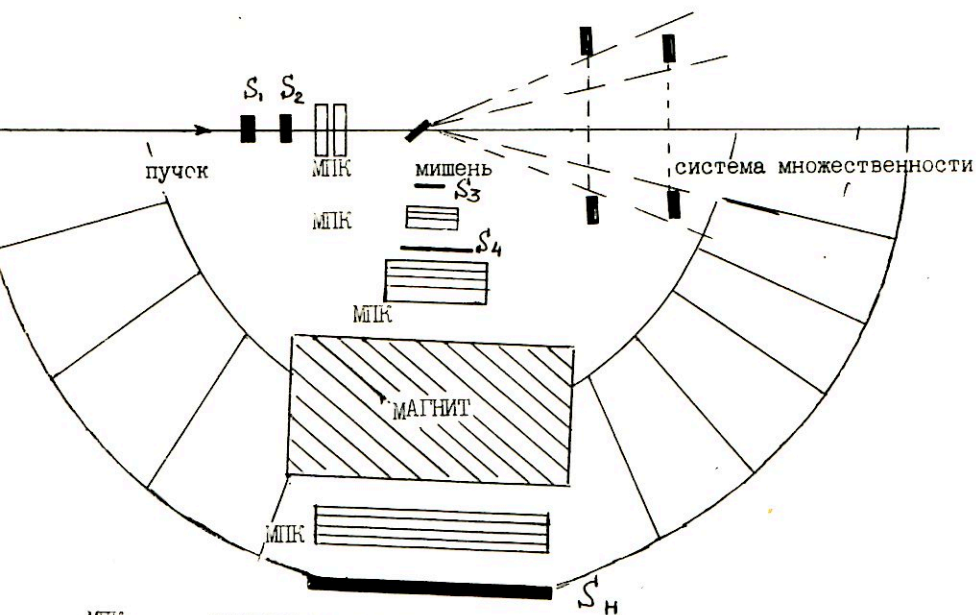


Р И С. 2



$y_p(3.6 \text{ ГэВ}/c)=2.1$

Р И С. 3



МПК - многопроволочные пропорциональные камеры

S_{1-4} - сцинтилляторы

$S_{\text{н}}$ - сцинтилляционный годоскоп

Р И С . 4

1 ГэВ/с и $q \sim 300$ МэВ/с угол между направлениями движения частиц будет равен $\sim 7,5^\circ$ в лабораторной системе координат. Т.о., геометрия установки должна быть такой, чтобы была возможность зарегистрировать пару частиц с указанным углом разлета.

Литература

1. L.P. Csernai et al, *Phys.Rev.* c25(1982)2482.
2. Б.Н.Адьясевич и др. Труды IX Международного семинара по проблемам физики высоких энергий т. II, ОИЯИ, Д1,2-88-652, Дубна, 1988, с.146.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ на 1991-1995 г.г.
в Лаборатории высоких энергий

Курепин А.Б., Балдин А.А., Гаврилов Ю.К., Голубева М.Б., Голубева Т.А., Губер Ф.Ф., Краснов В.А., Пантуев В.С., Разин В.И., Решетин А.И., Топильская Н.С., Филиппов С.Н.

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Сотрудничество: ИЯИ АН СССР; НЭОЯФ ЛВЭ; ЦИЯФ, Россендорф, ГДР; ИАЭ им. И.В.Курчатова, Москва

1. Введение

Предлагаемая научная программа по физике атомного ядра при промежуточных и высоких энергиях основывается на использовании действующей установки магнитного канала и спектрометра "КАСПИЙ" при оснащении его новой детектирующей аппаратурой, а также создании спектрометрической широкоапертурной установки для исследования редких процессов на основе сверхпроводящего соленоида.

Основные направления физической программы работ охватывают следующие проблемы: поиск ненулевых степеней свободы в атомных ядрах, поиск дибарионных состояний, исследование состояний Δ - изобарн и η - мезона в ядрах, предкритические состояния в ядерной материи, связанные с кварк-глюонной плазмой и пионной конденсацией. Для осуществления этой программы планируется измерение широкого набора ядерных реакций под действием пионов промежуточных энергий: упругое и неупругое рассеяние на ядрах, реакции с испусканием протонов, K - мезонов, η - мезонов, однократная перезарядка пионов, рождение пионов пионами, полный кинематический эксперимент по изучению развала дейтрона с перезарядкой пионов. Планируется также продолжение измерений выходов пионов, каонов и антипротонов на пучке релятивистских ядер в хороших фоновых условиях, определяемых имеющейся магнитной системой канала.

Как отмечалось, планируемые эксперименты основаны на использовании действующего магнитного канала установки "КАСПИЙ", расположенного на выведенном пучке протонов и релятивистских ядер в корп.205 ЛВЭ. Он предназначен для формирования пучка мезонов (пионов и каонов), рождаемых на мишени Mg под углом 24° , $0,3-1,2$ ГэВ/с при захвате $\pm 3\%$, телесный угол $1,5$ мстер, длина канала 15 м. Структура канала $QQDQQD$ с промежуточным импульсным коллиматором позволяет сфор-

мировать в конце канала пучок размером $4 \times 6 \text{ см}^2$, $35 \times 15 \text{ мрад}^2$. Проволочные камеры с разрешением $\pm 0,3 \text{ мм}$ во второй части канала позволяют получить энергетическое разрешение 500 кэВ . При планируемой интенсивности пучка НУКЛОТРОНА 10^{12} протонов в секунду потоки элементарных частиц $P/\pi^+/K^+/K^-$ составят $5 \cdot 10^6/3 \cdot 10^6/10^5/10^4$ в секунду при максимальном импульсе.

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА УСТАНОВКЕ

"КАСПИЙ" в 1991 - 1995 г.г.

1. Продолжение измерения выходов π^\pm и K^\pm -мезонов при столкновении релятивистских ядер. Для изменения угла рождения мезонов из исследуемой мишени в районе фокуса Ф4 планируется установка дополнительного отклоняющего магнита с перемещающейся мишенью. Это позволит расширить интервал углов от 0 до 60° . Для выделения K -мезонов в более широком интервале импульсов будет изготовлен новый черенковский детектор на основе материала "Аэрогель". Расширение углового и импульсного диапазонов измерения позволит снять топографическую карту значений сечения рождения обычных и странных мезонов в зависимости от переменных скорости и поперечного импульса. Значительно расширится также диапазон по скейлинговым переменным налетающего ядра и ядра мишени. Измерения будут проведены для различных комбинаций сталкивающихся ядер.

Аналогичная программа осуществляется в настоящее время в эксперименте E-802 в Брукхейвене и на установке "Диоген" в Сакле. Однако из-за большой светосилы используемых детекторов и значительной множественности заряженных частиц возникают серьезные трудности в реконструкции треков, их однозначности и эффективности. В связи с этим оценки сечений и относительные выходы мезонов получаются с неопределенностью до 100% .

2. Продолжение эксперимента по рождению антипротонов при столкновении релятивистских ядер в подпороговой и околопороговой области энергии. С улучшенной системой идентификации антипротонов, а также с дополнительным аннигиляционным детектором для регистрации треков частиц от аннигиляции антипротонов будет изучена энергетическая зависимость выхода антипротонов, определены параметры наклона (температуры) спектров для нескольких наборов ядер при различных углах рождения.

Научная значимость таких экспериментов очевидна, поскольку предполагается сильная чувствительность величины сечения к многократным, коллективным или кварковым проявлениям в рассматриваемом процессе. Первые полученные нами данные подтверждают это предположение.

В рамках этого же эксперимента при увеличении интенсивности первичного пучка с $5 \cdot 10^8$ ядер/цикл до 10^{10} ядер/цикл и более планируется измерение выхода антидейтронов.

В протон-ядерных столкновениях сечения антидейтронов описываются моделью коалесценции, так же, как и обычные дейтроны. В рамках этой модели, в нашем случае, выход антидейтронов должен составлять величину 10^{-5} от выхода антипротонов. Модель предполагает наличие двух независимых источников испускания антинуклонов (нуклонов) с последующим их "слипанием". В случае более плотной, чем обычное ядерное вещество, локализации источников или возникновении одного общего источника-кварк-глюонная плазма-вероятность образования антидейтронов может существенно возрасти.

3. Измерение сечений реакции однократной перезарядки пионов ($\pi^+ - \pi^0$) с возбуждением Δ -изобары в ядре с высоким разрешением по энергии нейтральных пионов. В настоящее время заканчивается изготовление нового многоканального π^0 -спектрометра полного поглощения на 256 каналов на основе блоков из свинцового стекла с размерами ячейки $30 \times 30 \text{ мм}^2$. Расчетное разрешение по энергии пионов 10-20 МэВ. Предполагаются измерения ширины и положения Δ -возбуждений на различных ядрах при нескольких значениях энергии первичных пионов, формируемых магнитным каналом установки "Каспий".

В рамках указанной программы будет проведен поиск η -состояний в ядрах.

Аналогичные измерения проводятся в настоящее время на мезонной фабрике в Лос-Аламосе. Однако энергии пионов на мезонной фабрике невелики, и выделение Δ -изобарного пика в самой крайней мягкой части спектров весьма затруднительно.

Наличие пучка пионов с энергией до 1,2 ГэВ на установке "Каспий" обеспечивает широкие возможности для такого рода реакций. Пионные пучки промежуточных энергий имеются на ускорителях того же диапазона энергий, как в ЛВЭ, на протонных синхротронах КЕК (Япония) и AGS (Брукхейвен, США). Их проектная интенсивность сравнима с нашей. Однако магнитные каналы имеют большую длину, около 30 м, и их практическое использование ограничено снизу импульсом 0,9 - 1,0 ГэВ/с. Кроме того, каналы не рассчитаны на получение высокого разрешения, необходимого для современных работ по ядерной физике.

4. Измерение рассеяния пионов и реакции развала малонуклонных систем: дейтерия, гелия и др. Эксперименты такого рода дадут сведения о Δ -N взаимодействии и о существовании дибарионных состояний. В качестве мишени будет использоваться созданная и подготовленная к монтажу жидкодейтериевая мишень, разработка ЛВЭ, использование которой целесообразно при достаточно высоких потоках мезонов.

Для проведения измерений на малонуклонных системах в эксклюзивной и полужексклюзивной геометрии в настоящее время изготавливается для пробных сквнтилляционных телескопа для регистрации заряженных частиц, пионов, протонов. Для измерения точки входа трека перед детектором устанавливаются проволоочные камеры.

После испытаний на пучке количество пробных телескопов будет увеличено, что позволит измерять продукты распада Δ -изобары.

Планируется использование пробных телескопов на совпадения с реакцией перезарядки (П.З.). Это необходимо для решения вопроса о степени коллективности возбуждаемого состояния.

5. Для прецизионного измерения упругого и неупругого рассеяния пионов с энергией до 1 ГэВ на ядрах в условиях высокого разрешения планируется спроектировать и изготовить новый поворотный вертикальный магнитный спектрометр пионов с использованием действующего пучка пионов установки "Каспий". Полученные на нем данные позволят провести проверку теории пион-ядерного взаимодействия.

В качестве анализирующего магнитного спектрометра предполагается использовать стандартный магнит типа СИ-57 или аналогичный, с оптимизированными полюсными наконечниками. Изготовление наконечников желательно в ОИЯИ.

6. Разрабатывается и начато сооружение многоцелевой установки с геометрической эффективностью, близкой к 4 π , для изучения многочастичных пион-нуклонных и пион-ядерных реакций на основе сверхпроводящего соленоида с толщиной стенки менее 0,5 радиационной длины.

С 1991 года начнутся тестовые испытания координатных детекторов цилиндрической дрейфовой камеры и вершинного стрипового детектора.

3. Материалы и ресурсы.

Детектирующая аппаратура и основная часть электроники создаются на средства в ИЯИ АН СССР. Эксплуатация, ремонт магнитов, источников питания, проводка основного пучка - силами ЛВЭ. Как показывает опыт работы, тем не менее необходимо выделение некоторых ресурсов для монтажа и обслуживания установок, создание некоторых узлов и электронных блоков: ежегодно около 5000 н/ч в механических мастерских, 500 н/ч конструкторских работ, 1000 н/ч для изготовления электронных блоков КАМАК, обслуживания криогенных установок

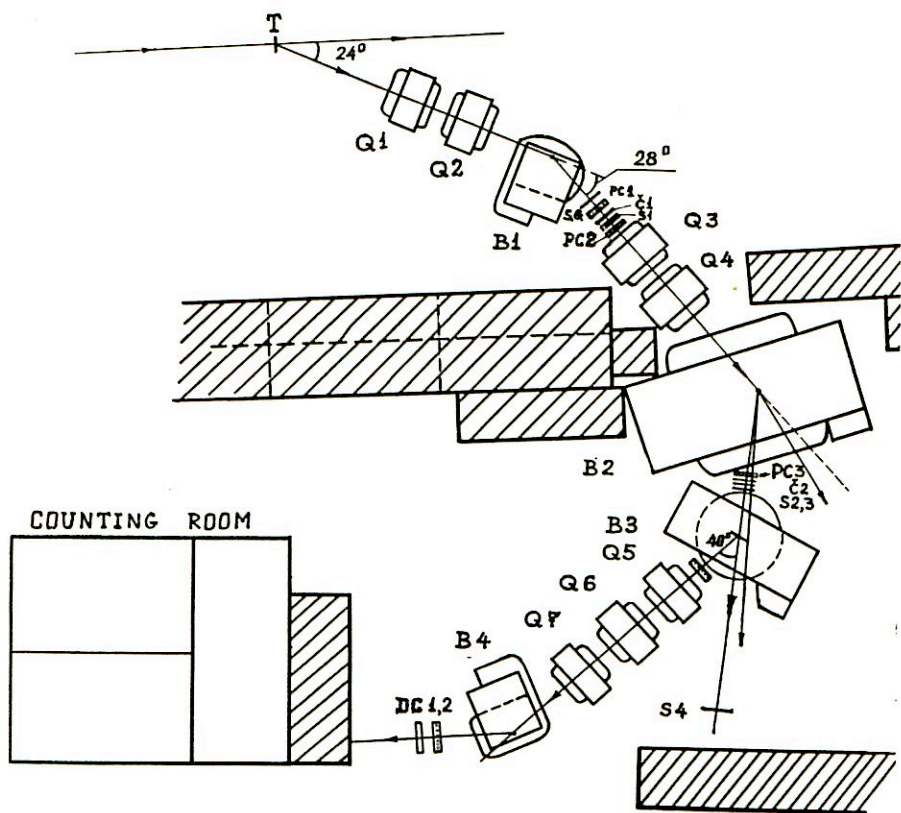


Рис. 1. Схема расположения установки "КАСИЙ".

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА "ЛИДИРУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ" на 1991-95 гг.

Л.И.Бельзер¹, В.А.Бодягин¹, И.Н.Варданян¹, С.А.Воробьев⁴,
 А.М.Грибушин¹, А.И.Демьянов¹, А.А.Ершов¹, Н.А.Жарков³,
 А.Д.Кириллов², А.А.Кузнецов², Б.А.Кулаков², В.А.Никитин²,
 В.В.Осороков⁵, Ю.Л.Пивоваров⁴, П.А.Рукояткин², Л.И.Саргычева¹,
 А.Л.Светов², И.Н.Семенюшкин², Н.Б.Синев¹, А.А.Широков⁴

Эксперимент "Лидирующие частицы" имеет целью проследить эволюцию неравновесных адронных состояний в субъядерных масштабах - естественных масштабах конфайнмента, где процессы формирования и поглощения адронов несут непосредственный отпечаток динамики адронизации кварков.

Постановка опыта изображена на рис.1 и отражает специфику поставленной задачи.

Измеряются дифференциальные выходы $\frac{1}{\delta_A} (d^2\sigma_L/d\Omega dP)_A$ лидирующих адронов L в заданном диапазоне углов эмиссии ψ_L и импульсов P_L из полунклюзивных реакций $hA \rightarrow Lh_\eta + X$, где Lh_η означает много-частичное конечное состояние с определенной кинематической конфигурацией (т.е. с определенными углами разлета η адронов сопровождения h_η относительно траектории лидирующей частицы).

Экспериментальная установка СМС-МГУ [1] расположена на канале 4В медленного вывода синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ и включает следующие функциональные элементы:

- сцинтилляционную годоскопическую систему с координатным разрешением ~ 1 мм, которая фиксирует траектории первичной (секции F, B) и вторичной лидирующей частицы (секции T, S, P);
- широкоапертурный газовый (пороговый) черенковский счетчик (Щ) для идентификации лидирующей частицы;
- комплекс сцинтилляционных и черенковских детекторов для мониторинга падающего пучка (L, M) и формирования его "профиля" на мишени (Q) посредством антисовпадений ($\bar{\Phi}, \bar{\Gamma}_1, \bar{\Gamma}_2$);
- триггерный комплекс, сочетающий черенковские детекторы ($D_{1,2}$) и детекторы типа сэндвича сцинтиллятор-свинец-сцинтиллятор (E_{xy}) и предназначенный для реализуемого быстрой логикой кинематического анализа неупругих взаимодействий в мишени.

Наличие кинематического триггера позволяет отбирать реакции с заданной передачей импульса ΔP от первичной частицы к мишени в

1) НИИЯФ МГУ (Москва), 2) ЛВЭ ОИЯИ (Дубна), 3) НИИ "Вента" (Вильнюс),
 4) НИИЯФ ТПИ (Томск), 5) ИТЭФ (Москва).

"элементарном" акте взаимодействия и является принципиальным, поскольку свойства родившихся частиц на малых расстояниях (внутри того же ядра) могут проявляться на доступном наблюдению уровне лишь тогда, когда область взаимодействия $\Delta z \sim \hbar/\Delta P$ не превосходит, по крайней мере, размеров нуклона.

Данные, полученные за время эксплуатации установки СМС-МГУ (1986-89 гг.) на статистическом материале $\sim 10^6$ взаимодействий протонов с импульсом $P_0 = 9$ ГэВ/с с ядрами H, D, C, Al, Cu, Sn и Pb , совместно с результатами по поглощению лидирующих пионов в разных ядерных мишенях в реакциях $pA \rightarrow \pi_1 + X$ при близких энергиях, полученными из работы [2], позволяют заключить, что при энергиях 10-20 ГэВ некогерентная фрагментация протонов на ядрах осуществляется через связанное барионное состояние (типа изобары или дифракционного кластера), которое поглощается в ядерном веществе как обычный протон и распадается на адроны за пределами ядра.

Перестройка кварковой структуры адронов в существенно неупругих "мягких" процессах не вызывает заметных возмущений на уровне свойств реальных частиц - или же эти возмущения проявляются за времена

$$\tau \lesssim 0,01 \hbar/m_\pi c^2 \text{ сразу после взаимодействия [3] (см. раздел I).}$$

Помимо основной программы на спектрометре СМС-МГУ исследовались эффекты каналирования быстрых заряженных частиц в кристаллах.

С помощью изогнутого монокрystalла кремния протоны с импульсом 9 ГэВ/с, а также ядра C, O и Mg с импульсами соответственно 54, 72 и 108 ГэВ/с, захваченные в процесс плоскостного каналирования, отклонены на угол ~ 65 мрад; осуществлен вывод сформированного пучка протонов в канал 4В синхрофазотрона с фактором эффективности $\sim 10^{-5}$ [4] (см. раздел II).

Помимо этих исследований установка СМС-МГУ позволяет осуществить измерение анализирующей способности углерода $A(\psi, P)$ в pC -рассеянии при энергиях больше 1 ГэВ (см. раздел III).

Таким образом, экспериментальные исследования на установке СМС-МГУ в 1991-95 гг. планируется развивать по нескольким направлениям.

Раздел I. Пространственно-временная структура взаимодействия адронов (основное направление)

а) Вывод о доминирующей роли механизма фрагментации протонов через связанное промежуточное состояние $pA \rightarrow M^* \rightarrow p\pi$ (или $\rightarrow p\pi\pi$, и т.д.) вытекает из следующих наблюдаемых эффектов:

- сильное ослабление внутри ядра-мишени "пучка" лидирующих протонов из некогерентной реакции $pA \rightarrow p_1\pi_2 + X$, отвечающее "номинальному" коэффициенту поглощения протонов в ядерном веществе (т.е.

$$\sigma_L \approx \sigma_p \quad);$$

- независимость наклона углового распределения частиц сопровождающего в η -представлении от размеров ядра-мишени, указывающая на отсутствие внутриядерных перерассеяний вторичных пионов (отсюда $\sigma_\pi \approx 0$, если вторичные π и p поглощаются в ядре некоррелированным образом);

- поведение дифференциальных сечений инклюзивной реакции $pA \rightarrow \pi_L + X$ в той же области кинематических переменных [2], которое свидетельствует о поглощении внутри ядра лидирующего пиона с эффективностью, соответствующей сечению πN -рассеяния (т.е. $\sigma_L \approx \sigma_\pi$) [5].

В последнем случае π_L может возникать как за счет прямого рождения в центральной области, так и в результате фрагментации связанной барионной системы M^* (тогда $\sigma_L = \sigma_{M^*}$).

Поэтому для более определенного суждения о роли связанных промежуточных состояний в процессах множественного рождения имеет смысл обернуть задачу применительно к той же полуинклюзивной реакции $pA \rightarrow (p\pi)\eta + X$ (см. диаграмму на рис.1) - т.е. измерять ослабление в ядре-мишени "пучка" лидирующих пионов и наблюдать угловое распределение в η -представлении протонов сопровождающего.

С учетом полученных результатов прямому рождению в реакции $pA \rightarrow \pi_L p_\eta + X$ должна отвечать достаточно заметная зависимость от размеров ядра-мишени наклона η -распределения при весьма слабом внутриядерном поглощении "пучка π_L " ($\sigma_L \approx 0$).

Напротив, воспроизведение картины, наблюдаемой для реакции $pA \rightarrow p_L \pi_\eta + X$, будет убедительным аргументом в пользу рождения через связанное барионное состояние M^* .

Если исходить из установленного на опыте темпа набора полезной статистики [3], для такого исследования потребуется около 500 часов экспозиции в пучке протонов с импульсом 9 ГэВ/с от синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ.

б) Вопрос о природе промежуточного состояния M^* остается открытым. Это может быть резонанс (Δ^{++} или Δ^0) или какое-то нерезонансное образование с непрерывным массовым спектром.

Для квазидвухчастичной реакции $pA \rightarrow M^* + A'$; $M^* \rightarrow p_L \pi_\eta$ распределение по параметру η при фиксированных P_0 , P_L и ϕ_L отражает спектр эффективных масс системы $p\pi$ [1].

Выявление деталей этого спектра требует модернизации триггерного комплекса детекторов (в настоящее время изготавливается вариант детектора E_{xy} с координатным разрешением ~ 7 мм) и соответственно большей статистики - в частности, в эксклюзивных двухчастичных кана-

лах $pA \rightarrow p_L \pi_n$ (медленные фрагменты ядра-мишени A' не в счет).

Для подобной задачи ожидаемое время экспозиции на протонном пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ оказывается неразумно большим, поэтому измерения планируется начать со вводом в строй нуклотрона.

Принимая длительность сброса медленного вывода, согласно проекту нуклотрона, ~ 8 с при полном цикле ускорения 10 с., необходимую статистику можно накопить за ~ 500 часов экспозиции.

в) Если в области фрагментации пучка в pA -взаимодействии относительные выходы лидирующих частиц из различных ядер характеризуют особенности распространения в ядерном веществе не самих этих частиц, а некоторой связанной барионной системы M^* , то свойства собственно протонов сразу после взаимодействия, по-видимому, целесообразно изучать в реакциях прямого рождения в центральной области типа $\pi A \rightarrow p_L$.

Исследование механизма фрагментации пионов на ядрах также предполагает работу в пионном пучке.

Проектная энергия ускоренных протонов в нуклотроне (14 ГэВ) делает реальной надежду сформировать в канале 4В вторичный пучок пионов с импульсом ~ 9 ГэВ/с и интенсивностью $\sim 10^7$ частиц за сброс.

По предварительным оценкам, изучение характеристик πA -взаимодействий по той же схеме, что и pA -взаимодействий, на установке СМС-МТУ займет около 1000 часов работы нуклотрона.

Раздел II. Эксперименты с использованием эффекта каналирования

По нашим данным, длина деканалирования для ядер ^{16}O с импульсом 4,5 ГэВ/с.нуклон при движении параллельно кристаллографической плоскости (111) в кремнии составляет 8+9 мм, что позволяет довольно эффективно выводить релятивистские ядра из пучка с помощью изогнутых монокристаллов.

Ожидается, что у нуклотрона эмиттанс пучка будет на $1,5+2$ порядка меньше, чем у синхрофазотрона.

При этом фактор захвата в режим каналирования кристаллом использованных нами размеров должен составить $10^{-4}+10^{-3}$ от интенсивности первичного пучка.

Тем самым открывается практическая возможность экспериментально обнаружить и исследовать явление когерентного кулоновского возбуждения релятивистских ядер, проходящих через ориентированный монокристалл.

Суть предсказываемого теорией и моделированием эффекта состоит в резонансном поведении сечения кулоновского возбуждения ядра, когда переданный ядру импульс совпадает с вектором обратной решетки кристалла.

Резонанс наступает при $2\pi\gamma v n/a = \omega$, где ω - частота пе-

перехода между уровнями ядра, γ и ν - его лоренц-фактор и скорость, a - постоянная решетки и n - номер гармоники при разложении периодического потенциала решетки в ряд Фурье; причем, вблизи резонанса вклад от некогерентных процессов не превышает долей процента [6].

В области энергий синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ наиболее доступен экспериментальному изучению резонанс в сечении кулоновского возбуждения ядра ^{19}F (энергия возбуждения 110 кэВ, переход типа E1) при $n = 5+6$, что соответствует $\gamma = 4+5$ в кристалле кремния или алмаза.

Ожидаемая вероятность возбуждения достигает $10^{-4}+10^{-5}$ на ядро [7] и при интенсивности ядер $\sim 10^4$ /цикл эффект оказывается достаточным для экспериментального наблюдения.

Возникающие при высвечивании возбужденных в кристалле ядер фотоны регистрируются сцинтилляционным γ -детектором полного поглощения G (рис.1), который изготавливается в НИИЯФ ТПИ.

Проведение эксперимента потребует ориентировочно 750-1000 часов экспозиции в пучке ускоренных ядер на синхрофазотроне и нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ (см. табл.1).

Раздел III. Методические исследования

В настоящее время создается углеродный поляриметр, предназначенный для измерения поляризации протонов отдачи в интервале энергий 0,1+2,5 ГэВ (проект "НЕПТУН").

Поскольку при энергиях выше 1 ГэВ экспериментальные измерения анализирующей способности углерода отсутствуют, их планируется выполнить на установке СМС-МГУ.

Установка дополняется модулем поляриметра P_{xyuv} (рис.1), содержащим 4 пропорциональных камеры для определения координат рассеянного в графитовой мишени протона (вдоль осей X, Y, U, V).

Анализирующая способность $A(\psi, P)$ находится из асимметрии углового распределения протонов $\varepsilon(\psi, P)$ по формуле $A(\psi, P) = \varepsilon(\psi, P) / (\overline{\Phi}(P) \cdot \vec{n})$, где $\overline{\Phi}$ - поляризация падающего пучка и \vec{n} - нормаль к плоскости рассеяния.

Согласно имеющимся данным, от стриппинга поляризованных дейтронов на мишени, расположенной в начале трассы ВП-1, может быть получен пучок протонов с интенсивностью $\sim 10^4$ за сброс, импульсами 1,5+4,5 ГэВ/с и векторной поляризацией, которая составит 40+50% и будет известна с точностью $\delta\varphi \sim 3\%$ [8].

Ожидаемое значение $A(\psi, P)$ находится в пределах 10+20%, и его нужно измерить с точностью $\delta A = \pm 2\%$ [9], для чего потребуется по 150+200 часов экспозиции на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ с поляризованным и неполяризованным дейтронным пучком.

В таблице 1 приводится сводка необходимых ресурсов времени на

Таблица I

Необходимые ресурсы времени на синхрофазотроне (с)
и нуклотроне (н) ЛВЭ ОИЯИ

Программа	Экспозиция (час.) и первичный пучок				
	1991	1992	1993	1994	1995
I. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ					
а) механизм фрагментации протонов: $pA \rightarrow M^* \rightarrow \pi_L p_\eta + X$	250с	250с	-	-	-
	протоны с импульсом 9 ГэВ/с				
б) природа промежуточного состояния M^* : $pA \rightarrow M^* \rightarrow p_L \pi_\eta$	-	-	250н	250н	-
	протоны с импульсом 9 ГэВ/с				
в) фрагментация пионов: $\pi A \rightarrow \pi_L n_\eta + X; \rightarrow p_L h_\eta + X$	-	250н	250н	250н	250н
	протоны с импульсом 14 ГэВ/с				
2. ЭФФЕКТЫ КАНАЛИРОВАНИЯ					
	250с	250с	250с	-	-
	-	(250н)	250н	250н	250н
	ядра ^{19}F (или ^7Li , ^{21}Ne , ^{23}Na , ^{57}Fe) с импульсом ~ 5 ГэВ/с.нуклон				
3. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ					
	200с	-	-	-	-
	ядра D с импульсом 3+9 ГэВ/с				
	-	200с	-	-	-
	ядра D^+ с импульсом 3+9 ГэВ/с				
ИТОГО: синхрофазотрон					
	700	700	250	-	-
нуклотрон					
	-	250	750	750	750

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.И.Бельзер и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-591 (Дубна, 1987).
2. J.V.Allaby et al. Preprint CERN 70-12 (Geneva, 1970).
3. Л.И.Бельзер и др. Препринт НИИЯФ МГУ 88-54/75 (Москва, 1988).
4. Л.И.Бельзер и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-653, 654 (Дубна, 1987).
5. А.И.Демьянов и др. Препринт ИФВЭ АН Каз ССР 82-04 (Алма-Ата, 1982).
6. Ю.М.Пивоваров, А.А.Широков. ЯФ, т.37, вып.5, с.1101 (1983).
7. А.А.Широков и др. ЯФ, т.49, вып.1, с.20 (1989).
8. V.G.Ableev et al. Preprint JINR E1-82-377 (Dubna, 1982).
9. О.Я.Федоров. Препринт ЛИЯФ.484 (Ленинград, 1979).

А Н Н О Т А Ц И Я

"Развитие методики и исследование процессов фрагментации, механизмов образования и распада радиоактивных нуклидов на пучках релятивистских частиц и ядер синхротрона ЛБ5 — проект ГАММА"

Настоящий проект предлагается реализовать с участием следующих научных организаций:

ОИЯИ:

Лаборатория высоких энергий: В.С. Бутцев, Б.А. Кулаков,

М.И. Кривоустов, М. Кэмпфер; Лаборатория теоретической физики:

В.Д. Тонеев; Лаборатория вычислительной техники и автоматизации:

Г.Л. Бутцева, А.А. Карлов, И. Молнар, Л.С. Нефедьева, А.Н. Соснин,

В.Н. Самойлов, Б.А. Арбузов; Институт физики высоких энергий (Протвино):

Харьковский государственный университет:

И.Д. Федорец, С.С. Раткевич, М.Я. Озеров, А.А. Беспалов; Институт

ядерной физики (г. Ржеф, ЧССР): И. Адам, Я. Франа, Д. Дворжак;

Высшая техническая школа (г. Лейпциг, ГДР): Э.Ю. Лангрок, Ф. Пилле,

М. Роммел; Центр ядерных исследований (г. Страсбург, Франция):

М. Дебуа, Ж. Адлоф, Дж. Раларози; Институт ядерной химии

(г. Марбург, ФРГ): Р. Брандт, Г. Хаазе, М. Хек, Х. Барт.

Руководители проекта: Б.А. Кулаков, В.С. Бутцев.

На основе протоколов о сотрудничестве предлагается осуществить проект совместных исследований процессов фрагментации ядер-снарядов и ядер-мишеней, механизмов образования и распада радиоактивных нуклидов на пучках релятивистских частиц и ядер. Планируется создать программно-аппаратурный комплекс ГАММА (рис. 1), который будет включать:

- германиевые детекторы высокого разрешения до 2,2 кэВ для $E=1173,2$ кэВ ^{60}Co ;
- спектрометрическую аппаратуру в стандарте КАМАК, аналоговые процессоры АДС на линии с персональными компьютерами типа PC/AT 386 и систему программ;
- систему мониторинга пучков ускоренных частиц и ядер синхротрона;

Остаточные радиоактивные ядра, образующиеся при столкновении релятивистских частиц и ядер с ядрами мишеней, будут идентифицированы на установке ГАММА по энергии гамма-лучей, интенсивностям и периодам полураспада $^{1-2}$.

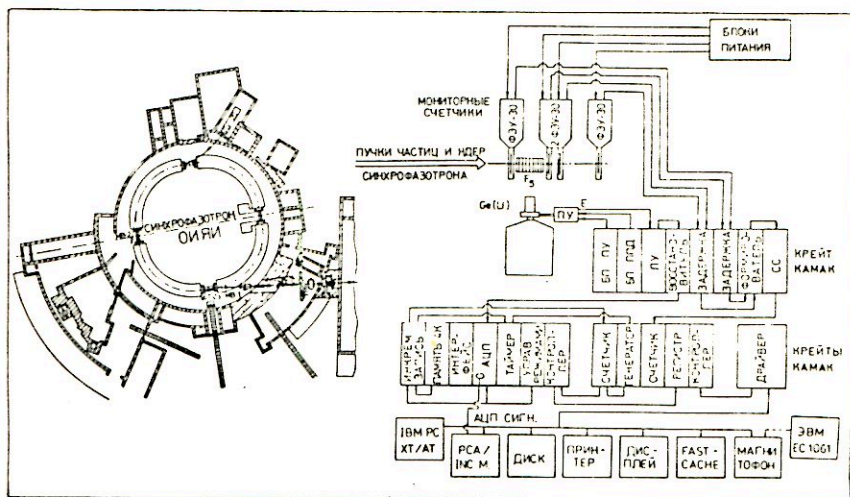


Рис. 1. Блок-схема установки ГАММА.

Назовем ряд наиболее интересных задач, которые предполагается решить на установке ГАММА:

- исследование аномального взаимодействия фрагментов релятивистских ядер с веществом;
- изучение сечений образования радиоактивных ядер-продуктов;
- исследование угловых моментов остаточных ядер-продуктов и релятивистских фрагментов;
- исследование множественности нейтронов;
- прецизионные измерения времени жизни радиоактивных ядер-продуктов и релятивистских фрагментов.

Ниже излагаются основные идеи экспериментов по изучению процессов фрагментации и пути их реализации. Исследования предполагается начать с модернизации установки и главный акцент сделать на изучении распределения вторичных быстрых фрагментов и аномалий при их взаимодействии с веществом. Затем внимание будет сконцентрировано на измерениях времени жизни фрагментов и остаточных радиоактивных нуклидов и определении их сечений образования в соударениях $p, d, ^4\text{He}, ^6\text{Li}, ^{12}\text{C}, ^{16}\text{O}$ и ^{24}Mg с энергией 3,65 ГэВ/нуклон с широким набором мишеней от $^{27}_{13}\text{Al}$ до $^{238}_{92}\text{U}$.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРАГМЕНТОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР-НАЧАЯДОВ С ВЕЩЕСТВОМ

В последние годы большое внимание уделяется экспериментальному и теоретическому исследованию аномальных ядерных фрагментов, образующихся в ядро-ядерных соударениях при релятивистских энергиях $\sqrt{s} \sim 13$. Анализ основных результатов по исследованию аномальных - гипотетических объектов с аномально короткой длиной

пробега в веществе и, соответственно, повышенными сечениями взаимодействия достаточно полно изложен в обзорах / 7-9/. Исследование этой проблемы проводилось с помощью ядерных фотозумьсий, пластиковых и трековых детекторов, черенковских счетчиков и активационной методики. Интерес к проблеме аномалонов вызван различными подходами к интерпретации явления. В основу многих моделей положена гипотеза о возможных проявлениях цветовых свойств кварков и глюонов в квантовой хромодинамике. Поэтому целесообразно продолжать поисковые эксперименты аномалонов с применением различных методик. Особая роль в этих исследованиях отводится ускорителям, обладающим пучками ядер с энергией выше 2 ГэВ/нуклон. Например, в экспериментах, выполненных с применением активационной методики / 5,12,13/, по облучению сборки мишеней из медных дисков в пучках ядер углерода-12 (44 ГэВ) и ядер аргона-40 (72 ГэВ) обнаружено аномальное увеличение отношений выходов ^{24}Na по сравнению с расчетными значениями.

В последние три года проведена серия совместных (Дубна - Марбург- Лейпциг - Страсбург) экспериментов по изучению распределения вторичных быстрых фрагментов в различных конфигурациях мишеней и твердотельных трековых детекторах на пучках альфа - частиц с импульсом 4 ГэВ/с на синхротроне САТУРН в Сакле, ядер - углерода-12 и аргона-40 при импульсе 2,1 ГэВ/с на нуклон (Беркли) и ядер углерода-12 при импульсе 54 ГэВ/с на синхрофазотроне в Дубне /13/. Экспериментальные отношения выходов изотопа натрия-24 для всех мишеней больше, чем расчетные.

Эти данные позволяют нам сделать заключение о рождении в первых актах взаимодействия либо частиц с большими поперечными импульсами, либо неизвестных гипотетических ассоциаций или фрагментов с большими угловыми моментами, которые вылетают в этот угловой диапазон и при повторном взаимодействии дают вклад в образование изотопа ^{24}Na . В дальнейшем планируется продолжить экспериментальные исследования аномальных фрагментов в ядро-ядерных соударениях с применением различных методик на ускорителях в Дубне, Сакле, ЦЕРНе, Дармштаде и Беркли, а также провести теоретические расчеты.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР-ПРОДУКТОВ

В ряде научных центров мира развиваются программы экспериментальных исследований ядер за пределами области

бета-стабильности^{/14/}. Наиболее благоприятные условия для исследования различных аспектов фрагментации ядер могут оказаться при энергиях 3,5–4 ГэВ на нуклон. Здесь можно изучать как фрагментацию ядра-снаряда, так и фрагментацию ядра-мишени при высоких энергиях возбуждения. Отметим ряд других преимуществ работы на пучках релятивистских ядер: во-первых, выходы радиоактивных ядер, значительно удаленных от линии бета-стабильности как в сторону нейтронного дефицита, так и в сторону протонного дефицита будут существенно выше, чем на пучках протонов^{/16/} и, во-вторых, большой диапазон ускоряемых частиц и ядер на синхрофазотроне ЛВЭ как по энергии, так и по атомному номеру вместе с широким выбором мишеней по Z и A, значительно увеличат количество исследуемых задач. Например, в работах^{/1,15,16/} показано, что при взаимодействии d, He, ^6Li и ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон с ядрами C, Nb, Tb, Ag, Pb и Bi без применения радиохимического разделения успешно определять сечения радиоактивных нуклидов в широких диапазонах массовых чисел от Na-24 до A-ядра мишени.

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ МОМЕНТОВ ОСТАТОЧНЫХ ЯДЕР-ПРОДУКТОВ И РЕЛЯТИВИСТСКИХ ФРАГМЕНТОВ

В релятивистской ядерной физике предельная фрагментация и факторизация рассматриваются на случаи мультибарийонных систем. Однако, экспериментальные данные, полученные в Беркли, указывают на возможные нарушения этих основных положений^{/17/}.

Фрагменты мишени имеют малую кинетическую энергию, что затрудняет проведение экспериментов. Кроме того, трудность разделения прямых каналов реакций и продуктов распада высоковозбужденных состояний усложняет интерпретацию результатов. Тем не менее при энергиях 1,8 ГэВ/нуклон и 3,65 ГэВ/нуклон показана возможность получения некоторых результатов по фрагментации мишени^{/1,15,16/}. Наряду с этим следует ожидать согласно расчетам увеличения выхода высокоспиновых состояний с ростом импульса налетающих частиц, т.е. роста угловых моментов образовавшихся радиоактивных фрагментов и нуклидов после протекания ядерного каскада.

Одним из возможных экспериментальных подходов в исследовании угловых моментов является экспериментальное измерение изомерных и изобарных отношений, характеризующих вероятность образования

остаточных радиоактивных ядер в основном и изомерных состояниях. Эта величина сильно зависит как от энергии и спина состояния, так и от типа реакции.

Полученные в off-line экспериментах данные об изомерных отношениях /1/ в реакциях с р и ^{12}C могут свидетельствовать о равновероятном заселении метастабильных состояний. В этих экспериментах не регистрировались мгновенные гамма-кванты и поэтому не удалось идентифицировать высокоспиновые состояния.

В настоящем проекте предлагается проводить исследование механизмов образования высокоспиновых состояний, изомерных отношений и угловых моментов остаточных ядер и фрагментов в on-line экспериментах непосредственно на пучках частиц и ядер синхротрона.

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОСТИ НЕЙТРОНОВ

Из экспериментальных и теоретических исследований следует, что мишени из тяжелых элементов (свинец, висмут, торий, уран), облученные пучком высокоэнергетичных частиц и ядер, могут служить источником нейтронов.

Представляет интерес получение информации о множественности нейтронов в ядро-ядерных соударениях при энергиях синхротрона.

В рамках настоящего проекта планируется в ходе облучения мишеней по изучению аномальных фрагментов и радиоактивных нуклидов одновременно регистрировать поток нейтронов. Кроме того, предлагается исследовать множественность нейтронов путем измерения в указанных экспериментах независимых выходов радиоактивных ядер по их кумулятивным выходам. Далее можно построить распределение множественности испускаемых нейтронов, используя данные о независимых выходах, сопоставляя полученные результаты с ранее известными из других работ о множественности заряженных частиц, рожденных в тех же ядро-ядерных соударениях.

Важно отметить, что полученные данные о нейтронах могут быть использованы в расчетах по теоретическим моделям и их сравнении с экспериментальными результатами выходов аномальных фрагментов /13/, определении вкладов различных механизмов реакций фрагментов и радиоактивных нуклидов в ядро-ядерных соударениях, а также при решении задач дозиметрии ускорителей высоких и сверхвысоких энергий.

Для получения сведений о множественности нейтронов в указанных экспериментах предлагается дооснастить установку детекторами

нейтронов и разработать методику активационных детекторов с применением специально подобранных материалов (алюминий, кобальт, ниобий, золото), которая может использоваться для регистрации нейтронов в энергетическом интервале от 0 до 50 МэВ.

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР-ПРОДУКТОВ И РЕЛЯТИВИСТСКИХ ФРАГМЕНТОВ

Одной из наиболее привлекательных задач релятивистской ядерной физики является возможность исследовать свойства ядерной материи в необычных условиях. Поведение ядерного вещества при больших плотностях и температурах тщательно исследуется во многих работах. Соответствующие уравнения состояния ядерной материи описывают возможные области фазовых переходов: пионный конденсат, аномальная ядерная материя, кварк-глюонная плазма.

Предлагается провести серию экспериментов по точному измерению времени жизни некоторых ядер-продуктов (^{99}Mo и ^{210}Po) и релятивистских фрагментов (^7Be , ^{24}Na). Одним из возможных сигналов фазовых переходов ядерной материи в необычных условиях может являться незначительное изменение энергии связи, ответственное за образование многокварковых устойчивых конфигураций. Эта идея основана на том, что при соударении релятивистских ядер в области взаимодействия выделяется большая энергия, приводящая к экстремальным состояниям адронного вещества, характеризующегося высокими значениями плотности, давления и температуры. Незначительное изменение энергии связи при этих условиях может изменить величину матричного элемента бета-распада из основного состояния ядра ^{18/}.

Известен ряд факторов, влияющих на вероятность распада ядер: давление, низкие температуры, состояние сверхпроводимости.

В настоящем проекте предлагается начать прецизионные измерения периода полураспада изотопа ^{99}Mo ($T_{1/2}=66,02$ ч) в трех различных реакциях:

1. В реакции радиоактивного захвата тепловых нейтронов ^{98}Mo (n, γ) ^{99}Mo . Для этого обогащенный изотоп $\text{Mo}-98$ будет облучен нейтронами на реакторе ИБР-2 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.
2. В реакции деления ядер урана-235, в которой молибден-99 образуется с большим выходом ^{235}U (n, f) ^{99}Mo (6 %). Для этого обогащенный изотоп урана-235 будет также облучен нейтронами на реакторе ИБР-2.
3. В реакции с релятивистскими ядрами ^{181}Ta ($^{12}\text{C}, X$) ^{99}Mo в

экстремальных условиях адронной материи. Для проведения этого эксперимента мишень, изготовленная из фольги тантала-181 весом до 5 кг, будет облучена в течение 24 часов максимальным потоком ядер углерода-12 с энергией 44 ГэВ на синхротроне ЛВЭ. Источник будет изготовлен радиохимическим выделением ^{99}Mo из облученной мишени.

Измерения будут проводиться по спаду активности гамма линий, возникающих при распаде ^{99}Mo : 181,07 (49,9 %) КэВ; 739,059 (100 %) КэВ; 777,8 (35 %) КэВ.

Современная техника измерения периодов полураспада позволяет проводить измерения на уровне 10^{-4} - 10^{-5} . Для достижения указанной точности предлагается применить дифференциальный метод измерения активности мишеней, дополнить установку ГАММА аналоговым процессором типа ADC (Analog to Digital Converter) на линии с РС-At386S, что позволит значительно сократить время набора спектров гамма-лучей, увеличить емкость каналов до 24 двоичных разрядов и сократить число просчетов /2/.

Для осуществления в 1991 - 95 г.г. проекта ГАММА необходимы следующие ресурсы ОИЯИ: 250 тыс. руб. кап. вложений, КБ ЛВЭ - 1000 ч, ЦОЭП ЛВЭ - 2500 ч., а также 250 ч работы синхротрона ЛВЭ и 100 ч ЭВМ ЛВТА.

Кроме этого, в реализацию проекта предполагаются дополнительные вклады сотрудничающих организаций (ИЯХ, Марбург, ФРГ; ЦЯИ, Страсбург, Франция; ВТШ, Лейпциг, ГДР; ХГУ, Харьков, СССР; ИЯФ, Фжш, ЧССР и др.) - финансирование около 150 тыс. руб., ресурсы ЭВМ и трудовые ресурсы.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОЕКТА

Высокая конкурентоспособность настоящего проекта обеспечивается следующими факторами:

1. Физической программой, нацеленной на поиск новых явлений в ядро-ядерных соударениях: поиск и исследование аномальных взаимодействий, изучение сечений образования ядерных фрагментов и радиоактивных нуклидов и прецизионные измерения их времени жизни, изучение множественности нейтронов.
2. Высокоинтенсивными пучками и широким набором ядер, ускоряемых на синхротроне, его дальнейшим развитием и созданием нуклотрона.
3. Достаточно эффективной автоматизированной установкой для измерения с помощью набора $\text{Be}(\text{Li})$ - детекторов высокого разрешения на линии с персональными ЭВМ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бутцев В.С. и др., Препринт ОИЯИ, P1-85-590, Дубна, 1985; ЯФ, 1986, 44, 425; Бутцев В.С. и др. Препринт ОИЯИ, P1-87-560, 1987.
2. Бири Ш., Бутцев В.С. и др., Препринт ОИЯИ, P1-89-298, Дубна, 1989.
3. Milone A., *Nouvo Cimento*. 1954, 12, p. 353.
4. Friedlander E.M. et al, *Nucl. Sci. Abstr.*, 1961, 15, p. 3457; *Phys. Rev. Lett.*, 1980, 45, p. 305.
5. Dersch G. et al, *Phys. Rev. Lett.*, 1985, 55, p. 1176.
6. Aleklett K. et al, *Int. Conf. on Nuclear and Radiochemistry, INCR '86, Beijing, China, 1986*, p. 137.
7. Bauman B.F., Tang Y.C., *Phys. Rev.*, 1987, 147, p. 155.
8. Арбузов Б.А., *Ядерная физика*, 1985, 42, с.542; *ЭЧАЯ*, 1988, 19, с. 5;
9. Ganssaugue E., *Annalen der Physik*, 1987, 44, p. 202.
10. Aleklett K., Brandt R. et al, *Proc. Intern. Conference on Symmetrics (Dubrovnik, Yugoslavia)*, 1986, p. 432.
11. Aleklett K., Brandt R. et al, *Proc. 4th Conference on Nuclear Analytical Methods (Dresden, DDR, 1987)* p. 3.
12. Aleklett, K., Brandt, R. et al., *Phys. Rev. C*, 1988, 38, p. 1658.
13. Brandt R., Butsev V.S., Krivopustov M.I., Kulakov B.A. et al., *Nucl. Tracts Radiat. Meas.*, 1988, 15, p.383.
14. *Proc. Intern. Conf. on Nucl. Far from Stability (Sept. 1987, Rosseau Lake, Ontario, Canada)*, 1987.
15. Porile N.T., Cole G.L. et al, *Phys. Rev.*, 1979, 19, p. 2288.
16. Morrissey D.Y., et al, *Phys. Rev.*, 1979, 19, p.2288.
17. Greiner D.E., et al, *Phys. Rev.C.*, 1985, 31, p. 416.
18. Emery G.T., *Annal Rev. of Nucl. Sci.*, 1972, 22, p. 165.

Исследование характеристик странных, очарованных частиц и экзотических резонансов, рождённых нейтронами на ядрах водорода, углерода, алюминия и меди при серпуховских энергиях нейтронов ~ 40 ГэВ .

(Предложение темы по завершению обработки и анализа данных с установки БИС-2, условное название: "Фор БИС-2")"

СОТРУДНИЧЕСТВО БИС-2: ЛВЭ, ЛВТА, СЭО ОИЯИ (Дубна) - ИФВЭ АН КазССР (Алма-Ата), ИФВЭ АН ГДР (Берлин-Цойтен), ФИ им. П.Н. Лебедева АН СССР (Москва), НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва), ФИЧСАН (Прага), П.Ун-т им. П.Хилендарски (Пловдив), ВХТИ (София), ИИЯЭ БАН (София), ЦЛАНІ БАН (София), ИФВЭ ТГУ (Тбилиси)

Руководитель темы: М.Ф. ЛИХАЧЕВ (ЛВЭ ОИЯИ)

А Н Н О Т А Ц И Я

В 1979-85 г.г. с помощью спектрометра БИС-2 на магнитных лентах накоплена первичная информация о взаимодействиях нейтронов со средней энергией ~ 40 ГэВ с различными ядрами. Всего на магнитных лентах содержится более 80 миллионов событий: $\sim 28 \cdot 10^6$ событий с жидководородной мишенью, $\sim 28 \cdot 10^6$ - с углеродной, $\sim 16 \cdot 10^6$ - с алюминиевой и $\sim 15 \cdot 10^6$ - с медной.

Частичная обработка и анализ этой информации показали эффективность и актуальность исследований адронного рождения странных, очарованных частиц и поиска экзотических узких барионных резонансов и мезонных бариониев. Опубликованные физические результаты получены пока лишь на части накопленной на магнитных лентах первичной инфор-

мации:

1) Характеристики рождения гиперонов Λ , $\Sigma^{\pm}(1385)$, Σ^{-} , $\Sigma^0(1530)$, $\Lambda(1520)$, Ω^{-} и антигиперонов $\bar{\Lambda}$, $\bar{\Sigma}^{-}(1385)$, $\bar{\Sigma}^{+}/1/$ - получены на материале 5,1 миллиона первичных событий;

2) Поляризация $\Sigma^{-}/2/$ - на статистике $23 \cdot 10^6$ первичных событий;

3) Поляризация и Λ - зависимость поляризации $\Lambda/3/$ - на статистике $12 \cdot 10^6$ первичных событий;

4) Характеристики рождения очарованных Λ_c^{+} - барионов /4/ - на статистике $16,3 \cdot 10^6$ первичных событий;

5) Характеристики рождения \bar{D}^0 и D^{-} - мезонов /5/ - на статистике $9,9 \cdot 10^6$ первичных событий;

6) Поиск, характеристики и свойства узкого барионного резонанса /6/ $N(1960)$ - на статистике $12 \cdot 10^6$ первичных событий;

7) Поиск и наблюдение странных и со скрытой странностью узких мезонных бариониев /7/ - на статистике $\sim 43 \cdot 10^6$ первичных событий;

8) Изучение диссоциации нейтронов в систему $\Lambda K^0/8/$ - на статистике $12 \cdot 10^6$ первичных событий.

Предлагается завершить анализ всей первичной информации, накопленной в экспериментах на установке БИС-2, по указанным выше физическим задачам, а также осуществить исследования характеристик адронного рождения $\phi(1020)$ и $K^{*}(892)$ - мезонов, поиск очарованных частиц по другим каналам распада: $K^{+}\pi^{-}\pi^{-}$; $P K^{-}\pi^{+}$, $P K^{-}\pi^{+}\pi^{-}$ и др., ранее в этом эксперименте не исследованным, и обобщить физические результаты по адронному рождению странных, очарованных частиц и узких экзотических резонансах в пучке нейтронов с энергией ~ 40 ГэВ. Наиболее важной, актуальной и трудоёмкой задачей "Предложения" является поиск распадов $\Lambda_c^{+} \rightarrow P K^{-}\pi^{+}$, $D^{-} \rightarrow K^{+}\pi^{-}\pi^{-}$ и $\Sigma_c^0 \rightarrow \Lambda_c^{+}\pi^{-}$ и определение отношений парциальных ширин распадов ($\Lambda_c^{+} \rightarrow \bar{K}^0 P \pi^{+}\pi^{-}$) / ($\Lambda_c^{+} \rightarrow K^{-} P \pi^{+}$)

(I)

Актуальность этих исследований обусловлена имеющейся скудной экспериментальной информацией: о рождении гиперонов и антигиперонов с $|S| \geq 2$ в нуклонных и особенно в нейтронных пучках, о характеристиках рождения очарованных частиц в адронных взаимодействиях и о парциальных ширинах распада Λ_c^+ - барионов, о наблюдении и установлении существования в природе экзотических многокварковых узких состояний и тем более об их характеристиках рождения и спектроскопии.

Полная обработка и анализ имеющейся первичной экспериментальной информации, полученной с помощью БИС-2, позволяет улучшить экспериментальную точность уже полученных физических результатов на установке БИС-2 $\sim 3 \sim \sqrt{2} + \sqrt{3}$ раза, а также получить новые экспериментальные данные о рождении очарованных частиц по распадам на заряженные адроны и получить сведения об относительных величинах парциальных ширины распадов Λ_c^+ (I).

Проведение работ по этому предложению рассчитано на пять лет (1990-94 г.г.) группой сотрудников ЛВЭ в составе сектора № 3 НЭЭО ЛВЭ и другими группами Сотрудничества БИС-2.

Капитальных затрат для выполнения темы не требуется.

Л и т е р а т у р а

1. Сотрудничество БИС-2: ОИЯИ, Р1-82-353, Дубна (1982);
РНЕ, 82-7, Берлин-Цойтен (1982);
ЯФ, т.44, вып. 9 (1986) с.661;
Болгарский Ж.физики, т.15 (1988) с 1.
2. Сотрудничество БИС-2: Краткие сообщения ОИЯИ № 19-86 (1986) с.6.
3. Сотрудничество БИС-2: ЯФ, т.37, вып.6 (1983) с.386;
Цайтшрифт фюр физик, С36 (1987) с.27.
4. Сотрудничество БИС-2: ЯФ, т.35, вып 5 (1982) с.1175;
Международный семинар "Кварки-82", Сухуми, 1982, Труды...
ИЯИ, М. (1983)с. 362; Межд.семинар "Кварки-84", Тбилиси, 1984.
Труды... . ИЯИ, М.(1986) с.264; Цайтшрифт фюр физикс С 23 (1984)
с 333; Болгарский Ж.физики, т.10, вып I (1983) с 49; Болгарский
Ж.физики т 10, вып.2 (1983) с 185; ЯФ, т.37, вып. '6 (1983) с.1474;
Краткие сообщения ОИЯИ, I-84, Дубна (1984) с.13;
ЯФ.т.43, вып. 3 (1986) с 619; Межд.семинар. "Кварки-86". Труды...
ИЯИ, М. (1986) с 485; ЯФ, т.46, вып.10 (1987) с 1127;
ФИЧСАН, 8-88, Прага (1988); ОИЯИ, Р1-88-397, Дубна (1988).
5. Сотрудничество БИС-2: ОИЯИ, Е1-85-662, Дубна (1985);
ОИЯИ, Е1-87-265 (1987); Чехослов.Ж.физики, В36 (1986) с.1303;
Цайтшрифт фюр физик С37 (1988) с 243.
6. Сотрудничество БИС-2: ЯФ, т.34 вып 8 (1981) с.386;
ЯФ, т. 36, вып 6 (1982) с 1420; Межд.сем. "Кварки-82", Сухуми
(1982), Труды ... ИЯИ, М (1983) с 376; Межд.сем. "Кварки-86",
Тбилиси, 1984. Труды ИЯИ, М (1986) с.255; 7-й Межд.сем.
по проблемам физики высоких энергий. Мультикварковые взаимодей-
ствия" и квантовая хромодинамика, Дубна 1984, Труды... .
ОИЯИ (1984) с 366; Цайтшрифт фюр физикс С25 (1984) с.205;
Междунар.семинар "Кварки-86", Тбилиси, 1986. Труды... ..
ИЯИ, М. (1986) с.469 и с.495; ЯФ, т.44, вып.10 (1986) с 1010;
ЯФ, т.45, вып.4 (1987) с 1020; Е1-88-651, Дубна (1988).
7. Сотрудничество БИС-2: Краткие Сообщения ОИЯИ, № 19-86, Дубна
1986 с 16; ОИЯИ, Д1-88-194, Дубна (1988); ОИЯИ, Д1-88-368,
Дубна (1988); ОИЯИ, Д1-88-369, Дубна (1988).
8. Сотрудничество БИС-2: РНЕ, 83-1, Берлин-Цойтен (1983);
РНЕ, 83-5, Берлин-Цойтен (1983); ОИЯИ, Р1-88-51, Дубна (1988).

СОТРУДНИЧЕСТВО

ИФВЭ (Серпухов) - ОИЯИ (Дубна) - ИТЭФ (Москва) - ИЯИ (Москва) - ИЯИ АН УССР (Москва) - БФЭИ (Ереван) - ИЯИ АЗССР (Баку) - ФТИ АН УзССР (Ташкент) - ИФВЭ АН КазССР (Алма-Ата)

НЕЙТРИННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОГО НЕЙТРИННОГО СПЕКТРОМЕТРА НА УЛК

А.Н.Магайцев, М.И.Соловьев, Н.П.Щакин, А.П.Чеплаков (ОИЯИ)

Ускорительно-накопительный комплекс ИФВЭ открывает новые возможности для исследования нейтринных взаимодействий при высоких энергиях. Протоновый пучок УЛК с интенсивностью $5 \cdot 10^{14}$ р/цикл и энергией 5000 ГэВ позволяет получить высокоинтенсивные и узконаправленные пучки нейтрино с энергиями вплоть до 2000 ГэВ, что значительно перекрывает возможности существующих нейтринных пучков. Характеристики проектируемых нейтринных пучков создают реальные возможности использования при энергиях УЛК спектрометрических установок с относительно небольшими размерами: поперечный размер $\sim 1 \text{ м}^2$ и масса ~ 1 тонна.

Сотрудничеством предлагается создание и использование гибридного нейтринного спектрометра (ГИНЕС) в качестве многоцелевой спектрометрической установки для проведения нейтринных исследований в пучке "прямых" нейтрино, образующихся при полном поглощении протонового пучка на мишени ("beam-dump" эксперимент) и в пучке мюонных нейтрино узкого спектра.

Состав установки позволяет измерить характеристики вторичных частиц нейтринного взаимодействия, проводить идентификацию электронов, мюонов и адронов различного типа в широком диапазоне углов и импульсов. Использование активной мишени - пузырьковой камеры с голографическим съемом информации - позволяет достичь пространственного разрешения на уровне 30 мкм, необходимого для регистрации короткоживущих частиц (τ -лептоны, s - и b -частицы) в условиях 4 π -геометрии.

В рамках установки ГИНЕС возможно использование и других мишеней, что позволяет рассматривать её как универсальную спектрометрическую установку для исследования нейтринных взаимодействий.

Физическая программа

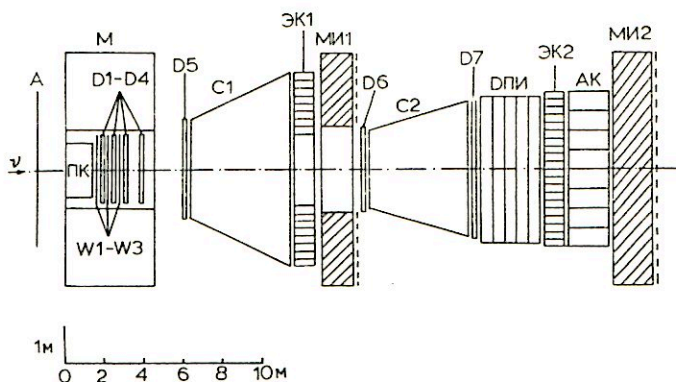
Нейтринные исследования на установке ГИНЕС в пучке прямых нейт-

РИНО позволяют впервые зарегистрировать взаимодействия τ -нейтрино, детально исследовать универсальность взаимодействий приликов ν_e , ν_μ и ν_τ по каналу заряженного тока, провести поиск новых слабозаимодействующих частиц $\frac{1}{T}$.

В пучке мюонных нейтрино узкого спектра будут исследованы процессы множественного образования частиц в нейтрино-нуклонных взаимодействиях заряженного и нейтрального токов при максимально возможных энергиях. Здесь особый интерес вызывает изучение процессов с образованием частиц, содержащих тяжёлые кварки; определение в одном эксперименте киральных констант связи для u -, d -, s -, c - и b -кварков в слабом нейтральном адронном токе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки РИНОС приведена на рис. 1.



Основой установки является активная мишень, в качестве которой выбрана пузырьковая камера (ПК), представляющая из себя цилиндр с диаметром 1,2 м и длиной 1,2 м. Рабочая жидкость ПК - пропан - этан - фреоновая смесь ($P_{max} = 19 \text{ кг/см}^2$, $t = 51,5^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 24 \text{ г/см}^2$, $\lambda = 82,4 \text{ г/см}^2$, $\rho = 0,55 \text{ г/см}^2$). Корпус камеры по образующей цилиндра из титанового сплава, толщиной 10 мм. Торцовые стенки камеры стеклянные, толщиной 500 мм. Камера имеет две системы фотографирования - одна для голографического съёма информации, вторая для обычного оптического съёма.

Для оптического съёма информации используется импульсное освещение объёма ПК в обычном свете с регистрацией изображения на три фоторегистратора. Масштаб фотографирования $1/20$, разрешение в пространстве камеры ~ 500 мкм.

При голографическом съёме информации используется схема частично-когерентной голографии, позволяющая получить плоские голографические изображения^{2,7}. Это позволяет упростить обработку голографических изображений.

При голографическом съёме камера освещается импульсным рубиновым лазером ($\lambda = 694$ нм) мощностью ~ 10 Дж. Голографическое изображение, получаемое в интерферометрах, регистрируется 3 фоторегистраторами. Оценки показывают, что применение схемы частично-когерентной голографии позволяет получить пространственное разрешение ~ 50 мкм.

При голографическом съёме размер пузырьков $\sim (30 \div 50)$ мкм, при обычном съёме - 400 мкм. Режим работы камеры должен обеспечивать плотность $100 \div 200$ пуз./см для релятивистских заряженных частиц.

ПК расположена в начале спектрометрического магнита и служит для регистрации короткоживущих частиц ($\tau \leq 10^{-13}$ сек) и измерения импульсов быстрых заряженных частиц. Интеграл поля в магните составляет ~ 2 ГэВ/с, апертура магнита $1,5 \times 2$ м².

Основная часть заряженных частиц регистрируется с помощью системы проволочных трековых детекторов Д1-Д7^{3,7}. Дрейфовые камеры Д1-Д4 с чувствительной областью 180×130 см² располагаются в зазоре магнита в области с однородным магнитным полем. Вне магнита расположены камеры Д5-Д7 с поперечными размерами 200×250 см² (Д5-Д6) и 360×360 см² (Д7). Всего предполагается использовать 28 дрейфовых плоскостей с общим количеством каналов ~ 6000 . Высокое пространственное разрешение ДК (~ 200 мкм) позволит измерять импульсы быстрых частиц с $\Delta p/p \sim 1,5 \cdot 10^{-4}$ р.

Система идентификации заряженных адронов состоит из:

- порогового многочисленного черенковского счётчика C_1 длиной 3 м на 54 канала. Счётчик работает на азоте при атмосферном давлении и позволяет разделять Π - и K -мезоны в диапазоне от 6 до 25 ГэВ;
- черенковского счётчика C_2 , основанного на регистрации колец черенковского излучения с помощью стримерной камеры. Длина счётчика ~ 5 м. Счётчик работает на азоте при атмосферном давлении и позволяет разделять вторичные адроны в импульсном интервале от 20 до 120 ГэВ;
- детектора переходного излучения (ДИИ) для разделения Π - и K -мезонов в диапазоне от 100 до 500 ГэВ^{4,7}. Детектор состоит из 24 модулей, каждый из которых содержит нерегулярный радиатор из пенопласта и

дрейфовую камеру.

Для регистрации гамма-квантов и идентификации электронов служат два электромагнитных ячеистых калориметра ЭК1 и ЭК2. Размеры ЭК1 - $4 \times 5 \text{ м}^2$ с отверстием посередине $1,8 \times 1,8 \text{ м}^2$, размеры ЭК2 - $4 \times 4 \text{ м}^2$. Оба калориметра состоят из модулей с поперечными размерами $76 \times 76 \text{ мм}^2$ и длиной $20 \cdot X_0$. Модуль набирается из пластин свинца толщиной 5 мм и сцинтиллятора толщиной 5 мм (всего ~ 40 слоёв). Энергетическое разрешение такого типа калориметра достигает $\Delta E/E \sim 0,1/\sqrt{E}^{5/}$. Каждый калориметр имеет 2500 ячеек.

Адронный ячеистый калориметр (АК) служит для регистрации быстрых нейтральных адронов. Размер АК $4 \times 4 \text{ м}^2$, поперечный размер ячейки $20 \times 20 \text{ см}^2$ (всего 40 ячеек). Ячейка набрана из пластин железа (25 мм) - сцинтиллятор (5 мм). Энергетическое разрешение такого калориметра $\Delta E/E \sim 0,7/\sqrt{E}^{1/6}$.

Для идентификации мюонов служат два мюонных идентификатора МИ1 и МИ2, которые состоят из мюонного флидера и дрейфовых трубок. Размеры МИ1 $5 \times 6 \text{ м}^2$ с отверстием $2 \times 2 \text{ м}^2$ в центре, размеры МИ2 $6 \times 6 \text{ м}^2$. Общее количество каналов дрейфовых трубок 1500.

На установке ГИИЭС планируется использование триггера. Наиболее приемлемым триггером для сбора информации и фотографирования пузырьковой камеры является условие наличия взаимодействия в объёме мишеней. Для выработки этого триггера служат сцинтилляционный фотодетектор антисовпадений размером $4 \times 4 \text{ м}^2$ и система одноплоскостных пропорциональных камер W1 - W3. На первом уровне вырабатывается быстрый сигнал совпадений на наличие в каждой из камер не менее 2-х треков. На втором уровне осуществляется проверка на попадание вершины взаимодействия в объём пузырьковой камеры.

Оценка статистики, которая может быть набрана с помощью ГИИЭС при сбросе на мишень 10^{19} протонов (~ 50 суток), составила:

в пучке "прямых" ν	ν_{τ}	ν_{μ}	ν_e
	1800	19000	19000
фон		17000	760
все ν	58000		
- в узкополосном ν - пучке			
для $R_h = 1,5 \text{ ТэВ}$, $\Delta R_h / R_h = 3\%$	ν_{μ} от J	ν_{μ} от K	все ν
заряж. токи	36000	44000	80000
нейтр. токи	11000	13000	24000
все ν	47000	57000	104000

Оценка эффективности регистрации ν_{τ} - взаимодействий составила $0,4 + 0,7$.

Стоимость создания установки TИHEC оценивается в 15 млн. руб.

Головной организацией по проекту является Институт физики высоких энергий (Серпухов).

В ОИИИ планируется изготовить ионные идентификаторы, включающие ионный фильтр, дрейфовые трубки и около 1100 каналов регистрирующей аппаратуры. Стоимость этой части работ оценена в 550 тыс. руб. Оплата изготовления идентификаторов будет произведена из средств ИФВЭ.

В случае одобрения проекта установка будет создана и готова к работе в 1995г.

Л И Т Е Р А Т У Р А:

1. В.А.Царёв. Материалы рабочего совещания по программе экспериментальных исследований на УНК. ИФВЭ, Серпухов, 1988.
2. Ю.А.Быковский, А.Н.Зарубин, А.Н.Ларкин. Препринт МИЭМ 042-86, Москва, 1986.
3. С.Высочил и др. Труды Международного симпозиума по координатным детекторам в физике высоких энергий. Д1, I3-88-I72, Дубна, ОИИИ, 1988, с.202.
4. С.Н.Казярин, С.Н.Мовсисян, К.К.Шихлиров. Препринт БрФМ I017(67)-87, Брест, 1987.
5. Ф.Бинон и др. Препринт ИФВЭ 86-109, Серпухов, 1986.
6. В.С.Давко и др. Препринт ИФВЭ 87-85, Серпухов, 1987.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЕЛФИ И ПРОВЕДЕНИЕ НА НЕЙ
ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(аннотация проекта)

Сотрудничающие организации: ЦЕРН и страны - участницы ЦЕРН, ИФВЭ (Серпухов), НПО "Космическая связь", ВНИИАС (Москва), институты стран - участниц ОИЯИ:

ЧССР - ФИ ЧСАН, КУ (Прага), Университет
и ИЭФ САН (Кошице), УК (Братислава)

НРБ - ИЯИ БАН (София)

ВНР - ЦИФИ (Будапешт), Университет (Дебрецен)

ГДР - ИФВЭ (Цойтен)

Куба - ИЯИ (Гавана)

ПНР - ИЯИ (Сверк)

Руководители эксперимента:

П.Н. Боголюбов

Г.В. Мицельмахер

Э.Н. Цыганов

Эксперимент ДЕЛФИ. Эксплуатация и развитие установки, расширение средств обработки данных (ЛВЭ, ЛЯП, ЛВТА, ЛТФ).

Авторы + общее число участников 106 человек, в том числе 45 от ЛВЭ, 45 от ЛЯП, 6 от ЛВТА и 10 от ЛТФ.

Научная программа - исследование e^+e^- -взаимодействий при энергии 100 - 200 ГэВ в с.с.и. на коллайдере ЛЭП в ЦЕРН. Предполагается прецизионная проверка предсказаний теории электрослабых взаимодействий в области Z^0 -бозона; изучение явлений, обусловленных существованием t -кварка; поиски новых частиц, таких, как хиггсовские бозоны, SYSI - частицы и др; проверка предсказаний квантовой хромодинамики, включая двухфотонные процессы и спектроскопию тяжелых кварков; исследование процессов за порогом образования пары заряженных W^+W^- -бозонов. Проведение указанных исследований представляет фундаментальный интерес для построения адекватной теории элементарных частиц.

Реализация намеченной научной программы будет проводиться до 1993 года на коллайдере ЛЭП на сооружаемой в настоящее время установке ДЕЛФИ, затем предполагается запуск коллайдера ЛЭП-2 с энергией 200 ГэВ в с.с.и. и модернизация основных детекторов установки ДЕЛФИ.

Исходя из вышеуказанного, по проекту ДЕЛФИ в ОИЯИ запрашивается 3,5 млн. руб., в том числе 0,8 руб. СЭВ и 1,0 млн. инв. руб. на следующие цели:

- создание центра связи ОИЯИ-ЦЕРН с пропускной способностью до 2 Мбит/с, включая выход на площадки ЛВЭ, ЛЯП и ЛВТА;
- создание графических центров обработки событий с установки ДЕЛФИ и комплекса рабочих станций обработки ДСТ на площадках ЛВЭ и ЛЯП;
- модернизация системы контроля параметров адронного калориметра установки ДЕЛФИ;
- создание высокочувствительной электроники съема информации с расширенным динамическим диапазоном.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА УСТАНОВКИ УНК - УКД

(аннотация проекта)

Сотрудничающие организации: ИФВЭ (Серпухов, головная организация), ЦЕРН, НИЦГФ (Москва), НТТМ ДОКА (Москва), институты стран - участниц ОИЯИ:

ЧССР - ФИ ЧСАН (Прага)
НРБ - ИЯИ БАН (София)
ПНР - ИЯИ (Сверк)
ГДР - ИФВЭ АН ГДР (Цойтен)

Руководитель проекта

Э.Н. Цыганов

В проекте разработаны и представлены основные концепции создания трековой системы Универсального Калориметрического Детектора (УКД) для экспериментов на встречных пучках Ускорительно - Накопительного Комплекса (УНК), строящегося в Серпухове.

Программа исследований разделена на восемь конкретных направлений:

- мягкие адронные процессы;
- электрослабые взаимодействия;
- суперсимметрия;
- расширенная калибровочная симметрия;
- динамическое нарушение электрослабой симметрии;
- субструктура лептонов, кварков и промежуточных бозонов;
- сверхновая физика.

Подробное обоснование этих направлений исследования приведено в проекте УКД для экспериментов на встречных пучках УНК (Серпухов, 1988 г.)

Трековая система УКД служит для реконструкции траекторий заряженных частиц в детекторе в широком диапазоне импульсов в телесном угле 4π и включает в себя: Вершинный Детектор (ВД), Центральную Дрейфовую Камеру (ЦДК), Наружную Дрейфовую Камеру

(ЦДК) и Торцовые Дрейфовые Камеры (ТДК).

Основным элементом трековой системы является центральная дрейфовая камера. Наружная и торцовые дрейфовые камеры по процессам, происходящим в них, и по конструкции незначительно отличаются от ЦДК. Поэтому выбор конструктивных решений по элементам механической конструкции и структуре ячейки, способы определения продольной координаты и выбор оптимальных параметров камер реализованы в применении к ЦДК. На основе математического моделирования ячейки ЦДК сделаны оценки влияния ряда процессов, происходящих в камере, на основные ее характеристики. Показано, что, например, использование в качестве рабочей газовой смеси на основе CO_2 и применение для регистрации сигнала быстрых АЦП позволяют для выбранной конфигурации ячейки обеспечить принципиальную возможность получения координатного разрешения на уровне 50 мкм и двухтрекового разрешения на уровне 500 мкм.

Вершинная часть системы рассмотрена отдельно. Основное назначение вершинного детектора - точное определение координат вершин распада короткоживущих вторичных частиц и уточнение вершины взаимодействия. Он должен обладать высоким пространственным разрешением, иметь высокое быстродействие, небольшое количество вещества, хорошую сегментацию и работать в больших радиационных полях. Всем этим критериям сможет удовлетворить предлагаемый в проекте вершинный детектор.

Предполагается, что вершинный детектор будет "гибридным". Он состоит из дрейфовой камеры, работающей при повышенном давлении газовой смеси и центральной части вершинного детектора, выполненной на основе полупроводниковых кремниевых годоскопов.

Структура ячейки вершинной дрейфовой камеры аналогична предлагаемой для внутренней части ЦДК. При длине зоны взаимодействия 14 см. длина ячейки составит 100 см. Это позволит перекрыть область быстрот от $-1,5$ до $1,5$. Расчетная точность измерения координат в R-ф плоскости составляет около 20 мкм, точность измерения продольной координаты около 100 мкм.

Внутренняя часть вершинного детектора будет выполнена из трех концентрических слоев, набираемых из полосковых кремниевых детекторов. Полосковый детектор представляет собой диодную матрицу, работающую в режиме полного обеднения. Матрица имеет размеры $46 \times 100 \text{ мм}^2$. Одна детекторная пластина содержит 2304

диодные полоски. Считывание информации будет построено с помощью сдвиговых регистров на основе ПЭС ячеек. Время считывания составит 20 нс. Расчетная точность восстановления координаты - 3 мкм.

В проекте разработаны вопросы создания систем высоковольтного питания, газового обеспечения и системы контроля и считывания информации. Аппаратуру регистрации зарядов и времени их поступления предполагается выполнить в стандарте ФАСТБАС. Это обусловлено высокими требованиями к быстродействию системы. Для получения зарядовременной структуры сигналов предполагается использовать "ФЛЭШ" АЦП с частотой стробирования 200 МГц с нелинейной шкалой с последующим запоминанием данных в памяти.

Трековая система УКД будет состоять из 7 подсистем, управление и связь между которыми будут осуществляться единой ЭЕМ.

Предполагается, что трековая система УКД будет в основном создана и изготовлена в период с 1991 по 1995 годы. Основные проектные и исследовательские работы будут продолжены до 1993 года.

Стоимость всей системы составит 17160 т.р.. Из них затраты по основной деятельности составят 2910 т.р.. Капитальные вложения составят 14250 т.р., в том числе 1180 т. инв. рублей и 2300 т. рублей СЭВ. Из них капитальные вложения ОИЯИ составят 6000 т.р., в том числе 570 т. инв. рублей и 2300 т. руб. СЭВ. Потребление основных ресурсов составит: КБ ЛВЭ - 10000 н. часов; ЦОЭП ЛВЭ - 25000 н. часов. ОП ОИЯИ: по механическим работам 210000 н. часов и по участку электроники 200000 н. часов.

П Р О Е К Т

"РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ"

Авторы проекта: Ю. В. Заневский, С. Е. Васильев, А. Б. Иванов,
С. А. Мовчан, Т. Натушил, Л. П. Смыков, С. П. Черненко,
Г. А. Черемухина.

Сроки реализации: 1991-1995 г.г.

Организации, участвующие в реализации проекта:

ЦИОИ ВАН (Будапешт), ЦИЯИ АН ГДР (Россендорф),
ЦИПИ АН ГДР (Лейпциг), ИФ НДНИ (Ханой), ИЯФ ЧСАН (Ржез),
ГТИМ (Прага), ИК АН СССР (Москва), ИХФ АН СССР (Москва),
ИМБ АН СССР (Москва), ФИАН (Москва), ИМГ АН СССР
(Москва), ЛНПО "Буревестник" (Ленинград), ЦИПРИИ МВ
СССР (Ленинград).

I. Назначение проекта

Детекторы изображений, разрабатываемые на основе позицион-
но-чувствительных детекторов (газовых, кристаллических, ПЗС-
матриц), предназначены для исследований в ядерной физике и дру-
гих областях науки. Разрабатываемые методы и аппаратура могут
использоваться для регистрации:

- заряженных частиц в ядерной физике
(детекторы окружения мишени, *vertex* - детекторы);
- гамма-квантов с энергией ~ 500 кэВ
в ядерной медицине (позитронная томография);
- мягкого рентгеновского излучения с энергией до 20 кэВ и
мягкого бета-излучения (структурные исследования, генная
инженерия);
- тепловых нейтронов (структурные исследования).

II. Экспериментальная аппаратура

В состав экспериментальной аппаратуры входят:

- газовые координатные детекторы с пространственным разреше-
нием 0,1 мм и быстродействием 10^7 I/с;
- кристаллические и полукристаллические сцинтилляторы, сцинтил-
лирующие волокна, сочлененные с ПЗС - матрицей с числом разре-
шаемых элементов $\geq 1000 \times 1000$;
- быстродействующая электронная аппаратура считывания информа-
ции с детекторов и ПЗС-матриц;
- микро-ЭВМ с системами визуализации высокого разрешения
 $\sim (1000 \times 1000$ элементов)

Часть аппаратуры необходимо приобрести в промышленности стран
СЭВ и у западных фирм.

III. Применение детекторов изображений

Результаты разработок, выполняемых в рамках работ по проекту, могут использоваться для исследований в ядерной физике, гамма-астрономии, ядерной медицине, структурном анализе, молекулярной биологии.

IV. Требуемые ресурсы на 1991-1995 г.г.

- Основная деятельность - 900 тыс руб.
Расходы на зарплату исполнителей проекта составляют 60 тыс. рублей в год, но с учетом накладных расходов эта сумма увеличивается до 180 тыс.рублей в год, т.е. до 900 тыс.рублей на 5 лет.
- Капитальное строительство - 500 тыс.рублей.
Расходы на приобретение измерительной техники, электронных компонент, ПЗС-матриц, конструктивов и т.д.

- Валюта первой категории - 10 тыс.рублей.
Расходы на приобретение современных электронных компонент и измерительной техники, не выпускаемых в странах СЭВ.
- Валюта третьей категории - 180 тыс.рублей
Расходы на приобретение конструктивов (крейтов, блоков питания), электронных компонент и микро-ЭВМ, производимых в странах СЭВ.
- Ресурсы ЦОЭП ЛВЭ - 9 тыс.часов.

ПРОЕКТ "ЭЛЕКТРОНИКА"

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ, МАТОБЕСПЕЧЕНИЯ И НОВЫХ ПРИНЦИПОВ
ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ, АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ
ДАНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И
АТОМНОГО ЯДРА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Авторы проекта: Колпачков И.Ф. – руководитель проекта
Ефимов Л.Г., Никифоров А.С., Николаев В.П.,
Щарфёнов А.Н., Смирнов В.А., Хмелевски Е.,
Базылев С.Н., Королёв В.С.

Научные учреждения, участвующие в осуществлении проекта:
ИЯИЯЭ БАН (София), ЦЛАНП БАН (София), ЦИФИ БАН (Будапешт), ИФ НЦИИ
(Ханой), ИФВЭ (Цойтен), ТУ (Дрезден), ЦИИИ (Россендорф), ИЯЭ (Пхень-
ян), Ун-т (Улан-Батор), ИЯИ (Сверк), ИФ ВПИ, ИРЭ ВПИ (Варшава), ОЗЯП
ПОЛОН (Варшава, Краков), ИТК САН, ФМ САН, ЭИ САН (Братислава), ИЯФ
ЧСАН, ИЯИ ЧСКАЭ (Ржеж), ТУ (Прага), ИФП (Прага), НТУ АН СССР (Ленин-
град), СКБ ИК АН ЭССР (Таллинн).

Программа и ожидаемые результаты

Для современных экспериментальных установок физики высоких энергий и атомного ядра характерно большое число измерительных каналов, превышающее несколько десятков или сотен каналов, и высокие их загрузки, достигающие десятков тысяч событий в секунду. Такие большие объемы информации требуют использования электронной аппаратуры сбора данных и управления нового поколения, выполненной в современных стандартах ФАСТБАС и VME. Предварительная обработка поступающей во время эксперимента информации производится самими системами, а результаты анализируются высокопроизводительными параллельными системами.

Проектом предполагаются разработки и создание основной аппаратуры измерительных каналов спектрометров, систем анализа и обработки данных и управления базовыми установками, как правило, на основе современных стандартов ФАСТБАС, VME, частично КАМАК и специальных решений на основе программируемых полужаказных аналоговых и цифровых СВИС, программируемых логических матриц, специализированных интегральных схем, микропроцессорных плат с использованием технологии многослойного печатного монтажа и систем автоматизированного проектирования.

Программа охватывает следующие направления:

- каналы регистрации проволочных камер и частично полупроводниковых координатных детекторов,
- каналы регистрации калориметров,
- быстродействующую электронику триггерных систем,
- развитие системы модулей ФАСТБАС,
- набор сверхбыстрых преобразователей амплитуда-код и время-код в стандарте ФАСТБАС,
- набор процессорных модулей ФАСТБАС и средств сопряжения их с каналами современных компьютеров,
- развитие системы модулей VME,
- набор прецизионных АЦП и ЦАП в стандарте VME для целей измерений в системах управления,
- набор процессорных модулей в стандарте VME,
- совершенствование набора модулей КАМАК,
- создание многопроцессорных систем реального времени для экспериментов на линии на основе новых принципов организации,
- создание систем управления на многопроцессорной основе,
- создание опытного участка многослойных печатных плат и совершенствование их технологии,
- развитие САПР печатных плат,
- освоение проектирования полузаказных БИС.

Разработка и изготовление аппаратуры нового поколения в стандартах ФАСТБАС и VME требуют качественно нового подхода к технологии ее производства и к элементной базе. Для реализации преимуществ этих стандартов необходимо как освоение технологии производства многослойных печатных плат, так и широкое использование заказных и полузаказных специализированных микросхем, обеспечивающих интерфейсную часть модулей ФАСТБАС, а также специализированные каналы регистрации. В связи с этим планируется существенное совершенствование технологического участка производства печатных плат.

Изготовление крупных партий модулей ФАСТБАС и VME планируется проводить на предприятиях стран-участниц и в Опытном производстве ОИЯИ.

В результате выполнения проекта физические установки будут обеспечены новым поколением современной аппаратуры детекторов частиц, анализа и обработки данных, будут созданы условия для их выпуска на основе современной технологии в организациях стран-участниц. В рамках темы интересные разработки будут на договорной основе поставляться для организаций стран-участниц.

Методическое обоснование работы

Идея предложения заключается в использовании самых современных

средств электронной техники и технологии для разработки высокопроизводительных систем регистрации, анализа и обработки данных и систем управления базовыми установками. Широкое использование компьютерного проектирования при разработке создаваемых блоков, устройств и систем повышает надежность и качество создаваемой аппаратуры, обеспечивает полную совместимость отдельных элементов систем и создает возможность изготовления разработанных изделий в нужных объемах. Благодаря унифицированным в стандартах ФАСТБАС и VME протоколам обмена данными обеспечивается возможность использования программных средств, разрабатываемых в институтах, сотрудничающих с ОИЯИ и обмена опытом в этом плане.

Сравнительный анализ стоимости одного измерительного канала показал значительное преимущество стандарта ФАСТБАС по отношению стандарту КАМАК. Стандарт VME является единственным международным стандартом для многопроцессорных систем, применяемым широко в институтах, сотрудничающих с ОИЯИ, в частности, ЦЕРН. Опытные конструкторские и методические работы, проведенные в Лаборатории высоких энергий, показали реальность разработки сложных систем в стандартах ФАСТБАС и VME. Системы, выполненные в этих стандартах, обеспечивают скорость передачи данных по шинам несколько десятков мегабайтов в секунду. Сочетание в разрабатываемых системах преимуществ стандартов ФАСТБАС и VME с характеристиками современных персональных компьютеров позволит создавать системы, ориентированные непосредственно на экспериментаторов или операторов базовых установок.

Проект охватывает создание аппаратуры спектрометров и систем управления базовыми установками. Аппаратура спектрометров физики элементарных частиц включает в себя каналы регистрации координатных детекторов, калориметров, триггерные системы и системы приема и обработки данных в реальном времени. Аппаратура базовых установок, таких как ускорители, ожижители, стенды состоит из каналов регистрации сигналов датчиков и каналов управления исполнительными устройствами, а также систем приема, обработки данных и управления. Затраты на эту аппаратуру составляют от трети до половины стоимости самих установок и самым сильным образом влияют на экономику физических исследований. Как правило, современная аппаратура физических исследований выполняется в модульном исполнении в стандартах ФАСТБАС, VME и КАМАК. В развитых странах эта аппаратура, в основном, производится в промышленном масштабе множеством фирм. В частности, объем мирового рынка изделий VME достиг 1 млрд. долларов.

В странах-участницах производство аппаратуры в современных стандартах не налажено, поэтому ставится задача обеспечения ею установок Института для поддержания возможностей исследований на современном уровне. Обеспечение установок Института только покупной аппа-

ратурой потребует затрат примерно в несколько млн. долларов в пятилетку, что невозможно при существующем состоянии и приоритетах распределения валюты, когда основные ее объемы направляются на закупку вычислительной техники и командировки. Поэтому необходима собственная разработка аппаратуры и организация ее производства в рамках предлагаемой темы в странах-участниках и Институте.

Кроме того, часть создаваемой аппаратуры уникальна по требованиям, предъявляемым к ней параметрами установки и характеристиками используемых детекторов. Более того, сверхбыстродействующая аппаратура в стандарте ФАСТБАС в странах-участниках не будет, по-видимому, разрабатываться специально из-за узкого рынка ввиду сравнительно малого числа потенциальных пользователей или отсутствия возможностей.

То же самое относится к большинству модулей и систем в стандарте VME и к части аппаратуры КАМАК. В рамках данной темы можно предусмотреть обеспечение институтов стран-участниц на договорной основе аппаратурой, перечисленной в данном параграфе. Такие предложения неоднократно вносились.

Приоритетность и конкурентоспособность проекта

Осуществление проекта позволит получить аппаратуру, необходимую для создания современных спектрометров физики элементарных частиц и атомного ядра, способных регистрировать требуемые объемы данных, производить предварительный отбор событий по определенным критериям, производить фильтрацию предварительно отобранных событий и передачу этих результатов в большие вычислительные комплексы для окончательной математической обработки и анализа событий.

Осуществление проекта решает одну из главных проблем Института - обеспечение научных исследований современной аппаратурой, поэтому проект должен иметь высший приоритет (тема институтской категории). Проект не имеет аналогов в Институте и странах-участниках, поскольку аппаратура регистрирующих каналов и ФАСТБАС в странах-участниках не разрабатываются, а аппаратура VME разрабатывается вне рамок потребностей физики элементарных частиц и атомного ядра. Проект позволит организовать внедрение и производство этой аппаратуры в организациях стран-участниц для нужд Института. Реализация проекта позволит поддержать существующий мировой уровень аппаратуры для физических исследований в Институте и будет способствовать прогрессу в этой области в странах-участниках.

Финансовые ресурсы, необходимые для осуществления проекта

Капитальные затраты на проект составляют 1,75 млн.руб., в том числе 0,35 млн.руб. в конвертируемой валюте и 1,25 млн.руб. в валюте СЭВ.

ПРОЕКТ "ЦЕНТР"

РАЗВИТИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Авторы проекта: Сеннер А.Е., Балашов В.К., Колпаков И.Ф., Пляшке-
вич Н.Н., Трофимов В.В.

Исполнители проекта: Общее число исполнителей проекта 21 человек.

Ответственный исполнитель проекта: А.Е.Сеннер.

1.1. Цель и характеристика работы

Цель работы:

Развитие ИВК имеет целью:

- обеспечить возрастающие потребности в вычислительной технике, связанные с эксплуатацией старых и созданием новых экспериментальных установок ЛВЭ;
- обеспечить обработку экспериментальной информации, полученной в других центрах;
- создать возможности для проведения программных разработок на современном уровне;
- развитие локальной терминальной сети ЛВЭ;
- создать сеть ЭВМ, объединяющую ЭВМ ИВК, имеющиеся в Лаборатории персональные ЭВМ и машины класса СМ ЭВМ;
- обеспечить выход в сеть ОИЯИ ЭВМ ИВК, персональных ЭВМ и машин класса СМ ЭВМ;
- развитие графических средств представления результатов физических исследований;
- создание автоматизированных рабочих мест физиков.

Характеристика работы

Предлагается вести модернизацию ИВК ЛВЭ по следующим направлениям:

- замена основной вычислительной системы ИВК ЛВЭ на более мощную, адекватную требованиям создаваемых в ЛВЭ физических установок;
- развитие существующей локальной терминальной сети Лаборатории;
- создание сети, объединяющей ЭВМ Лаборатории класса VAX, IBM PC, СМ с другими ЭВМ ОИЯИ таких же классов;
- широкое внедрение интерактивных графических средств представления информации;
- постановка на ИВК ЛВЭ вновь создаваемых систем анализа физической

информации.

Осуществление проекта позволяет создать в ЛВЭ ИВК, отвечающий современным требованиям задач релятивистской ядерной физики. Это достигается увеличением мощности ИВК, использованием современной архитектуры машинных и терминальных сетей и постановкой современного математического обеспечения.

Осуществление проекта содействует решению одной из главнейших текущих проблем Института – увеличение вычислительных мощностей, выход на современный уровень программного обеспечения. Без скорейшего решения этой проблемы нельзя надеяться на конкурентную способность наших физиков на мировом уровне. На протяжении многих лет темпы развития вычислительной базы Лаборатории систематически отставали от темпов роста потребностей ядерной физики. Исправить положение можно только целенаправленными решительными действиями. Поэтому проект должен иметь высший приоритет (тема институтской категории).

1.2. Сотрудничество с организациями стран-участниц

Участниками реализации проекта являются: НРБ – ЦЛАНП БАН (София), ВНР – ЦИФИ ВАН (Будапешт), ГДР – ИФВЭ (Цолтен), ТУ (Дрезден), ЦИЯИ (Россендорф), ЧССР – ИЯФ ЧСАН (Ржеж), ИФП (Прага), ТУ (Прага).

2. Методическое обоснование проекта

Существующий ИВК ЛВЭ ориентирован на решение следующих основных задач:

- проведение экспериментов в реальном масштабе времени (сбор экспериментальных данных, накопление на магнитной ленте, экспресс-обработка, представление результатов);
- обработка полученных экспериментальных данных;
- моделирование физических процессов и экспериментальных установок;
- обслуживание локальной терминальной сети ЛВЭ;
- графическое представление результатов.

2.1. Современное состояние ИВК

В настоящее время ИВК обслуживает 160 пользователей, работающих по 20 темам. Поддерживается локальная сеть ЛВЭ, объединяющая 40 удаленных терминалов и ПЭВМ. Основной вычислительной системой общего пользования ИВК ЛВЭ является ЭВМ серии Ряд-2 ЕС-1055М, сданная в эксплуатацию в 1983 году. В 1989 году запущена ЭВМ ИЗОТ-1055С.

2.2. Задачи ИВК в предстоящей пятилетке

В 13-й пятилетке перечисленный выше круг задач в основном сохранится, но изменяются предъявляемые требования, причем изменения

эти в большинстве случаев являются качественными.

Важнейшей задачей ИВК ЛВЭ по-прежнему является проведение экспериментов в реальном масштабе времени. С этой точки зрения, необходимость дальнейшего развития ИВК обусловлена вводом новых и модификацией старых экспериментальных установок.

Обработка экспериментальной информации, проводимая на ИВК, характеризуется постоянно возрастающей сложностью алгоритмов обработки экспериментальных данных и увеличением ее объема. Это приводит к требованию дальнейшего увеличения мощности используемых вычислительных систем. Качественная сложность исследуемых эффектов предъявляет требования наглядного представления результатов работы программ и, в частности, существенного совершенствования и развития графических средств представления информации.

Широкое распространение персональных ЭВМ (ПЭВМ) принципиально изменило статус сетей ЭВМ. Если до этого сети ЭВМ интересовали только весьма ограниченный круг пользователей, то сейчас возможность выхода со своей ПЭВМ практически на любую другую ЭВМ ОИЯИ актуальна для большинства владельцев ПЭВМ. Требование успешного решения перечисленных задач приводит к необходимости существенной модификации и развития ИВК ЛВЭ.

2.3. Обслуживание установок в реальном времени

Развитие ИВК определяется в первую очередь развитием экспериментальных физических установок ЛВЭ. В проекте приведен анализ прогноза требований установок к ИВК.

Модернизация установки ДИСК-2/2,3¹ ведется по пути увеличения количества каналов регистрации информации. Это приведет к возрастанию количества принимаемой информации и, соответственно, увеличению времени обработки в 5 раз. Недостаточная производительность процессора ЕС-1055М приводит к снижению эффективности использования пучка ускорителя спектрометром ЛГУ. Запуск второй очереди установки СФЕРА⁴ потребует еще большей производительности процессора основной вычислительной системы.

Важнейшим критерием развития автоматизации экспериментальных установок средствами ИВК ЛВЭ является повышение эффективности использования дорогостоящего пучка синхрофазотрона. С этой целью ведутся работы по организации одновременного обслуживания двух экспериментов вычислительными системами ИВК.

Приведенные в проекте данные свидетельствуют о необходимости повышения в несколько раз мощности основной вычислительной системы ИВК ЛВЭ, по сравнению с имеющейся в настоящее время ЭВМ ЕС-1055М. Это

позволит повысить эффективность использования дорогостоящего времени ускорителя за счет повышения скорости экспресс-анализа физической информации, увеличения количества передаваемых данных и организации параллельной работы экспериментальных установок в реальном масштабе времени.

2.4. Обработка физической информации

Анализ данных о работе ИВК свидетельствует, что:

- существует устойчивая тенденция возрастания потребности вычислительного ресурса,
- при определении направления развития ИВК следует ориентироваться на задачи, связанные с работой экспериментальных установок на линии с ЭВМ (до 25% общего ресурса времени) и на задачи, связанные с обработкой полученных результатов (до 40% общего ресурса времени);
- для обеспечения функционирования физических установок ИВК систематически вырабатывает ресурс, превышающий плановый.

На данный момент времени возможности увеличения сверхпланового ресурса практически полностью исчерпаны. Поэтому для эффективной работы пользователей в следующей пятилетке необходима замена существующей вычислительной системы на более производительную.

В настоящее время программы обработки экспериментальной информации строятся на основе пакетов прикладных программ, разработанных в ЦЕРНе. Это справедливо как для программ, работающих в реальном времени, так и для офф-лайн программ и программ моделирования. Переход ЦЕРНа на систему VM/SP делает невозможным использование на ИВК современных версий этих библиотек из-за отсутствия аппаратной поддержки VM-370 центральным процессором ЕС-1055M.

Современные пакеты программ (HBOOK, RAW) используют дисковую память для долговременного хранения статистических распределений и графической информации. При накоплении и обработке экспериментальной информации режим использования диска в качестве промежуточного носителя предоставляет физику широкие возможности гибкого и оперативного анализа экспериментальной информации (EPIO). Емкость имеющихся дисковых устройств не позволяет работать с указанными пакетами программ. Для удовлетворения потребностей физиков при проведении экспериментов и обработке результатов необходимо оснастить ИВК накопителями большой емкости.

2.5. Выбор ЭВМ

Все вышесказанное, а также потребности экспериментальных групп в обеспечении мощными и гибкими вычислительными ресурсами, требуют

замены морально и физически устаревшей ЭВМ ЕС-1055М на современную, производительностью как минимум 1 Моп/с, имеющую развитый набор периферийных устройств и способную эффективно обслуживать несколько десятков терминалов.

Из требования преемственности, разработанного в ИВК ЛВЭ, ЦВК ОИЯИ, странах-участницах и ЦЕРНе, программного обеспечения следует, что такой ЭВМ должна стать одна из старших моделей ЕС ЭВМ серии Ряд-3. Это подтверждается и отсутствием на рынке стран СЭВ достаточно надежных и мощных ЭВМ другого класса.

В состав ЭВМ должен входить помимо традиционной периферии процессор телеобработки данных (ПТД), являющийся программируемым устройством управления, предназначенным для управления связями между вычислительной системой и удаленными терминалами, устройствами группового управления терминалами, удаленными ПТД или другой вычислительной системой.

Важным достоинством ПТД является то, что он освобождает центральный процессор от обслуживания терминалов. Практика работы ИВК свидетельствует, что на обслуживание терминалов тратится до 30% ресурса центрального процессора. Таким образом, ПТД даст возможность повысить эффективность использования ресурса центрального процессора.

2.6. Развитие сетей терминалов и ЭВМ

ПТД, как узел системы телеобработки данных, является базой для создания локальной сети ЛВЭ на стандартной основе, объединяющей ЭВМ ЕС и ИЗОТ ИВК ЛВЭ. Узлами и оконечными терминалами этой сети могут быть широко распространенные в ЛВЭ мини-ЭВМ типа PDP, персональные ЭВМ типа IBM PC и графические станции.

Планируется связь ПТД, посредством JUNET, с процессором телеобработки данных ЭВМ ЕС-1037 ЦВК ОИЯИ, что объединит таким образом локальные сети обеих ЭВМ в одну общую сеть.

При предложенной архитектуре целесообразно для физиков использование в качестве терминалов персональных ЭВМ класса IBM PC, работающих в режиме эмуляции дисплеев ЕС-7920. Эти же ЭВМ могут подключаться в качестве терминалов (и собственно машин) к сети ETHERNET с выходом на ЭВМ ИЗОТ-1055С в рамках локальной сети ЛВЭ и ЭВМ VAX-8350 в ЛВТА. Они же могут выступать в качестве графического терминала. Перечисленные факторы обуславливают эффективность использования вместо традиционных дисплеев персональных ЭВМ.

В целях повышения эффективности использования значительного количества малых ЭВМ и ПЭВМ ЛВЭ, а также предоставления владельцам этих ЭВМ возможности обмена информацией между собой и с вычислительными

системами общего пользования планируется создать высокоскоростную сеть ЭВМ. В качестве протокола нижнего уровня принимается ETHERNET.

Для обеспечения коммуникации с сетью основных пользователей ЛВЭ необходимо создать в Лаборатории 5 сетевых узлов, каждый из которых позволяет подключать до 8 абонентов. Абонентом сети может являться большинство имеющихся в Лаборатории устройств вычислительной техники (ПЭВМ класса IBM PC, СМ ЭВМ, мини-ЭВМ "Электроника-60", ЭВМ MERA).

Наряду с традиционными возможностями данная коммуникационная среда является основой для создания систем автоматизации физического оборудования, архитектурно построенных как распределенные вычислительные системы. Очень важно при этом, что к единой сети подключаются ЭВМ разных типов, имеющие различные характеристики. Это создает основу для оптимизации автоматизированных систем. В целом такая возможность построения подобных систем является для лаборатории качественно новой.

2.7. Развитие графических сред в ИВК

В настоящее время в составе ИВК имеется монохроматический дисплей GD -7I точечного типа (разрешение 1024x1024), графопостроитель планшетного типа DGF -1208 (рабочая поверхность 1200x800 мм, разрешение 0,01 мм) и графическая дисплейная станция ИЗОТ-1055.

Широко распространившиеся в ОИЯИ персональные ЭВМ класса IBM PC создали основу для вывода графических изображений на рабочих местах пользователей. Разработанное в ЛВЭ математическое обеспечение^{1/} дало возможность включения ПЭВМ в локальную терминальную сеть ЛВЭ в качестве интеллектуального графического терминала растрового типа с разрешением в монохроматическом режиме 640x200 и в четырехцветном - 320x200.

Предполагается приобретение трех интерактивных графических станций, работающих в стандарте GKS и имеющих в своем составе цветной монитор, джойстик и планшет. Станции обеспечат широкие возможности организации интерактивной работы для пользователей и явятся основой для создания с помощью системы программ PAW новых автоматизированных рабочих мест, существенно повышающих эффективность, удобство и комфортность работы. Основной акцент при использовании ПЭВМ в качестве графических терминалов будет сделан на совершенствовании программного обеспечения.

3. Основные методические и технические характеристики

Развитие измерительно-вычислительного комплекса ЛВЭ позволит

- решить ряд перспективных методических и практических задач:
- обеспечение эффективного проведения экспериментальных физических исследований для установок, использующих ЭВМ ИВК ЛВЭ в режиме реального времени;
 - возрастание суммарной производительности ЭВМ ИВК ЛВЭ порядка 1,5 Моп/с;
 - обеспечение совместимости по программным продуктам с ЦВК ОИЯИ, вычислительными центрами стран-участниц и ЦЕРНОм;
 - увеличение в несколько раз суммарной мощности вычислительных систем ИВК ЛВЭ;
 - обеспечение объединения ЭВМ ИВК ЛВЭ в единую локальную сеть;
 - перевод терминальной локальной сети ЛВЭ на стандартные аппаратные и программные средства коммуникации;
 - подключение пользователей ЛВЭ к создаваемой в ОИЯИ высокоскоростной сети ETHERNET, обеспечивающей скорость передачи до 10 Мбод;
 - развитие средств графического представления результатов экспериментов и моделирования физических процессов;
 - увеличение эффективности использования мощности процессора основной вычислительной системы за счет применения телекоммуникационного процессора.

Л и т е р а т у р а

1. В.К.Балашов, С.Н.Карташов, А.С.Никифоров, А.Е.Сеннер. Использование ПЭВМ "Правец-16" в качестве интеллектуального графического терминала. ОИЯИ, Р10-88-502, Дубна, 1988.
2. Л.Г.Ефимов и др. Организация сбора данных при исследовании кумулятивного рождения частиц в экспериментах на линии с ЭВМ ЕС-1040. ОИЯИ, Р10-85-105, Дубна, 1985.
3. Т.В.Аверичева и др. ОИЯИ, I-II3I7, Дубна, 1978.
4. С.А.Аверичев и др. Исследование множественного кумулятивного рождения частиц в 4π-геометрии. ОИЯИ, Р10-85-512, Дубна, 1985.

МОДУЛЬНЫЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ СПЕКТРОМЕТРОВ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Проект "Суперкомпьютер"

Авторы проекта: Колпаков И.Ф., Водопьянов А.С., Смирнов В.А.,
Сеннер А.Е., Цыганов Э.Н.

Исполнители проекта: Базылев С.Н., Евтисов В.С., Никифоров А.С.,
Смирнов В.А., Трофимов В.В., Шутова Н.А.

Ответственный исполнитель проекта: Смирнов В.А.

I. Цель работы

1. Решение проблемы обработки данных, полученных с экспериментальных установок ОИЯИ.

2. Создание долгосрочных перспектив для удовлетворения потребностей ОИЯИ в необходимой вычислительной мощности.

3. Создание условий для развития центров обработки данных электронных экспериментов ОИЯИ в странах-участницах.

4. Увеличение производительности для моделирования экспериментов (Монте-Карло) и ускорителей.

5. Создание основы для производительных процессоров, работающих на линии с экспериментальными установками.

6. Создание средств для проведения сложных теоретических расчетов.

Характеристика работы

I-й этап

В течение 1989-1992 гг. предлагается создание модульного суперкомпьютера с производительностью 10 Моп/с, которая равна суммарной производительности 7-8 ЭВМ типа VAX II/780 при выполнении типичных задач обработки данных, полученных со спектрометров элементарных частиц в физике высоких энергий. При этом затраты на реализацию I-го этапа суперкомпьютера составляют 148 тыс. рублей в конвертируемой валюте. Цена 1 Моп/с на I-м этапе суперкомпьютера окажется равной 14,8 тыс. рублей.

Суперкомпьютер создается на основе промышленных 32-разрядных одноплатных ЭВМ с производительностью около 1 Моп/с каждая. Объединение процессоров в единый комплекс осуществляется на основе шины VME. Работа суперкомпьютера организуется под управлением компьютера ИЗОТ IO55C. Ввод и вывод данных осуществляется через разветвленную перифе-

рию компьютера ИЗОТ IO55C, что позволяет обеспечить совместимость по матобеспечению для задач обработки данных с установок физики высоких энергий, работающих на крупнейших ускорителях мира, например с установки ДЕЛФИ. Матобеспечение системы основывается на ФОРТРАНе-77.

Создание суперкомпьютера с производительностью 10 Моп/с позволит решить проблему обработки данных, полученных на спектрометрах физики элементарных частиц в ОИЯИ, в следующей пятилетке. Уже на I-м этапе проекта возможно осуществить решение задач эксперимента ДЕЛФИ:

- а) проведение полной обработки события во время анализа данных на графической станции ДЕЛФИ,
- б) моделирование событий ДЕЛФИ для обеспечения обработки информации в соответствии с изучаемыми физическими процессами,
- в) проведение окончательной обработки событий.

2-й этап

К концу 12-й пятилетки предлагается произвести расширение суперкомпьютера с целью обеспечения производительности 100 Моп/с. Это потребует дополнительных затрат на сумму 322,0 тыс.рублей в конвертируемой валюте. На 2-м этапе суперкомпьютера цена 1 Моп/с будет в 3 раза меньше и составит 4,7 тыс.рублей.

Ожидаемые результаты заключаются в создании суперкомпьютера с производительностью 100 Моп/с и, таким образом, в решении проблем ОИЯИ по:

- а) обработке экспериментальной информации,
- б) моделированию экспериментов методом Монте-Карло,
- в) проведению расчетов моделирования ускорителей заряженных частиц,
- г) проведению теоретических расчетов.

Осуществление проекта создает реальную перспективу организации достаточно мощных центров обработки данных электронных экспериментов со спектрометров физики элементарных частиц в странах-участниках, подобно тому, как ранее были организованы центры обработки данных кинолент с жидкостных камер. Сравнительно небольшие затраты на аппаратную часть (microVAX, VAX или существующий аналог типа ИЗОТ IO55C + стандартные модульные процессоры) и созданное в процессе реализации данного проекта в ОИЯИ матобеспечение позволяют повторить аналоги (уменьшенные или увеличенные) в физических центрах стран-участниц.

2. Оценка приоритетности и преимущества в работе

Оценка приоритетности - высшая.

Проект решает проблемы обеспечения требуемой вычислительной мощностью на пятилетке и создает перспективу ее роста в будущем, поэто-

му приоритетность проекта должна быть высшей, на уровне проекта развития ускорительной базы ОИЯИ.

Оценка преемственности в работе

Группа исполнителей проекта обладает большим практическим опытом по созданию систем матобеспечения обработки данных с крупнейших спектрометров ОИЯИ (БИС-2, ДИСК, КРИСТАЛЛ, АНОМАЛОН и других), а также необходимым опытом по аппаратурной части. В предыдущем пятилетии этим коллективом создан новый, эффективно работающий, вычислительный центр с производительностью около 1 Моп/с, с терминальной сетью и полным комплексом графических средств. Коллектив имеет уникальный в ОИЯИ опыт работы с 32-разрядной шиной VME, необходимой для создания суперкомпьютера, поскольку в течение 2-х лет выполнял особо важную работу АН СССР (протокол I698-I-86/87) по этой тематике, а в 1988-89 гг. осуществлял разработки модулей VME и создание на их основе многопроцессорных систем по теме I-2I8-0807-86/90.

Участниками разработки и осуществления проекта предполагаются следующие организации стран-участниц (список сотрудничающих организаций является предварительным и может быть расширен при заинтересованности сторон):

НРБ	ЦИАНП БАН, София	Антонов Л.
ВНР	ИИВТ, Будапешт	Веребей П.
ГДР	ИФВЭ, Цойтен	Ляйсте Р.

3. Методическое обоснование проекта

События, регистрируемые спектрометрами, взаимно независимы, поэтому, будучи зарегистрированы, они могут, в принципе, обрабатываться в параллельных процессорах независимо друг от друга. При этом важно отметить, что организация такой обработки требует распараллеливания на уровне данных, а не на уровне алгоритма обработки, который является одинаковым для всех параллельных процессов. Это обстоятельство позволяет избежать традиционно крайне сложных проблем оптимизации потока информации при распараллеливании выполняемого алгоритма.

4. Аппаратурная часть

I-й этап

Предлагаемая высокоэффективная вычислительная система модульного суперкомпьютера состоит из двух основных частей: набора модульных процессоров и устройства связи с компьютером ИЗОТ I055С. Создание суперкомпьютера, интегрированного в систему с ЭВМ ИЗОТ I055С, позволит обеспечить совместимость по обработке с коллаборацией ДЕЛФИ и представить необходимые вычислительные мощности для этого эксперимен-

та в ОИИИ. Основной модульный процессор построен на основе 32-разрядного микропроцессора фирмы МОТОРОЛА MC-68020. Все процессорные модули объединены в систему на основе скоростной шины VME. ЭВМ ИЗОТ IO55C выполняет функции подготовки счетных заданий для модульных процессоров, организует прием экспериментальной информации с последующим распределением ее среди процессоров, принимает и суммирует результаты обработки данных в наборе процессоров.

2-й этап

Обеспечивается дополнительное подключение 25 одноплатных ЭВМ, основным элементом которых могут являться новые типы микропроцессоров: MC 68030, процессоры RISC технологии (MIPS R2000), транспьютеры - увеличивающие производительность не менее, чем в 4 раза, по сравнению с MC 68020. На плате каждого процессора располагается ОЗУ емкостью 8 Мбайт, и дополнительные 16 Мбайт подключаются к каждому процессору в виде отдельной платы VME. Под размещение дополнительных одноплатных ЭВМ и модулей памяти отводится 4 крейта VME. Связь крейтов VME в единую систему и обеспечение взаимодействия процессоров системы со скоростью, сравнимой с шиной VME, осуществляется при помощи усовершенствованных к тому времени модулей BRANSHBUS.

(1. Обеспечение работы нескольких управляющих модулей на шине BRANSHBUS. 2. Обеспечение возможности работы любого процессорного модуля в качестве управляющего элемента шины BRANSHBUS.). Предусматривается также прямое подключение устройств массовой памяти к шинам одного из крейтов VME, что в значительной мере сократит время, необходимое на загрузку процессоров программами и данными.

В процессе создания суперкомпьютера необходимо организовать тестирование поступающих процессорных модулей. Для этого на основе крейта VME планируется создать стенд, в котором будут располагаться от одного до десяти тестируемых процессорных модулей и образцовый процессор, связанный с дисковой подсистемой. Образцовый процессор предназначен для организации проверки ОЗУ тестируемых модулей, для загрузки в их ОЗУ тестовых программ, а также для загрузки и проверки функционирования операционной системы, транслятора и основных системных программ тестируемых процессоров.

Надежность функционирования системы суперкомпьютера будет обеспечена, во-первых, за счет использования высоконадежных элементов, во-вторых, за счет резервирования модулей VME, интерфейсов и периферийных устройств ЭВМ ИЗОТ IO55C. Предполагается иметь 50-100% резерв всех периферийных устройств. Эти меры позволят обеспечить надежное функционирование суперкомпьютера без снижения эффективности его работы.

5. Математическое обеспечение

С точки зрения математического обеспечения, эффективность предлагаемой системы основывается на следующих необходимых характеристиках используемых алгоритмов обработки данных:

- отсутствие корреляции между обрабатываемыми фрагментами данных,
- возможность функционального разбиения решаемой задачи,
- наличие алгоритма, требующего значительного ресурса вычислительной мощности центрального процессора,
- относительно небольшой объем передаваемых данных по сравнению с временем их обработки.

Перечисленным условиям в области физических исследований, проводимых в ОИЯИ, удовлетворяют следующие классы задач:

- обработка экспериментальной физической информации,
- моделирование процессов регистрации элементарных частиц и ядер физическими устройствами,
- моделирование прохождения заряженных частиц и ядер в камерах ускорителей и магнито-оптических каналах транспортировки частиц,
- расчеты задач на решетках.

Приведенная последовательность классов задач ранжирована по их интенсивности использования в условиях ОИЯИ. В предлагаемой системе представляется оптимальной их последовательная реализация.

К числу основных компонентов математического обеспечения относятся пакеты взаимодействия процессоров, технологическое матобеспечение, включающее в частности, транслятор ФОРТРАН-77, пакеты прикладных программ общего назначения (SERNLIB, HBOOK, ZBOOK, HPLOT, GEANT и т.д.), средства тестирования системы и средства отладки прикладных программ. Большинство из перечисленных компонентов существуют, и их разработка не требуется.

6. Организация прикладной программы

Для выполнения на предлагаемой системе математическое обеспечение какой-либо существующей или вновь создаваемой прикладной программы разбивается на две части.

Первая из них выполняется на управляющих ЭВМ. Ее функциями являются: обеспечение всех операций ввода-вывода (обмен с магнитными лентами, устройствами представления информации в графическом виде, печатающими устройствами и т.д.); подготовка данных для работы процессорных модулей; пересылка данных для работы в них; получения от них результатов обработки.

Вторая часть прикладной программы размещается в процессорных модулях. Каждый процессор, получая данные, обеспечивает их обработку

и накопление результатов в собственной оперативной памяти. Характерной особенностью этой части математического обеспечения является отсутствие в прикладной программе каких-либо операций ввода-вывода. По завершении обработки полученного массива данных математическое обеспечение процессорного модуля отправляет, если это необходимо (например, в случае создания DST), результаты в управляющие ЭВМ и переводит процессор в состояние готовности получения новой порции обрабатываемой информации.

Параметрическая настройка прикладной программы на текущую итерацию обработки обеспечивается на стадии инициализации загрузкой в процессоры конкретных значений параметров и констант.

При завершении входного потока обрабатываемых данных прикладные программы управляющих ЭВМ собирают все полученные результаты, хранят в памяти процессоров, производят их суммирование и выводят данные на печать или устройства графического представления информации.

Взаимодействие процессоров организуется унифицированной подсистемой коммуникационных подпрограмм. Такой подход позволяет формализовать неизбежную процедуру модификации программы, рассчитанной на исполнение одним процессором, для выполнения ее на многопроцессорном комплексе. При этом количество дополнительных вводимых операторов ФОРТРАНА не превышает нескольких десятков и практически не зависит от объема прикладной программы.

Доступность суперкомпьютера широкому кругу пользователей ОИЯИ может быть обеспечена включением управляющих ЭВМ в сеть ОИЯИ и постановкой на них используемого в настоящее время коммуникационного пакета KERMIT. Выполнение заданий пользователей организуется в пакетном режиме.

7. Ресурсы для создания матобеспечения суперкомпьютера

При создании матобеспечения суперкомпьютера выбрана линия, связанная с минимизацией разработок программ. Это достигается за счет максимально возможного использования имеющегося в научных центрах математического обеспечения и за счет программной реализации наиболее простых алгоритмов функционирования суперкомпьютера.

Приведенная в проекте оценка ресурса для создания матобеспечения суперкомпьютера составляет 7 человеко-лет.

8. Основные методические и технические характеристики

Разработка суперкомпьютера позволит решить ряд перспективных методических задач:

– организация объединения десятков и сотен процессоров в структуры,

позволяющие проводить параллельную обработку событий, получаемых в экспериментах физики элементарных частиц;

- разработка вопросов создания программ, обеспечивающих разбиение задач обработки событий на параллельные подзадачи, которые могут выполняться параллельно;
- разработка вопросов организации многокрейтных систем в стандарте VME .

Суперкомпьютер на первом этапе, определенном проектом, будет иметь следующие технические характеристики:

1. Обеспечение выполнения задач обработки событий с производительностью не ниже 10 Моп/с.
2. Организация обработки 10 параллельными процессорами.
3. Обеспечение суммарной емкости ОЗУ суперкомпьютера на уровне 160 Мбайт.
4. Обеспечение емкости дисковых накопителей 1 Гбайт.

Выполнение 2-го этапа создания суперкомпьютера позволит достичь следующих технических характеристик:

1. Обеспечение выполнения задач обработки событий с производительностью не ниже 100 Моп/с.
2. Организация обработки 40 параллельными процессорами.
3. Обеспечение суммарной емкости ОЗУ суперкомпьютера на уровне 880 Мбайт.
4. Обеспечение емкости дисковых накопителей 2 Гбайта.

Л и т е р а т у р а

1. T.Nash, H.Areti, J.Biel et al. The Fermilab Advanced. Computer Program Multi-Microprocessor Project. - In conference proc.: Computing in High Energy Physics, Amsterdam (Netherlands), June 25-28, 1985, North Holland, Amsterdam, 1985.
2. T.Nash, H.Areti, R.Ataç et al. The ACP Multiprocessor System at Fermilab. - FERMILAB - Conf - 86/132, 1986.
3. I.Gaines, T.Nash. FERMILAB-Pub-87/38, 1987.

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НУКЛОТРОНА ЛЭЭ ОИЯИ

Безногих Ю.Д., Валевич А.И., Воеводин М.А., Гай Г.И., Говоров А.И.,
Донец Е.Д., Ершов В.П., Жигулин И.В., Иссинский И.Б., Киселев К.В.,
Куликов М.З., Макаров Л.Г., Михайлов В.А., Мончинский В.А.,
Овсянников В.П., Филипенко Ю.К., Писин А.И., Попов В.А.,
Семенюшкин И.Н., Смелянский В.В., Смирнов А.А., Филмушкин В.В.,
Щутов В.Б.

Ответственный руководитель проекта - Семенюшкин И.Н.

1. ВВЕДЕНИЕ

К концу текущей пятилетки будет завершен первый этап реконструкции ускорительной базы ЛЭЭ ОИЯИ - замена магнитной системы синхрофазотрона на сверхпроводящую - Нуклотрон. Это позволит увеличить энергию ядер до 6 Гэв/нуклон, значительно улучшить пространственно-временные характеристики пучков частиц. Резкое улучшение вакуума в сверхпроводящем кольце по сравнению с синхрофазотроном практически исключит потери частиц в процессе ускорения и сделает возможным получение пучков ядер всей периодической таблицы. Все это, несомненно, обеспечит на ближайшие годы хорошие условия для проведения физических исследований по многим актуальным проблемам физики кварков, релятивистской ядерной физики.

Важны для деятельности Лаборатории будет снижение эксплуатационных расходов при работе Нуклотрона, а также улучшение радиационной и пожарной безопасности.

Второй этап развития ускорительной базы ЛЭЭ должен предусматривать сохранение высокой конкурентоспособности физических исследований на пучках Нуклотрона и создание заделов по Супернуклотрону. Таким направлением, крайне важным, на наш взгляд, как для физических исследований, так и для будущего Супернуклотрона, должно стать резкое увеличение интенсивности ускоренных пучков, а ближайшей и главной задачей развития ускорительной базы Лаборатории - создание современного инжекционного комплекса Нуклотрона.

Для выполнения этой задачи предлагается:

1. Продолжить совершенствование уникальных источников высокозарядных ионов (лазерного и электронно-лучевого), источника поляризованных дейтронов, обеспечив эти работы производственными помещениями, оснащенными стендами с соответствующей аппаратурой. При этом также будет реализована возможность оперативного перехода в Нуклотроне от одного сорта ускоряемых частиц к другому.

2. Создать линейный ускоритель ионов, рассчитанный на ускорение на начальном этапе ионов с меньшим отношением заряда к массе (q/A), чем в существующем инжекторе ЛУ-20. Это даст возможность как увеличить интенсивность ионов легких элементов, так и обеспечить получение ускоренных пучков ионов средних элементов периодической таблицы.

3. Построить небольшой промежуточный кольцевой ускоритель - бустер, который должен иметь относительно длительное время инжекции и быть рассчитан на многократную работу в одном цикле Нуклотрона. Такой ускоритель не только увеличил бы в несколько раз интенсивность самых тяжелых ионов при работе с электронно-лучевым и лазерным источниками, но и обеспечил многократное увеличение интенсивности ускоренных пучков при работе с дуоплазмотроном, источником поляризованных дейтронов.

2. ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

Лазерный источник многозарядных ионов $/I/$ использует в качестве эмиттера ионов высокотемпературную плазму, образованную в результате взаимодействия сфокусированного излучения с твердой мишенью. Температура плазмы, зависящая, главным образом, от плотности падающего потока излучения и его длины волны, достигает несколько миллионов градусов, а общее число ионов, рождающихся при этом, составляет 10^{15} ионов/имп.

При времени жизни горячей плазмы порядка длительности лазерного импульса $\tau \sim 10^{-7} - 10^{-9}$ с и электронной плотности $n_e \sim 10^{19} + 10^{21}$ см $^{-3}$ фактор ионизации $n_e \tau = 10^{12}$ см $^{-3}$ с и, соответственно, в плазме образуются высокозарядные ионы, например, Ar^{13+} или Fe^{24+} в количестве $10^{11} + 10^{12}$ ионов/имп.

Источник ионов, созданный в ЛВЭ, использует CO_2 -лазер с выходной мощностью 30 МВт (энергия 10 Дж), что позволяет при расходимости излучения $(2 + 3) \cdot 10^{-3}$ рад получить плотность потока излучения на мишени до 10^{10} Вт/см 2 .

С этим источником на выходе линейного ускорителя ЛУ-20 получены ядра углерода $\sim 1,5 \cdot 10^{10}$ ядер/имп и магния $\sim 10^9$ ядер/имп.

Из экспериментальных данных по изучению лазерной плазмы следует, что с увеличением атомного веса элемента, используемого в качестве мишени, отношение заряда к массе иона (q/A) на выходе источника падает. Это свойство плазмы ограничивает применение лазерного источника для ускорения тяжелых элементов на линейных ускорителях, рассчитанных на отношение $q/A = 0,2$.

Используя в качестве прототипа существующий лазерный источник (плотность потока излучения на мишени $\leq 10^{10}$ Вт/см²), можно рассчитывать, что при достижении $\sim (5 \cdot 10^{11} + 10^{12})$ Вт/см² спектр и количество ускоряемых в линейном ускорителе ионов в зависимости от q/A будет иметь вид, приведенный в табл. I, из которой видно, что при $q/A=0,2$ лазерный источник может обеспечить ускорение элементов вплоть до тантала. Особым достоинством источник обладает в области легких и средних элементов.

CO₂ лазер, необходимый для обеспечения указанной плотности потока на мишени ($\sim 5 \cdot 10^{11}$ Вт/см²), должен иметь выходную мощность $P = (100 + 200)$ МВт при энергии $\sim 25 + 50$ Дж и расходимости лазерного излучения $\chi \leq 10^{-3}$ рад.

Таблица I. Интенсивность ионов за импульс на выходе лазерного источника

элемент \ q/A	Работающий источник		Развитие источника	
	0,35	0,2	0,35	0,2
7Li	10^{12}	10^{13}	$2 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{13}$
12C	$5 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{13}$
19F	$2 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	10^{13}
24Mg	$2 \cdot 10^{10}$	10^{12}	$2 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{12}$
28Si	$2 \cdot 10^8$	10^{12}	$5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{12}$
40Ca	-	$5 \cdot 10^{11}$	10^{10}	$2 \cdot 10^{12}$
56Fe	-	$2 \cdot 10^{11}$	-	10^{12}
65Zn	-	$2 \cdot 10^{10}$	-	$5 \cdot 10^{11}$
96Mo	-	-	-	10^{11}
119Sn	-	-	-	$5 \cdot 10^{10}$
181Ta	-	-	-	10^9

CO₂-лазер с приведенными характеристиками может быть изготовлен силами мастерских ЛВЭ при условии изготовления или приобретения инфракрасной оптики в сторонних организациях.

Затраты на развитие лазерного источника оцениваются в 500 тыс. рублей.

3. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ИСТОЧНИК ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Источник тяжелых ионов для Нуклотрона, электронно-лучевой, криогенный со сверхпроводящим соленоидом предназначен для получения ионов всех элементов с относительно высоким отношением Q/A .

Разработка основывается на опыте создания, исследования и эксплуатации источников серии "КРИОН" в ЛВЭ ОИЯИ.

Источник включает следующие основные системы:

1. Сверхпроводящая магнитная система с соленоидом на 4-5 Тл.
2. Электронно-оптическая система, обеспечивающая формирование плотного электронного пучка с током $0,5 + I$ А и плотностью $\sim 10^3$ А/см² и энергией ~ 50 кэВ.
3. Вакуумная система.
4. Системы электронного контроля и управления.
5. Система электрического питания.

Реализация проекта позволит получить следующие выходные параметры, например для ионов Ne¹⁰⁺ - $2-5 \cdot 10^9$ I/имп, Ar^{16+,18+} - 10^9 I/имп, Kr³⁴⁺ - $5 \cdot 10^8$ I/имп, Xe^{52+,54+} - $3 \cdot 10^8$ I/имп, U⁸²⁺ - 10^8 I/имп. с частотой около 1 Гц.

Для реализации проекта необходима определенная научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, которая будет выполнена на подготовительном и первом этапах в 1990-91 гг. Она включает исследования процесса ион-ионного охлаждения для уменьшения потерь ионов из электронного пучка в процессе ионизации и разработку конструкции электронно-оптической системы с указанными параметрами.

Интенсивность ионов разных элементов приведена в таблице 2.

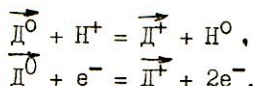
Таблица 2. Интенсивность ионов за импульс на выходе электронно-лучевого источника

Элементы \ q/A	0,4	0,35	0,2
	Существующий источник	Развитие источника	
^{20}Ne	$4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^9$
^{40}Ar	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^9$
^{84}Kr	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
^{131}Xe	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^9$
^{238}U	-	$1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$

Затраты на развитие электронно-лучевого источника - КРИОН-У - оцениваются в 400 тыс.рублей.

4. ИСТОЧНИК ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНОВ "ПОЛЯРИС"

С целью повышения интенсивности ускоренного поляризованного пучка дейтронов предлагается в источнике "Полярис" вместо электронного ионизатора "Пеннинга" создать ионизатор с высокой эффективностью ионизации, работающий по принципу перезарядки с использованием реакций



Опыт работы ИЯИ АН СССР /3/ по созданию ионизатора такого типа позволяет надеяться на повышение интенсивности пучка на выходе источника "Полярис" с 200 мкА до 1 мА.

Принципиальная схема модернизированного источника поляризованных дейтронов показана на рис. 1:

- ИПА и БВЧП - существующий источник "Полярис" с блоком высокочастотных ячеек переходов для осуществления ядерной поляризации нейтрального пучка атомов дейтерия;

- ИП - плазменный источник протонов, состоящий из импульсного дугового генератора плазмы, магнитной (M1, M2) и сеточной ионно-оптической систем формирования пучка;

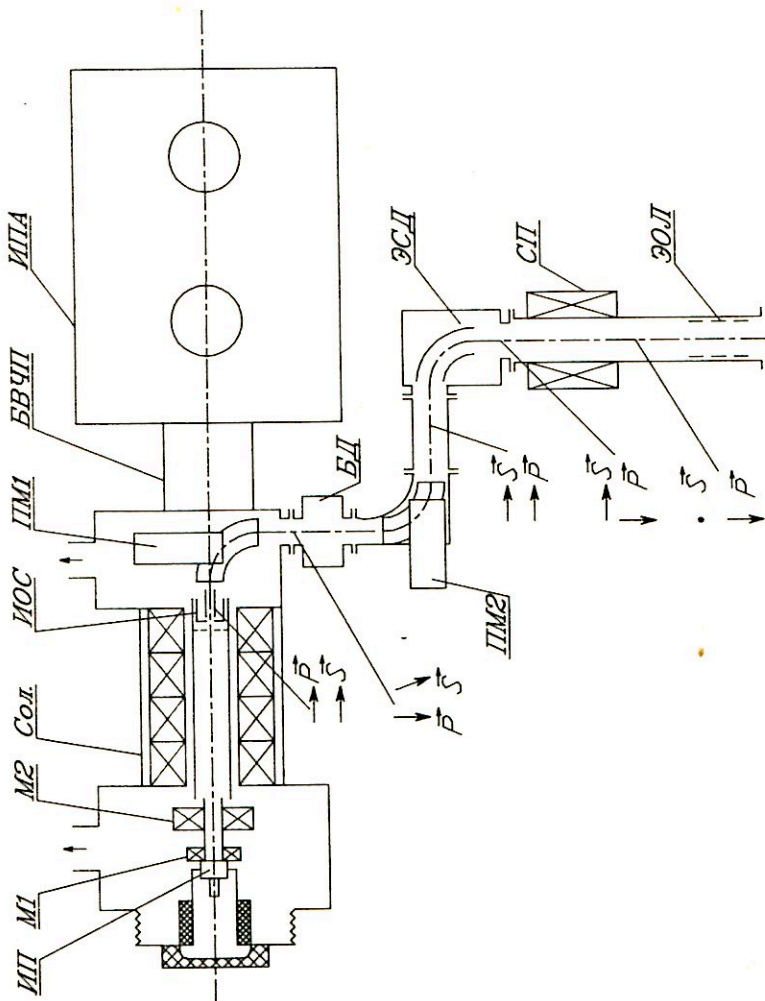


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированного источника поляризованных дейтронов.

- СОЛ - секционированный соленоид удержания плазмы в перезарядной области;
- ИОС - оптическая система экстракции ионного пучка;
- ПМ1 и ПМ2 - поворотные магниты выделения дейтронного поляризованного пучка;
- БД - блок диагностики измерения интенсивности и эмиттанса пучка;
- ЭСД - электростатический дефлектор для достижения условия перпендикулярности спина и импульса;
- СП - соленоид-процессор ориентации спина в вертикальном направлении;
- ЭОЛ - электростатическая линза.

На развитие источника поляризованных дейтронов требуется финансирование по капитальному строительству в сумме 300 тыс.рублей.

Работы по источникам высокозарядных ионов и поляризованных дейтронов предполагается проводить в здании ИГ корп. I ЛВЭ. В этом здании будут оборудованы специальные стенды с необходимым оборудованием и аппаратурой.

По плану развития ОИИИ на 1986-90 гг. здание должно быть сооружено к 1991 году. Стоимость его составляет 570 тыс.рублей.

5. ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

Ускорение в Нуклотроне ядерного или ионного пучка всех элементов периодической таблицы при использовании существующего инжектора ЛУ-20 в качестве инжектора Нуклотрона - практически неосуществимо, т.к. пропускная способность ускоряюще-фокусирующего канала ЛУ-20 по q/A (как показывает эксперимент) $\approx 0,35$. Это ограничение позволяет с определенной степенью надежности ускорять в инжекторе и, соответственно, в кольце Нуклотрона при использовании источников с высокой степенью ионизации (например, лазерного) лишь ядра и ионы легких элементов до кремния включительно.

При использовании разрабатываемых в ЛВЭ источников с высокой степенью ионизации ускорение всего спектра ионов периодической таблицы до урана включительно возможно при наличии инжектора - линейного ускорителя на энергию 10-12 МэВ/нукл. с пропускной способностью ускоряющего канала для частиц с $q/A = 0,2$.

Блок-схема и основные параметры ускорителя ионов на энергию 12 МэВ/нуклон

Выбор типа источника

К линейному ускорителю ионов – инжектору Нуклотрона предъявляется ряд требований, основные из которых следующие: ускорение всего диапазона масс частиц от протонов до урана, высокая интенсивность ускоряемых пучков ионов.

Удовлетворение вышеизложенных требований полностью определяется выбором типа источника ионов, который определяет не только интенсивность ускоренного пучка, но и стоимость, и время сооружения инжектора, так как размеры последнего зависят от зарядности ионов, поступающих из источника. Поэтому при выборе основных параметров линейного ускорителя была признана правильной ориентация на источники с высокой степенью ионизации, которые хотя и проигрывают по сравнению с источником типа Пеннинг в интенсивности, но дают существенный выигрыш в стоимости и во времени сооружения ускорителя.

Выбор блок-схемы ускорителя

Возможно два варианта схемы ускорителя, различающиеся начальной частью.

А. Классический линейный ускоритель по схеме Альвареца-Блюэтта с форинжектором на 600 кВ. Для обеспечения эффективной радиальной фокусировки при энергии ионов с $q/A=0,2$ на входе 120 кэВ/нуклон и при периоде радиальной фокусировки, равном $4\beta\lambda$, в первых квадрупольных линзах необходим градиент магнитного поля, равный $H^T=12500$ эрстед/см, что чрезвычайно трудно реализовать.

Б. В качестве основной части инжектора тот же классический линейный ускоритель по схеме Альвареца-Блюэтта, а предускорителем является линейный ускоритель с пространственно-однородной фокусировкой (ПОФ), с энергией частиц на выходе 250 кэВ/нуклон. В этом случае в первых квадрупольных линзах необходимо обеспечить градиент магнитного поля $H = 9000$ эрстед/см, что реализуется без особых затруднений. Важно также отметить, что при этом ускорение частиц можно начинать от источника, расположенного на потенциале 100 кВ. Это облегчает передачу достаточно высокой мощности электропитания источника ионов на высоковольтную платформу, доступ к источнику ионов в случае его замены или ремонта, по сравнению с форинжектором на 600 кВ. Требуется меньшая площадь для размещения оборудования. Всё это дает основания для выбора предускорителя на основе пространственно-однородной фокусировки.

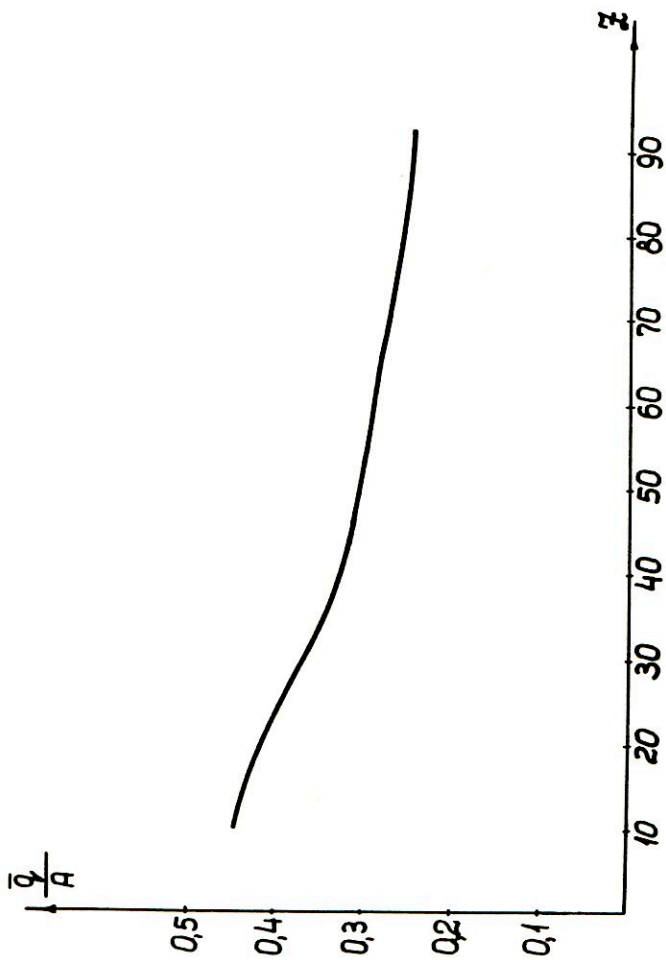


Рис. 2. Равновесное отношение $\frac{Q}{A}$ после обдирки при $W = 3,5$ МэВ/нузлон.

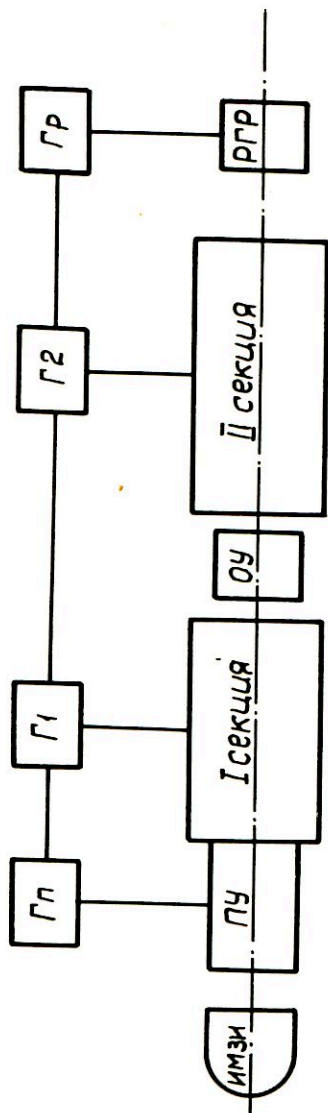


Рис. 3. Блок-схема линейного ускорителя ионов.

ИМЭИ - источник многозарядных ионов ; ПУ - преускоритель ; ОУ - обдирочное устройство ;
 РГР - разгруппирователь ; Г_П, Г₁, Г₂, Г_Р - высокочастотные генераторы.

Учитывая возможность осуществления обдирки ионов, целесообразно основную часть инжектора выполнить в виде двух резонаторов. В первом резонаторе ускоряются ионы с $q/A=0,2$ до энергии 3,5 мэВ/нукл, затем обдирочное устройство с твердой мишенью позволит при такой энергии повысить отношение заряда иона к его массовому числу до $q/A=0,3$ для всех элементов вплоть до неодима (см. рис.2). Второй резонатор рассчитывается на ускорение ионов с $q/A=0,3$ до энергии 12 мэВ/нукл.

В итоге блок-схема линейного ускорителя ионов получается следующей (см. рис.3): источник ионов под потенциалом 100 кВ, предускоритель на основе пространственно-однородной фокусировки на энергию частиц 250 кэВ/нуклон и основная часть ускорителя, состоящая из двух секций с обдирочным устройством между ними.

Вследствие малой скорости ионов на входе в первую секцию кратность ускорения частиц в ней выбрана равной $K=2$ с тем, чтобы в первых трубах дрейфа можно было разместить квадрупольные линзы. Во второй части для увеличения темпа ускорения кратность ускорения равна $K=1$. Основные параметры первой и второй секций представлены в таблице 3.

Параметры предускорителя должны быть такими, чтобы максимально обеспечить согласование ускоренного пучка со входом основной части ускорителя. Для этого достаточно обеспечить сохранение частот продольных и поперечных колебаний. Основные параметры предускорителя показаны в таблице 4.

На рис.4 показана область входных фаз и скоростей, соответствующих устойчивому продольному движению.

При моделировании поперечного движения учитывалось продольное движение, так как связь продольных и поперечных колебаний велика. На рис. 5 показана общая часть аксептанса начальной части ускорителя. При этом необходимо отметить, что при переходе из секции с пространственно-однородной фокусировкой в структуру Альвареца будут потери частиц в поперечном направлении, так как эмиттансы частиц с разными входными фазами развернуты друг относительно друга. Это показывает необходимость разработки высокочастотного согласующего устройства при переходе пучка из секции с пространственно-однородной фокусировкой в классическую структуру. В продольном же направлении захват частиц при переходе будет осуществлен без потерь.

В таблице 6 показана интенсивность ионов за импульс на выходе линейного ускорителя при работе с лазерным и электронно-лучевым источниками.

Таблица 3. Параметры I-й и 2-й секций ускорителя

Параметр	I секция	2 секция
Длина секций (м)	14,3	18,5
Число трубок дрейфа	$\frac{I}{2} + 64 + \frac{I}{2}$	$\frac{I}{2} + 72 + \frac{I}{2}$
Диаметр резонатора (см)	140	140
Диаметры трубок дрейфа (см)	17,6 + 11,1	14,8 + 11,5
Частота ускоряющего поля (МГц)	145	145
Напряженность ускоряющего поля E_0 КВ/см	20	20
Коэффициент зазора d	0,2 + 0,23	0,2 + 0,23
Отношение заряда иона к его массовому числу q/A	0,2	0,3
Синхронная фаза ϕ_s	-30°	-30°
Энергия ионов на входе МэВ/нукл.	0,25	3,5
Энергия ионов на выходе МэВ/нукл.	3,5	12,0
Разброс частиц по импульсам на выходе ускорителя (после разгруппирователя) $\Delta P/P_s$		0,15%
Пропускная способность канала V_k см.мрад.	0,45	
Длина периода фокусирующего поля $L_{\text{фок}}/\beta\lambda$	4	2
Градиенты полей фокусирующих линз (эрст/см)	9000+2000	5700 + 3100
Требуемая высокочастотная мощность МВт	3	4

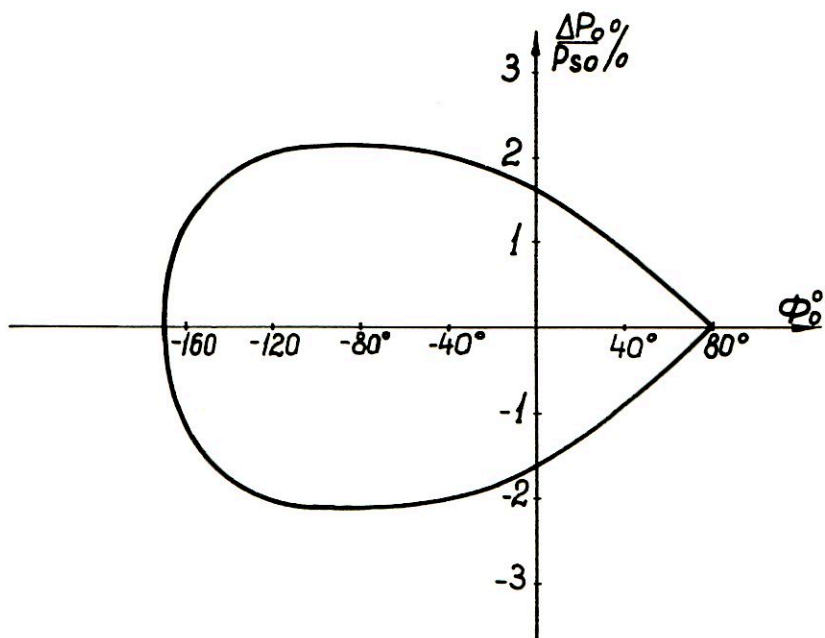


Рис. 4. Сепаратриса предсчителя.

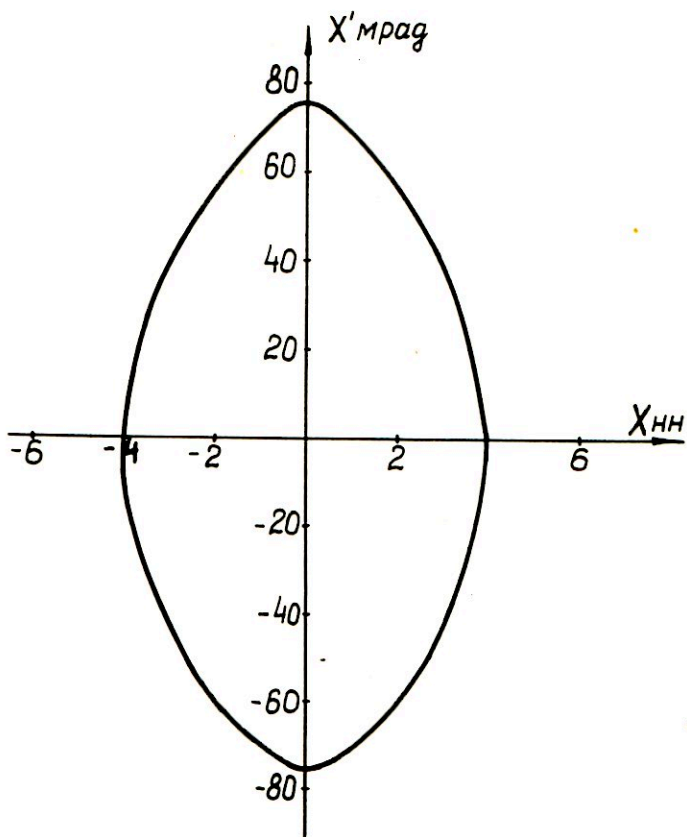


Рис. 5. Акцептанс предускорителя (общая часть для всех входных фаз).

Таблица 4. Параметры предускорителя

Параметр			
Энергия на входе	W_0	КэВ/нуклон	20
Энергия на выходе	W_K	КэВ/нуклон	250
Частота ускоряющего поля		МГц	145
Фокусировка			ПОФ
Длина ускоряющей секции		м	2,5
Напряжение между смежными электродами		КВ	150
Синхронная фаза	ϕ_s		$-80^\circ + -28^\circ$
Коэффициент захвата в режим ускорения			0,75
Диаметр апертуры		$2a$, см	1,2
Пропускная способность канала		V_K см.мрад.	0,4
Потребляемая мощность		P , МВт	0,3

Таблица 5. Интенсивность ионов за импульс на выходе источника и линейного ускорителя

Элемент	Тип источника	Выход источника ($\frac{q}{H}=0,2$)	Выход ЛУ ($\frac{q}{A}=0,3$)
1	2	3	4
7 Li	Лазерный	$5 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{13}$
12 C		$2 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{12}$
19 F		$1 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{12}$
24 Mg		$5 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$
28 Si		$5 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$
40 Ca		$2 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{11}$
56 Fe		10^{12}	$2 \cdot 10^{11}$
65 Zn		$5 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{11}$
96 Mo		10^{11}	$2 \cdot 10^{10}$
119 Sn		$5 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{10}$
181 Ta	10^9	$2 \cdot 10^8$	

1	2	3	4
20 Ne	Крион	$1 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^9$
40 Ar		$7 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$
84 Kr		$1 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^8$
131 Xe		$1 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^8$
238 U		$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^7$

Реализация проекта ориентировочно оценивается в 3,5 млн. рублей.

6. БУСТЕР

Наиболее эффективным средством получения предельных интенсивностей ускоренных пучков является использование промежуточного кольцевого ускорителя (ПКУ) – бустера – между линейным ускорителем и Нуклотроном. Увеличение интенсивности достигается как за счет многооборотной инжекции пучка в бустер, так и многократной посылки ускоренных в нем сгустков частиц в Нуклотрон.

За основу настоящего предложения взят эскизный проект ПКУ^{4,5/}, разработанный сотрудниками ЛЭЯ и ИИИЭФА в 1976 г. и существенно переработанный в настоящее время с учетом современных достижений теории и техники ускорителей и существующего положения дел. Его энергия выбрана равной 250 МэВ/нукл.

Принцип работы

Временная диаграмма работы представлена на рис. 6. Из линейного ускорителя производится многооборотная инжекция в бустер, откуда после ускорения пучок переводится в основное кольцо для накопления. Длина орбиты бустера составляет 1/5 орбиты основного кольца, что соответствует 5 циклам его заполнения. Для действующего линейного ускорителя ЛУ-20 максимальная частота посылок может достигать 1 Гц. Это позволяет вести накопление в течение 4 секунд, после чего ускорять пучок до конечной энергии. При создании нового инжектора это время может быть сокращено.

Наиболее простым и часто применяемым способом многооборотной инжекции является заполнение радиального аксептанта ускорителя. Длительность инжекции, её эффективность и, соответственно, количество инжектируемых частиц может быть существенно увеличено, если использовать для "накачки" также и вертикальный аксептанс ^{1/6/}. Эффек-

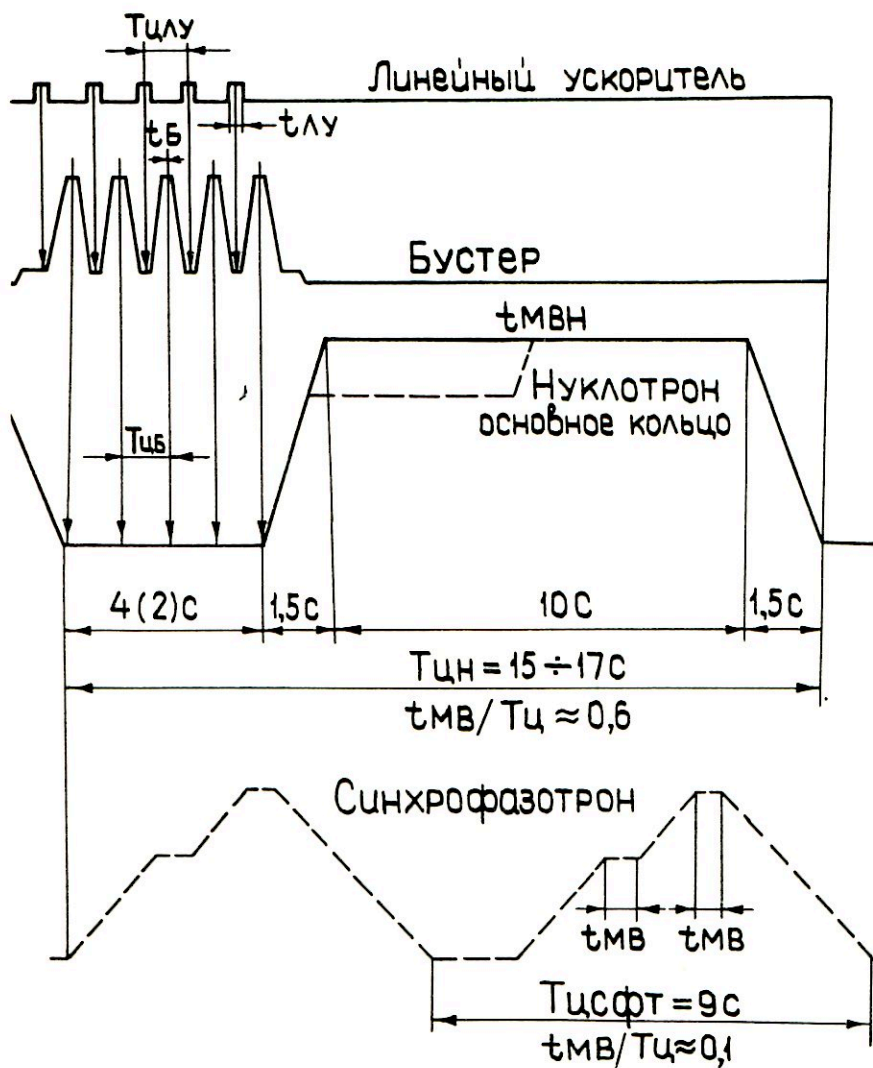


Рис. 6. Временная диаграмма работы Нуклотрона и синхрофазотрона.

тивность процесса значительно возрастает при введении резонанса связи $Q_x = Q_z$, осуществляя его с помощью дополнительного магнитного поля, направленного вдоль орбиты (т.н. "продольная связь")¹⁷⁾. В этом случае должен быть применен инфлектор с ограниченным вертикальным размером, что позволяет частицам с большой вероятностью сделать его обход при наиболее опасной фазе колебаний. В этом процессе вертикальные и горизонтальные колебания протекают синфазно. В момент прохождения частиц при наибольшем горизонтальном приближении к инфлектору их вертикальное отклонение от медианной плоскости также наибольшее, и частицы минуют инфлекторное устройство, проходя выше или ниже его.

Этот способ многооборотной инжекции предполагается применить при инжекции пучка в бустер из линейного ускорителя.

Сделаем оценку повышения интенсивности при использовании бустера, рассмотрев режим его работы совместно с действующим линейным ускорителем ЛУ-20.

В грубом приближении будем считать, что эмиттанс последнего, лежащий в пределах $\varepsilon_x \approx \varepsilon_z \approx 40 \text{ п.мм.мрад}$ ¹⁸⁾, согласован с аксептансом основного кольца Нуклотрона. (В действительности вертикальный аксептанс меньше требуемого, однако на уровне данных оценок это не имеет принципиального значения. Последующие, точные расчеты позволят получить более достоверные данные). Это означает, что эмиттанс пучка, ускоренного в бустере, должен быть равен (или быть меньше) эмиттансу пучка линейного ускорителя. Учитывая уменьшение эмиттанса при ускорении в синхротроне в $K = (B\rho)_{\text{max}} / (B\rho)_i$ раз (где $(B\rho)_{\text{max}}$ — магнитная жесткость, соответствующая максимальной энергии, $(B\rho)_i$ — жесткость при инжекции), аксептанс бустера, заполняемый при многооборотной инжекции, должен составлять

$$A_x^B = K\varepsilon_x \quad \text{и} \quad A_z^B = K\varepsilon_z.$$

Для энергии инжекции 5 МэВ/нукл и максимальной энергии 250 МэВ/н. величины магнитной жесткости составляют, соответственно, 0,647 Тл.м и 4,86 Тл.м, что дает значение $K=7,52$. При этом $A_x^B = A_z^B = 300 \text{ п.мм.мр.}$ Таким образом, при заполнении аксептанса синхротрона в двух плоскостях появляется возможность накачки частиц в пределе за время в течение $K^2 = 56$ оборотов. Для периода обращения пучка в бустере $T_0 = 1,6 \text{ мкс}$ ($\beta = 0,103$) это время составит $K^2 \cdot T_0 = 90 \text{ мкс}$.

Длительность импульса ядер из линейного ускорителя от лазерного и электронно-лучевого источников лежит в пределах от 10 до 25 мкс, что позволяет в этом случае инжектировать пучок без потерь. (Период обращения частиц в основном кольце при тех же условиях составляет

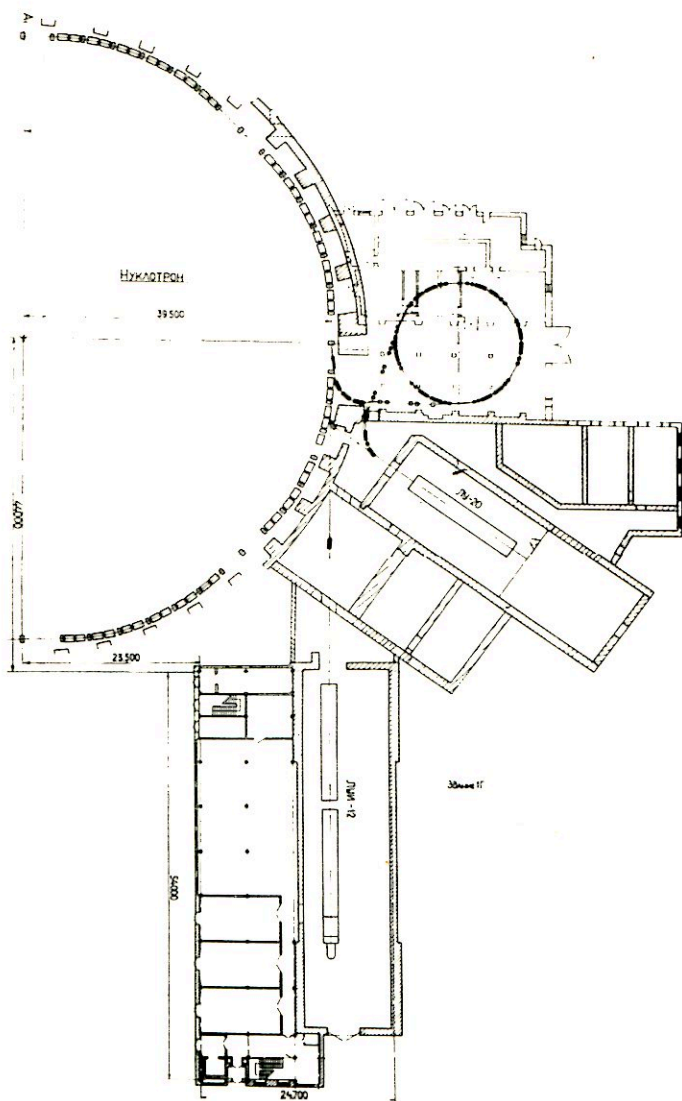


Рис.7. Схема расположения основного оборудования инжекционного комплекса Нуклотрона.

8,2 мкс). Еще больший выигрыш может быть получен для источников дуоплазмотронного типа и "Поляриса", длительность импульса которых составляет 400-500 мкс.

Эти оценки носят иллюстративный характер и не учитывают реальных характеристик пучка и системы инъекции. Однако предварительные численные расчеты показывают, что можно ожидать эффективность инъекции в пределах 0,5 + 0,7 и обеспечить повышение интенсивности пучков комплекса от одного до полутора порядков.

Общие данные бустера

Расположение бустера показано на рис. 7. Приведено также положение каналов транспортировки пучков из действующего линейного ускорителя ЛУ-20 и проектируемого ЛУ-12. Здание, в котором планируется установить бустер, использовалось в свое время для инжектора при запуске синхрофазотрона. Оно требует незначительной реконструкции.

Рассмотрение показало, что для бустера могут быть приемлемыми несколько типов магнитных структур. Наиболее подходящими являются 6-периодная структура ФОДОЦ и 8-периодная ФОДО. Окончательный выбор и детальный расчет магнитной структуры будут выполнены в процессе рабочего проектирования.

Общая длина дипольной магнитной дорожки ускорителя составляет около 20 м, что требует для 6-периодной схемы 12 дипольных магнитов длиной по 1,6 м или 16 магнитов длиной 1,2 м для 8-периодной. Примерная апертура магнитов составляет 10 x 18 см².

З качестве квадрупольных магнитов, как это предполагалось в /5/, могут быть использованы стандартные линзы серии ЗОК (диаметр апертуры 30 см), выпускаемые промышленностью*). Их необходимое количество составляет для названных типов структур 24 и 16, соответственно.

Остальные системы ускорителя также не выходят за рамки обычных. В таблице 6 приведены основные данные бустера для двух энергий инжектируемого пучка - из ЛУ-12 и ЛУ-20.

*) Стоимость такой линзы составляет несколько тысяч рублей.

Таблица 6. Бустер Нуклотрона ПКУ-250.
Основные данные

	Инжекция из	
	ЛУИ-12	ЛУ-20
Энергий	250 МэВ/нукл	
Энергия инжекции	12 МэВ/нукл	5 МэВ/нукл
Периметр $\Pi_{ПКУ} = \Pi_{НУК}/5$	50 м	
$K = R_{\text{макс}}/R_{\text{инж}}$	4,86	7,52
Эмиттанс инж.пучка	40п	40п
Акцептанс $A_x = A_z = K$	200п	300п
Число оборотов при инж. K^2	24	56
Эффективность инжекции	0,5 + 0,7	
Время оборота пучка T_0		
в ПКУ	1,1 мкс	1,6 мкс
в Нуклотроне	5,3 мкс	8,2 мкс
Длительность инжекции в ПКУ		
$T = K^2 \cdot T_0$	26 мкс	90 мкс
Длительность пучка из инжектора		
ядра	10 + 25 мкс	
протоны, дейтроны	400 + 500 мкс	
Количество циклов из ПКУ в Нуклотрон	5	
Число периодов	6 (8)	
Количество дип.магнитов (м.п. 100 x 180 x 1600 мм ³)	12 (16)	
Количество квадрупольных линз (15К30)	24 (16)	

Таблица 7 показывает кулоновский предел и реальные возможности получения интенсивности в бустере для существующего линейного ускорителя. Интенсивность в основном кольце Нуклотрона будет в 5 раз выше.

Таблица 7. Интенсивность пучков бустера ПКУ-250 (част./цикл)

Элемент	Кулоновский предел	Интенсивность при работе с инжектором ЛУ-20
^1H	$5 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{12}$
^2H	$5 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$
$^2\text{H}^\dagger$	$5 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^9$
^{12}C	$8 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{10}$
^{16}O	$6 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^9$
^{24}Mg	$4 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^8$
^{131}Xe	$1 \cdot 10^{11}$	10^7

Сравнительно скромные масштабы бустера, максимальное применение в нем стандартных узлов, использование имеющихся технологических помещений, по нашему мнению, позволяют осуществить проект в течение следующей пятилетки, и затраты по капитальному строительству не превысят 3,0 млн. рублей.

7. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

К основным параметрам пучка, подлежащим измерению, относятся:

- интенсивность в диапазоне от 10^4 до 10^{13} частиц за цикл;
- положение центра заряда пучка с точностью ± 1 мм по поперечным координатам;
- профиль и поперечные размеры;
- измеритель эмиттанса пучка.

Общим требованиям, которым должны удовлетворять датчики параметров пучка, являются:

- прозрачность (минимальное воздействие на характеристики пучка);
- высокая чувствительность и способность работать в большом диапазоне интенсивностей;

- в) помехозащищенность и высокая эксплуатационная надежность;
- г) возможность оперативного съема информации.

Учитывая имеющийся опыт разработки и эксплуатации диагностической аппаратуры линейного ускорителя ЛУ-20 для нового инжекционного комплекса, можно рекомендовать следующий набор датчиков:

а) магнитно-индукционные преобразователи для измерения абсолютной интенсивности пучка;

б) ионизационные датчики для измерения профиля, положения и относительной интенсивности пучков частиц с высокой зарядностью;

в) коллекторные датчики, полностью перекрывающие апертуру ионпровода. Они необходимы для калибровки датчиков и измерения формы тока.

В состав диагностической аппаратуры входит также набор электронных блоков, необходимых для предварительной обработки сигналов с датчиков с ЭМ. Представление информации о параметрах пучка осуществляется с помощью внешних устройств ЭМ, находящихся на пульте управления ускорителем.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инжекционный комплекс в составе: источники высокозарядных ионов и поляризованных дейтронов с необходимыми производственными помещениями и стендами, линейный ускоритель на энергию 10-12 МэВ/нуклон, бустер на энергию 250 МэВ/нуклон позволит получить в Нуклотроне рекордные интенсивности (таблица 8) ускоренных ионов практически всех элементов, включая уран в широком интервале энергий.

Капитальные затраты на создание инжекционного комплекса оцениваются в 8,0 - 8,5 млн.рублей, в том числе примерно 500 тыс.руб. - на строительно-монтажные работы.

При выделении на 1991-95 гг. 5,5 - 6,0 млн.рублей и своевременном последующем финансировании инжекционный комплекс будет введен в эксплуатацию в 1997-1998 годах.

Таблица 8. Интенсивность ускоренных пучков частиц в Нуклотроне (част/имп) до и после создания инжекционного комплекса

Элемент	Интенсивность после запуска Нуклотрона	Интенсивность после создания инжекционного комплекса
^1H	10^{11}	10^{13}
^2H	$5 \cdot 10^{10}$	10^{13}
^4He	10^8	10^{10}
^4He	$5 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{12}$
^7Li	$2 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{12}$
^{12}C	$7 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{12}$
^{20}Ne	10^8	$5 \cdot 10^9$
^{24}Mg	$3 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{11}$
^{40}Ar	$3 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^9$
^{56}Fe	-	10^{11}
^{65}Zn	-	$5 \cdot 10^{10}$
^{84}Kr	$2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^8$
^{96}Mo	-	$1 \cdot 10^{10}$
^{119}Sn	-	$2 \cdot 10^8$
^{131}Xe	10^7	$2 \cdot 10^8$
^{181}Ta	-	$1 \cdot 10^8$
^{238}U	$3 \cdot 10^6$	10^8

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Д.Безногих и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям. Том II, с. 39. ОИЯИ, Дубна, 1985 г.
2. Е.Д.Донец. ЭЧАЯ т. I3 (1982), с. 94I.
3. А.С.Белов, С.К.Есин и др. Высокоинтенсивный импульсный источник поляризованных протонов. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0458, Москва, 1986 г.
4. А.М.Балдин и др. Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям, том II, с. 4, Москва, Наука, 1975 г.
5. А.М.Балдин, И.Б.Иссинский, В.А.Михайлов и др. Промежуточный кольцевой ускоритель инжекционного комплекса ЛВЭ. Сообщение ОИЯИ. РЧ-9702, Дубна, 1976 г.
6. В.А.Титов, И.А.Шукейло. ЕТФ, XXXVII, IO, 1752 (1968).
7. А.М.Громов, П.А.Черенков. Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям, том II, с. IIO, Москва, Наука, 1973 г.
8. Ю.Д.Безногих и др. Некоторые характеристики Синхрофазотрона ОИЯИ (IV кв. 1974). Сообщение ОИЯИ, Б2-9-8775, Дубна, 1975 г.
9. А.Н.Баландикова, В.А.Мончинский и др. Синхрофазотрон ОИЯИ (IV кв. 1986). Сообщение ОИЯИ, 9-87-364, Дубна, 1987 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛВЭ
(СУПЕРНУКЛОТРОН)

А.М.Балдин, А.Д.Коваленко, Л.Г.Макаров, И.А.Шелаев

Объединенный институт ядерных исследований

Наименее разработанной и наиболее трудной для изучения областью применимости универсальной теории элементарных частиц (стандартной модели) является хромодинамика больших расстояний. В этой области весьма вероятно обнаружение принципиально новых явлений и закономерностей, которые трудно или невозможно вывести из первых принципов. Активно разрабатываемые экспериментально в ЛВЭ проблемы, такие как: связанные состояния цветовых объектов (резонансы), скрытый цвет, ядерная хромодинамика, многокварковые системы, спиновые явления в хромодинамике, кластеры, проблемы ККД-вакуума, конфайнмента, кварк-глюонной плазмы и др. в наибольшей степени отвечают запросам современной теории. Все эти проблемы интенсивно обсуждаются на крупнейших международных конференциях, регулярных дубненских международных семинарах "Мультикварковые взаимодействия и квантовая хромодинамика", начало которым было положено в 1969 году^{/1/}.

Физики стран-участниц ОИЯИ, ориентирующиеся на исследование релятивистских ядерных столкновений, на протяжении почти пятнадцати лет, начиная с 1971 года, использовали уникальные пучки релятивистских ядер с энергией более 4 ГэВ/нуклон синхрофазотрона ЛВЭ. Эти работы завершились наблюдением ряда новых явлений, установлением неизвестных ранее закономерностей, привели к становлению и формулировке основополагающих принципов релятивистской ядерной физики.

В последние годы существенно возрос интерес мировой научной общественности к проблемам описания сильно возбужденной ядерной материи. Особое внимание в литературе уделяется проблемам хромоплазмы- предельному асимптотическому состоянию, характеризующемуся множественным деконфайнментом кварков и глюонов в столкновении релятивистских ядер.

Исследование релятивистских ядерных столкновений стало и, по-видимому, сохранится как одно из основных направлений программы исследований ЦЕРНа, где в 1986 году получены ускоренные до энергии 200 ГэВ/нуклон ядра кислорода, а затем серы (планируется ускорение ядер свинца) и более 10 экспериментов начаты крупными международными

коллорабациями, насчитывающими около 500 физиков /2,3/.

Значительная программа работ по релятивистской ядерной физике предложена в США. Её конечным этапом является создание ядерного коллайдера с энергией $2 \times 100 \text{ А ГэВ}$ (вплоть до $A=198$). На данном этапе осуществлено ускорение ядер ^{28}S до энергии $14,5 \text{ ГэВ/нуклон}$ в Брукхейвенской национальной лаборатории и ведется строительство бустера с целью расширения диапазона ускоряемых ядер до золота /4,5/.

Сооружение нуклотрона и ввод его в действие расширяет возможности ОИЯИ и сотрудничающих организаций в исследовании проблем хромодинамики с участием легких кварков. Основные преимущества, которые нуклотрон обеспечит экспериментаторам, состоят в повышении энергии ядер до 6 ГэВ/нуклон , расширении их набора вплоть до урана, улучшении пространственных и временных характеристик выводимых пучков /6/. Даже на первом этапе при использовании в качестве инжектора существующего линейного ускорителя и источников ионов повысится интенсивность легких ядер. Основным же для повышения интенсивности пучков в нуклотроне, конечно, будет проведение работ по развитию инжекционного комплекса, намеченных на предстоящий период (см. настоящий сборник стр.185).

Однако для выхода в асимптотическую область энергий релятивистских ядер (значительно выше 6 А ГэВ) необходимо существенное развитие ускорительного комплекса синхрофазотрона-нуклотрона, отвечающее прогнозируемому уровню других мировых центров и перспективным программам физических исследований.

Оценка финансовых и производственных возможностей ОИЯИ и стран-участниц, опыт создания систем нуклотрона показывают, что реальной перспективой для Института является создание сверхпроводящего ускорительного комплекса релятивистских ядер - Супернуклотрона.

Структура комплекса СУПЕРНУКЛОТРОНА

В состав комплекса входят сверхпроводящий синхротрон, обеспечивающий ускорение ядер до энергии $\sim 60 \text{ А ГэВ}$ (протонов - 120 ГэВ), растяжитель для организации медленного вывода пучка и система для накопления ускоренных пучков и организации их встречных пересечений.

С учетом оптимальной привязки к имеющимся сооружениям и трассам площадки ЛВЭ и организации встречных ядерных пучков с малой β -функцией тоннель для размещения элементов магнитной системы супернуклотрона выбран в виде рейстрека с двумя длинными прямолинейными промежутками ($l \approx 200 \text{ м}$ каждый) и радиусом дуг $R \approx 200 \text{ мм}$ (рис. I). Таким образом, периметр супернуклотрона составляет $\sim 1700 \text{ м}$. С использованием в магнитной структуре комплекса наиболее экономичных элементов - сверхпроводящих дипольных магнитов с магнитным полем, форми-

руемым железом^{ж)}, технология которых предложена и хорошо освоена в Дубне /7,8/, конечная энергия ядер 60-А ГэВ достигается при $B_0 \approx 2,7$ Тл (коэффициент заполнения магнитной дорожки $K \sim 0,7$).

Ориентировочная стоимость основных элементов и сооружений комплекса в соответствии с генпланом приведена в таблице I. Первая очередь, реализация которой может быть осуществлена в течение 5-6 лет, включающая в себя СП-синхротрон, тоннель, экспериментальные залы для работы с неподвижными мишенями и технологические помещения, требует финансирования в объеме $\sim 35,4$ млн.руб. (из них $\sim 4,5$ млн.руб. строительно-монтажные работы). Таким образом, по общему объему финансирования первая очередь комплекса Супернуклотрона составляет 12% бюджета ОИЯИ, планируемого на 1991-95 гг.

Таблица I

№ п/п	Наименование объекта	Капвложения (млн.руб.)	
		всего	строймонтаж
1.	Сверхпроводящий синхротрон-ускоритель на энергию протонов 120 ГэВ	20,0	2,0
2.	Сверхпроводящий синхротрон-растяжитель	15,0	1,5
3.	Накопительные кольца	25,0	2,5
4.	НИР и ОКР	10,0	5,0
5.	Тоннель магнитной системы ($\ell = 1760,64$ м)	4,5	0,45
6.	Экспериментальные корпуса:		
	а) с неподвижной мишенью (зд.328-330)	2,9	0,3
	б) встречных пучков (зд. 326-327)	1,9	0,2
7.	Технологические здания(302-325)	8,0	1,8
Итого:		87,3	13,75

^{ж)} Возможно использование традиционных СП-магнитов с полем $4 + 5$ Тл и получение конечной энергии в $1,5 + 2$ раза выше, но это потребует существенного увеличения затрат.

Ускоритель электронов

Как было показано ранее /9/, в одном тоннеле с супернуклотроном хорошо совмещается ускоритель электронов на энергию $4 + 10$ ГэВ, выполненный по принципу рециркулятора. При этом два линейных ускорителя на энергию $\sim 0,4-0,5$ ГэВ каждый со сверхпроводящей ускоряющей структурой размещаются в прямолинейных частях рейстрекла супернуклотрона и соединяются по дугам изохронными магнитными дорожками, обеспечивающими перевод пучка электронов из одного линейного ускорителя в другой, аналогично создаваемому в настоящее время в США комплексу CEBAF /10/. Объединение в одном комплексе ускорителей релятивистских ядер и электронов такого класса явилось бы уникальной базой для исследований, как поведения ядерной материи в экстремальных условиях (столкновение ядер), так и прецизионных измерений структурных функций ядер и других тонких хромодинамических эффектов в лептон-ядерных взаимодействиях.

Создание сверхпроводящего линейного рециркулятора, требует значительных капиталовложений (стоимость, например, комплекса CEBAF ~ 200 млн.долл.). В нашем случае, однако, не потребуются дополнительных расходов на сооружение тоннеля, зданий и особенно криогенной системы. Резерв экономии имеется и в оптимизации сверхпроводящей ВЧ-структуры ускорителя и системы её питания. Тем не менее эта программа требует дополнительного целевого финансирования в размере порядка 100-120 млн.руб.

В таблице 2 приведены данные по основным параметрам пучков комплекса нуклотрон-супернуклотрон-коллайдер-электронный рециркулятор с учетом развития существующего инжекционного комплекса.

По программе Супернуклотрона в период 1991-95 гг. предлагается осуществить полномасштабное моделирование суперпериода магнитно-криостатной системы синхротрона с проведением комплексных криогенных, магнитных, электротехнических и технологических испытаний в условиях рабочей нагрузки током с получением детальных характеристик модуля, необходимых для уточнения рабочего проекта. Перечень основных работ и их стоимость приведены в таблице 3.

Таблица 2

Частицы, пучки	Энергия (ГэВ/нукл.)	Интенсивность (част./с)	Энерг. разброс $\Delta E/E$	Эмиттанс ϵ (рад.м)	Светимость L ($\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$)
протоны, p	12	$\sim 10^{12}$	10^{-3}	10^{-5}	-
ядра: d	6	$\sim 10^{12}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^6$	
^{12}C	"	$(d \uparrow \sim 10^9 - 10^{10})$ 10^{11}	$2 \cdot 10^{-3}$	"	
^{238}U	4	$10^8 - 10^9$	$4 \cdot 10^{-3}$	"	
протоны, p	120	$\sim 10^{12}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	
ядра: d	60	$\sim 10^{12}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	
^{12}C	60	$\sim 10^{11}$	$\sim 10^{-3}$	"	
^{238}U	40	$\sim 10^8$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	"	
электроны, e	0,5+4(12)	10^{15}	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-9}$	
e p	4(12)x120 ($\sqrt{s} \approx 44(76)$)				$10^{30} + 10^{31}$
e A	4(12)x60(40)				$10^{30} + 10^{27}$
(A= d, ... U)					
pp	120x120				$\sim 10^{31}$
AA	60x60(40x40) уран				$10^{26} - 10^{27}$ (для тяжелых ядер)

Таблица 3

№ п/п	Наименование работ	Результат	Исполнитель (организация)	Общая стоим. (млн. руб.)	Примечание
1.	Проектирование тоннеля и технологических корпусов	Подготовка строительства	ГСПИ	2,0	1990-1994гг.
2.	Проектирование технологического нестан-дартного оборудования	Обеспечение изготовления систем	вне ОИЯИ	1,0	1991-1992гг.
3.	Научно-экспериментальные работы	Рабочий вариант СП-магнита	ОИЯИ	2,0	1991-1993гг.
4.	Полномасштабное моделирование участка кольцевого СП-магнита	Уточнение рабочего проекта	ОИЯИ	5,0	1992-1994гг.

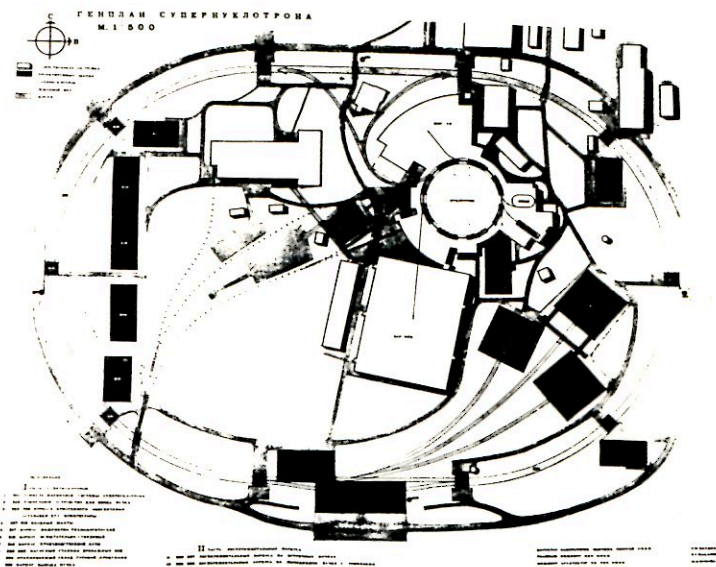


Рис.1. Проект генплана комплекса Супернуклотрона.

Литература

1. Балдин А.М. Труды IX Международного семинара "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика". ОИЯИ, Д1,2-88-652, т.1: с.7, Дубна, 1988.
2. Jacob M. CERN-TH. 5333/89, March, 1989.
3. Haseroth H. CERN/PS 88-30, May, 1988.
4. Ruggiero A.G. ANL-MEP-CP-85-43, May, 1985.
5. Chasman C. et al. In Proc. IX Int. Seminar on High Energy Phys. Problems. Dubna, (1988) D1,2-88-652, v.II, p.319.
6. Baldin A.M. et al. IEEE Trans-Nucl. Sci., 1983, v.NS-30, N°4, p.3247.
7. Аверичев С.А. и др. ОИЯИ, P8-11700, Дубна, 1978.
8. Shelaev I.A. et al. Abstr. I-st Europe Part. Accel. Conf., EPAC, Rome, June 1988, p.67.
9. Коваленко А.Д. ОИЯИ, P9-89-26, Дубна, 1989.
10. Leeman C. CEBAF-PR-88-001, Newport News, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 августа 1989 года

Редактор М.И. Зарубина. Макет И.А. Киселевой.

Подписано в печать 11.09.89.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 15,69.
Тираж 300. Заказ 42519.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.

