

3923/88

# ДУБНА · 1987

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЗМ

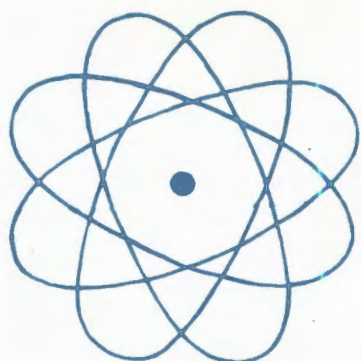


JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1987 · DUBNA

Экз. чит. зала

**ОТЧЕТ  
О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**



ЕЖЕГОДНОЕ ИЗДАНИЕ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РУКОВОДЯЩИХ И КОНСУЛЬТАТИВНЫХ ОРГАНОВ</b>	10
Премии	17
<b>НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ЛАБОРАТОРИЯМИ ОИЯИ В 1987 ГОДУ</b>	
Лаборатория теоретической физики	20
Лаборатория высоких энергий	32
Лаборатория ядерных проблем	48
Лаборатория ядерных реакций	62
Лаборатория нейтронной физики	80
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации	96
Отдел новых методов ускорения	106
<b>МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО</b>	112
<b>ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ</b>	
Отдел радиационной безопасности и радиационных исследований	142
Опытное производство	143
<b>НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>	
Издательский отдел	146
Научно-техническая библиотека	148
Патентный отдел	148
<b>АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b>	149

## ВВЕДЕНИЕ

Как и прежде, усилия международного коллектива Объединенного института ядерных исследований в 1987 году были направлены на проведение теоретических и экспериментальных исследований структуры элементарных частиц и атомного ядра, их взаимодействий, на изучение методами ядерной физики конденсированного состояния вещества, на разработки в области ускорительной и вычислительной техники. Намеченная на 1987 год программа научно-исследовательской деятельности ОИЯИ успешно выполнена. Получен ряд новых результатов как фундаментального, так и прикладного характера. Подтверждением высокого уровня работ, проводимых в ОИЯИ, явилась регистрация в 1987 году Государственным комитетом по делам изобретений и открытий СССР открытия "Закономерность упругого рассеяния адронов на большие углы при высоких энергиях — правила кваркового счета Матвеева — Мурадяна — Тавхелидзе", ранее сделанного в ОИЯИ В.А.Матвеевым, А.Н.Тавхелидзе и Р.М.Мурадяном.

Новых успехов добились теоретики Института. Исследована модель мезонной "шубы" адрона и получены предсказания для поляризационных эффектов в мезон-нуклонном рассеянии, включая перезарядку  $\pi$ -мезона. На основе анализа экспериментальных данных показано существование трех векторных резонансов с массами вблизи 1425, 1625 и 1750 МэВ. В работах по квантовой хромодинамике получены новые правила сумм для спиновых структурных функций. Разработана классическая теория конечной релятивистской струны с кривизной. Исследования в области теории атомного ядра показали, что квазичастично-фононная модель ядра правильно описывает фрагментации магнитных дипольных состояний в  $^{208}\text{Pb}$ . Завершены основные исследо-

вания природы мезонных и кварковых степеней свободы в дибарионах, анализ формфакторов легчайших ядер, а также микроскопическое описание в рамках унитарной теории рассеяния упругого мезон-ядерного взаимодействия при низких энергиях. В области конденсированного состояния вещества развита теория электронных свойств точечных дефектов в металлах, позволяющая описать процессы переноса, магнитосопротивление и коэффициенты Холла в хорошем согласии с экспериментальными данными. Предложена ангармоническая модель высокотемпературной сверхпроводимости и исследована роль структурной неустойчивости в этом явлении.

Заметное участие теоретиков Института проявилось в разработке физических программ экспериментов DELPHI, "Парус", "Меченые нейтрино", "Сфера", в реализации экспериментов NA-4, "Нейтринный детектор", "Мю-катализ" и др.

Новые интересные результаты получены в экспериментах на синхрофазотроне. В исследованиях кумулятивного рождения антипротонов на ядрах свинца и алюминия в кинематически запрещенной для нуклон-нуклонных столкновений области получена слабая зависимость поглощения антипротонов внутри фрагментирующего ядра от массы ядра. Релятивистски-инвариантный анализ адрон-ядерных и ядерно-ядерных взаимодействий в интервале энергий 4-40 ГэВ выявил универсальный характер образования барионных кластеров, представляющих собой предельно возбужденную ядерную материю. Надежно зарегистрированы образования релятивистских гиперядер водорода и лития. Новые данные получены по наблюдению возможных экзотических состояний ядерной материи.

В экспериментах, проводимых на синхротроне ИФВЭ (Протвино) с помощью

спектрометра "Гиперон", исследовано инклюзивное образование  $K_s^0$ - и  $K^*$ (892)-мезонов. Результаты свидетельствуют о значительной роли эффектов экранирования цвета в адрон-ядерных взаимодействиях. На установке СИГМА-АЯКС изучено испускание кумулятивных протонов во взаимодействиях  $\pi^-$ ,  $K$  и  $\bar{p}$  с ядром бериллия при 40 ГэВ/с. Выявленная неожиданно большая величина сечения образования кумулятивных протонов в  $\bar{p}A$ -взаимодействиях указывает на существование специфического механизма рождения кумулятивных протонов. Завершена обработка данных эксперимента по измерению азимутальной асимметрии в реакциях на поляризованных протонной и дейтронной мишенях. Обнаружено, что асимметрия в ряде процессов достигает нескольких десятков процентов.

Проведена обработка и анализ 700 тысяч событий глубокоупругого мюон-углеродного рассеяния (эксперимент NA-4). Определено значение масштабного параметра КХД  $\lambda$ , а также впервые на основе синглетного анализа — параметра  $\eta$ , характеризующего распределение глюонов в протоне. В другом совместном ЦЕРН — ОИЯИ эксперименте (PS-179) измерены угловые и энергетические распределения частиц при аннигиляции антипротонов в  ${}^2_0\text{Ne}$  и  ${}^4\text{He}$ . Получено указание на исключительно сильную изоспиновую зависимость аннигиляции в высших парциальных волнах.

В экспериментах на пучках фазотрона с помощью  $\mu\text{SR}$ -метода получены новые данные о свойствах высокотемпературных сверхпроводников. Выполнено одно из наиболее точных измерений массы покоя электрона с использованием прецизионной полупроводниковой методики.

Выполнены эксперименты по синтезу нового сверхтяжелого элемента таблицы Менделеева. Опыты проведены с использованием интенсивных пучков ионов аргона, ускоренных на циклотроне У-400. Анализ данных по образованию нового нуклида, спонтанно делящегося с периодом полураспада  $\sim 0,01$  с, и сопоставление с контрольными опытами показывают, что наблюдаемая активность связана с распадом 110-го элемента. При исследовании экзотических ядер и ядерных распадов впервые обнаружены квазистационарные состояния у  ${}^7\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$ . При изучении взаимодействия тяже-

лых ионов с монокристаллами обнаружена низкая повреждающая способность тяжелого ядра вблизи максимума электронных тормозных потерь. Предложен механизм взаимодействия ионов с монокристаллической средой, позволяющий объяснить это явление.

Основные научные результаты в области нейтронной физики были получены за счет обработки данных прежних измерений и исследований, выполненных на реакторах и базовых установках сотрудничающих с ОИЯИ центров. Это связано с остановкой реакторов ИБР-2 и ИБР-30 до октября 1987 г. Завершен цикл исследований фундаментальных свойств нейтрона, определены знак (отрицательный) и величина среднеквадратичного радиуса распределения электрического заряда в нейтроне ( $\sim 0,1$  фм). Выявлены неизвестные ранее особенности  $\gamma$ -распада в ядрах диспрозия, иттербия и гафния. Получен ряд результатов по высокотемпературной сверхпроводимости керамических образцов, изготовленных в ЛНФ. Обнаружен необычный эффект поглощения электромагнитной энергии в иттриевой керамике с критической температурой 95 К. При исследовании лантановых керамик методами упругого и неупругого рассеяния нейтронов найдено новое возбуждение магнитного происхождения. Обнаружено явление ограниченного коллапса в растворах линейных полиэлектролитов и в полиэлектролитных гелях.

Дальнейшее развитие и совершенствование получили базовые и экспериментальные установки Института. На синхрофазотроне обеспечен режим работы ускорителя с точной регулировкой энергии в диапазоне 0,1 - 1 ГэВ. Увеличена интенсивность пучка поляризованных дейтронов до  $10^9$  частиц/цикл. Завершено производство модулей вакуумно-криостатной системы нуклотрона и начато серийное производство дипольных магнитов. Закончен монтаж, проведены испытания и подготовка к эксплуатации нового подвижного отражателя для реактора ИБР-2. Осуществлена модернизация систем контроля и защиты реактора. На циклотроне У-400 проведена комплексная наладка автоматизированной системы управления ионным источником, расширен диапазон ускоряемых ионов. Выполнен большой объем работ по созданию ускорителя У-400М. Продолжалась оптимизация систем фазотро-

на с целью повышения его эффективности. На выведенном пучке протонов фазотрона введен в действие большой комплекс экспериментальных установок (ЯСНАПП-2) для исследований в области ядерной спектроскопии, в частности удаленных от полосы стабильности радионуклидов.

В центральном вычислительном комплексе ОИЯИ введен в эксплуатацию матричный процессор ЕС-2706 для ЭВМ ЕС-1061. Получили развитие сетевое и общесистемное обеспечение базовых ЭВМ. ОИЯИ получил возможность устанавливать связь с советскими и зарубежными информационно-вычислительными центрами. Реализована также связь ОИЯИ с вычислительной сетью ЦЕРНа.

В рамках участия ОИЯИ в эксперименте DELPHI завершено изготовление детекторов для адронного калориметра. Всего изготовлено, испытано и отправлено в ЦЕРН 25 тысяч детекторов. В ЦЕРНе осуществлена сборка детектирующих

плоскостей и их монтаж в магнитную систему установки. Проведена подготовка "Нейтринного детектора" к исследованиям процессов глубоконеупругого рассеяния нейтрино на ядрах в пучке ускорителя ИФВЭ. Выполнен комплекс работ, направленных на существенное улучшение фоновых условий и повышение эффективности работы установки. Начат набор статистики в пучке нейтрино широкого спектра. Велись работы по созданию эскизного проекта универсального калориметрического  $4\pi$ -детектора, предназначенного для исследований на встречных пучках ускорительно-накопительного комплекса (УНК) в Протвино. Подготовлен первый вариант проекта установки. Разработан проект эксперимента "Парус — Нептун" для исследования спиновых эффектов с использованием струйной мишени на внутреннем пучке УНК. Продолжались работы по созданию и совершенствованию целого ряда других физических установок, предназначенных для экспериментов на ус-

Заседание Комитета Полномочных Представителей правительств стран-участниц ОИЯИ. Дубна, март 1987 г.



корителе ИФВЭ, синхрофазотроне, реакторе ИБР-2, циклотроне У-400, фазотроне.

Наряду с фундаментальными исследованиями выполнена обширная программа в области прикладных разработок. В частности, выполнен анализ более 500 геологических образцов на содержание в них редких элементов; создан опытный образец установки для определения содержания белка в зерновых культурах; выполнен комплекс биофизических исследований по проекту РИТМ; проведены исследования работы медико-биологического комплекса ОИЯИ в широких и узких протонных пучках; созданы новые автоматизированные приборы на основе трековых детекторов для рентгеновской дифрактометрии монокристаллов.

Деятельность ОИЯИ осуществлялась в рамках широкого международного научно-технического сотрудничества. Для выполнения совместных исследований, консультаций, участия в совещаниях и выполнения

работ по контрактам Объединенный институт посетили 1973 специалиста из стран-участниц и других стран. Для этих же целей выезжали в страны-участницы и другие страны 685 сотрудников ОИЯИ. Институт был организатором 6 крупных научных форумов, среди которых Международный симпозиум по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом (Дубна), X Школа ЦЕРН — ОИЯИ по физике высоких энергий (Варна, НРБ), VIII Международное совещание по проблемам квантовой теории поля (Алушта, СССР) и другие. Ученые ОИЯИ приняли участие в работе 148 международных и национальных конференций, симпозиумов и школ, состоявшихся в различных странах мира.

В целях совершенствования деятельности ОИЯИ как международного научного центра руководящие органы и дирекция Института предприняли ряд шагов, направленных на улучшение организации проведения исследований в избранных научных



направлениях, повышение эффективности международного сотрудничества. Выдвинута задача создания единого подразделения для работ в области физики высоких и сверхвысоких энергий на ускорителях других научных центров и прежде всего на создаваемом в СССР ускорительно-накопительном комплексе. В рамках этой задачи Отдел новых методов ускорения преобразован в Общеинститутское научно-методическое отделение, в основу деятельности которого положено два направления: методические работы по обеспечению экспериментов на УНК, участие в создании от-

дельных систем и узлов УНК. Заметное место в деятельности Института в 1987 году заняла разработка проекта "Комплексной программы исследований и развития ОИЯИ до 2000 года". Комплексная программа нацеливает Институт на получение научных результатов и сооружение физических установок, находящихся на уровне мировых достижений или превосходящих их, создание условий для эффективной реализации творческих возможностей научных коллективов, работающих в ОИЯИ, и сотрудничающих с Институтом центров стран-участниц.

*Н. Боголюбов*

Н.Н.Боголюбов  
Директор Объединенного института  
ядерных исследований



**РУКОВОДЯЩИЕ  
И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ  
ОРГАНЫ ОИЯИ**



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РУКОВОДЯЩИХ И КОНСУЛЬТАТИВНЫХ ОРГАНОВ ОИЯИ

61 сессия Ученого совета ОИЯИ состоялась 13-15 января 1987 года. Ученый совет одобрил мероприятия дирекции Института и лабораторий по выполнению решений 59-й и 60-й сессий Ученого совета, деятельность секций Ученого совета по теоретической физике, по физике высоких и физике низких энергий. Ученый совет рекомендовал дирекции Института обратить особое внимание на предложения по увеличению финансирования Центрального вычислительного комплекса, а также организовать силами ведущих теоретиков и экспериментаторов стран-участниц ОИЯИ экспертную оценку перспектив развития физики высоких энергий, атомного ядра и конденсированных сред с целью выработки приоритетных рекомендаций по основным направлениям Комплексной программы, требующим наибольших капиталовложений.

Сессия приняла за основу предложенный проект Комплексной программы развития ОИЯИ до 2000 года, постановление о совершенствовании научно-организационной структуры Института в целях повышения эффективности работы ОИЯИ; обратилась к дирекции ОИЯИ с просьбой в короткие сроки провести работу по подготовке Соглашения об участии ОИЯИ в экспериментах на УНК (ИФВЭ, Протвино).

Ученый совет одобрил научно-исследовательскую деятельность лабораторий и ОНМУ за 1986 год и утвердил проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 1987 год, составленный с учетом предложений стран-участниц. Ученый совет рекомендовал дирекции ОИЯИ покупать большее количество аппаратуры и материалов из стран-участниц ОИЯИ с целью уменьшения затрат Института в свободно конвертируемой валюте.

На сессии с докладом о состоянии дел по разработке научной программы исследований на выведенных и встречных пучках УНК выступил заместитель директора Института физики высоких энергий (Протвино) профессор Н.Е.Тюрин.

Ученый совет одобрил представленный дирекцией Института доклад о кадрах специалистов из стран-участниц ОИЯИ, деятельность дирекции по развитию международного сотрудничества Института в 1986 году; утвердил план проведения научных совещаний ОИЯИ на 1987 год и одобрил план участия ОИЯИ в международных и национальных конференциях, симпозиумах, школах и совещаниях в 1987 году.

Ученый совет утвердил сроком на 4 года в должности директора Лаборатории ядерных реакций академика Г.Н.Флерова, директора Лаборатории нейтронной физики — академика И.М.Франка, директора Лаборатории ядерных проблем — члена-корреспондента АН СССР В.П.Джелепова, директора Лаборатории вычислительной техники и автоматизации — члена-корреспондента АН СССР М.Г.Мещерякова; сроком на 3 года в должности заместителей директора Лаборатории ядерных реакций — профессора Ю.Ц.Оганесяна и кандидата физико-математических наук В.Д.Шестакова.

Совещание Комитета Полномочных Представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялось 3-4 марта 1987 года. Комитет Полномочных Представителей одобрил работу Института по выполнению плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в 1986 году; утвердил решения 60-й и 61-й сессий Ученого совета ОИЯИ по результатам научных исследований, выполненных лабораториями и отделами Института в 1986 году, план научно-исследовательских

работ и международного сотрудничества на 1987 год, принятый 61-й сессией Ученого совета, решения 61-й сессии Ученого совета об итогах международного сотрудничества ОИЯИ в 1986 году и планах проведения научных совещаний на 1987 год, планы командирования специалистов ОИЯИ на международные и национальные конференции, симпозиумы, совещания и школы на 1987 год, решения 61-й сессии Ученого совета о кадрах специалистов из стран-участниц ОИЯИ.

Комитет Полномочных Представителей постановил считать главными задачами Института в 1987 году:

— дальнейшее развитие современных теоретических исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра, конденсированных состояний, а также проведение экспериментальных исследований по этим направлениям на базовых установках ОИЯИ, ускорителях ИФВЭ и ЦЕРНа, включая прикладные исследования в соответствии с задачами, поставленными в решении 61-й сессии Ученого совета ОИЯИ;

— модернизацию систем синхротрона как ускорителя релятивистских и поляризованных ядер;

— работы по созданию нуклотрона;

— проведение физических исследований на фазотроне ОИЯИ;

— обеспечение устойчивой и эффективной работы реактора ИБР-2 и проведение физических исследований на его пучках;

— работы по ускорителю ЛИУ-30;

— проведение экспериментов по синтезу и поиску новых элементов и изучению их свойств, работы в области создания ускорительного комплекса У-400 + У-400М;

— развитие и эффективное использование ЦВК;

— участие в разработке совместно с ИФВЭ отдельных систем УНК и подготовку экспериментов на нем;

— работы в области прикладных исследований;

— эффективное использование базовых установок, повышение их экономичности и технического совершенства.

Комитет поручил дирекции Института разработать план конкретных мероприятий и сроки их реализации для решения вопросов совершенствования структуры Института.

Комитет Полномочных Представителей утвердил отчет ОИЯИ об исполнении бюджета за 1985 год, протокол заседания Финансового комитета ОИЯИ от 11-12 ноября 1986 года; принял к сведению сообщение дирекции ОИЯИ об исполнении бюджета Института за 1986 год и утвердил бюджет ОИЯИ на 1987 год, долевые взносы государств-членов Института, численность сот-

Контроль за финансовой деятельностью ОИЯИ осуществляет Финансовый комитет, очередное заседание которого состоялось 10-12 ноября 1987 г.



рудников Института на конец 1987 года, объем работ и услуг и затраты на производство по производственным подразделениям на 1987 год, представленный дирекцией ОИЯИ план капитального строительства на 1987 год. Комитет Полномочных Представителей согласился с предложением дирекции ОИЯИ о введении в 1987 году новой системы оплаты труда для инженерно-технических работников, служащих и рабочих подразделений Института при условии сохранения фонда заработной платы, предусмотренного бюджетом на 1987 год.

Комитет принял за основу предложенный проект Комплексной программы развития ОИЯИ до 2000 года; постановил продолжить работу над этим проектом с учетом дискуссий на 61-й сессии Ученого совета и совещании Комитета Полномочных Представителей для подготовки в 1987 году окончательного варианта; утвердил решение 61-й сессии Ученого совета об организации силами ведущих теоретиков и экспериментаторов стран-участниц ОИЯИ экспертной оценки перспектив развития физики высоких энергий, атомного ядра и конденсированных сред с целью выработки приоритетных рекомендаций по основным направлениям Комплексной программы, требующим наибольших капиталовложений.

Комитет Полномочных Представителей согласился с применением к ОИЯИ статей 1 и 4-16 "Конвенции о правовом статусе, привилегиях и иммунитетах межгосударственных экономических организаций, действующих в определенных областях сотрудничества", подписанной 5 декабря 1980 года в Будапеште.

На совещании с научными докладами выступили: академик А.М.Балдин — "Физика высоких энергий и ее роль в создании научно-технического потенциала", профессор В.И.Корогодин — "Механизмы биологического действия ионизирующих излучений", кандидат физико-математических наук М.Г.Сапожников — "Исследования взаимодействия антипротонов низких энергий с ядрами на ускорительном комплексе LEAR (ЦЕРН)".

62 сессия Ученого совета ОИЯИ состоялась 5 июня 1987 года. Сессия одобрила деятельность секций Ученого совета ОИЯИ по теоретической физике, физике высоких и физике низких энергий и их комитетов;

обратилась с просьбой к дирекции ОИЯИ вынести на рассмотрение совещания Комитета Полномочных Представителей вопрос об эффективности организации международного сотрудничества.

Совет одобрил в основном проделанную дирекцией работу по проекту Комплексной программы развития ОИЯИ до 2000 года, работу комиссии, созданной дирекцией по совершенствованию структуры ОИЯИ; поручил дирекции ОИЯИ приступить к реализации находящихся в ее компетенции рекомендаций, выработанных этой комиссией, и организовать работу экспертов из числа ведущих ученых стран-участниц и членов Ученого совета для оценки рекомендаций комиссии и подготовки вопроса на следующую сессию Ученого совета и совещание Комитета Полномочных Представителей 1988-го года.

Совет постановил приступить к концентрации усилий на главных направлениях научной программы ОИЯИ, для чего провести укрупнение отделов, сокращение малоэффективных секторов, сокращение неперспективных тем в проблемно-тематическом плане ОИЯИ с 1988 года. Ученый совет принял к сведению предложенный проект проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 1988 год и определил основные научные направления лабораторий в 1988 году.

Совет утвердил решение жюри о премиях ОИЯИ за лучшие работы, выполненные в 1986 году.

Совет утвердил в должности заместителя директора Лаборатории высоких энергий кандидата физико-математических наук А.Прокеша сроком на три года.

25 сессия секции Ученого совета по теоретической физике состоялась 2 июня 1987 года. Сессия была посвящена обсуждению итогов и перспектив международного сотрудничества ЛТФ с институтами стран-участниц. С докладами выступили заместитель директора ЛТФ Э.Капусцик, ученые из стран-участниц Института. Сессия отметила плодотворность научного сотрудничества с институтами стран-участниц ОИЯИ, подчеркнув необходимость его расширения при формировании физических программ для экспериментов на установках ИФВЭ (Протвино) и ИЯИ АН СССР (Троицк),

а также при выполнении совместных теоретических исследований с этими организациями.

Сессия отметила целесообразность укрупнения работ по созданию системы связи институтов стран-участниц с компьютерной сетью ОИЯИ; одобрила и предложила продолжить подготовку кадров для стран-участниц ОИЯИ на основе сотрудничества ЛТФ с физическим факультетом МГУ и филиалом НИИЯФ МГУ в Дубне; обратилась с просьбой к Ученому совету ОИЯИ внести на рассмотрение Комитета Полномочных Представителей вопрос об эффективности организации международного сотрудничества ОИЯИ.

На прошедшей 3 июня 1987 г. сессии секции Ученого совета по физике высоких энергий обсуждались доклады, представленные от ОИЯИ на Международную конференцию по физике высоких энергий (Упсала, Швеция, июнь-июль 1987 г.), отчеты о состоянии дел по проектам DELPHI, СВД, MARC-МЧС, "Меченые нейтрино", "Парус — Нептун". Были заслушаны отчеты о деятельности специализированных комитетов секции — фотоэмульсионного, по электронным экспериментам и камерного, доклад о состоянии дел по обработке камерных снимков в ЛВТА в 1987 году и плане на 1988 год.

На 44 сессии секции Ученого совета по физике низких энергий (4 июня 1987 года) были заслушаны научные доклады о проводимых в ОИЯИ исследованиях проблемы массы нейтрино, высокотемпературной сверхпроводимости, изучении структуры нуклонов и ядер, магнитных фазовых переходов с помощью мюонов. Отмечена актуальность и перспективность этих направлений, а также возможность использования некоторых из них для решения прикладных задач.

Участники сессии заслушали также информацию о готовности реакторов ЛНФ к работе, о состоянии дел по созданию ЛИУ-30, о ходе работ и программе сооружения У-400М. Секция одобрила деятельность специализированных комитетов по нейтронной физике, по структуре ядра и по физике тяжелых ионов.

26 сессия секции Ученого совета по теоретической физике состоялась 27-28 ноября 1987 года. Члены секции заслушали

доклад об итогах сотрудничества теоретиков СРР и ЛТФ ОИЯИ и предложениях по научной программе предстоящих исследований; сессия поддержала предложение провести следующую сессию секции в Польше. Был заслушан ряд научных докладов о проводимых в ЛТФ исследованиях, отмечен их высокий уровень и конкурентоспособность.

Секция поддержала Комплексную программу развития ОИЯИ до 2000 года с учетом высказанных замечаний, отметила необходимость построения в следующей пятилетке Информационно-библиотечного центра ОИЯИ.

Сессия одобрила предложение дирекции ЛТФ об открытии новой темы "Создание сети персональных компьютеров в ЛТФ" в целях повышения эффективности теоретических исследований, одобрила предложенные дирекцией ЛТФ планы научно-исследовательской работы и международного сотрудничества на 1988 год.

На 45 сессии секции Ученого совета по физике высоких энергий (24-26 ноября 1987 г.) заслушаны доклады об итогах работы научных конференций по тематике секции, доклад о программе экспериментальных исследований на УНК (Протвино) и предложения ОИЯИ по участию в экспериментах на УНК (проекты "Парус — Нептун", MARC — МЧС и "Глюон"), отчеты о ходе выполнения лабораториями ОИЯИ проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ по тематике секции и информацию о состоянии дел по установке DELPHI.

Члены секции обсудили доклады о работе комиссии по корректировке плана графика создания и развития экспериментальных и базовых установок ОИЯИ на текущую пятилетку и о ходе подготовки Комплексной программы развития ОИЯИ до 2000 года и рекомендациях экспертов стран-участниц. Были заслушаны также отчеты председателей специализированных комитетов секции.

На 45 сессии секции Ученого совета по физике низких энергий (1-3 декабря 1987 г.) были заслушаны научные доклады о проводимых в ОИЯИ исследованиях: "Квантовые макроскопические явления", "Ядерная астрофизика низких энергий", "Среднеквадратичный радиус распределения заряда в нейтроне", "Исследование свойств

**ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ**

Академик Х. Христов (Народная Республика Болгария)  
 Академик И. Ланг (Венгерская Народная Республика)  
 Академик Нгуен Ван Хьеу (Социалистическая Республика Вьетнам)  
 Доктор Ф. Гильберт (Германская Демократическая Республика)  
 Чхе Хак Гын (Корейская Народно-Демократическая Республика)  
 Х. Росалес (Республика Куба)

Профессор Д. Цзэвгид (Монгольская Народная Республика)  
 Профессор М. Совински (Польская Народная Республика)  
 Профессор И. Брындуш (Социалистическая Румыния)  
 Академик А. М. Петросьянц (Союз Советских Социалистических Республик)  
 Академик Й. Ржизан (Чехословацкая Социалистическая Республика)

Финансовый комитет  
 По одному представителю от  
 каждой страны-участницы  
 ОИЯИ

**УЧЕНЫЙ СОВЕТ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Председатель - академик И. Н. Боголюбов  
 доктор физико-математических наук М. Гмитро  
 профессор Э. Энтральго  
 Главный ученый секретарь - профессор А. Н. Сисакия

Народная Республика Болгария	Венгерская Народная Республика	Социалистическая Республика Вьетнам	Германская Демократическая Республика	Корейская Народно-Демократическая Республика	Республика Куба	Монгольская Народная Республика	Польская Народная Республика	Социалистическая Республика Румыния	Союз Советских Социалистических Республик	Чехословацкая Социалистическая Республика
профессор Ж. Желев	академик Д. Берени	доктор хим. наук Данг Ву Минь	профессор К. -Г. Каун	кандидат физ.-мат. наук Ли Ман Вак	Р. Кабевас	Б. Даксрурен	профессор И. Зелински	кандидат физ.-мат. наук В. Болдея	доктор технических наук А. А. Васильев	М. Семан
профессор И. Златев	академик Д. Киш	кандидат физ.-мат. наук Ву Суан Минь	академик К. Ланнус	профессор Ли Ман Вак	Д. Кардомью	Н. Содном	академик Р. Сосновски	профессор И. Брындуш	профессор В. К. Лукьянов	И. Тучек
академик Х. Христов	член-корр. ВАН Н. Кроо	профессор Ву Суан Минь	профессор Г. Музюноль	профессор Пак Мен Зои	Э. Педреро	Д. Чултэм	академик А. Хрынкевич	профессор Г. Семенеску	профессор Н. Е. Турин	профессор Ч. Шмане

Секция Ученого совета ОИЯИ по физике высоких энергий  
 Председатель - профессор Э. Энтральго  
 Ученый секретарь - кандидат физико-математических наук М. Г. Шафранова

Секция Ученого совета ОИЯИ по теоретической физике  
 Председатель - академик Н. Н. Боголюбов  
 Ученый секретарь - кандидат физико-математических наук М. А. Смондарев

Секция Ученого совета ОИЯИ по физике низких энергий  
 Председатель - доктор физ.-мат. наук М. Гмитро  
 Ученый секретарь - кандидат физ.-мат. наук Н. К. Скобелев

Камерный комитет  
 Председатель - кандидат физ.-мат. наук Х. Каназирски

Комитет по электронным экспериментам  
 Председатель - кандидат физ.-мат. наук Я. Седлак

Фотоэмульсионный комитет  
 Председатель - кандидат физ.-мат. наук М. Хайдук

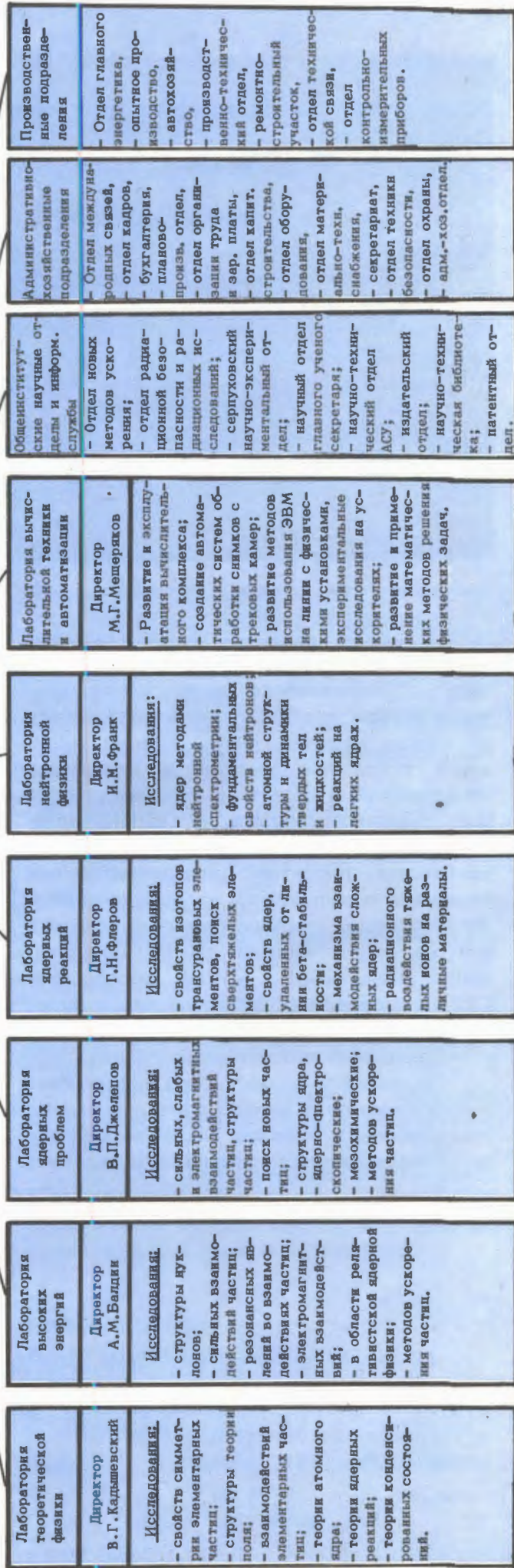
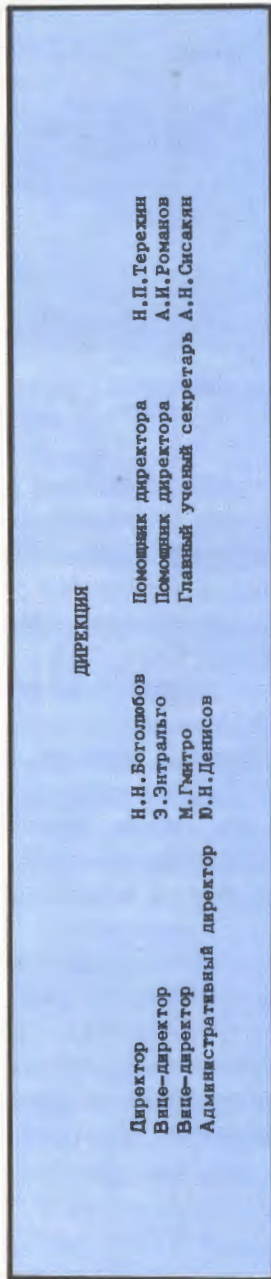
Комитет по нейтронной физике  
 Председатель - профессор К. Хеннг

Комитет по структуре ядра  
 Председатель - доктор физических наук В. Андричей

Комитет по физике тяжелых нонов  
 Председатель - профессор К. -Г. Каун

СТРУКТУРА

ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ





Общенститутский семинар, посвященный проблемам высокотемпературной сверхпроводимости.

нейтрино в процессах радиоактивного распада”, “Исследование сверхтяжелых изотопов легких ядер”. Отмечена актуальность изучаемых проблем. Члены секции заслушали также информацию о программе исследований в области высокотемпературной сверхпроводимости в ОИЯИ, представленные лабораториями доклады о ходе реализации проектов экспериментальных установок и выполнении проблемно-тематического плана, доклады ученых из ведущих центров стран-участниц (ИЯИ, Дебрецен, ВНР; ИЯФ, ЧСАН; ЦИЯИ, Россендорф, ГДР) о проводимых исследованиях, а также доклады об итогах работы международных совещаний по тематике секции.

На сессии была обсуждена информация о ходе подготовки Комплексной программы исследований и развития ОИЯИ до 2000 года, рекомендациях экспертов стран-участниц

и работе комиссии по корректировке плана-графика создания и развития экспериментальных и базовых установок ОИЯИ на текущую пятилетку. С отчетами о работе специализированных комитетов выступили их председатели.

Заседания специализированных комитетов секций Ученого совета по физике высоких и физике низких энергий проходили в 1987 году дважды — в апреле и октябре. На своих заседаниях члены комитетов обсудили ход работ по утвержденным проектам и отчеты по завершенным темам, предложения лабораторий в проект проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества, ряд научных докладов, информацию об итогах работы некоторых совещаний и конференций по тематике комитетов.



Ученые ОИЯИ награждены в 1987 году:  
— Премией им. И.Е.Тамма АН СССР за цикл работ "О симметрии взаимодействующих полей" — доктор физико-математических наук В.И.Огиевецкий.

— Золотой медалью им. Д.И.Менделеева АН СССР за цикл работ по синтезу и исследованию свойств новых трансактинидных элементов таблицы Д.И.Менделеева — академик Г.Н.Флеров.

— Премией комсомола Подмосковья в области науки и техники за цикл работ "Теория накопления ионов и динамика процессов в многокомпонентных электронно-ионных пучках" — кандидат физико-математических наук Г.Д.Ширков.

— Золотой медалью Университета им. Я.Коменского за большой вклад в развитие сотрудничества между физико-математическим факультетом Братиславского университета и Лабораторией ядерных проблем ОИЯИ — профессор Ю.А.Будагов.

#### ПРЕМИИ ОИЯИ

На соискание премий ОИЯИ за 1986 год были выдвинуты лучшие научно-исследовательские, научно-методические и научно-технические работы, выполненные сотрудниками Института. Решением Ученого совета ОИЯИ от 5 июня 1987 года присуждены следующие премии:

#### ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ТЕОРЕТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

##### *Первая премия*

"Низкоэнергетическая физика мезонов

в кварковой модели сверхпроводящего типа".

Авторы: М.К.Волков, Д.Эберт.

##### *Вторая премия*

"Селитоны в  $D > 1$  континуальных моделях".

Автор: В.Г.Маханьков.

#### ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ РАБОТАМ

##### *Первая премия*

"Новый вид естественной радиоактивности — спонтанный распад тяжелых нуклидов с вылетом ядер неона".

Авторы: С.П.Третьякова, А.Сэндулеску, Ю.С.Замятнин, Ю.С.Короткин, В.Л.Михеев, И.А.Лебедев, Б.Ф.Мясоедов, Д.Хашеган.

##### *Две вторые премии*

"Экспериментальное определение среднеквадратичного радиуса распределения заряда в нейтроне".

Авторы: Ю.А.Александров, М.Врана, Х.Манрике Гарсиа, Т.А.Мачехина, Л.Н.Седлакова, Л.Е.Фыкин.

"Исследование спиновых эффектов в обменном  $\pi^-$ -рассеянии при импульсе 40 ГэВ/с".

Авторы: Э.И.Бунятова, Н.С.Борисов, Ю.М.Казаринов, Б.З.Копелиович, М.Ю.Либург, В.Н.Матафонов, А.Б.Неганов, И.К.Поташникова, Ю.А.Усов, Б.А.Хачатуров.

#### ПО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ РАБОТАМ

##### *Первая премия*

"Спектрометрический комплекс "Гиперон" — установка для прецизионного

исследования методами недостающих и эффективных масс процессов образования частиц и их распадов на 76 ГэВ ускорителе ИФВЭ”.

Авторы: Ю.А.Будагов, А.Йорданов, В.М.Королев, Ю.Ф.Ломакин, Н.А.Русакович, С.В.Сергеев, П.Стрмень, А.А.Фещенко, В.Б.Флягин, Й.Шпалек.

*Две вторые премии*

”Модулятор повышенной мощности линейного индукционного ускорителя”.

Авторы: Г.В.Долбилов, В.И.Казача, Г.И.Коннов, В.П.Саранцев, А.И.Сидоров, А.А.Фатеев.

”Новый комбинированный электростатический бета-спектрометр и возможности его применения в задачах прецизионной спектрометрии низкоэнергетических электронов”.

Авторы: Ш.Бриансон, Р.Вален, Ц.Вьлов, А.Х.Иноятв, Б.Легран, А.Минкова, В.Н.Покровский, В.Г.Чумин.

ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ  
ПРИКЛАДНЫМ РАБОТАМ

*Первая премия*

”Создание методов решения квантово-механической задачи трех тел и их приложение в проблеме мюонного катализа ядерных реакций синтеза”.

Авторы: Д.Д.Бакалов, С.И.Виницкий, А.Д.Гочева, М.С.Касчиев, В.И.Коробов, В.С.Мележик, И.В.Пузынин, Т.П.Пузынина, Л.Н.Сомов, Н.Ф.Трускова.

*Две вторые премии*

”Циклический имплантатор тяжелых ионов ИЦ-100”.

Авторы: Г.Н.Флеров, А.М.Андриянов, С.Л.Богомолв, В.В.Болтушкин, Г.Г.Гульбежян, А.И.Иваненко, И.В.Колесов, А.М.Мордуев, Р.Ц.Оганесян, В.А.Чугреев.

”Магнитная кардиография”.

Авторы: В.Ф.Бобраков, Б.В.Васильев, Е.Н.Колычева, В.Н.Полушкин, В.Фодель.

**НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ  
РАБОТЫ,  
ВЫПОЛНЕННЫЕ  
ЛАБОРАТОРИЯМИ ОИЯИ  
В 1987 ГОДУ**



# ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

## СТРУКТУРА КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЕЙ

Предложен новый калибровочный подход к классической и квантовой теории релятивистских частиц и струн, основанный на принципе локализации линейных суперканонических симметрий. Применение этого принципа позволило получить известные формулировки теории релятивистских частиц со спином, бозонных и фермионных струн, а также построить новые модели взаимодействующих релятивистских частиц. В частности, предложена модель для  $N$  релятивистских частиц, связанных гармоническими силами, и калибровочная теория дискретных замкнутых струн<sup>11</sup>.

Построена квантовая теория открытой бозонной струны в фоновом электромагнитном поле для критической размерности пространства-времени и для произвольного значения суммарного заряда струны. Показано, что согласованность теории приводит к ограничению на напряженности внешнего электромагнитного поля. Это согласуется с полученным недавно из теории струн эффективным действием для абелева калибровочного поля в низкоэнергетическом пределе (поле описывается лагранжианом Борна — Инфельда)<sup>12</sup>.

В модели замкнутой бозонной струны с духовыми степенями свободы найдено решение задачи Коши и построены все тензорные полиномиальные законы сохранения, найдено ядро оператора эволюции и пропагатор струны<sup>13</sup>.

Предложенный ранее метод построения конечных теорий применен к двумерным  $\sigma$ -моделям. Показано, что на основе теорий с риччи-плоской метрикой можно построить конформно-инвариантную квантовую теорию.

Развиты эффективные методы построения асимптотических операторных разложений и коэффициентных функций в схеме минимальных вычитаний, которые могут широко использоваться в теоретико-полевых расчетах.

Аналитически вычислены четырехпетлевые поправки для  $\beta$ -функций квантовой электродинамики<sup>14</sup>.

При изучении инфракрасного поведения функций Грина с использованием приближения прямолинейных путей (развитого дубненскими теоретиками) найдено, что инфракрасные особенности факторизуются в виде множителя, имеющего форму вильсоновской петли от медленно меняющейся компоненты электромагнитного поля и содержащего всю зависимость от контура исходной функции Грина<sup>11</sup>.

Выполнены рекордные по точности аналитические вычисления радиационных поправок к процессам аннигиляции  $e^+e^-$  в два фермиона. Эти расчеты будут использоваться в экспериментах DELPHI. Выполнены расчеты радиационных поправок к глубоко-неупругому рассеянию лептонов нуклонами. Подтверждена правильность предыдущих работ, критикованных другими авторами. Рассмотрены эффекты излучения  $W$ - и  $Z$ -бозонов при ультравысоких энергиях. Эти эффекты могут быть существенны для экспериментов на УНК<sup>12,3</sup>.

На основе геометрических соображений введено новое разложение дираковского поля на киральные компоненты, которое при высоких энергиях существенно отличается от стандартного разложения. Обсуждаются экспериментально проверяемые след-

Совещание руководителей секторов Лаборатории теоретической физики, посвященное перспективам развития Лаборатории, проводит директор ОИЯИ академик Н.Н.Боголюбов.







С 10 по 16 октября 1987 года в Алуште проходило VII Международное совещание по проблемам квантовой теории поля. Как и все предыдущие совещания этой серии, оно было организовано по инициативе дирекции Лаборатории теоретической физики ОИЯИ при поддержке Ученого совета ОИЯИ и его секции по теоретической физике. В работе совещания приняли участие 120 ученых из 11 стран. Было заслушано и обсуждено около 70 докладов, из которых 16 носили обзорный характер. Программа совещания включала ряд основных проблем современной теории поля: математические вопросы, калибровочные теории и КХД, кварковые модели и феноменологию элементарных частиц, теории объединения, суперсимметрии и суперструн, полевые методы в теории многих тел и гравитацию.



ствия этой идеи применительно к объединенной теории электрослабых взаимодействий<sup>/49/</sup>.

Показано, что корректное релятивистское описание связанных состояний в калибровочной теории поля может быть развито как разложение теории по пространственным компонентам калибровочного поля  $A_i$  вокруг точного решения, определяемого временной компонентой  $A_0$ . Такое разложение эквивалентно квантованию минимального числа физических переменных (альтернатива методу Дирака). Получен биллокальный функционал, описывающий спектроскопию мезонов, дуально-резонансных амплитуд и киральных лагранжианов<sup>/21/</sup>.

Выяснен точный математический смысл псевдотензора энергии-импульса в общей теории относительности: псевдотензор является тензорным функционалом фоновой связности. Впервые фоновая связность была введена в 1940 г. Н.Розеном, погружившим гравитационное поле в мир Минковского. Следовательно, тогда вторая связность выступала в примитивном виде: она не имела ни кручения, ни кривизны. Теперь же фоновая связность не имеет только кручения; ее тензор кривизны считается произвольным. При этом гравитационное поле погружается не в мир Минковского, а в произвольное пространство аффинной связности без кручения. Благодаря этому удалось взять вариационную производную от функции действия как по главному метрическому тензору, так и по фоновой связности и в результате получить новое тождество, частным случаем которого является известное тождество для тензора Эйнштейна<sup>/5/</sup>.

Показано, что в случае метрики Шварцшильда гармоническая координатная карта не единственна. Соответственно, выражение для плотности энергии гравитационного поля зависит от выбора координатной карты<sup>/6/</sup>.

Использовалась структура вакуумных состояний в различных фазах в модели Джорди — Глэшоу на решетке. Методом Монте-Карло вычислялись распределения электрических и магнитных потоков, а также корреляторы типа магнитный поток — магнитный поток, величина хиггсовского поля — магнитный поток в разных фазах. Результаты вычислений свидетельствуют в пользу того, что в хиггсовской фазе доминируют

монополю-антимонопольные пары малых размеров<sup>/7/</sup>.

В теории полярона развитая ранее диаграммная техника, позволившая провести вычисления на 3-петлевом уровне, обобщена на произвольное число пространственных измерений. Построено  $1/N$ -разложение, установлена его связь не только с диаграммами, но и с вариационными методами. С помощью недиагонального паде-приближения продемонстрировано отсутствие фазового перехода в системе полярона. Этот метод позволяет также получить оценки сверху и снизу для широкого класса функций, заданных на бесконечной полуоси<sup>/8/</sup>.

### СИММЕТРИИ И СУПЕРСИММЕТРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Все известные версии расширенной  $N = 2$  супергравитации представлены в гармоническом суперпространстве. Компенсаторами в них служат суперполя, ограниченные связями. Открыта новая версия  $N = 2$  супергравитации, в которой в качестве компенсатора выступает гипермультиплет  $q^*$  — гармоническое суперполе, свободное от связей. Показано, что только новая версия допускает самодействия  $N = 2$  материальных полей общего вида. Только в ней можно построить необходимую для этого плотность, и только в ней возможны взаимодействия без изометрий. Таким образом, для будущих реалистических моделей с  $N = 2$ , в которых кварки должны взаимодействовать, годится только новая версия.

Проведено явное построение ряда нелинейных  $N = 2$  сигма-моделей на фоне калибровочных и гравитационных взаимодействий. В секторе скалярных полей возникают кватернионные сигма-модели.

Осуществлен анализ геометрий калибровочных полей, следующих из комплексной и гармонической аналитичностей. Установлена и изучена глубокая связь метода гармонического пространства с методом твисторов: в применении к самодуальным  $N = 0$  уравнениям они практически совпадают. Выявлен геометрический смысл препотенциалов гиперкэлеровой геометрии в рамках расширенного суперпространства



с центральным зарядом. Найден и исследован новый класс суперконформных сигма-моделей с действием типа действия Весса — Зумино<sup>19</sup>.

Изучались циклические алгебры, то есть супералгебры Ли с одним (неоднородным) образующим элементом. Описаны циклические алгебры малых размерностей и разрешимые циклические алгебры ступени 2 и 3 над полями характеристики, отличной от 2 и 3<sup>10</sup>.

## ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

В модели мезонной "шубы" вычислен вклад  $\Delta_{33}$ -изобары в промежуточном состоянии. Уточнены предсказания для спиновых эффектов в  $pp$ - и  $pp$ -рассеянии, получены предсказания для поляризации в мезон-нуклонном рассеянии, включая реакцию перезарядки  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ . Предсказания модели мезонной "шубы" для  $\bar{p}p$ -рассеяния при малых передачах импульса подтверждены на тэватроне ФНАЛа<sup>12</sup>.

Продолжались исследования в области релятивистской ядерной физики<sup>13</sup>. На основе уравнений эволюции КХД было разработано феноменологическое представление структурных функций ядра через структурные функции нуклона, идеально описывающее данные NA-4 и предсказывающее ряд особенностей кварковой структуры ядер. Одно из них — жесткое море антикварков, которое с особой убедительностью подтверждается в процессах рождения кумулятивных К-мезонов и антипротонов. Сопоставление теоретических расчетов с экспериментальными данными дает убедительное свидетельство в пользу многокваркового механизма как кумулятивного эффекта, так и эффекта EMC.

Недавно на основе того же подхода предложено объяснение подавления выходов  $J/\psi$ -частиц в ядро-ядерных соударениях (эксперимент NA-38 в ЦЕРНе). До сих пор оно рассматривалось как сигнал кварк-глюонной плазмы.

Получено объяснение удивительного эффекта рождения в  $pp$ -соударении ядер дейтерия с большими  $p_{\perp}$  (до 4 ГэВ/с) (данные группы Суляева, ИФВЭ) на основе двойного соударения кварков и дикварков. Оно со-

гласовано с изменением характера поведения отношения выходов  $p/\pi^+$  при росте энергии и сейчас рассматривается как один из главных аргументов в пользу дикварков в нуклонах.

В рамках КХД получена целая серия правил сумм для спиновых структурных функций нуклона, допускающих экспериментальную проверку на установке "Меченые нейтрино"<sup>14</sup>.

Проведен КХД-анализ структурных функций в терминах полиномов Якоби. В рамках этого метода создана программа, которая была использована для обработки данных по глубоконеупругому рассеянию  $\mu$ -мезонов на углероде и расчетам масштабного параметра КХД (эксперимент NA-5)<sup>16</sup>.

Сформулирована модель конфайнированных кварков (МКК), являющаяся усовершенствованием кварк-виртонной модели, и установлена ее связь с КХД. В рамках МКК дано объяснение правила  $\Delta T = 1/2$  при распадах каонов, вычислены электромагнитные и сильные формфакторы нуклона и  $\Delta$ -изобары. Показано, что глюонный вакуум, рассматриваемый как стохастическое поле с быстро убывающей корреляционной функцией, не приводит к конфайнменту<sup>15</sup>.

Из анализа реакций  $e^+e^- \rightarrow 3\pi$ ,  $\omega\pi^0$ ,  $\tau^{\pm} \rightarrow \nu_{\tau}\omega\pi^{\pm}$  сделан вывод о присутствии в рассмотренном интервале масс трех векторных резонансов с квантовыми числами  $\rho/\omega$ -мезонов и значениями масс 1420, 1620 и 1750 МэВ. Высказана гипотеза, что один из этих резонансов является "гибридным"  $q\bar{q}g$ -состоянием<sup>17</sup>.

Изучена связь широкого скалярного глюония с псевдоскалярными мезонами. Предсказано сильное смешивание глюониев и кваркониев, которое по своим свойствам совпадает с G(1590)-мезоном<sup>22</sup>.

Построена унитаризованная модель обобщенной векторной доминантности для электромагнитного формфактора пиона. Помимо основного  $\rho(770)$ -мезона обнаружено присутствие и определены характеристики еще двух (изо)векторных резонансов:  $\rho'(1350)$  и  $\rho''(1600)$ <sup>18</sup>.

Электромагнитные свойства барионов и низших адронных резонансов рассматривались в рамках осцилляторной модели кварков и феноменологического подхода,

включающего вклады пионных токов. Учет перенормировки кварковых характеристик взаимодействием с пионами, на что указывает анализ магнитных моментов барионов, улучшает согласие теории с экспериментальными ширинами радиационных распадов мезонов (особенно  $(K^* \rightarrow K\gamma)$ -распадов).

Развивалась эффективная вычислительная схема для решения задачи трех тел с кулоновским взаимодействием. Все сингулярности, которые имеют физическое происхождение, совмещаются с особыми точками уравнения Шредингера с помощью выбора соответствующей системы координат. Найден явный вид волновой функции вблизи особых точек. Эта сингулярная часть факторизуется, и строится вычислительная схема для оставшейся гладкой части волновой функции<sup>/19/</sup>.

Завершены (совместно с сотрудниками ЛВТА) вариационные расчеты слабосвязанных уровней энергии мезомолекул  $dd\mu$  и  $dT\mu$ . Достигнута точность вычислений  $2 \cdot 10^{-4}$  эВ<sup>/20/</sup>.

Изучался механизм удержания кварков, возникающий при рассмотрении составных систем в релятивистском конфигурационном пространстве. Уравнение Шредингера в этом случае наряду с "нормальными" решениями, имеющими нерелятивистские аналоги, обладает также классом решений, содержащих универсальный обрезывающий фактор

$$e^{-\frac{2\pi\Gamma}{\hbar} mc r},$$

где  $m$  — масса кварка,  $r$  — относительное расстояние между кварками.

Проводились исследования в области квантовой механики на графиках. Показано, что транспортные свойства аналога полупроводниковой петли зависят от интенсивности внешнего электромагнитного поля. Результат интересен для возможных применений в микроэлектронике<sup>/24/</sup>.

## СТРУКТУРА АТОМНОГО ЯДРА

Завершен цикл исследований фрагментации глубоких дырочных и высоколежащих частичных состояний в сферических ядрах. Результаты находятся в хорошем

согласии с экспериментальными данными, полученными в Орсе (Франция) и Осаке (Япония). В ряде случаев теоретические предсказания стимулировали постановку экспериментов.

Закончены исследования магнитных резонансов в сферических ядрах. Рассчитана фрагментация M1-резонанса в  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ , изоскалярных  $1^+$ -состояний в  $^{206}\text{Pb}$ , изоскалярных и изовекторных спин-мультипольных резонансов. Обнаружена сильная фрагментация изовекторных резонансов.

Исследовано возбуждение высоколежащих состояний в реакции  $(p, T)$ . Для  $^{112}\text{Sn}$  проанализирован вклад в сечение реакции отдельных двухкварковых конфигураций<sup>/25/</sup>. Рассмотрены различные каналы гамма-распада на нижайшие уровни ядра  $^{150}\text{Nd}$ , образованного в результате захвата нейтрона. Дано объяснение наблюдаемого в этой реакции аномального усиления E1-переходов на уровни  $2_2^+$  и  $4_1^+$ .

Для деформированных ядер рассчитаны изоскалярные приведенные вероятности электрических переходов. Показано<sup>/26/</sup>, что экстремально большие значения этих величин, полученные при возбуждении гамма-вибрационной полосы в реакциях  $(p, p')$  и  $(\alpha, \alpha')$  на  $^{168}\text{Er}$ , обусловлены в основном вкладом не прямых каналов возбуждения, а не аномально сильным гексадекапольным взаимодействием, как считалось раньше.

Проведено сопоставление квазичастично-фононной модели ядра с моделью взаимодействующих бозонов, указаны кардинальные различия в основных положениях моделей и в описании состояний промежуточной и высокой энергии возбуждений четно-четных деформированных ядер<sup>/27/</sup>.

На основе авторегуляризованных итерационных методов разработаны алгоритмы и создан пакет программ для нахождения параметров потенциала по заданным энергиям и волновым функциям связанных состояний квантовомеханических двухчастичных систем<sup>/28/</sup>.

В модели граничных условий получено описание экспериментальных данных по сечениям подбарьерного слияния, упругому и неупругому рассеянию для реакций с легкими ядрами, что позволяет предсказать сечения слияния в области астрофизических энергий, недоступных для прямого измерения.

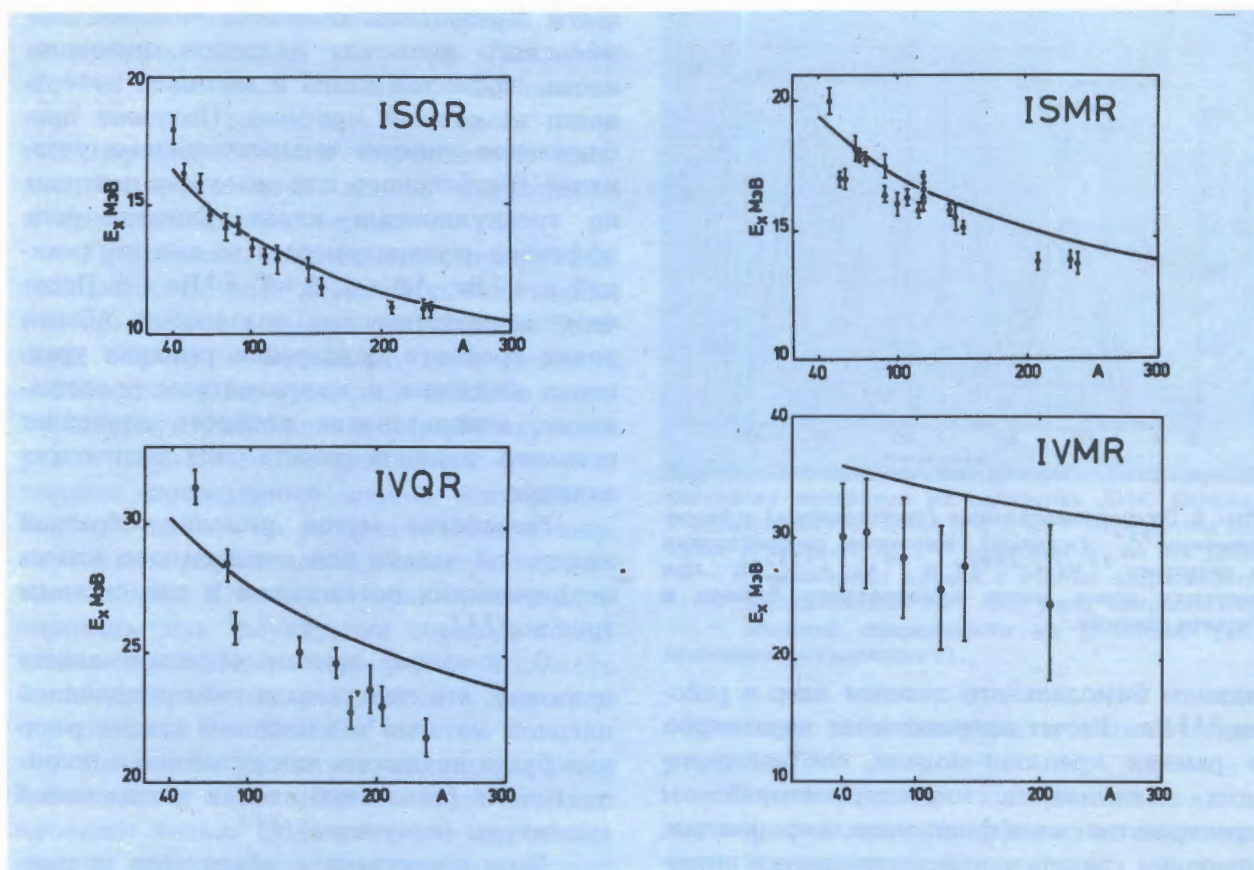


Рис. 1. Энергии изоскалярных (IS) и изовекторных (IV) квадрупольных (QR) и монопольных (MR) резонансов, рассчитанные с использованием сил Сकिрма.

Накопление экспериментальной информации в ядрах, которые тяжелее свинца, поставило вопрос о возможности существования ядер с формой поверхности, несимметричной относительно отражения в плоскостях, определенных главными осями тензора инерции. В решении комплекса вопросов, связанных с октупольной деформацией ядер, представляются перспективными исследования алгебраических моделей, включающих фононы различной мультипольности и четности. В работах<sup>/29/</sup> выполнен анализ групповой структуры пространства состояний, построенного с помощью бозонов с мультипольностями  $0^+$ ,  $1^-$ ,  $2^+$ ,  $5^-$ . Показано, что в цепочках редукции групп динамической симметрии моделей такого рода содержатся хорошо изученные группы, в частности группа  $SU(3)$ . Это означает, что системы, описываемые мультибозонными функциями, допускают ротационный предел. Первые расчеты спектров говорят о работоспособности модели.

Существенный прогресс достигнут в описании "интегральных характеристик" атомных ядер, таких как электромагнитные моменты. Теория<sup>/30/</sup> основана на квантовом многочастичном подходе. Дан строгий вывод динамических уравнений для интегральных характеристик, проанализирована связь физических величин, отражающих распределение ядерного вещества в конфигурационном пространстве и в пространстве импульсов. Величины, фигурирующие в уравнениях<sup>/30/</sup>, приобретают ясный физический смысл в квазиклассическом пределе, среди них — поля скоростей, тензор натяжений и т.д. Квантовый уровень рассмотрения позволяет проанализировать роль квантовых поправок к уравнению Власова. Уже простейшие приближения к точным уравнениям позволяют описать экспериментальные данные о центроидах силы переходов различной мультипольности.

Продолжалось изучение деления самых тяжелых ядер по различным долинам деления в связи с экспериментальным обнару-

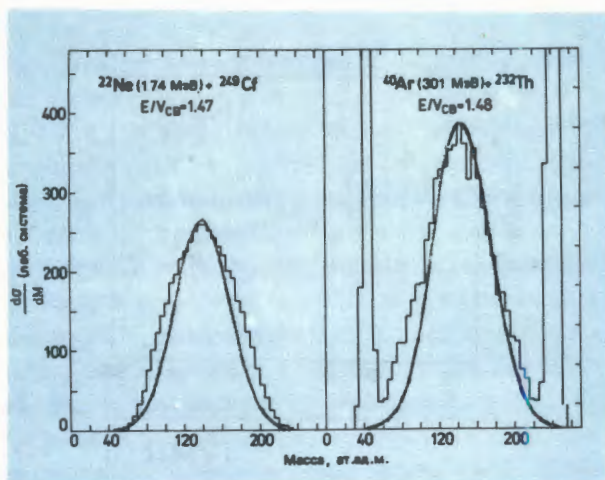


Рис. 2. Экспериментальные (гистограммы) и теоретические <sup>32/</sup> (кривые) массовые распределения в реакциях  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$  и  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  при энергиях ионов выше кулоновского барьера и барьера слияния.

жением бимодального деления ядер в районе  $^{258}\text{Fm}$ . Расчет инерциальных параметров в рамках кренкинг-модели, соответствующих движению в многопараметрическом пространстве коэффициентов деформации, позволил сделать статические оценки ширины массового распределения осколков деления <sup>31/</sup>. Подобные расчеты для обычного деления дают заниженные значения ширины, тогда как для открытого экспериментально способа деления на осколки с повышенной полной кинетической энергией теоретические и экспериментальные значения совпали, что свидетельствует о различных динамических характеристиках двух способов деления.

Этот факт стимулирует развитие динамической теории деления атомных ядер. Определенный прогресс в ее построении связан с развитием диффузионной модели, основанной на уравнении Фоккера — Планка для функции распределения коллективных переменных. На основе диффузионной модели рассчитаны <sup>32/</sup> массовые распределения осколков деления вращающихся ядерных систем с параметром делимости  $Z^2/A > 40$ . Как видно из рис. 2, экспериментальные данные и теоретические оценки находятся в хорошем согласии.

## ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Проведено исследование процессов фототорможения пионов вблизи порога и в об-

ласти  $\Delta$ -резонанса. Выявлено влияние фермиевского движения нуклонов, нелокальности, эффектов схода с массовой поверхности на сечения процесса. Получено приближенное решение четырехчастичных уравнений Якубовского для рассеяния нейтрона на трехнуклонных ядрах. Оценена роль эффектов поляризуемости на сечения реакций  $p + ^7\text{Be} \rightarrow ^8\text{B} + \gamma$ ,  $d + \text{T} \rightarrow ^4\text{He} + n$ . Получено асимптотическое разложение вблизи точки тройного соударения решения уравнения Фаддеева в координатном представлении, использование которого позволяет повысить точность расчета ряда физических величин.

Разработан метод решения обратной квантовой задачи для специального класса несферических потенциалов и для системы трех тел <sup>33/</sup>.

С помощью метода обратной задачи показано, что при развале сжатой холодной ядерной материи в выходном канале реакции будут возникать как устойчивые волны плотности (солитоны), так и волны малой амплитуды (излучение) <sup>34/</sup>.

Дано качественное объяснение появления радужных эффектов в реакции  $(^3\text{He}, \text{T})$  на легких ядрах. Анализ реакций перезарядки, ведущих к возбуждению спин-изоспиновых состояний, позволил оценить интегральную силу низкоэнергетических гамма-теллеровских переходов и уточнить величину локального заряда квазичастиц по отношению к спин-изоспиновому полю <sup>35/</sup>.

Исследован выход  $n$ -,  $\gamma$ - и  $\alpha$ -частиц в реакциях с тяжелыми ионами. Получено указание на возможное существование нового механизма взаимодействия ядер. Рассчитаны сечения возбуждения многофононных состояний в реакциях с тяжелыми ионами. Объяснена экспериментально обнаруженная зависимость кинетических энергий продуктов реакций с тяжелыми ионами от массовой асимметрии в выходном канале. Выполнен расчет вероятностей одночастичных переходов между квазипересекающимися уровнями. Показано, что оценки по формуле Ландау — Зенера существенно превышают результаты.

В рамках развитого ранее унитарного подхода проведено <sup>36/</sup> совместное описание с единым набором параметров поправки на поглощение большой совокупности экспериментальных данных по упругому

рассеянию пионов низких энергий и пион-атомных данных для ядер  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$  и  ${}^{16}\text{O}$ . При этом показано, что поведение сечения рассеяния в области энергий порядка 50 МэВ определяется сильной интерференцией канала поглощения и потенциального рассеяния.

Продолжены исследования дибарионов. Выяснено, что если дибарионные состояния перекрываются и имеют сравнительно большую ширину и плотность, то в сечениях соответствующих процессов должны появляться флуктуационные пики, имитирующие узкие изолированные резонансы. Это подтвердил проведенный анализ экспериментальных данных по распределениям и энергетическим корреляциям в спектрах эффективных масс NN-систем — они проинтерпретированы как флуктуации сечений, возникающие вследствие перекрытия большого числа дибарионных резонансов с характерной шириной  $\Gamma \approx 20$  МэВ<sup>[37]</sup>.

На основе развитого подхода к учету мезонных и кварковых степеней свободы проведен анализ формфакторов легчайших ядер и предсказано поведение магнитного формфактора дейтрона<sup>[38]</sup>, которое позднее подтвердилось экспериментально.

Построена модель глубоконеупругих лептон-ядерных взаимодействий, с помощью которой сформулирован планируемый в ЛВЭ ОИЯИ эксперимент на серпуховском ускорителе для получения значения параметра длины формирования вторичных частиц<sup>[39]</sup>.

## ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Вычислен структурный фактор когерентного рассеяния нейтронов и света на солитонах и бинах ДНК при учете спиральности структуры ДНК<sup>[40]</sup>. Рассмотрено влияние локализации в аморфных телах на оптические свойства коэффициента поглощения<sup>[41]</sup>.

В рамках квантовой, точно решаемой модели, описывающей структурный фазовый переход, получено и исследовано уравнение состояния, вычислены критические индексы и подтверждены гипотезы скейлинга и правило размерного кроссовера. Установлена связь между конечномерными

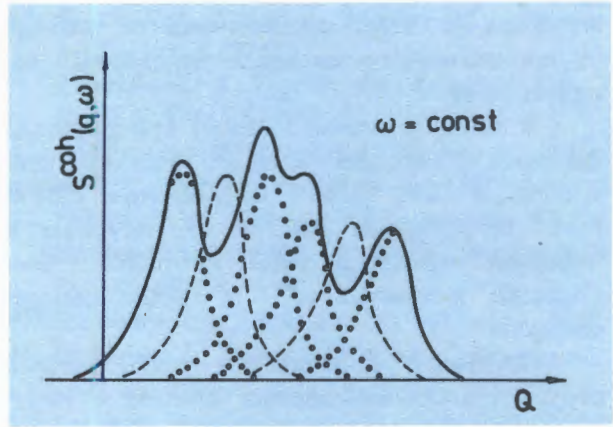


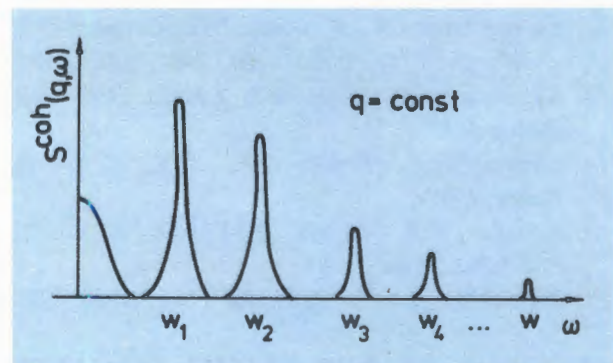
Рис. 3. Зависимость центрального пика сечения рассеяния нейтронов на солитонах ДНК (кинках и антикинках) от  $Q \equiv q_z$ .  $q$  и  $\omega$  — переданные импульс и энергия,  $q_z$  — проекция  $q$  на ось ДНК, — суммарная кривая с учетом спиральности, - - - составляющие  $S_{coh}$  без учета спиральности, ... — влияние спиральности на рассеяние (расщепление составляющих).

эффектами в квантовых и классических режимах<sup>[42]</sup>.

В рамках микроскопического подхода изучено влияние заселенности индуцированной примесью поверхностного резонанса на энергию связи, перенос заряда и магнитного момента между примесью и подложкой металла. Произведены модельные расчеты в случае хемосорбции атомарного водорода на подложки переходных металлов Ti, Cr, Ni. Получено удовлетворительное согласие с опытом<sup>[43]</sup>.

Для описания механизма возникновения высокотемпературной сверхпроводимости предложена ангармоническая модель<sup>[44]</sup>, в которой высокие температуры перехода достигаются за счет сильной связи электронов в структурно-неустойчивой решетке. Построены модели структурного

Рис. 4. Схематическая картина рассеяния нейтронов на солитонах ДНК (кинках, антикинках и бризерах).



перехода в этих соединениях и модель неупорядоченного сплава с переменной валентностью<sup>145</sup>.

В связи с исследованием суперионных фазовых переходов методом рассеяния нейтронов в ЛНФ ОИЯИ на реакторе ИБР-2 были предложены модели структурных и фазовых переходов типа "порядок — беспорядок" в кристаллах с водородными связями.

Изучены особенности электронной структуры пайерлсовских систем с нарушенной электрон-дырочной симметрией и предсказано явление солитонстрикции<sup>146</sup>.

Разработан новый способ генерации сжатого состояния электромагнитного поля

в смеси крайних мод триплета резонансной флуоресценции в резонаторе, найдены условия экспериментального получения сильного (>50%) сжатия поля. Исследован широкий спектр методов генерации субпуассоновского состояния поля<sup>147</sup>.

Предложен и экспериментально реализован новый способ переполаризации протонных мишеней за счет возбуждения сверхизлучательной генерации радиочастотного диапазона<sup>148</sup>.

Развитый ранее метод позволил рассчитать влияние точечных дефектов в металлах на параметры эффекта де Гааза — ван Альфена и коэффициенты переноса, на магнитосопротивление и коэффициенты Холла в благородных металлах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Filippov A.T. JINR, E2-87-659, Dubna, 1987.
2. Барбашов Б.М., Нестеренко В.В. Модель релятивистской струны в физике адронов. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Исаев А.П. ОИЯИ, P2-87-587, Дубна, 1987.
4. Gorishny S.G. et al. — Phys.Lett., 1987, 144B, No.3.
5. Черников Н.А. ОИЯИ, P2-87-683, Дубна, 1987.
6. Asanov R.A. JINR, E2-87-612, Dubna, 1987.
7. Mitryushkin V.K. et al. JINR, E2-87-555, Dubna, 1987.
8. Seljugin O.V., Smondyrev M.A. — Physica A, 1987, 142, p.55;  
Smondyrev M.A. — In: Lecture Notes in Physics, v.287, Physics of Phonons. Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg, 1987, p.477.
9. Galperin A.S. et al. JINR, E2-87-84, E2-87-86, E2-87-357, Dubna, 1987.
10. Лебеденко В.М. ОИЯИ, P2-87-468, Дубна, 1987.
11. Сисакян А.Н. и др. ОИЯИ, P2-87-479. Дубна, 1987.
12. Голоскоков С.В., Кулешов С.П., Селюгин О.В. — ЯФ, 1987, 46, с.195; ЯФ, 1987, т.46, с.597.
13. Ефремов А.В., Ким В.Т. ОИЯИ, P2-87-762, Дубна, 1987.
14. Efremov A.V., Terjaev O.V. JINR, E2-87-646, Dubna, 1987.
15. Ефимов Г.В. ОИЯИ, P2-87-384, P2-87-776, P2-87-782, Дубна, 1987.
16. Krivokhijin G.V. — Zeits. für Phys., 1987, C36, S. 51.
17. Govorkov A.B. JINR, E2-87-522, Dubna, 1987.
18. Dubnicka S., Furdik I., Meshcheryakov V.A. JINR, E2-87-432, E2-87-439, Dubna, 1987.
19. Matveenko A.V., Abe Y. — Few Body Systems, 1987, 2, p.127.
20. Melezhik V.S. Recent Progress in the Theoretical Description of the Mesic Molecular Processes in  $\mu\text{CF}$ . Muon Catalyzed Fusion, 1987, 1, p.217.
21. Nguyen Suan Han, Pervushin V.N. — Mod.Phys. Lett., 1987, v.2, p.400.
22. Janik J. JINR, E2-87-483, Dubna, 1987.
23. Bardin D.Yu. et al. JINR, E2-87-663, E2-87-664, E2-87-595, Dubna, 1987.
24. Exner P., Šeba P., Stoviček P. JINR, E2-87-707, Dubna, 1987.
25. Воронов В.В., Дао Тиен Кхоа, Пономарев В.Ю. — Изв. АН СССР (сер. физ.), 1987, т.51, с.2062.
26. Nesterenko V.O., Kukhtina I.N., Sushkov A.V., Dao Tien Khoa. JINR, E4-87-492, Dubna, 1987.
27. Soloviev V.G. JINR, E4-87-45, Dubna, 1987.
28. Александров Л., Дренска М., Караджов М., Морозов П. ОИЯИ, P2-87-347, Дубна, 1987.
29. Nadjakov E.G., Mikhailov I.N. JINR Preprints E4-86-510, E4-87-366, Dubna, 1987.
30. Бальбуцев Е.Б., Михайлов И.Н. Препринт ОИЯИ P4-87-327, Дубна, 1987.
31. Pashkevich V.V. JINR Preprint E4-87-517, Dubna, 1987.
32. Сауне Г., Сердюк О.И., Адеев Г.Д., Пашкевич В.В. Препринт ОИЯИ E4-87-409, Дубна, 1987.

33. Funke H., Zakhariiev B.N. — *Phys.Lett.*, 1987, B185, p.265.
34. Hefter E.F., Kartavenko V.G. — In: *JINR Rapid Comm.*, No.3(23), Dubna: JINR, 1987, p.29.
35. Гареев Ф.А., Ершов С.Н., Пятов Н.И., Фаянс С.А. Препринт ОИЯИ Р4-87-540, Дубна, 1987.
36. Khankhasayev M.Kh., Sapozhnikov A.P. Preprint JINR E4-87-581, Dubna, 1987.
37. Бажанский И.И. и др. Препринты ОИЯИ P2-87-118, P2-87-510, Дубна, 1987.
38. Виров V.V. et al. — *Nucl.Phys.*, 1987, A463, 263; *Z.Phys.*, 1987, 326, p.245; Буров В.В. и др. — *Письма в ЖЭТФ*, 1986, 44, с.357.
39. Гришин В.Г., Елисеев С.М. Препринт ОИЯИ P2-87-858, Дубна, 1987.
40. Fedyanin V.K., Lisy V. — *Studia biophys.*, 1987, v.121, No. 2, p.125.
41. Esser B., Selloni A. — *phys.stat.sol. (S)*, 1987, 143, K77.
42. Plakida N.M., Radosz A., Tonchev N.S. — *Physica*, 1987, 143A, p.227; Stamenkovich S., Tonchev N.S., Zagrebnoy V.A. — *Physica*, 1987, 145A, p.226.
43. Gavrilenko G.M., Taranko R., Taranko E., Fedyanin V.K. JINR, E17-87-758, Dubna, 1987.
44. Plakida N.M., Aksenov V.L., Drechsler S.L. — *Europhys.Lett.*, 1987, 4, No.11; *Int.J.Modern Phys.B*, 1987, 1, No.34.
45. Kuzemsky A.L. JINR, E17-87-593, Dubna, 1987.
46. Drechsler S.L., Heiner E., Malek I. — *phys.stat.sol.*, 1987, 90, p.103; Fedyanin V.K., Osipov V.A. JINR, E17-87-685, Dubna, 1987.
47. Shumovskiy A.S., Aliskenderov E.I., Fam Le Kien. — *Phys.Lett.*, 1987, A124, p.351.
48. Кисилев Д.Ф., Пругкогляд А.Ф., Шумовский А.С., Юкалов В.И. ОИЯИ, P14-87-431, Дубна, 1987.
49. Кадышевский В.Г., Фурсаев Д.В. Препринт ОИЯИ, P2-87-913, Дубна, 1987.

# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

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

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

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

Деятельность Лаборатории велась в условиях широкого международного сотрудничества.

## МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

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

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

( $3250 \pm 20$ )  $MэВ/c^2$  (рис.1). При использовании дополнительных критериев отбора событий величина сигнала достигает уровня 7 стандартных отклонений. Таким образом, на увеличенной статистике подтверждаются

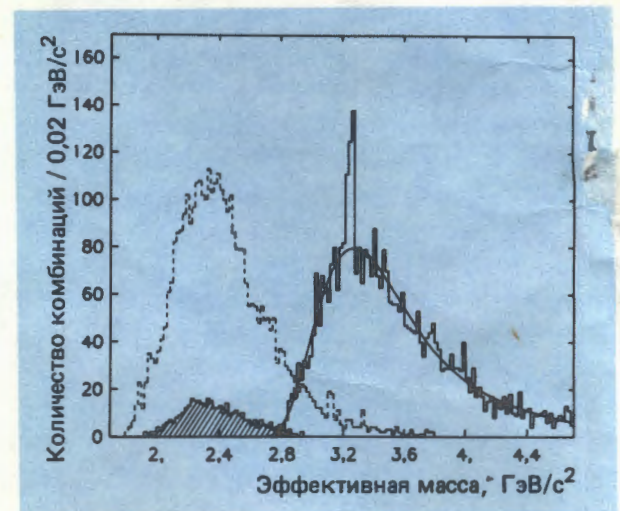


Рис.1. Суммарный спектр инвариантных масс различных каналов реакций по поиску экзотического  $M_\phi$ -бариония.



результаты 1986 года по наблюдению  $M_\phi$ -бариония.

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

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

и

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

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

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

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

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

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

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

делении  $\pi$ -мезонов, образующихся во фрагментационной области<sup>14</sup>.

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

Проведен кинематический анализ  $\bar{p}p$ -взаимодействий при 6,1 ГэВ/с. Определены эксклюзивные сечения каналов  $\bar{p}p$ -реакций, содержащих в конечном состоянии не более одной нейтральной частицы, в том числе и канала  $\bar{p}p$ -аннигиляции. Совместный анализ данных по  $\bar{p}p$ - и  $\bar{p}p$ -соударениям с использованием изоспиновой симметрии позволил впервые безмодельным образом определить топологические сечения каналов аннигиляции  $\bar{p}p$  ( $\bar{p}n$ )  $\rightarrow$   $\pi$ -мезоны<sup>16</sup>.

### РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

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

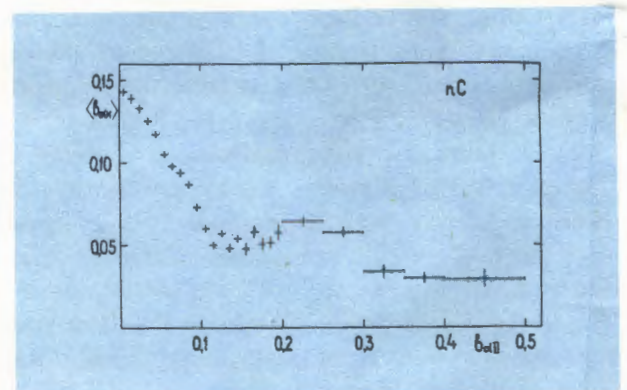
Данный подход имеет целью установление общих динамических закономерностей физики сильных взаимодействий; он не только применяется при описании релятивистских ядерных столкновений, но и дополняет инклюзивный подход к множественным

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

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

В прошедшем году проверена выполнимость принципа автомодельности второго рода (I) для нуклонных кластеров. В результате анализа  $\sim 12$  тысяч  $nC$ -взаимодействий при импульсе нейтрона 7 ГэВ/с, а также  $\sim 2$  тысяч взаимодействий  $\pi^-C$  ( $P = 4$  ГэВ/с) показано<sup>17</sup>, что в области  $0,01 < b_{ik} < 1$  наблюдаются универсальное поведение сечений и кластеризация распределений по  $b_{ik}$ , аналогичные ранее установленному образованию струй адронов в области  $b_{ik} \gg 1$  (рис.2). Существенно более обширная информация проанализирована в работе<sup>18</sup>. Общая статистика составила  $\sim 35,5$  тысяч событий  $pC$ -,  $dC$ -,  $CC$ -,  $pTa$ -,  $dT$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействий в интервале энергий от 4,2 до 40 ГэВ. Было установлено, что существуют два типа нуклонных кластеров, характеризующихся различными свойствами: один имеет среднюю кинетическую энергию протонов в системе покоя ("температуру")  $\langle T_1 \rangle = (72 \pm 7)$  МэВ и  $\langle b_{11c} \rangle_1 =$

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



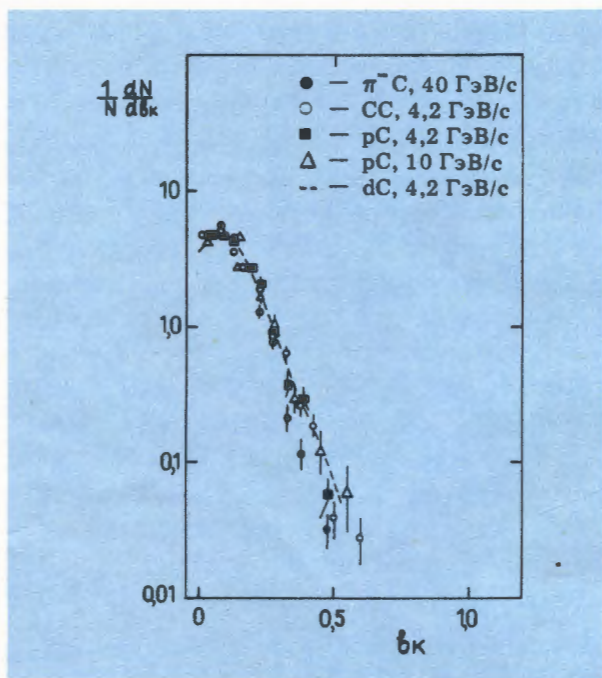


Рис.3. Распределение по инвариантной переменной  $b_k$ -протонов, образующихся в  $pC$ ,  $\alpha C$ ,  $CC$ - и  $\pi^- C$ -взаимодействиях в интервале от 4,2 до 40 ГэВ/с.

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

Продолжен релятивистски-инвариантный анализ распределения адронных струй в  $\pi^- p$ - и  $\pi^- C$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с и в  $pp$ -соударениях при 205 ГэВ/с<sup>10</sup>. Видно, что в этих типах взаимодействий наблюдается преимущественно образование двух струй адронов: одна — в области фрагментации налетающей частицы, а другая — в области фрагментации частицы-мишени. Показано, что распределения пионов в струях по переменной  $x_k = b_{\alpha k} / b_{\alpha\beta}$ ,  $b_{\beta k} / b_{\alpha\beta}$ , а также по переменной  $b_k$ , изучавшейся ранее, имеют универсальный характер в различных типах столкновений в интервале импульсов  $40 \div 205$  ГэВ/с.

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

2. На материалах с 2-метровой пропановой камеры выполнен также цикл работ по исследованию кумулятивных процессов, выяснению механизма кумулятивного рождения частиц. Получены данные по угловым и энергетическим характеристикам  $\Lambda$ - и  $K^0$ -частиц, их множественности и особенностях  $pC$ -взаимодействий при 10 ГэВ/с, в которых наблюдались эти частицы<sup>10</sup>. Проанализированы  $pC$ -взаимодействия, сопровождающиеся испусканием дейтронов с импульсами от 0,6 до 1,3 ГэВ/с в интервале углов, больших, чем  $135^\circ$ <sup>11</sup>. Сделана экспериментальная оценка вклада вторичных процессов поглощения в образование протонов, испущенных в заднюю полусферу в нуклон-углеродных взаимодействиях при импульсах 4,2 и 10 ГэВ/с<sup>12,13</sup>. Исследовалась зарядовая зависимость спектров эффективных масс  $\pi^\pm p$  в кумулятивных  $\pi^- C$ -взаимодействиях при импульсе  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с, сопровождающихся полным развалом ядра<sup>14</sup>.

3. На установке ДИСК-3 завершено измерение инвариантных сечений рождения кумулятивных антипротонов на ядрах свинца и алюминия (угол наблюдения  $61^\circ$ , импульс антипротонов 500 МэВ/с, кумулятивное число  $X = 1,47$ ). Экспериментально показано, что в предположении степенной зависимости сечения от атомного веса:  $\sigma \sim A^\alpha$ , величина показателя степени  $A$ -зависимости составляет  $\alpha = 1,00 \pm 0,12$ , что указывает на слабое поглощение антипротонов внутри ядра<sup>14</sup>.

Продолжалась работа по набору статистики с целью определения сечений кумулятивного рождения  $\Delta$ -изобары и  $\rho$ -мезона. В связи с этим проведен ряд методических исследований.

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

4. С помощью спектрометра "Альфа-3С" на пучках синхрофазотрона получены подробные данные по спектрам фрагментации под нулевым углом релятивистских ядер гелия ( ${}^3\text{He} \rightarrow \text{d}$ ,  ${}^3\text{He} \rightarrow \text{p}$ ,  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{t}$ ,  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{p}$ ) в диапазоне импульсов фрагментов вплоть до кинематического предела<sup>115,161</sup>.

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

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

На основании анализа ранее полученного на установке "Фотон" материала впервые определено дифференциальное сечение реакции  $\pi^- \text{p} \rightarrow \eta \Delta^0$  (1232) при  $P_{\pi^-} = 3,3$  и 4,75 ГэВ/с в области переданных импульсов от  $-t_{\text{min}}$  до 0,37 ГэВ/с<sup>2 1171</sup>. В дифференциальном сечении обнаружен минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуды с изменением спиральности. Экспериментальные данные фитировались зависимостью

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

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

Таблица

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

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

6. Выполнен ряд работ по исследованию пространственно-временных характеристик источников, излучающих частицы, путем изучения корреляций тождественных адронов. В результате сравнения радиусов области испускания протонов из рТа-взаимодействий при  $P_p = 10$  ГэВ/с и взаимодействий легких ядер ( $A = \text{p}, \text{d}, \alpha, \text{C}$ ) с ядрами углерода оказалось, что радиусы области испускания быстрых протонов  $\langle r \rangle_{\text{min}} > 0,4$  ГэВ/с меньше, чем радиусы ядер-мишеней, и в этих типах взаимодействий совпадают<sup>1181</sup>. Изучены угловые и быстрыротные характеристики  $\pi^0$ -мезонов, испускаемых в  $\pi^- \text{Xe}$ -взаимодействиях при импульсе 3,5 ГэВ/с. Полученные результаты использованы для определения формы области испускания пионов в этих взаимодействиях<sup>1191</sup>.

7. Группой СЯО детально изучалась фрагментация ядер золота в пучках протонов и  $\alpha$ -частиц. Исследованный интервал энергии пучка составил  $E_p = 2,2 \div 7,5$  ГэВ,  $E_\alpha = 1,1 \div 13,5$  ГэВ. Измерены инклюзивные сечения образования фрагментов промежуточных масс ( $Z = 5 \div 12$ ,  $A_p \approx 10 \div 24$ ) в интервале углов  $\theta_\Lambda = 40^\circ \div 140^\circ$  и  $E_\Phi = 1 \div 10$  МэВ/нуклон<sup>1201</sup>. В  $\alpha\text{Au}$ -взаимодействии для нуклидов Be, C, N наблюдалось отклонение от хорошо установленного в этой области правила предельной фрагментации, то есть соответствующие дифференциальные и полные сечения выхода фрагментов промежуточных масс возрастали с ростом энергии пучка в области выше 6 ГэВ. При этом сечения для фрагментов с  $Z \geq 8$  остаются постоянными. Наблюдаемое явление авторы связывают с фазовым переходом типа "газ — жидкость" в возбужденном ядерном веществе. Функция  $\tau(E_\alpha)$ , определяющая согласно ряду теоретических моделей степенную зависимость сечения образования фрагментов от их массы  $A_\Phi$  или заряда  $Z$ :  $\sigma \sim Z^{-\tau(E_0)}$ , в данном эксперименте немонотонна и имеет минимум при  $E_\alpha \approx 6$  ГэВ. В реакции с протонами  $\tau(E_0)$  монотонна.

8. В релятивистских ядро-ядерных столкновениях с помощью спектрометра

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

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

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

На основании анализа ранее полученного на установке "Фотон" материала впервые определено дифференциальное сечение реакции  $\pi^- \text{p} \rightarrow \eta \Delta^0$  (1232) при  $P_{\pi^-} = 3,3$  и 4,75 ГэВ/с в области переданных импульсов от  $-t_{\text{min}}$  до 0,37 ГэВ/с<sup>2</sup><sup>117</sup>. В дифференциальном сечении обнаружен минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуды с изменением спиральности. Экспериментальные данные фитировались зависимостью

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

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

Таблица

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

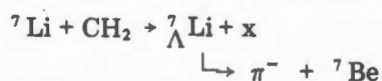
Рассчитана эффективная траектория Редже для реакции  $\pi^- \text{p} \rightarrow \eta \Delta^0$  (1232),  $\alpha_{\text{эфф}}(t') = (0,49 \pm 0,09) + (0,8 \pm 0,5)t'$ .

6. Выполнен ряд работ по исследованию пространственно-временных характеристик источников, излучающих частицы, путем изучения корреляций тождественных адронов. В результате сравнения радиусов области испускания протонов из рТа-взаимодействий при  $P_p = 10$  ГэВ/с и взаимодействий легких ядер ( $A = \text{p}, \text{d}, \alpha, \text{C}$ ) с ядрами углерода оказалось, что радиусы области испускания быстрых протонов  $\langle r \rangle_{\text{min}} > 0,4$  ГэВ/с меньше, чем радиусы ядер-мишеней, и в этих типах взаимодействий совпадают<sup>118</sup>. Изучены угловые и быстрые характеристики  $\pi^0$ -мезонов, испускаемых в  $\pi^- \text{Xe}$ -взаимодействиях при импульсе 3,5 ГэВ/с. Полученные результаты использованы для определения формы области испускания пионов в этих взаимодействиях<sup>119</sup>.

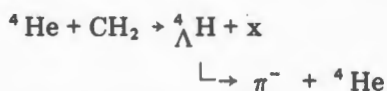
7. Группой СЯО детально изучалась фрагментация ядер золота в пучках протонов и  $\alpha$ -частиц. Исследованный интервал энергии пучка составил  $E_p = 2,2 \div 7,5$  ГэВ,  $E_\alpha = 1,1 \div 13,5$  ГэВ. Измерены инклюзивные сечения образования фрагментов промежуточных масс ( $Z = 5 \div 12$ ,  $A_p \approx 10 \div 24$ ) в интервале углов  $\theta_\Lambda = 40^\circ \div 140^\circ$  и  $E_\phi = 1 \div 10$  МэВ/нуклон<sup>120</sup>. В  $\alpha\text{Au}$ -взаимодействии для нуклидов Be, C, N наблюдалось отклонение от хорошо установленного в этой области правила предельной фрагментации, то есть соответствующие дифференциальные и полные сечения выхода фрагментов промежуточных масс возрастали с ростом энергии пучка в области выше 6 ГэВ. При этом сечения для фрагментов с  $Z \geq 8$  остаются постоянными. Наблюдаемое явление авторы связывают с фазовым переходом типа "газ — жидкость" в возбужденном ядерном веществе. Функция  $\tau(E_\alpha)$ , определяющая согласно ряду теоретических моделей степенную зависимость сечения образования фрагментов от их массы  $A_\phi$  или заряда  $Z$ :  $\sigma \sim Z^{-\tau(E_0)}$ , в данном эксперименте немонотонна и имеет минимум при  $E_\alpha \approx 6$  ГэВ. В реакции с протонами  $\tau(E_0)$  монотонна.

8. В релятивистских ядро-ядерных столкновениях с помощью спектрометра

со стримерной камерой (установка ГИБС) на пучках синхрофазотрона впервые надежно наблюдается рождение гиперядер  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ , определены сечения, получены оценки времени жизни<sup>/21/</sup>. Исследовались реакции



при энергии 3,0 ГэВ/нуклон,



при энергии 3,7 ГэВ/нуклон. Накоплена статистика также на ядрах углерода и фтора. На обработанных ~40 тысячах фотографий второй из упомянутых реакций зарегистрировано 18 случаев образования гиперядра  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ . Для величины сечения получено значение  $\sigma = (0,3^{+0,3}_{-0,15})$  мкб (на мишени  $\text{CH}_2$ ).

Время жизни  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ :  $\tau = (2,6 \pm 0,6) \times 10^{-10}$  с. Обработка и анализ большей части экспериментального материала продолжается.

Подготовлен для физического анализа значительный по объему материал по образованию странных частиц ( $\Lambda^0$ ,  $K^0$ ) в ( $\text{Mg} + \text{Mg}$ )-взаимодействиях, также полученный при облучении установки ГИБС.

9. Поляризация  $\Lambda$ -гиперонов в  $\text{CC}$ -и  $\text{C}\alpha$ -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон исследовалась на материалах с 2-метровой пропановой камеры<sup>/22/</sup>. Предварительные результаты согласуются с зависимостью  $\rho_{\Lambda}$  от поперечного импульса  $\Lambda$ -гиперонов, полученной для адрон-ядерных взаимодействий, однако статистику событий для более определенных заключений необходимо увеличить.

10. Ряд новых результатов получен при исследовании неупругих взаимодействий ядер  ${}^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмульсий при импульсе 4,1 ГэВ/с на нуклон. Наблюдались явления "отскока" фрагментов  ${}^{22}\text{Ne}$  в проекции на плоскость реакции и максимум в угловом распределении медленных фрагментов, соответствующий "боковому выбросу" фрагментов ядра-мишени<sup>/23/</sup>.

В центральных соударениях с тяжелыми ядрами эмульсии обнаружена азимутальная асимметрия всех типов частиц (боковое

выплескивание). В этих взаимодействиях обнаружен класс событий, названных особыми, в которых под углами  $6 \div 12^\circ$  по направлению первичного ядра нет частиц с  $\beta > 0,7$ . Наблюдалась тенденция к испусканию в противоположные стороны в азимутальной плоскости фрагментов сталкивающихся ядер, фрагментов ядра-мишени и рожденных частиц, усиливающаяся с уменьшением параметра удара<sup>/24/</sup>.

11. На материалах с 2-метровой пропановой камеры изучалось также образование быстрых нейтронов ( $P_n \gtrsim 1$  ГэВ/с) в  $\text{pp}$ - и  $\text{p}^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при  $P_p = 4,2$  ГэВ/с<sup>/25/</sup>. Сопоставление с данными предыдущих работ по  $\pi^-$ - $\text{p}$ - и  $\text{pp}$ -взаимодействиям в области импульсов  $4 \div 300$  ГэВ/с показало, что коэффициент неупругой перезарядки  $\alpha$  ( $\text{p} \rightarrow \text{n}$ ) примерно постоянен и не зависит от первичной энергии и типа взаимодействия ( $\pi^-$ - $\text{p}$  или  $\text{pp}$ ).

12. Обращено внимание на возможную связь длины формирования с релятивистской длиной<sup>/26,27/</sup>.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

1. В 1986 г. спектрометр кумулятивных адронов (установка СКА) был модифицирован в поляриметр, на котором в 1986-1987 гг. выполнены измерения поляризации кумулятивных протонов под углами  $158^\circ$  и  $95^\circ$  в  $\text{pC}$ -взаимодействиях при энергии 17,62 ГэВ (на пучке У-70 в ИФВЭ). Интерес к проведению этих исследований связан с тем, что в области энергий от 1 до 8 ГэВ поставлено около десятка экспериментов, эффект поляризации в которых оценивался от 0 до 60%, изученный импульсный интервал ограничивался 750 МэВ/с ( $q_c = 500-750$ ) МэВ/с. Данные в области свыше 10 ГэВ отсутствовали. В результате экспериментов на установке СКА:

а) измерена величина поляризации кумулятивных протонов на ядре углерода под углами  $158^\circ$  и  $95^\circ$  в импульсном интервале от 550 до 1100 МэВ/с при энергии первичных протонов от 17 до 62 ГэВ;

б) впервые получены данные по поляризации кумулятивных протонов в жесткой части спектра ( $q_c > 800$  МэВ/с,  $T_c > 300$  МэВ).

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

2. Проведен очередной сеанс облучения установок "Альфа-3С" и 1-метровой жидководородной камеры пучками поляризованных дейтронов на синхрофазотроне. Исследование реакции  $d\bar{t}p \rightarrow ppn$  в пучке векторно-поляризованных дейтронов позволило оценить степень векторной поляризации выведенного пучка ( $P_z = 0,50 \pm 0,06$ ), а также начать изучение зарядово-обменных процессов. Получено экспериментальное распределение событий по азимутальному углу нейтрона отдачи в процессе перезарядки  $d\bar{t}p \rightarrow (pp)n$ , которое не согласуется с расчетом в азимутальном приближении с учетом D-волны и без учета двухкратного рассеяния<sup>[28]</sup>.

#### ЭКСПЕРИМЕНТ NA-4

В результате обработки материалов совместного ОИЯИ—ЦЕРН эксперимента NA-4 на SPS ЦЕРНа по глубоконеупругому рассеянию мюонов на водороде получены новые данные по структурной функции  $F_2(x, Q^2)$  протона<sup>[29,30]</sup>, а также отношение  $R = \sigma_L/\sigma_T$  сечений поглощения продольно и поперечно поляризованных виртуальных фотонов (рис.4,5). На статистическом материале  $\sim 2 \times 10^6$  событий, зарегистрированных при энергиях 100, 120, 200 и 280 ГэВ в кинематической области  $0,06 \leq x < 0,80$  и  $7 \text{ ГэВ}^2 \leq Q^2 \leq 260 \text{ ГэВ}^2$ , проведено сравнение наблюдаемых нарушений скейлинга с предсказаниями теории КХД и определен масштабный параметр КХД  $\Lambda$ , а также оценено распределение глюонов в протоне. Наилучшая оценка  $\Lambda$  составила

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

а соответствующее значение бегущей константы связи

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

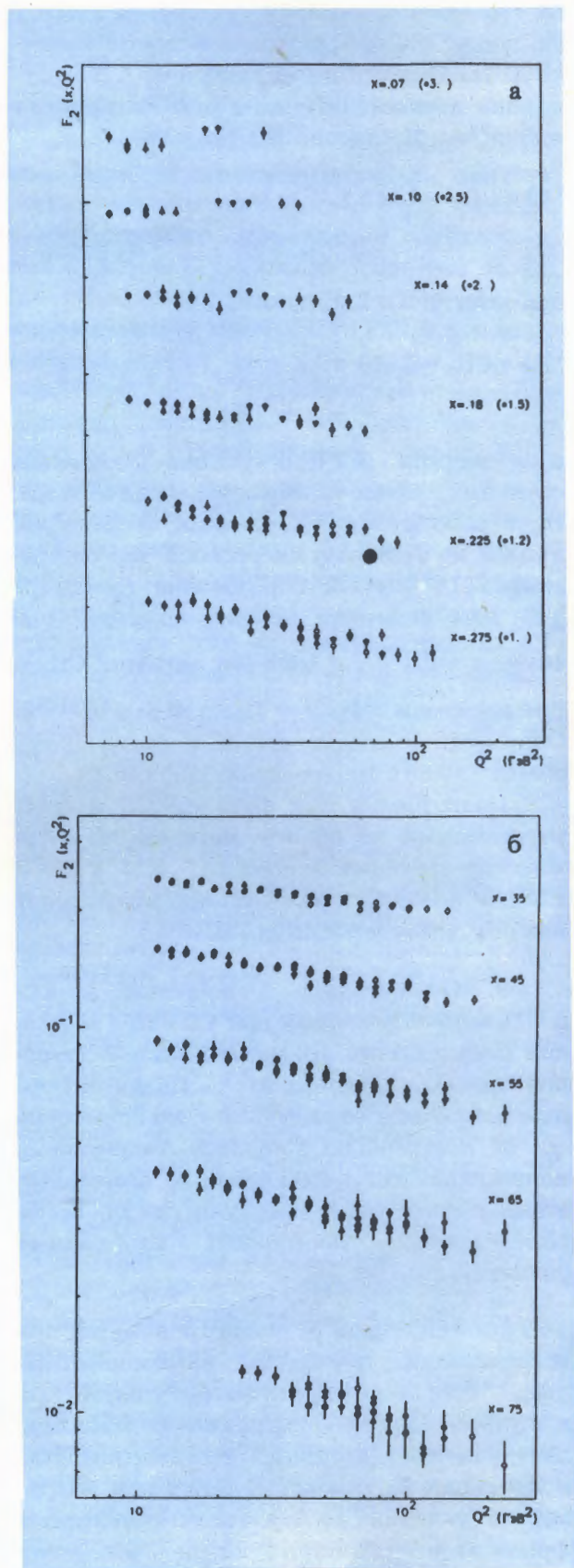


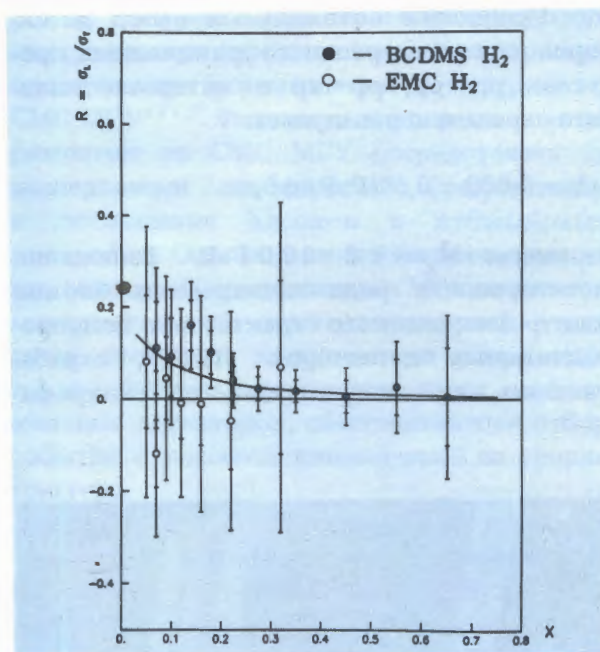
Рис.4. Структурные функции  $F_2(x, Q^2)$  протона, полученные в эксперименте NA-4:  $\bullet$  — 100 ГэВ,  $\blacktriangledown$  — 200 ГэВ,  $\Delta$  — 120 ГэВ,  $\circ$  — 280 ГэВ. а)  $0,07 \leq x \leq 0,275$ ; б)  $0,35 \leq x \leq 0,75$ .

Распределение глюонов по импульсу параметризовано в виде

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

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

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



## РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ, СОЗДАНИЕ НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

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

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

Испытание модуля адронного калориметра установки DELPHI на пучке синхрофазотрона.



адронного калориметра (АК), а также их сборка в плоскости и монтаж в модули АК в ЦЕРНе. В ЛВЭ на пучке синхрофазотрона проведена сборка полномасштабного модуля цилиндрической части АК для методических исследований. Изучено влияние неточностей, допускаемых при сборке детекторов, показано, что нестабильная работа стримерных трубок с графитовым покрытием катода является результатом технологии нанесения резистивного слоя<sup>131</sup>. Разработана методика восстановления энергии с использованием сигналов от электромагнитного и адронного калориметров.

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



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

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

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



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

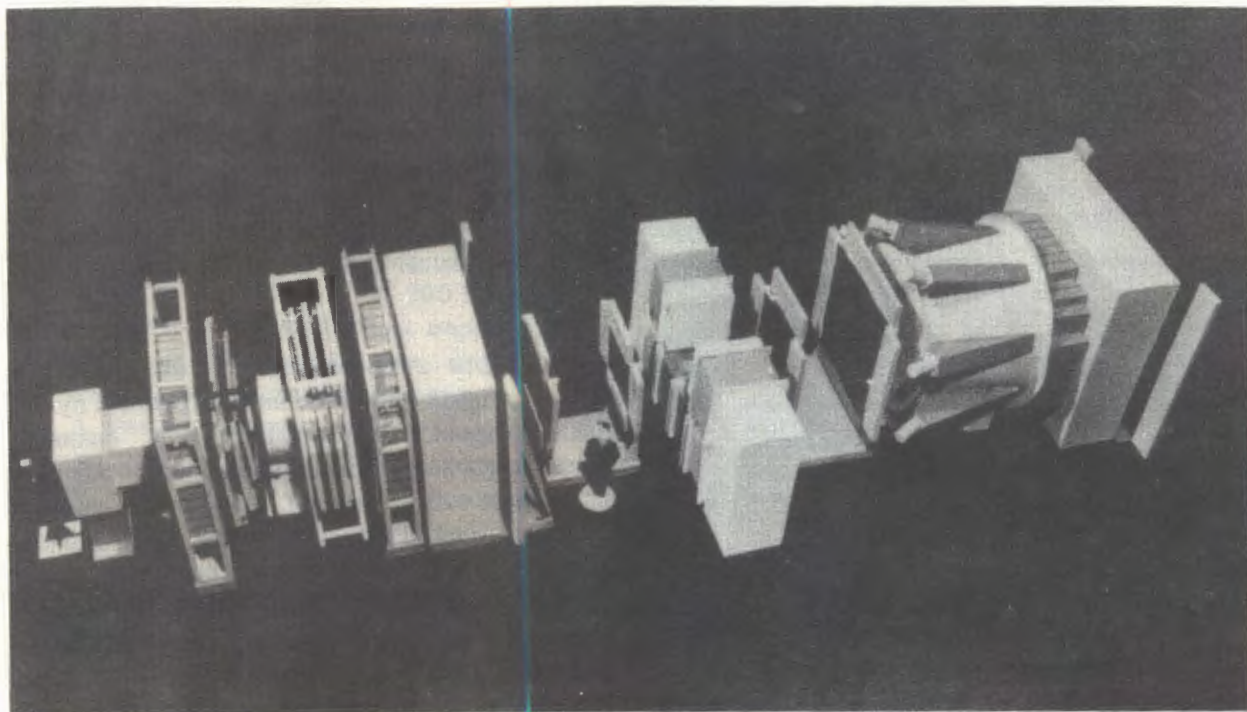
3. По проектам установок "Меченые нейтрино", "Чарм", СВД, ТПК-2М для работы на пучках У-70 и УНК ИФВЭ велось изготовление узлов и систем, моделирование экспериментов, в частности:

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

— изготовлены механические приспособления для транспортировки магнитов СП-94 и СП-40 на новом канале нейтральных частиц в ИФВЭ, начаты работы по пучковым затворам. Исследован специализированный быстродействующий процессор, предназначенный для отбора событий в условиях эксперимента<sup>132</sup> ("Чарм");

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

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



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

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

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

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

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

7. Полностью завершен монтаж электро-технического оборудования установки "Слон", начата комплексная наладка модуля, предназначенного для создания магнитного поля с напряженностью  $\sim 50$  Тл в объеме  $\sim 3\text{-}5$  см<sup>3</sup>. Для диагностики пучка в канале быстрого вывода разработана цифровая передающая телевизионная камера на основе ПЗС-матрицы<sup>133</sup>.

8. Исследован пороговый черенковский счетчик, радиатор которого выполнен в виде кюветы (200x400x60 мм), заполненной раствором аминок-Г-соли в воде. Диапазон преобразования черенковского излучения  $\lambda = 400\text{-}550$  нм, обеспечивалась хорошая эффективность светосбора в пределах рабочей области<sup>134</sup>. Счетчик использовался в составе установки СКА<sup>135</sup> для идентификации частиц и организации триггера.

9. Запущен в эксплуатацию на пучках синхрофазотрона одноплечевой магнитный спектрометр с изменяемой геометрией — СМС МГУ<sup>136</sup>. Физическая программа экспериментов на СМС МГУ сосредоточена на исследовании особенностей фрагментации и поглощения адронов в субъядерных масштабах. Основными элементами установки, созданной специалистами МГУ, являются многоканальный сцинтилляционный годоскоп, имеющий координатное разрешение  $\sim 1$  мм, система сцинтилляционных и черенковских детекторов, обеспечивающая отбор событий с заданной кинематикой на уровне триггера.

10. Предложена и экспериментально опробована методика абсолютного мониторинга пучков высокой интенсивности (от  $10^{12}$  частиц/импульс и выше), основанная на регистрации заряженных частиц в узком фотоэмульсионном слое, пересекающем при вращении пучок частиц, с одновременной регистрацией нейтронов, возникающих от пучковых и вторичных частиц в блоке конвертора. В первых же опытах при мониторинге пучков  $p$ ,  $d$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$  достигнута точность  $\sim 2\%$ , что не является пределом<sup>137</sup>. Этим методом можно калибровать другие системы, используемые для определения абсолютной интенсивности.

11. Исследована возможность подавления адронного фона с помощью системы, состоящей из "активного" конвертора из свинцового стекла, черенковских гамма-спектрометров и сцинтилляционного счетчика длиной 1 м, просматриваемого с торцов двумя фотоумножителями и работающего в режиме  $dE/dx$ <sup>138</sup>. Измерения проводились на пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 2 ГэВ/с, содержащим 6% электронов. Отбор событий в сцинтилляционном счетчике позволяет в 14 раз подавлять адроны при эффективности регистрации электронов  $\geq 90\%$ . При высоких и сверхвысоких энергиях можно достигнуть точности пространственного разрешения в измерении "ствола" электромагнитного ливня  $\sigma_{X,Y} \cong 1$  см для систем с "активным" конвертором и  $\sigma_{X,Y} \cong 1$  мм — для свинцово-сцинтилляционных "сэндвичей"; если измерять координаты ствола ливня для каждого слоя.

1. Предложен проект высокопроизводительной многопроцессорной системы<sup>139</sup>. Основная цель проекта — создание вычислительной системы низкой стоимости со скоростью обработки в несколько десятков миллионов операций в секунду. Система, по замыслу авторов, способна обеспечить решение широкого круга задач обработки данных со спектрометров физики высоких энергий. Она включает 70 микропроцессоров МОТОРОЛА-68020, помещенных в VME-крейты, которые соединены с центральной ЭВМ, распределяющей задания для процессоров и объединяющей полученные результаты.

2. В 1987 г. произошло широкое оснащение экспериментальных групп персональными ЭВМ типа "Правец-16" производства НРБ и освоение этих устройств для обработки экспериментальных данных, выполнения расчетных работ по различным темам, задач автоматизации проектирования. Велись разработки электроники связи ПЭВМ с экспериментальной аппаратурой. Разработана структура контроллера крейта КАМАК из двух блоков: интерфейса ПЭВМ и блока интерфейса магистрали<sup>140</sup>. В качестве последнего использован серийно выпускаемый в ОИЯИ блок КК 007. Связь с шиной ПЭВМ осуществляется через адаптер, в котором использованы две БИС параллельного периферийного интерфейса КР580ВВ55А. Быстродействие контроллера по каналу прямого доступа составляет  $3 \div 4$  мкс/слово. Контроллер может использоваться с различными ПЭВМ<sup>141</sup>. Ряд разработок аппаратуры и программного

обеспечения для работы с мини- и микро-ЭВМ ("Электроника-60", МERA-60/45, "Микро-8", CM-4, PDP-11/70) описан в работах<sup>142-50</sup>.

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

Система в стандарте VME применена в пульте управления ускорителя СПИН, это привело к увеличению скорости обработки данных при управлении источником питания ускорителя в 250 раз<sup>151</sup>. В системе использованы модули VME: интерфейс шины Q-bus, память 0,5 Мбайт, последовательный микропроцессорный интерфейс. Разработана и изготовлена шина VME и создан крейт VME с источником питания фирмы POLON.

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ЛАБОРАТОРИИ, СОЗДАНИЕ НУКЛОТРОНА, КРИОГЕНИКА, СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

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

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

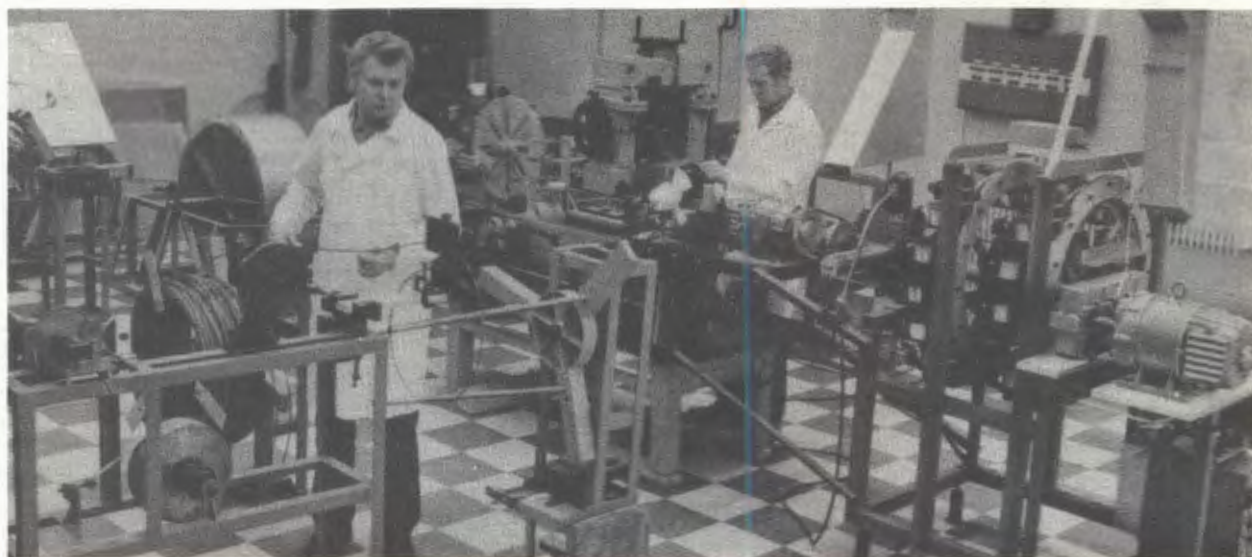
Отработан режим захвата пучка после бесструктурного медленного вывода, который дал возможность увеличить коэффициент одновременности проведения экспериментов. Разработана система двойной стабилизации магнитного поля в синхрофазотроне, что повышает стабильность выводимых пучков. Увеличена интенсивность пучка поляризованных дейтронов до  $\sim 1 \times 10^9$  частиц/цикл. Продолжалось совершенствование электронно-лучевых ионизаторов КРИОН, в том числе их автоматизации<sup>/52/</sup>. Предпринята попытка определения полосы изолированных суммовых резонансов третьего и четвертого порядков при бетатронном движении заряженных частиц в циклических ускорителях<sup>/53/</sup>. Получены соотношения, позволяющие оценить ширину полосы и время развития указанных резонансов. Создана интерактивная программа расчета каналов транспортировки пучков на ЭВМ СМ-4<sup>/54/</sup>. Программа позволяет вычислять огибающие пучка, положение орбиты,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -функции, дисперсию и ее производную и т.д. Результаты расчета могут представляться в графическом виде на цветном телемониторе и графопостроителе и в алфавитно-цифровом виде на экране терминала или печатающем устройстве. Впервые осуществлено отклонение пучка релятивистских ядер за счет каналирования в изогнутом монокристалле<sup>/55/</sup>. Пучок ускоренных в синхрофазотроне ядер углерода с импульсом 53 ГэВ/с отклонялся

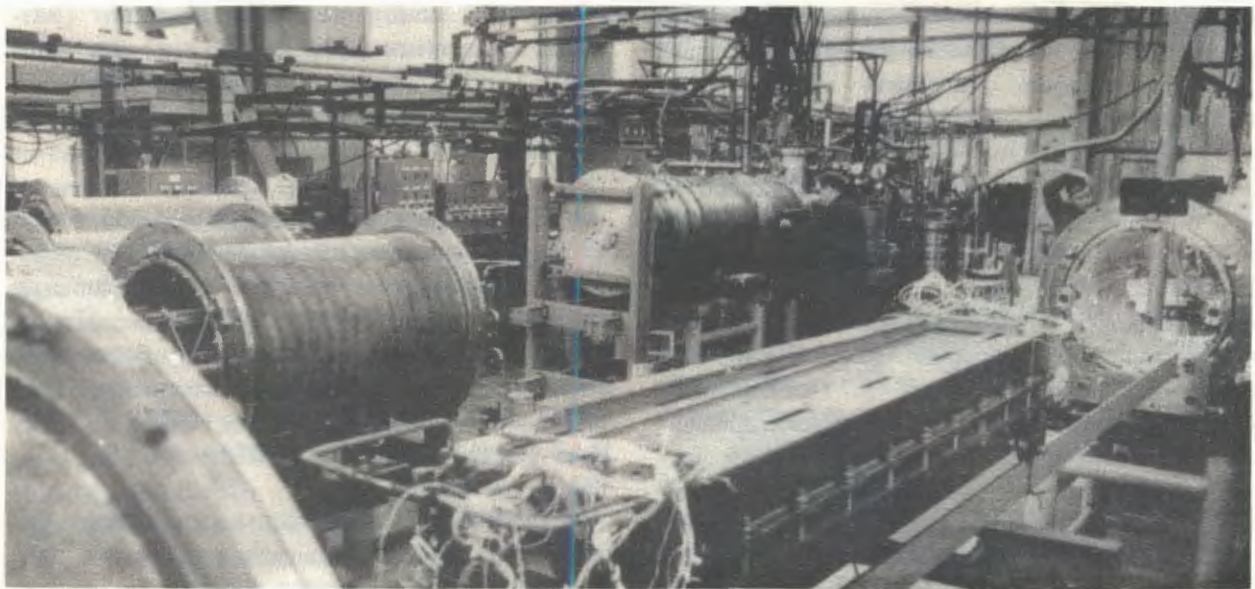
изогнутым монокристаллом кремния (размеры пластинки  $20 \times 10 \times 0,28$  мм) на угол  $(65 \pm 1) \times 10^{-3}$  рад. С помощью этой же аппаратуры осуществлено отклонение пучка протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с на угол  $(65 \pm 1) \times 10^{-3}$  рад<sup>/56/</sup>.

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

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

Изготовление сверхпроводящего кабеля для обмоток магнитов нуклотрона.





Испытания на стенде модулей магнитной системы нуклотрона.

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

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

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

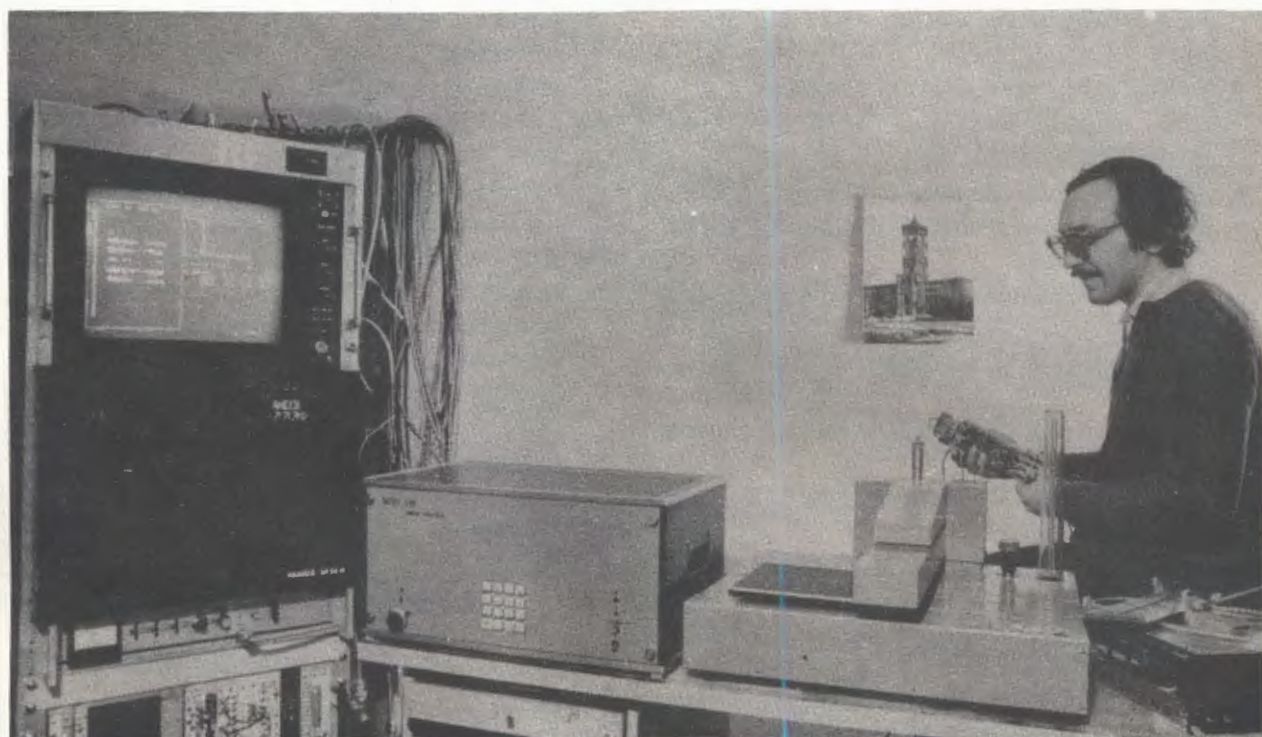
3. Проведены два сеанса охлаждения магнитной системы СПИНа и исследования режимов ее работы. Оценены потери интенсивности пучка протонов в инжекционном канале СПИНа<sup>/58/</sup>, и на основе анализа результатов "теплого" и "холодного" запусков ускорителя предложена его модификация с целью увеличения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

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

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

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



$3 \times 10^5$  соб./с при уровне просчетов не более 20%. Дифракционная картина формируется в буферной памяти емкостью 64 К слов и представляется на цветном ТВ-мониторе. Особенностью детектора АРД-3 является высокая однородность эффективности регистрации  $\gamma$ - и  $K_{\alpha}$ -излучения по всей площади детектора<sup>1621</sup>. Разработан и исследован радиохроматограф РД-4, основанный на двумерной многоступенчатой лавинной камере низкого давления. Прибор функционирует на линии с микроЭВМ и ЗППЛ-2 и предназначен для экспресс-анализа радиохроматограмм, меченых  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ . Особенностью прибора является высокое пространственное разрешение (лучше 1 мм) радиоактивных зон хроматограмм. Рабочая

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

2. Создано универсальное устройство для теплофизических измерений в гелиевом дьюаре. Устройство выполнено в виде вставки  $\phi$  39 мм, погружаемой в гелиевый дьюар с широкой горловиной. На основе этого устройства разработана экспрессная методика измерения теплопроводности материалов. В интервале температур  $5 \div 13 \text{ К}$  измерены удельные теплопроводности нержавеющей стали марки 12х18Н10Т, электротехнической стали Э-310, эпоксидного клея марки ЭД-8 и других материалов. Абсолютная погрешность методики оценивается  $\sim 2\%$ <sup>1631</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Aleev A.N. et al. JINR, E1-87-265, Dubna, 1987.
2. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-340, Дубна, 1987.
3. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-523, Дубна, 1987.
4. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-807, Дубна, 1987.
5. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-849, Дубна, 1987.
6. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, P1-87-792, Дубна, 1987.
7. Балдин А.М., Кечечян А.О., Шахбазян Б.А. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №2(22)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.4.
8. Армутлийски Д., Балдин А.М. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №4(24)-87, Дубна: ОИЯИ, 1987, с.5.
9. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-87-552, Дубна, 1987.
10. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-97, Дубна, 1987.
11. Армутлийски и др. ОИЯИ, P1-87-471, Дубна, 1987.
12. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-27, Дубна, 1987.
13. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-87-423, Дубна, 1987.
14. Аношин А.И., Фадеев Н.Г., Чеплаков А.П. ОИЯИ, P1-87-439, Дубна, 1987.
15. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, P1-87-374, Дубна, 1987.
16. Ableev V.G. et al. JINR, E1-87-246, Dubna, 1987.
17. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, P1-87-271, Дубна, 1987.
18. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-442, Дубна, 1987.
19. Miller K. et al. JINR, E1-87-362, Dubna, 1987.
20. Авдейчиков В.В. и др. ОИЯИ, P1-87-369, P1-87-509, P1-87-609, P1-87-709, Дубна, 1987.
21. Avramenko S. et al. JINR, E1-87-337, Dubna, 1987.
22. Iovchev K. et al. JINR, E1-87-166, Dubna, 1987.
23. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, P1-87-546, P1-87-631, Дубна, 1987.
24. El-Nagy A. et al. JINR, E1-87-472, Dubna, 1987.
25. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-652, Дубна, 1987.
26. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-87-812, Дубна, 1987.
27. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-87-817, Дубна, 1987.
28. Глаголев В.В. и др. — В кн.: Труды VII Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. ИФВЭ, Протвино, 1987, т.2, с.147.
29. Venvenuti A.C. et al. JINR, E1-87-549, Dubna, 1987.
30. Venvenuti A.C. et al. JINR, E1-87-589, Dubna, 1987.
31. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, Д1-87-328, Дубна, 1987.
32. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, 13-87-419, Дубна, 1987.
33. Буриев Н.Т. и др. ОИЯИ, P13-87-396, Дубна, 1987.
34. Беляев И.М. и др. ОИЯИ, 13-87-104, Дубна, 1987.

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



## ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Основной задачей Лаборатории ядерных проблем в 1987 году являлось проведение экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц на ускорителях ИФВЭ и других физических центров, а также выполнение экспериментов на пучках фазотрона ОИЯИ. Исследования по физике высоких энергий проводились на шести крупных установках, расположенных на пучках ускорителя У-70 в Протвино: "Гиперон", СИГМА-АЯКС, МИС-2, "Проза — Поляриметр", "Димезоатомы" и "Нейтринный детектор". На пучках фазотрона ОИЯИ с энергией 680 МэВ выполнялись эксперименты по физике промежуточных энергий, изучению реакций мю-катализа, исследованию с помощью  $\mu$ SR-метода образцов высокотемпературных сверхпроводников, изучению реакций  $p \rightarrow 2p$  на ядрах и применению пучков заряженных частиц для лучевой терапии. В 1987 г. на выведенном пучке протонов вступил в действие крупный комплекс экспериментальных установок ЯСНАПП, предназначенный для исследований по ядерной спектроскопии.

Была проведена большая работа по подготовке предложений новых экспериментов на УНК ИФВЭ. Согласованная с ИФВЭ программа первоочередных экспериментальных исследований ОИЯИ на УНК включает создание 6 крупных установок, в пяти из них принимают активное участие сотрудники ЛЯП. Это проекты "Парус — Нептун", МАРС — МЧС, "Глюон", "Нейтринный детектор", УКД.

Ученые Лаборатории принимали активное участие в крупных экспериментах, проводимых в ЦЕРНе. Это, в первую очередь, исследования на встречных пучках LEP по программе эксперимента DELPHI. В 1987 г. закончена большая программа массового производства и испытаний детекторов адронного калориметра DELPHI и монтаж его в ЦЕРНе.

Начаты работы по новому совместному ОИЯИ — ЦЕРН эксперименту PS-201, целью которого является изучение эксклюзивных реакций взаимодействия антипротонов и антинейтронов с нуклонами и ядрами на пучках ускорителя LEAR.

### НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 1987 г.

#### ПРОВЕРКА ПРЕДСКАЗАНИЙ КХД. ФИЗИКА ЛЕГКИХ КВАРКОВ

В совместном эксперименте ОИЯИ — ИФВЭ (Протвино) на установке СИГМА — АЯКС изучена инклюзивная реакция испускания кумулятивных протонов во взаимодействиях  $\pi^-$ ,  $K^-$ ,  $p$  с ядром Be при 40 ГэВ/с<sup>1/2</sup>. Оказалось, что вероятности образования кумулятивных протонов во взаимодействиях каонов и пионов прибли-

зительно одинаковы (см. рис. 1), тогда как для антипротонов эта вероятность существенно больше. Неожиданно большая величина сечения образования кумулятивных протонов в  $\bar{p}A$ -взаимодействиях указывает на существование специфического механизма рождения кумулятивных протонов в  $\bar{p}A$ -взаимодействии.

В совместном эксперименте ОИЯИ — ИФВЭ (Протвино) на установке "Проза — Поляриметр" выполнены измерения диф-

ференциальных сечений квазиупругой перезарядки  $\pi^-$ -мезонов на ядрах углерода при импульсе  $39,1 \text{ ГэВ}/c^{1/2}$ . Изучались реакции типа  $\pi^- C \rightarrow M^0 + {}^*C$ , где  $M^0 \equiv \pi^0, \eta^-, \eta'(958), \omega(783)$ - и  $f_2(1270)$ -мезоны. Для каждой реакции получена зависимость "эффективного заряда" ядра углерода  $Z_{\text{eff}}$  от переданного импульса (см. рис. 2). Величина  $Z_{\text{eff}}$  определяется как

$$Z_{\text{eff}} = \frac{d\sigma/dt(\pi^- C \rightarrow M^0 + {}^*C)}{d\sigma/dt(\pi^- p \rightarrow M^0 n)}$$

Полученные результаты анализировались в рамках стандартной глауберовской модели (пунктирные линии на рис. 2), а также с использованием подхода <sup>3/</sup>, в котором эффекты распределения цвета в налетающем адроне рассматриваются только в первом порядке, без учета перерассеяния на нуклонах ядра (сплошные линии на рис. 2). Видно, что в отличие от глауберовского приближения модель с учетом эффектов цвета <sup>3/</sup>

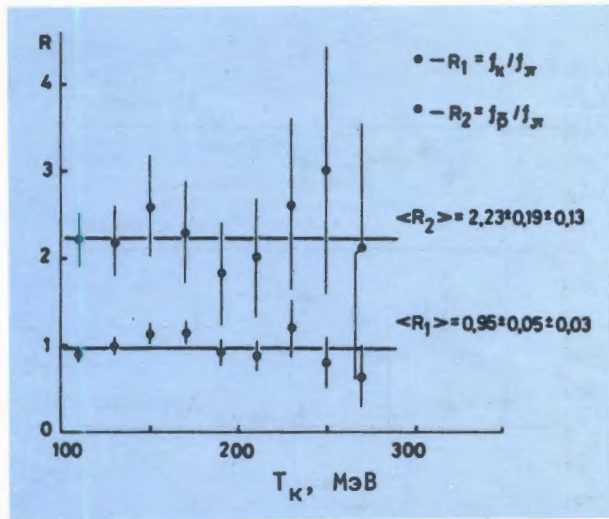
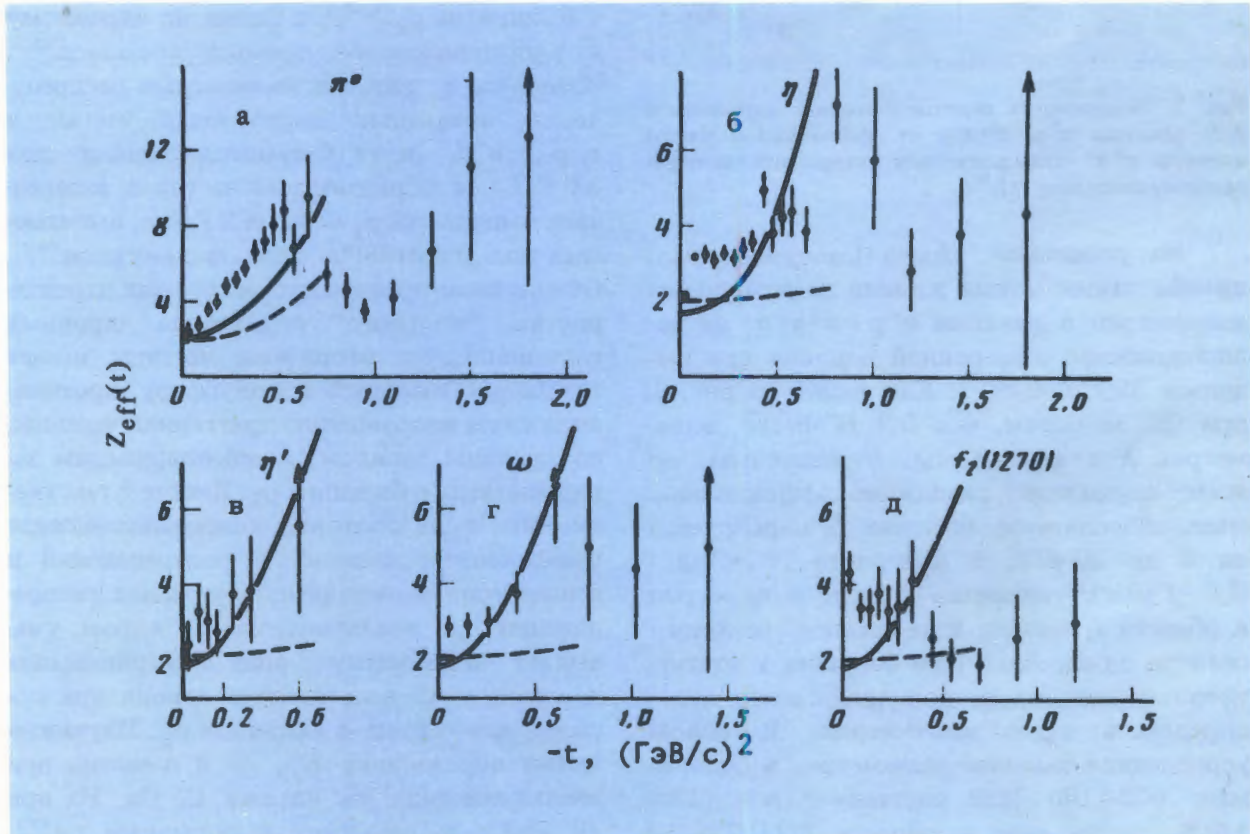


Рис. 1. Отношения инклюзивных инвариантных сечений для различных падающих частиц в зависимости от кинетической энергии кумулятивных протонов. Линии — средневзвешенные значения отношений по всему энергетическому диапазону.

дает лучшее согласие с экспериментальными данными: более быстрый рост  $Z_{\text{eff}}$  при небольших  $t$ .

Рис. 2. Эффективный заряд ядра углерода  $Z_{\text{eff}}$  в реакциях перезарядки  $\pi^- C \rightarrow M^0 + C$ , где  $M^0 \equiv \pi^0, \eta, \eta(958), \omega(783)$ - и  $f_2(1270)$ -мезоны. Сплошные линии — расчеты <sup>3/</sup> с учетом эффектов распределения цвета в налетающем адроне, но только в первом приближении, без рассмотрения перерассеяния на нуклонах ядра. Штриховые линии — расчет по модели Глаубера.



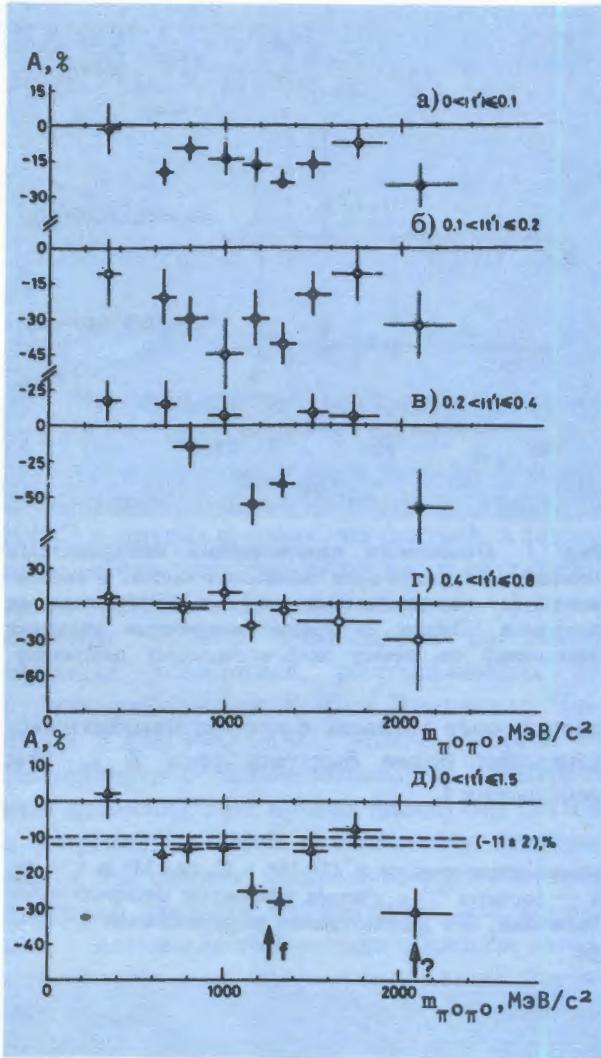


Рис. 3. Зависимость поляризационной асимметрии  $A$  в реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  от эффективной массы системы  $\pi^0 \pi^0$  для различных интервалов по переданному импульсу  $|t|^{1/4}$ .

На установке "Проза-Поляриметр" получены также новые данные по измерению асимметрии в реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  на поляризованной водородной мишени при импульсе  $39,1 \text{ ГэВ}/c^{14}$ . Как видно из рис. 3, при  $|t|$ , меньшем, чем  $0,2 \text{ (ГэВ}/c)^2$ , асимметрия  $A$   $\pi^0 \pi^0$ -системы отрицательна во всем изучаемом диапазоне эффективных масс. Абсолютное значение  $A$  варьируется от 0 до 30-40%. В интервале  $|t| \sim 0,2 - 0,4 \text{ (ГэВ}/c)^2$  величина и знак асимметрии в области  $f_2$ -мезона и на границе массового спектра одинаковы. При больших  $t$  статистические ошибки не позволяют однозначно определить знак асимметрии. В целом усредненное значение асимметрии в области масс 600-1100 МэВ составляет  $A = -(13 \pm 5)\%$ , тогда как в области  $f_2$  (1270)- и

$f_4$  (2030)-мезонов асимметрия существенно выше и достигает 30%.

На установке СИГМА-АЯКС выполнены прецизионные измерения сечений упругого  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -рассеяния при импульсе  $43 \text{ ГэВ}/c^{15}$ . Хорошая статистическая точность эксперимента позволила провести детальное сравнение дифференциальных сечений  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -упругого рассеяния в диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4 \text{ (ГэВ}/c)^2$ . В этом интервале по  $t$  отношение дифференциальных сечений  $\pi^- p/K^- p$  меняется от 1,2 до 0,7. Сечения становятся равными при  $t = (-0,65 \pm 0,10) \text{ (ГэВ}/c)^2$ . Выполнена проверка гипотезы геометрического скейлинга, согласно которой дифференциальные сечения упругого  $\pi$ - и  $K$ -рассеяния должны быть одинаковыми, если их отнормировать на оптические точки и отложить относительно переменной  $t \cdot \sigma_{tot}$ , где  $\sigma_{tot}$  — полное сечение. Существенное увеличение точности измерений позволило однозначно утверждать, что гипотеза простого геометрического скейлинга не выполняется при  $43 \text{ ГэВ}/c$  и сечения  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -рассеяния невозможно описать одной универсальной функцией.

Обработка данных со спектрометра РИСК позволила получить новые результаты по изучению адрон-ядерных взаимодействий с большими  $p_{\perp}^{16,7}$ , а также по адронному и  $\gamma$ -сопровождению прямых димьюонов<sup>18</sup>. Измерены угловые и импульсные распределения вторичных заряженных частиц в  $\pi^- p$ -,  $\pi^- d$ - и  $\pi^- C$ -взаимодействиях при  $38 \text{ ГэВ}/c$  с образованием частиц с поперечным импульсом  $p_{\perp}$  больше  $1 \text{ ГэВ}/c$ , вылетающих под углом  $90^\circ$  в с.ц.м. пион-нуклон<sup>16</sup>. Обнаружено проявление некоторых характеристик "жесткого" соударения адронных составляющих: вторичные частицы имеют тенденцию вылетать в полусферу, противоположную направлению триггерной частицы, со средним зарядом, компенсирующим заряд частицы с большим  $p_{\perp}$ . Вместе с тем увеличение числа протонов, сопровождающееся уменьшением наклона  $p_{\perp}$ -распределений и асимметрии азимутальных угловых распределений при взаимодействии с ядром, указывает на заметную роль внутриядерных перерассеяний налетающего адрона при образовании частиц с большим  $p_{\perp}$ . Изучалось также образование  $K_s^0$ -,  $\Lambda$ - и  $\bar{\Lambda}$ -частиц при взаимодействии  $\pi$  с ядрами C, Si, Pb при  $38 \text{ ГэВ}/c$  в событиях с большими  $p_{\perp}^{17}$ .

ференциальных сечений квазиупругой перезарядки  $\pi^-$ -мезонов на ядрах углерода при импульсе  $39,1 \text{ ГэВ}/c^{1/2}$ . Изучались реакции типа  $\pi^- C \rightarrow M^0 + *C$ , где  $M^0 \equiv \pi^0, \eta^-, \eta' (958), \omega (783)$ - и  $f_2 (1270)$ -мезоны. Для каждой реакции получена зависимость "эффективного заряда" ядра углерода  $Z_{\text{eff}}$  от переданного импульса (см. рис. 2). Величина  $Z_{\text{eff}}$  определяется как

$$Z_{\text{eff}} = \frac{d\sigma/dt(\pi^- C \rightarrow M^0 + *C)}{d\sigma/dt(\pi^- p \rightarrow M^0 n)}$$

Полученные результаты анализировались в рамках стандартной глауберовской модели (пунктирные линии на рис. 2), а также с использованием подхода <sup>13/</sup>, в котором эффекты распределения цвета в налетающем адроне рассматриваются только в первом порядке, без учета перерассеяния на нуклонах ядра (сплошные линии на рис. 2). Видно, что в отличие от глауберовского приближения модель с учетом эффектов цвета <sup>13/</sup>

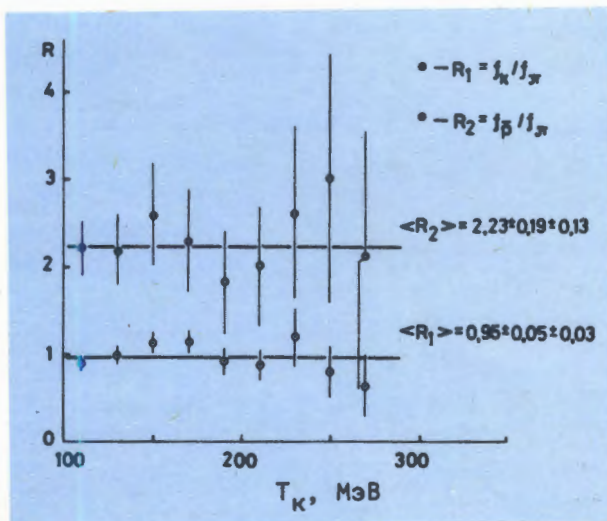
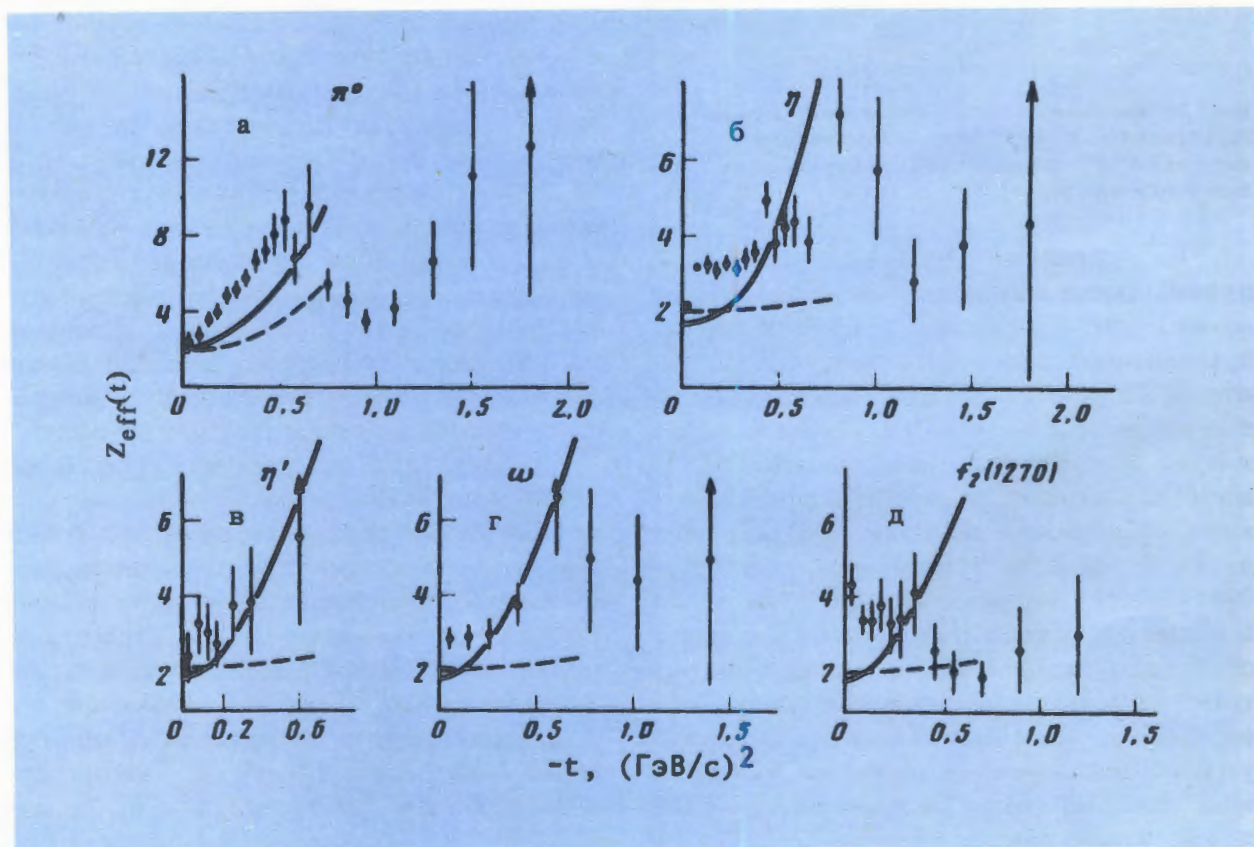


Рис. 1. Отношения инклюзивных инвариантных сечений для различных падающих частиц в зависимости от кинетической энергии кумулятивных протонов. Линии — средневзвешенные значения отношений по всему энергетическому диапазону.

дает лучшее согласие с экспериментальными данными: более быстрый рост  $Z_{\text{eff}}$  при небольших  $t$ .

Рис. 2. Эффективный заряд ядра углерода  $Z_{\text{eff}}$  в реакциях перезарядки  $\pi^- C \rightarrow M^0 + C$ , где  $M^0 \equiv \pi^0, \eta^-, \eta' (958), \omega (783)$ - и  $f_2 (1270)$ -мезоны. Сплошные линии — расчеты <sup>13/</sup> с учетом эффектов распределения цвета в налетающем адроне, но только в первом приближении, без рассмотрения перерассеяния на нуклонах ядра. Штриховые линии — расчет по модели Глаубера.



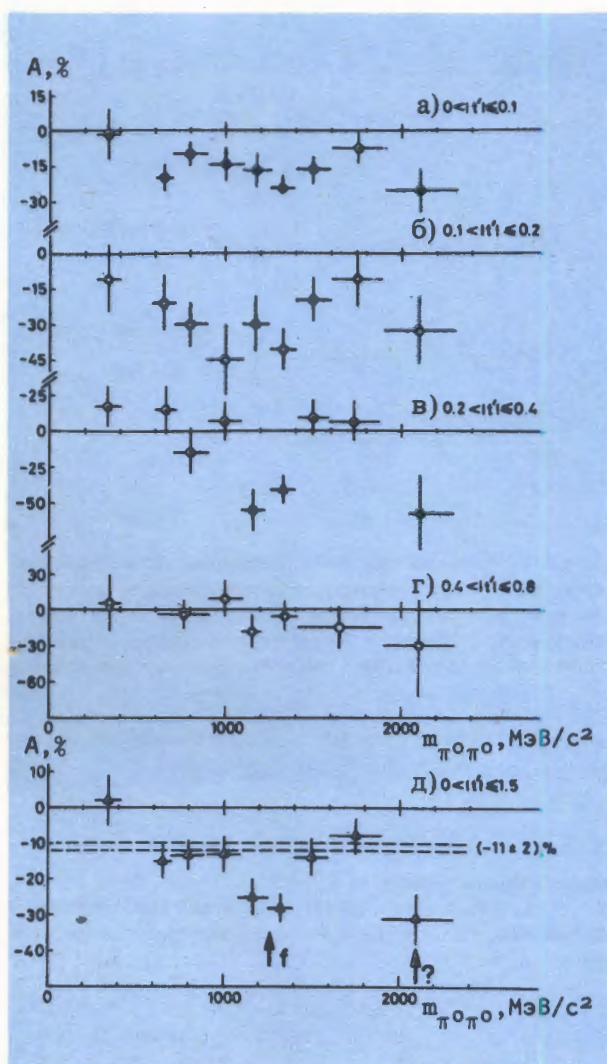


Рис. 3. Зависимость поляризационной асимметрии  $A$  в реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  от эффективной массы системы  $\pi^0 \pi^0$  для различных интервалов по переданному импульсу  $|t|^{1/4}$ .

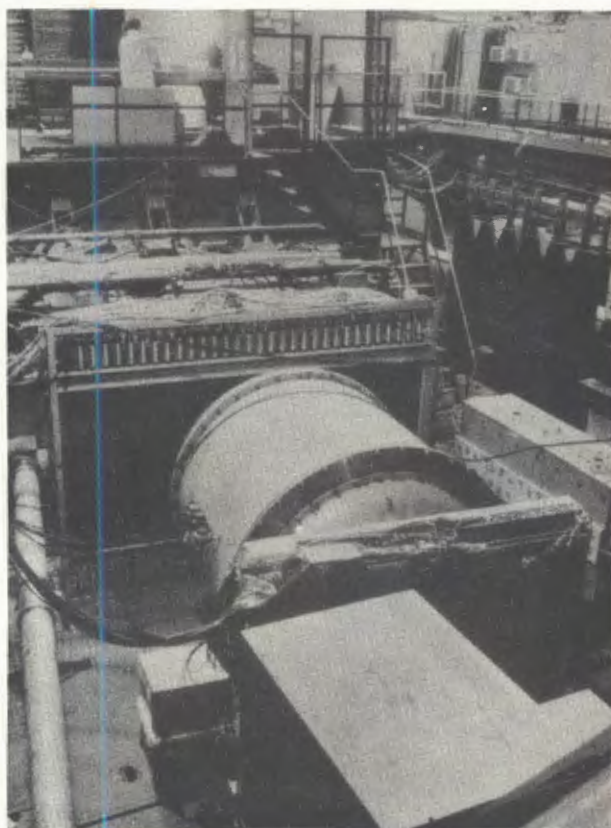
На установке "Проза-Поляриметр" получены также новые данные по измерению асимметрии в реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  на поляризованной водородной мишени при импульсе  $39,1 \text{ ГэВ}/c^{14}$ . Как видно из рис. 3, при  $|t|$ , меньшем, чем  $0,2 \text{ (ГэВ}/c)^2$ , асимметрия  $A$   $\pi^0 \pi^0$ -системы отрицательна во всем изучаемом диапазоне эффективных масс. Абсолютное значение  $A$  варьируется от 0 до 30-40%. В интервале  $|t| \sim 0,2 - 0,4 \text{ (ГэВ}/c)^2$  величина и знак асимметрии в области  $f_2$ -мезона и на границе массового спектра одинаковы. При больших  $t$  статистические ошибки не позволяют однозначно определить знак асимметрии. В целом усредненное значение асимметрии в области масс 600-1100 МэВ составляет  $A = -(13 \pm 5)\%$ , тогда как в области  $f_2$  (1270)- и

$f_4$  (2030)-мезонов асимметрия существенно выше и достигает 30%.

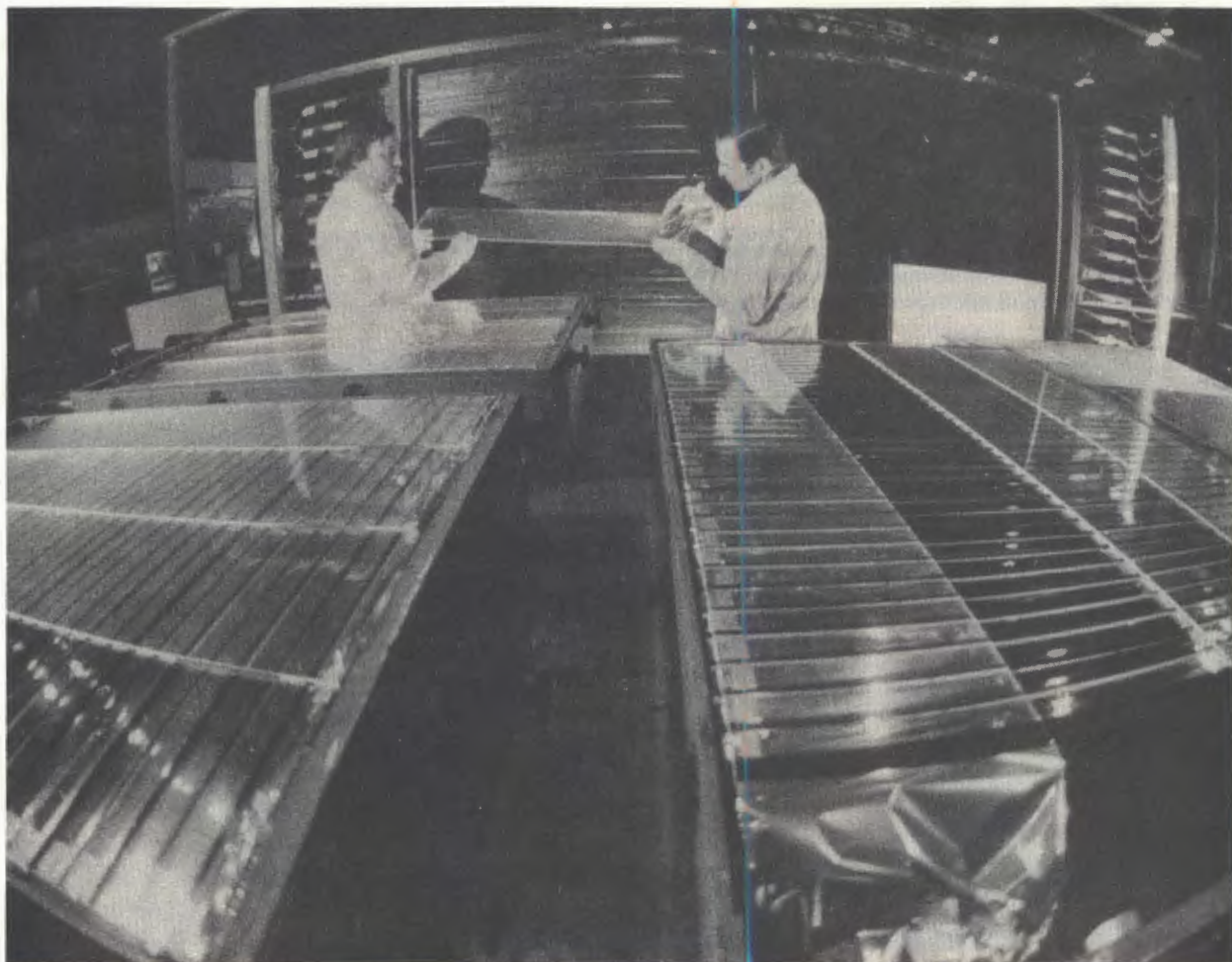
На установке СИГМА-АЯКС выполнены прецизионные измерения сечений упругого  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -рассеяния при импульсе  $43 \text{ ГэВ}/c^{15}$ . Хорошая статистическая точность эксперимента позволила провести детальное сравнение дифференциальных сечений  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -упругого рассеяния в диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4 \text{ (ГэВ}/c)^2$ . В этом интервале по  $t$  отношение дифференциальных сечений  $\pi^- p/K^- p$  меняется от 1,2 до 0,7. Сечения становятся равными при  $t = (-0,65 \pm 0,10) \text{ (ГэВ}/c)^2$ . Выполнена проверка гипотезы геометрического скейлинга, согласно которой дифференциальные сечения упругого  $\pi$ - и  $K$ -рассеяния должны быть одинаковыми, если их отнормировать на оптические точки и отложить относительно переменной  $t \cdot \sigma_{tot}$ , где  $\sigma_{tot}$  — полное сечение. Существенное увеличение точности измерений позволило однозначно утверждать, что гипотеза простого геометрического скейлинга не выполняется при  $43 \text{ ГэВ}/c$  и сечения  $\pi^- p$ - и  $K^- p$ -рассеяния невозможно описать одной универсальной функцией.

Обработка данных со спектрометра РИСК позволила получить новые результаты по изучению адрон-ядерных взаимодействий с большими  $p_{\perp}^{16,17}$ , а также по адронному и  $\gamma$ -сопровождению прямых димьюонов<sup>18</sup>. Измерены угловые и импульсные распределения вторичных заряженных частиц в  $\pi^- p$ -,  $\pi^- d$ - и  $\pi^- C$ -взаимодействиях при  $38 \text{ ГэВ}/c$  с образованием частиц с поперечным импульсом  $p_{\perp}$  больше  $1 \text{ ГэВ}/c$ , вылетающих под углом  $90^\circ$  в с.ц.м. пион-нуклон<sup>16</sup>. Обнаружено проявление некоторых характеристик "жесткого" соударения адронных составляющих: вторичные частицы имеют тенденцию вылетать в полусферу, противоположную направлению триггерной частицы, со средним зарядом, компенсирующим заряд частицы с большим  $p_{\perp}$ . Вместе с тем увеличение числа протонов, сопровождающееся уменьшением наклона  $p_{\perp}$ -распределений и асимметрии азимутальных угловых распределений при взаимодействии с ядром, указывает на заметную роль внутриядерных перерассеяний налетающего адрона при образовании частиц с большим  $p_{\perp}$ . Изучалось также образование  $K_s^0$ -,  $\Lambda$ - и  $\bar{\Lambda}$ -частиц при взаимодействии  $\pi$  с ядрами  $C$ ,  $Cu$ ,  $Pb$  при  $38 \text{ ГэВ}/c$  в событиях с большими  $p_{\perp}^{17}$ .

Оказалось, что характеристики рождения странных частиц в событиях с большими  $p_{\perp}$  в целом существенно не отличаются от рождения странных частиц в мягких адронных соударениях. Исключение составляет рождение  $\bar{\Lambda}$ -гиперона, вероятность которого оказывается в два раза больше в событиях с большими  $p_{\perp}$ . При исследовании димюонных пар в  $\pi C$ -взаимодействиях при 38 ГэВ/с выделены события с рождением  $J/\Psi$ -частиц<sup>18</sup>. Сделана оценка вклада в образование  $J/\Psi$ -частиц радиационной моды распада  $\chi \rightarrow \gamma + J/\Psi$ , которая оказалась равной  $(0,5 \pm 0,3)$ . Измеренное отношение сечений рождения  $\Psi'/\Psi$  лучше согласуется с данными группы СИГМА (ИФВЭ), чем с результатами, полученными на спектрометре OMEGA (ЦЕРН).



Установка СИГМА-АЯКС: общий вид (справа), сборка секций адронного калориметра.





На спектрометре "Гиперон" получены данные по инклюзивному образованию  $K_S^0$ - и  $K^*$ -мезонов, которые свидетельствуют о значительной роли эффектов экранирования цвета.

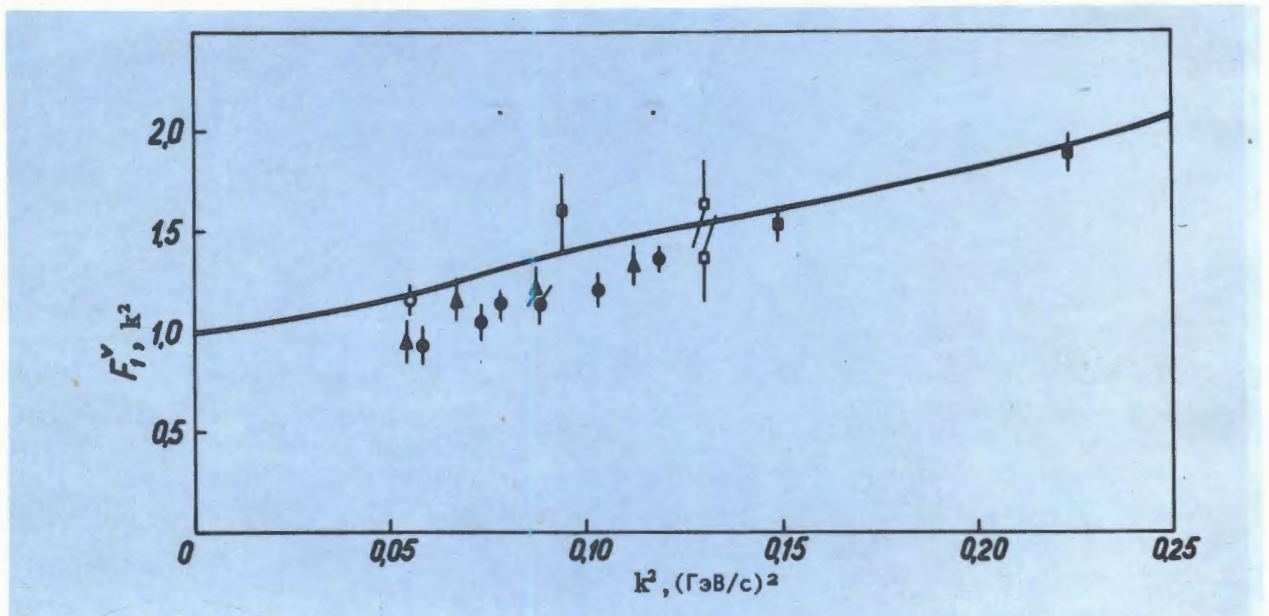
На установке "Гиперон" в целях более детального изучения обнаруженных ранее эффектов экранирования цвета осуществляется обработка нескольких миллионов триггеров в реакциях инклюзивного образования на ядрах  $K_S^0$ -,  $K^*$ - и  $\eta^0$ -мезонов пионами с энергией 10 ГэВ.

Получены новые результаты при обработке ядерной фотоэмульсии, помещенной в чувствительный объем 15-футовой пузырьковой камеры ФНАЛ (Батавия), которая была экспонирована на нейтринном пучке широкого спектра энергий — до 220 ГэВ (совместный ОИЯИ — ФНАЛ эксперимент E 564). Впервые показано, что в нейтринных взаимодействиях значительная часть

$(0,58^{+0,17}_{-0,22})$  очарованных  $\Lambda_c^*$ -барионов рож-

дается через распады  $\Sigma_c$ -резонансов<sup>19</sup>. Зарегистрирован распад нового очарованного барионного резонанса  $\Sigma_c^{*+}(2450)$  на  $\Lambda_c^+\pi^+$ . Определено среднее значение массы мультиплета  $\Sigma_c(2450)$ -состояний, которая составила  $(2455 \pm 22)$  МэВ. Зарегистрированы слабые распады  $\Lambda_c^+$ -бариона и D-мезонов, определены их массы и времена жизни<sup>10</sup>.

Рис. 4. Результаты измерений изовекторного формфактора нуклона  $F_1^V$  в экспериментах по обратному электророждению  $\pi$ -мезонов на протонах ( $\bullet$ ,  $\blacktriangle$ ), ядрах Li <sup>11</sup>/<sub>13</sub> ( $\square$ ) и C <sup>12</sup>/<sub>13</sub> ( $\blacksquare$ ). Сплошная кривая — результат расчета по дисперсионным соотношениям<sup>13</sup>.



Завершена обработка экспериментальных данных по исследованию реакции обратного электророждения пионов  $\pi^+ + A \rightarrow e^+ + e^- + X$  на ядрах лития и углерода<sup>11,12</sup>. Измерения проводились на пионных пучках синхроциклотрона ЛИЯФ АН СССР. Получена важная информация о поведении фундаментальной величины — фактора протона во времениподобной области переданных импульсов при пяти значениях  $k^2$ : от 0,06 до 0,23 (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Результаты эксперимента (см. рис. 4) находятся в удовлетворительном согласии с теоретическими расчетами, выполненными в рамках дисперсионных соотношений<sup>13</sup>.

Выполнен анализ данных, полученных с помощью цилиндрического магнитного искрового спектрометра при поиске распада  $\pi^+ \rightarrow e^+ e^- \nu$ <sup>14</sup> для нахождения ограничений на вероятности экзотических распадов  $\pi$ -мезона. Изучались ограничения на распад  $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu a$ , где  $a$  — легкая нейтральная частица (например, аксион), и распад  $\pi^+ \rightarrow \mu^- e^+ \nu$  с несохранением лептонного числа. Показано<sup>15</sup>, что из результатов эксперимента<sup>14</sup> можно получить сильные ограничения на параметры "стандартного" аксиона, распадающегося на  $e^+ e^-$ -пару:

$$W(\pi^+ \rightarrow e^+ \nu a) / W(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu) < 1,3 \cdot 10^{-8},$$

а также впервые оценить верхнюю границу несохраняющего лептонное число распада:

$$W(\pi^+ \rightarrow \mu^- e^+ \nu) / W(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu) < 7,7 \cdot 10^{-6}.$$

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ФИЗИКЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

Выполнен эксперимент по определению массы покоя электрона<sup>16</sup>. С помощью Ge(Li)-детектора при фазовом переходе "вода — лед" надежно выделена компонента излучения, соответствующая аннигиляции покоящегося парапозитрония. В отличие от общепринятой методики, источник позитронов <sup>22</sup>Na был растворен в объеме аннигилятора и пик исследуемой компоненты получался как разность аннигиляционных спектров льда и воды (см. рис. 5). Измеренное значение для массы электрона:  $m = (511,003 \pm 0,005)$  кэВ, совпадает со среднемировым

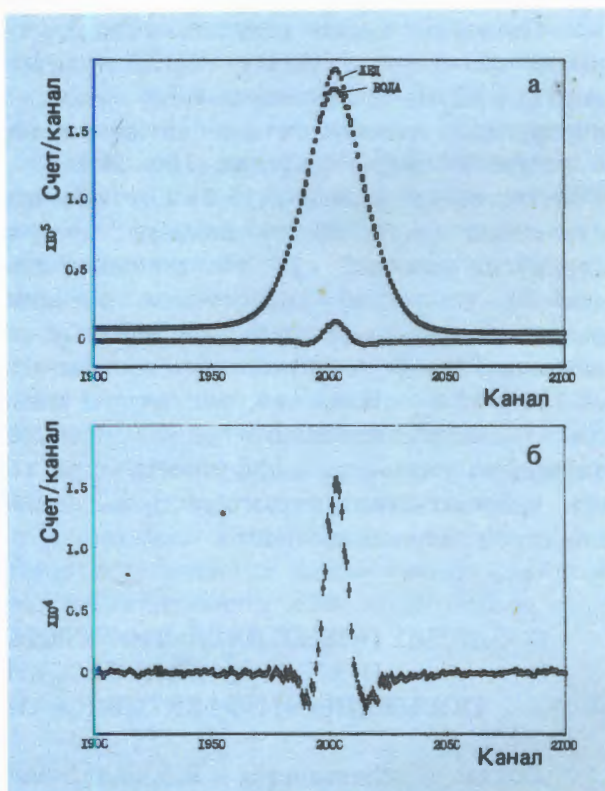


Рис. 5. Спектры  $\gamma$ -квантов от аннигиляции позитронов в воде и во льду, нижняя кривая — разность этих спектров (а). Отчетливо видна узкая компонента аннигиляционного пика на симметричном фоне, которая показана в увеличенном масштабе на рис. б.

значением  $m = (511,0034 \pm 0,0014)$  кэВ, которое получено при согласовании результатов различных экспериментов по измерению мировых констант. В настоящем эксперименте впервые проведено прямое измерение массы электрона, которое совпало со среднемировым значением.

Проведены измерения спектров электронов внутренней конверсии,  $\gamma$ -лучей и  $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде <sup>164</sup>Tm (период полураспада равен 2 мин)<sup>17</sup>. Построена схема распада <sup>164</sup>Tm  $\rightarrow$  <sup>164</sup>Er. Проведен анализ основного, бета-, гамма- и октупольно-вибрационных состояний <sup>164</sup>Er.

На основе усовершенствованной методики обработки бета-спектрограмм проведены исследования спектров электронов внутренней конверсии, получаемых на магнитных бета-спектрографах<sup>18</sup>. Определены мультипольности у 61 перехода в ядрах La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb. Для переходов смешанной мультипольности рассчитаны приведенные вероятности и факторы запретов по Вайскопфу.



Получены новые результаты по программе совместного ЦЕРН — ОИЯИ эксперимента PS-179. Измерено сечение реакций неупругого взаимодействия антипротонов с гелием ( ${}^4\text{He}(\bar{p}, \bar{p}')X$ ) при 180 МэВ<sup>/19/</sup>. Оно оказалось равным  $(15,5 \pm 2,9)$  мб, что составляет всего 6% от полного сечения неупругих реакций  $\sigma_R$ . Это довольно необычно, поскольку аналогичные реакции развала ядра  $\pi$ -мезонами или протонами намного более вероятны и составляют 70-100% от  $\sigma_R$ . Показано, что сечение реакций безаннигиляционного развала сильно зависит от параметра диффузности ядра, то есть чувствительно к характеристикам внешних слоев ядерной плотности.

### СОЗДАНИЕ НОВЫХ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Создан и используется в исследованиях процесса мюонного катализа высокоэффективный (эффективность 20%) сцинтилляционный спектрометр нейтронов полного поглощения на основе сцинтиллятора NE-213<sup>/20/</sup>. Хорошие спектрометрические качества для энергий нейтронов  $E = 1-6$  МэВ и высокая эффективность регистрации нейтронов сочетаются с надежным (n- $\gamma$ )-разделением (на уровне  $10^{-3}$ , начиная с энергий электронов 50 кэВ).

Новый газоразрядный детектор частиц с анодами в виде шариков, работающий в самогасящемся стримерном режиме.



Создана двухкоординатная многопроводная камера размером 1x1 м, предназначенная для экспериментов по поиску двойного  $\beta$ -распада<sup>/21/</sup>. Поскольку в таких опытах детекторы должны иметь как можно меньше вещества, чтобы свести к минимуму энергетические потери электронов, в данной камере применены катоды из проволоки  $\phi$  40 мкм, подобрана газовая смесь на основе гелия. Измерение координаты частицы вдоль анодной проволоки производится по времени распространения сигнала вдоль нее. Для улучшения точности измерения координаты применены специальные формирующие электроды, точность определения координаты в любой точке камеры не хуже  $\sigma < 2,5$  мм.

Впервые осуществлен синтез комплекса пятивалентного хрома в полностью дейтерированном пропаноле, используемом в дейтериевой замороженной поляризованной мишени<sup>/22/</sup>. Благодаря выбору этого вещества удалось достичь максимальной поляризации. Созданная дейтериевая поляризованная мишень была успешно использована в экспериментах на установке "Проза-Поляриметр". Максимальная поляризация дейтерия составляет 42% при поле 2,1 Тл, времени релаксации порядка 500 ч.

Для исследования мезоатомных и мезомолекулярных процессов, происходящих в смеси изотопов водорода, разработана и создана установка, включающая в себя газовую мишень высокого давления с оригинальным вентилем и криостат<sup>/23/</sup>. Установка позволяет работать с изотопами высокой чистоты (суммарное содержание примесей не превышает  $10^{-5}\%$ ) при давлении до 1500 атм. и в диапазоне температур от 20,4 до 300 К.

Выполнен большой комплекс методических работ по высоковольтным испытаниям 100000 пластиковых стримерных трубок адронного калориметра DELPHI<sup>/24/</sup>. Показано, что наблюдается отчетливый эффект высоковольтной тренировки трубок, который выражается в увеличении рабочей области (плато) более чем на 300 В. Показано, что полировка поверхности графитового катода пластиковых стримерных трубок существенно увеличивает стабильность их работы<sup>/25/</sup>. Изучено влияние магнитного поля на характеристики самогасящегося стримерного режима, используемого в трубках калори-

метра<sup>26/</sup>. Показано, что в полях порядка 10 кГс заряд в стримере уменьшается на несколько процентов. В переходной области напряжений от пропорционального режима к стримерному магнитное поле приводит к увеличению вероятности перерастания лавины в стример.

Создан новый газоразрядный детектор частиц, аноды которого представляют собой набор шариков диаметром 2 мм<sup>27/</sup>. Детектор работает в самогасящемся стримерном режиме, имеет высокую эффективность и широкое плато счетной характеристики. Предельная скорость счета частиц на одном шарике  $2,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ . Применение шарикового анода позволяет создавать надежные детекторы сложной формы, в том числе с двухкоординатной регистрацией многочастичных событий.

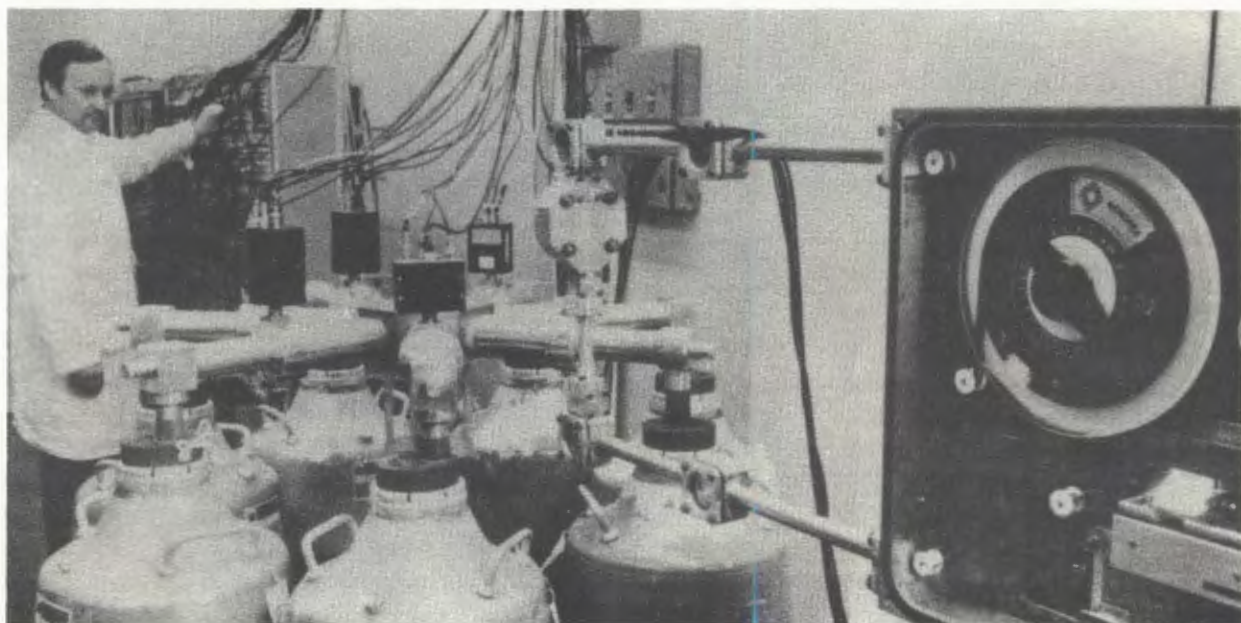
Проводилась большая работа по созданию новых электронных блоков и систем, которые обеспечивают проведение крупных физических экспериментов на современном техническом уровне. Созданы двухмерный анализатор для корреляционных измерений<sup>28/</sup> и временной спектрометр для наблюдения временной структуры пучков фазотрона<sup>29/</sup>. Разработано 11 новых блоков в стандарте КАМАК, в том числе импульсный цифро-аналоговый преобразователь на 8 бит с быстродействием до 30 мГц<sup>30/</sup>, автономный контроллер крейта на основе 16-разрядного микропроцессора КР1810<sup>31/</sup>, контроллер крейта для персональной ЭВМ "Правец-16"<sup>28/</sup>. Налажено и передано в распоряжение физиков-экспериментаторов 456 электронных блоков в стандарте КАМАК.

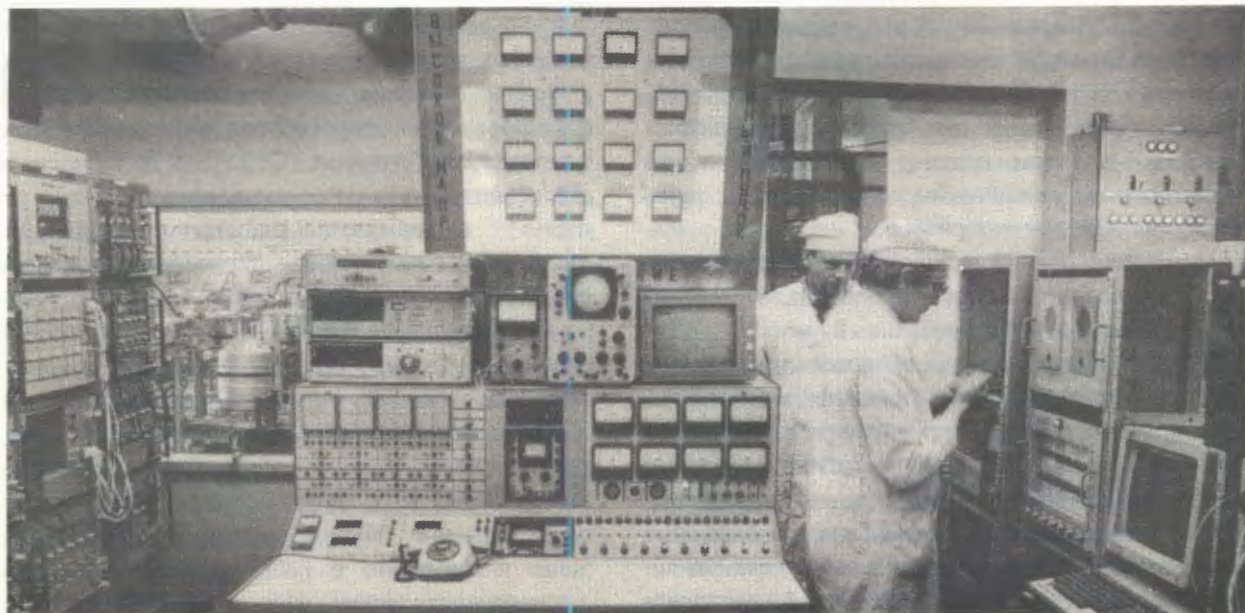
#### СОЗДАНИЕ КРУПНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ФАЗОТРОНА. ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

На выведенном пучке протонов фазотрона ОИЯИ введен в действие большой комплекс экспериментальных установок для исследований по ядерной спектроскопии радиоактивных излучений (гамма-лучи, кон-

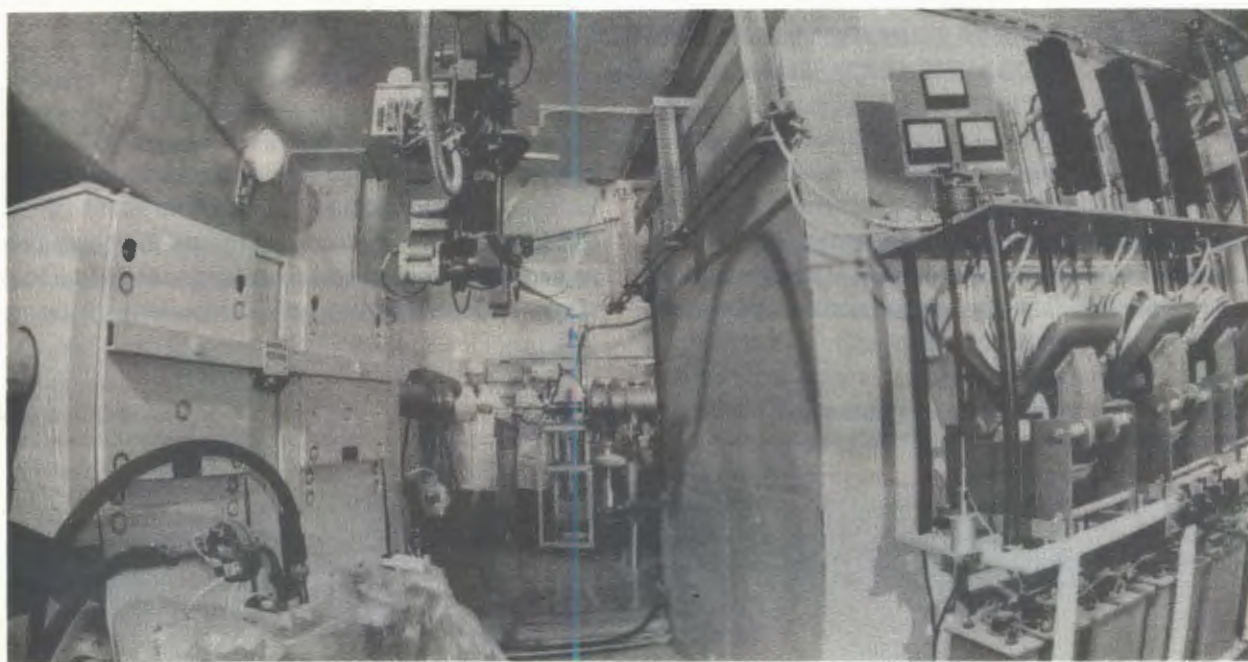
версионные электроны,  $\alpha$ -частицы, запаздывающие протоны и т.п.) от короткоживущих, далеких от полосы стабильности радионуклидов (как нейтронодефицитных, так и нейтроноизбыточных) с временами полу-

Одна из экспериментальных установок комплекса ЯСНАПП-2 — спектрометр МУК — предназначена для исследования угловых корреляций при распаде радиоактивных ядер.





Введен в действие комплекс ЯСНАПП-2 для проведения широкого круга исследований по ядерной спектроскопии на пучке протонов фазотрона. На снимках: пульт управления масс-сепаратором (вверху) и мишенная комната.



распада до 0,1 с. Комплекс состоит из мишенной станции, четырехканального масс-сепаратора, нескольких оригинальных магнитных спектрометров с полупроводниковыми детекторами высокого энергетического разрешения ( $\Delta E(\gamma) = 1 - 2$  кэВ,  $\Delta E(e^-) = 0,5 - 2$  кэВ); он открывает широкие перспективы для исследований по ядерной спектроскопии и позволяет кроме изучения энергетических спектров различных излучений исследовать их временные и угловые корреляции.

Изготовлен и введен в эксплуатацию новый выходной каскад генератора растяжки повышенной мощности фазотрона, что позволило увеличить напряжение на С-электроде до 20 кВ и за счет этого повысить коэффициент перзахвата пучка до 70%. Выполнены работы по повышению надежности отдельных узлов ускорителя. Ресурс ионного источника увеличен до 45 ч, вакуумных уплотнений ротора вариатора — до 2000 ч. Ускоритель отработал на эксперимент 4010 ч (при плане 2950 ч) при средней

интенсивности выведенных пучков протонов 2 мкА для нерастянутого пучка и 1,2 мкА — для растянутого<sup>/32,33/</sup>.

Теоретические исследования, проведенные в отделе новых ускорителей ЛЯП, показали возможность использования изохронных циклотронов для одновременного уско-

рения протонов и отрицательных ионов атомарного водорода<sup>/34/</sup>. Экспериментально это было осуществлено на ускорителе У-120М Института ядерной физики ЧСАН в результате совместных исследований, выполненных физиками ЛЯП ОИЯИ и ИЯФ ЧСАН.

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнен ряд интересных работ по применению  $\mu$ SR-метода для исследований по физике конденсированных сред, в том числе по изучению свойств высокотемпературных сверхпроводников. Так, для высокотемпературного сверхпроводника  $\text{La}_{1,87}\text{Sr}_{0,13}\text{Cu-O}_4$  измерена функция деполяризации положительных мюонов<sup>/35/</sup>. Показано, что сверхпроводимость не изменяет распределение ядерных магнитных полей, действующих на мюон. Измерена температурная зависимость скорости релаксации спина мюона  $\sigma$ . На рис. 6 приведена зависимость  $\sigma(T)$  при охлаждении образца в постоянном поперечном магнитном поле  $H = 200$  Э. Постоянное значение  $\sigma = 0,13$  мкс<sup>-1</sup> при  $T > T_c$  отвечает дипольной релаксации недиффун-

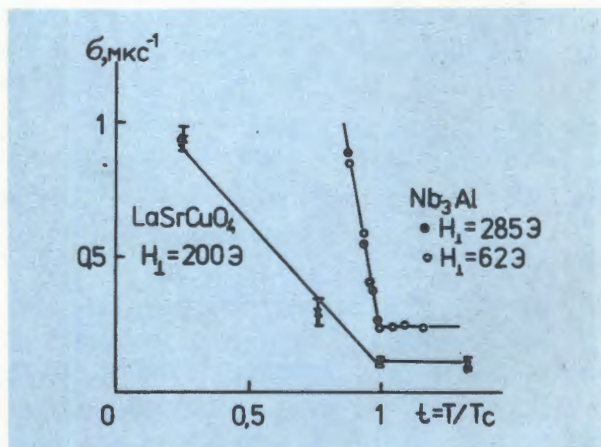
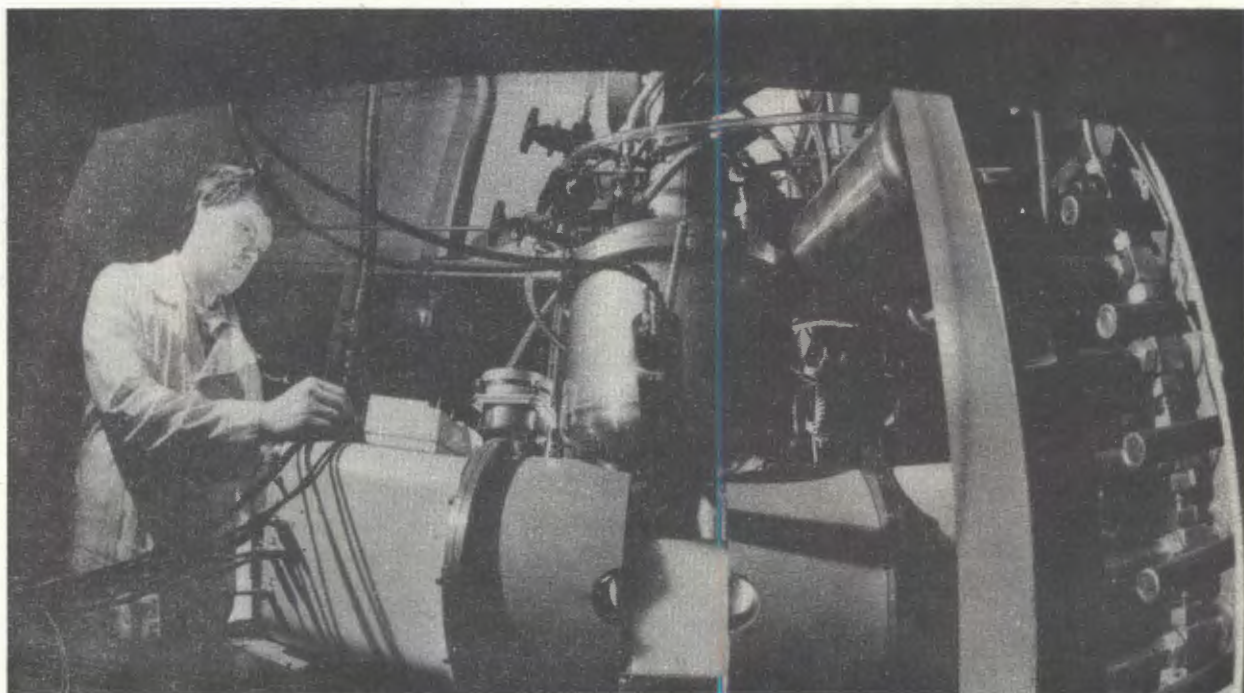
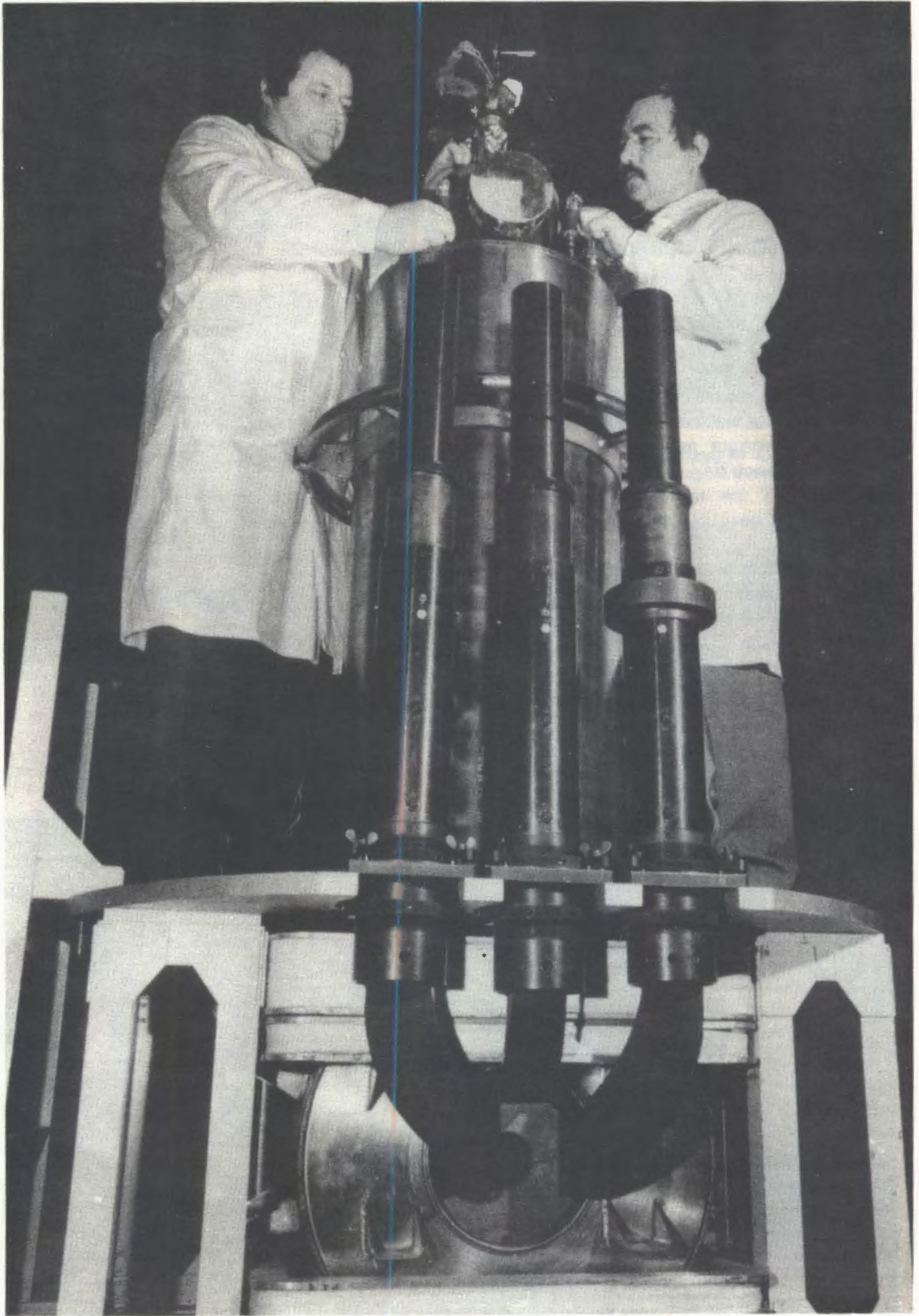


Рис. 6. Температурная зависимость скорости релаксации спина мюона  $\sigma$  для высокотемпературного сверхпроводника  $\text{La}_{1,87}\text{Sr}_{0,13}\text{Cu-O}_4$  и сплава  $\text{Nb}_3\text{Al}$ .

В экспериментах по мю-катализу используется газовая дейтериевая мишень, рассчитанная на давление 1,5 кбар.





В состав экспериментального комплекса "Мю-спин" для исследований конденсированных сред с помощью  $\mu$ SR-метода входит установка "Магмю" со сверхпроводящим соленоидом на 6 Тл. На снимке слева: монтаж системы охлаждения соленоида.

дирующего мюона. Возрастание  $\sigma$  при уменьшении температуры ниже  $T_c$  происходит из-за увеличения неоднородностей внутренних магнитных полей в смешанном состоянии сверхпроводника. По температурной зависимости  $\sigma(T)$  оценена глубина проникновения магнитного поля:  $\lambda(T=0) = 3200$  А. Величина первого критического поля оказалась меньше 15 Э. Эксперимент выполнен на пучках синхроциклотрона ЛИЯФ АН СССР в Гатчине. С помощью  $\mu$ SR-метода были изучены также характеристики высокотемпературного сверхпроводника  $Y-Ba_2-Cu_3-O_7$ <sup>36</sup>. Показано, что в такой системе существует мейснеровская фаза, объем сверхпроводящей области составляет не менее 80%. При  $T = 50$  К значение первого критического поля  $H = 35$  Э. Глубина проникновения  $\lambda(T=0) = 3200$  А.

В инверсно-поляризованной системе протонных спинов при температурах 1,3-2 мК наблюдается явление самопроизвольного поворота суммарной ядерной намагниченности из состояния, антипараллельного внешнему полю, в состояние с параллельной полю ориентацией<sup>37</sup>. Переворот сопровождается мощным когерентным радиочастотным излучением. Частота излучения совпадает с зеемановской частотой спинов в поле и может варьироваться при сверхнизких температурах от нескольких сотен килогерц до сотен мегагерц. В оптике подобное явление называется сверхизлучением и лежит в основе физики коротковолновых лазеров. Эксперименты показали, что исходной причиной возникновения сверхизлучения является некогерентное мазерное излучение инверсно-поляризованных спинов.

Выполнено изучение влияния электрического поля на низкотемпературную медленную релаксацию в кристаллических сегнетоэлектриках<sup>38</sup>. Обнаружена низкотемпературная сверхмедленная релаксация энергии (до 1000 ч после изменения температуры образца), показано, что она является характерным свойством образцов с аморфной структурой.



Каналы медицинских пучков клиничко-физического комплекса ЛЯП.

Проведены исследования работы медико-биологического комплекса ОИЯИ на широких протонных пучках — для статического и ротационного облучения пациентов, а также на узких протонных пучках — для целей радионейрохирургии и протонографии<sup>39,40</sup>. В состав комплекса входят три протонных канала для облучения глубоко залегающих опухолей широкими и узкими протонными пучками различной энергии, пи-мезонный канал для использования в лучевой терапии интенсивных пучков отрицательных мезонов, канал нейтронов для облучения радиорезистентных опухолей, терапевтическая резервная гамма-установка. Параметры комплекса приведены в таблице. В 1987 г. начато облучение пациентов.

Изучались закономерности и механизмы мутагенного действия ионизирующих излучений (проект РИТМ). В экспериментах на бактериях, облученных протонами, тяжелыми ионами и гамма-лучами, было показа-

но<sup>141,42/</sup>, что индуцированный излучением мутагенез является сложным многоэтапным процессом, в котором решающую роль играют репарационные системы клеток. Проводились исследования гликолитической активности клеток в условиях гипергликемии и аноксии. В экспериментах на клетках асцитной карциномы Эрлиха *in vitro* показано<sup>143,44/</sup> высокая степень анаэробного гликолиза, приводящая к "закислению"

раковых клеток и их гибели. Изучалось влияние экранирования от магнитного поля Земли на спонтанную мутабельность дрожжевых клеток в условиях дефицита аденина<sup>145/</sup>. Показано, что вариации спонтанной мутабельности клеток, характерные для обычных условий, имеют тенденцию к снижению при культивировании дрожжей в условиях экранировки от геомагнитного поля.

Таблица

Характеристики каналов медицинских пучков клинко-физического комплекса ЛЯП, приведенные к интенсивности выведенных протонов 1 мкА<sup>139/</sup>

Пучок	Интенсивность частиц в кабине комплекса, с <sup>-1</sup>	Мощность дозы в месте расположения облучаемого объекта, рад/мин
1. Протоны, 200 МэВ	$5 \cdot 10^8$	100-150
2. Протоны, 100 МэВ	$10^8$	30-120
3. Протоны, 660 МэВ*	$10^6$	6,0
4. Протоны, 130 МэВ	$2 \cdot 10^8$	25-100
5. Протоны, 660 МэВ	$5 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^2$
6. $\pi$ -мезоны, 90 МэВ	$10^7$	3-4
7. Нейтроны, 350 МэВ	$3,5 \cdot 10^8$	2,0-2,5

\* Для диагностических целей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ, 87-153, Серпухов, 1987.
2. Апокин В.Д. и др. — ЯФ, 1987, т.46, с.1108.
3. Копелиович Б.З. — В сб.: XX Зимняя школа ЛИАФ. Л.: ЛИАФ АН СССР, 1985, с.140.
4. Arokin V.D. et al. Preprint ИИЕР, 87-44, Serpukhov, 1987.
5. Антипов Ю.М. и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-539, Дубна, 1987.
6. Boos E.G. et al. Preprint JINR E1-87-398, Dubna, 1987.
7. Barwolff H. et al. Preprint ИИЕР PHE-87-07, Berlin — Zeuthen, 1987.
8. Jani J. et al. Preprint JINR E1-87-397, Dubna, 1987.
9. Батусов Ю.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1987, т.46, с.213.
10. Батусов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-308, Дубна, 1987.
11. Батулин В.Н. и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-71, Дубна, 1987.
12. Алексеев Г.Д. и др. Препринт ОИЯИ Р1-87-72, Дубна, 1987.
13. Hohlner G., Pietarinen E. — Nucl.Phys., 1975, v.B95, p.210.
14. Коренченко С.М. и др. — ЖЭТФ, 1976, т.71, с.69.
15. Коренченко С.М. и др. — ЯФ, 1987, т.46, с.313.
16. Иванов А.И. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №6(26)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.12.
17. Адам И. и др. Препринт ОИЯИ Р6-87-141, Дубна, 1987.
18. Баратова М.А. и др. Препринт ОИЯИ Р6-87-219, Дубна, 1987.
19. Balestra F. et al. — Phys.Lett., 1987, v.194B, p.343.
20. Джелепов В.П. и др. Препринт ОИЯИ 13-87-476, Дубна, 1987.
21. Акимов Ю.К. и др. Препринт ОИЯИ Р13-87-205, Дубна, 1987.
22. Vinyatova E.I., Vubnov N.N. — Nucl.Instr. and Meth., 1987, v.A254, p.252.

23. Быстрицкий В.М. и др. Препринт ОИЯИ 13-87-704, Дубна, 1987.
24. Alekseev G.D. et al. Preprint JINR E13-87-399, Dubna, 1987.
25. Alekseev G.D. et al. Preprint JINR E13-87-607, Dubna, 1987.
26. Alekseev G.D., Korytov A.V. Preprint JINR E13-87-175, Dubna, 1987.
27. Травкин В.Н., Хазимс Д.М. Препринт ОИЯИ 13-87-91, Дубна, 1987.
28. Антюхов В.А. и др. Сообщение ОИЯИ P10-87-928, Дубна, 1987.
29. До Хоанг Кзонг и др. Сообщение ОИЯИ 13-87-250, Дубна, 1987.
30. Борейко В.Ф. и др. Сообщение ОИЯИ P10-87-827, Дубна, 1987.
31. Гонс З. и др. Сообщение ОИЯИ P10-87-815, Дубна, 1987.
32. Василенко А.Т. и др. — В сб.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-105, Дубна, 1987, т.2, с.228; Дмитриевский В.П. и др. Там же, с.237; Глазов А.А. и др. Там же, с.242.
33. Абазов В.М. и др. Препринт ОИЯИ 9-87-322, Дубна, 1987.
34. Дмитриевский В.П. и др. Препринт ОИЯИ P9-87-703, Дубна, 1987.
35. Гребинник В.Г. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1987, т.46, с.215.
36. Барсов С.Г. и др. Препринт ЛИЯФ №1331, Ленинград, 1987.
37. Киселев Ю.Ф. и др. Препринт ОИЯИ 14-87-431, Дубна, 1987.
38. Sahling S., Kolac M., Sahling A. Preprint JINR E8-87-499, Dubna, 1987.
39. Джелепов В.П. и др. — Медицинская радиология, 1987, №8, с.81.
40. Абазов В.М. и др. Препринты ОИЯИ 9-87-280, 9-87-322, 9-87-281, 13-87-702, Дубна, 1987.
41. Козубек С. и др. Препринт ОИЯИ P19-97-215, Дубна, 1987.
42. Чепурной А.И., Михова-Ценова Н. Препринт ОИЯИ P19-87-563, Дубна, 1987.
43. Шмакова И.Л. и др. — Медицинская радиология, 1987, №1, с.57.
44. Шмакова И.Л. и др. — Экспериментальная онкология, 1987, т.9, с.57.
45. Ильина В.Л., Корогодин В.И. — Генетика, 1987, т.23, с.630.



# ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В 1987 году основные усилия коллектива Лаборатории ядерных реакций были сконцентрированы на работах по синтезу 110 элемента, изучению влияния релятивистских эффектов на химические свойства курчатовия, синтезу и изучению свойств нейтроноизбыточных изотопов легчайших элементов, на изучении механизма ядерных реакций. Широко велись работы по прикладной тематике. Большое внимание уделялось совершенствованию ускорителей тяжелых ионов, в 1987 году ускорители отработали для проведения научных ис-

следований 6500 часов. Успешно развивалось международное сотрудничество с институтами стран-участниц ОИЯИ. Проведено два совместных эксперимента с институтами стран-неучастниц ОИЯИ: с национальным центром ГАНИЛ (Франция) по синтезу и исследованию свойств радиоактивного распада новых нейтроноизбыточных изотопов элементов от фтора до аргона, с Лабораторией им. Лоуренса (США) по калибровке кристаллов из метеоритов высокоэнергетическими ионами урана.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗОТОПОВ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. В реакциях холодного слияния за последние годы было синтезировано 13 изотопов пяти элементов таблицы Менделеева с  $Z \geq 104$ . Вместе с тем возможности этого метода практически исчерпаны, так как сечение образования этих элементов экспоненциально падает по мере роста заряда бомбардирующего иона (рис. 1). Для дальнейшего продвижения в область более тяжелых нуклидов было предложено<sup>11</sup> использовать более асимметричные комбинации.

Проведены эксперименты по синтезу 110 элемента. В реакциях  $^{235,236}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  вблизи кулоновского барьера с сечением  $\sim 10$  пб наблюдается образование нуклида, испытывающего спонтанное деление с периодом полураспада  $\sim 0,01$  с<sup>12</sup>. Зависимость сечения образования этого нуклида от энергии ионов  $^{40}\text{Ar}$ , энергии отдачи и угловое распределение близки к тому, что ожидает-

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

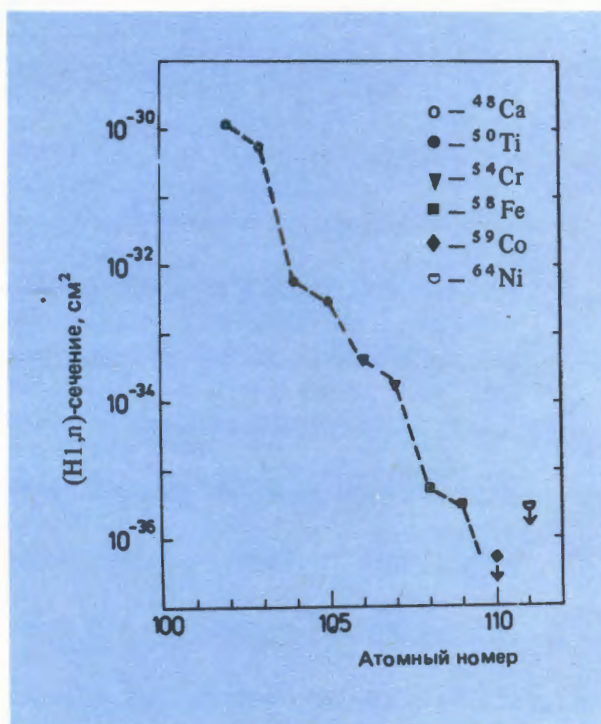
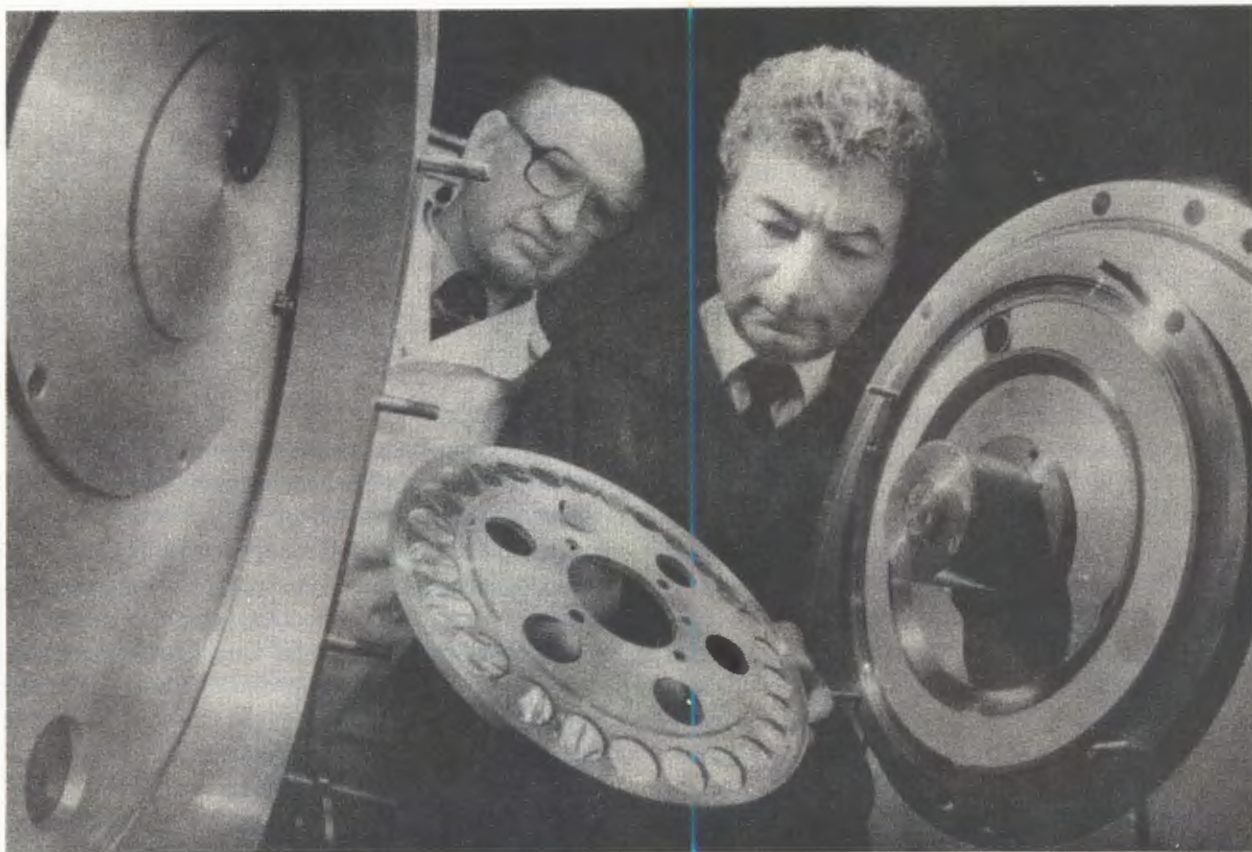


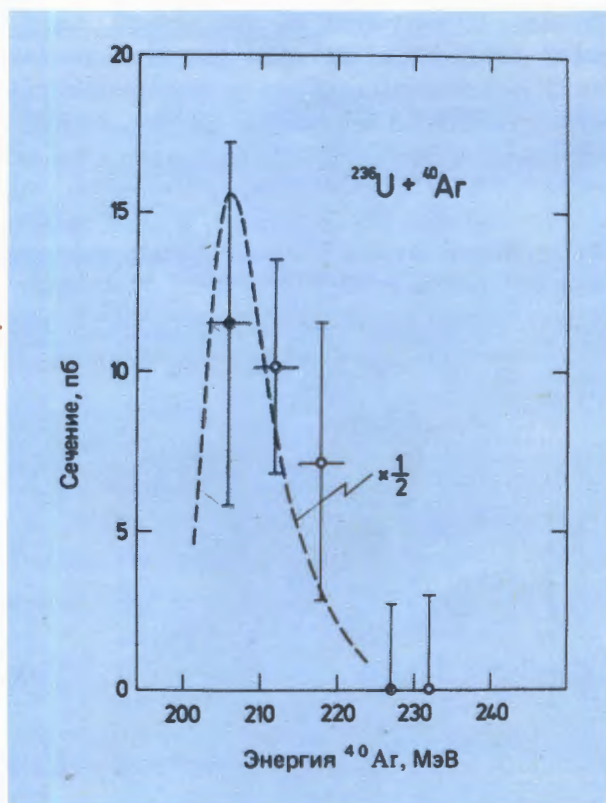
Рис. 1. Зависимость сечения реакции (Н1,п) от атомного номера комплаунд-ядра при облучении мишеней  $^{208}\text{Pb}$  и  $^{209}\text{Bi}$  различными ионами.



С помощью установки "Диски" в реакциях  $^{235,236}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  синтезирован спонтанно делящийся изотоп 110-го элемента.

ся для продуктов реакции полного слияния. Из сопоставления экспериментальных значений сечения образования спонтанно делящегося нуклида, полученных в реакциях  $^{235,236}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$ , с расчетами и результатами контрольных опытов  $^{232}\text{Th} + ^{40}\text{Ar}$  сделан вывод о том, что наблюдаемая активность связана с распадом 110-го элемента (рис. 2). Следует отметить, что период полураспада этого нуклида в пределах ошибок совпадает с данными, полученными для излучателя, наблюдавшегося в Лаборатории в 1986 г. в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{44}\text{Ca}$ . В целом вся совокупность проведенных опытов свидетельствует о возможности дальнейшего продвижения в область новых трансактинидных элементов на основе реакций горячего слияния сложных ядер<sup>/3/</sup>.

Рис. 2. Сечение образования спонтанно делящихся ядер с  $T_{1/2} \sim 10$  мс в реакции  $^{236}\text{U} + \text{Ar}$  в зависимости от энергии ионов Ar. Пунктирная кривая — расчет для реакции с испарением 4 нейтронов.



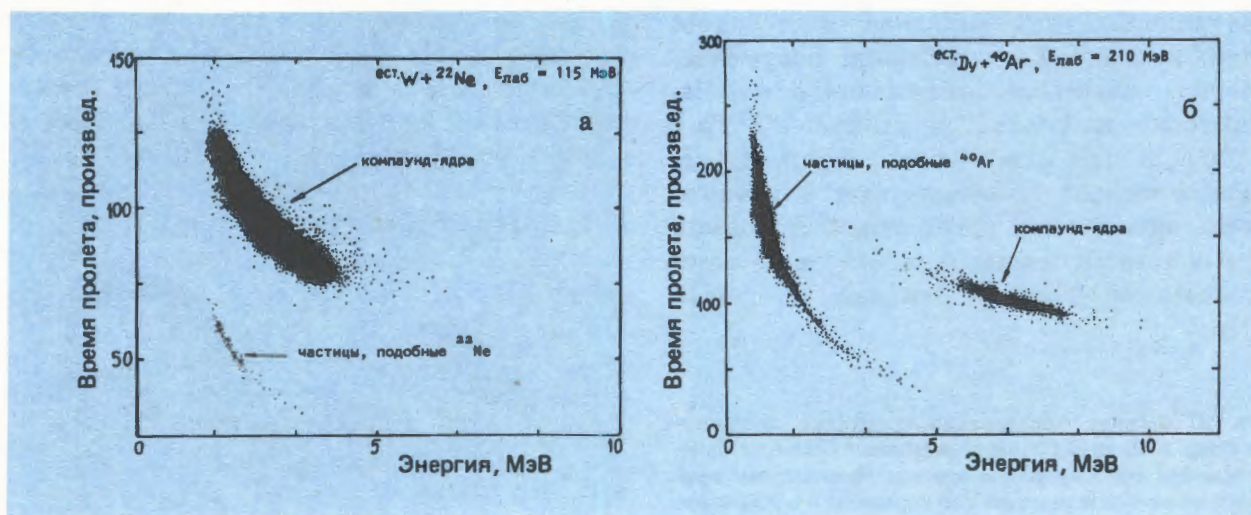
Реакция	Е <sub>л.с.</sub> МэВ	Сечение (микробарны)			
		A = 239	Am 240	242	Cm 240 242
$^{40}\text{Ar} + ^{235}\text{U}$	225			0,25	10 6
$^{40}\text{Ar} + ^{236}\text{U}$	209	200	140	5,3	8 16
$^{40}\text{Ar} + ^{238}\text{U}$	208			130	2,3 26

Детально исследовались закономерности образования продуктов неполного слияния в реакциях  $^{235,236,238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$ . Проводилось поэлементное химическое выделение продуктов в диапазоне от U до Fm. Идентификация массового числа изотопов с данными Z производилась путем измерения спектров  $\alpha$ -,  $x$ - и  $\gamma$ -излучений каждой химической фракции. В табл. 1 приведены полные сечения образования ряда изотопов Am и Cm в этих реакциях<sup>2/</sup>.

2. На сепараторе продуктов полного слияния "Василиса" исследован ряд модельных реакций, приводящих к образованию продуктов распада компаунд-ядер с сечением в интервале  $10^{-25} \div 3 \cdot 10^{-33} \text{ см}^2$  (табл. 2). В экспериментах использовалась система регистрации в фокальной плоскости сепаратора, которая состояла из детектора времени пролета и поверхностно-барьерного Si-Au детектора. На рис. 3 представлены спектры  $E \cdot \Delta t$  для ядер отдачи

в реакциях  $\text{ест. W} + ^{22}\text{Ne}$  и  $\text{ест. Ду} + ^{40}\text{Ar}$ . В табл. 2 указана эффективность сепаратора ( $\epsilon$ , %), то есть вероятность попадания компаунд-ядер, выбитых из мишени, на Si-Au детектор, а также коэффициент очистки (K), то есть отношение числа бомбардирующих ионов, прошедших через мишень, к числу всех продуктов (кроме компаунд-ядер) с энергией  $> 1$  МэВ, попавших на Si-Au детектор. На рис. 4 показан спектр  $\alpha$ -частиц, зарегистрированных от  $\alpha$ -распада имплантированных в Si-Au детектор продуктов реакции  $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$ . В спектре четко прослеживаются цепочки  $\alpha$ -распадов продуктов реакции с испарением из компаунд-ядра  $^{219}\text{Ac}$  следующих групп нуклонов и  $\alpha$ -частиц:  $3n, 4n, 5n, r3n, a3n, a4n$ . Измерены функции возбуждения для этой реакции в диапазоне энергий  $^{22}\text{Ne}$  от 202 до 216 МэВ. Проведены эксперименты по поиску короткоживущих изотопов 110-го элемента в реакции  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$ . На рис. 5а представлен зарегистрированный спектр  $\alpha$ -

Рис. 3. Спектр энергия — время пролета продуктов реакций  $\text{ест. W} + ^{22}\text{Ne}$  (а) и  $\text{ест. Ду} + ^{40}\text{Ar}$  (б), перед Si-Au детектором установлена пленка из лавсана, 3 мкм.

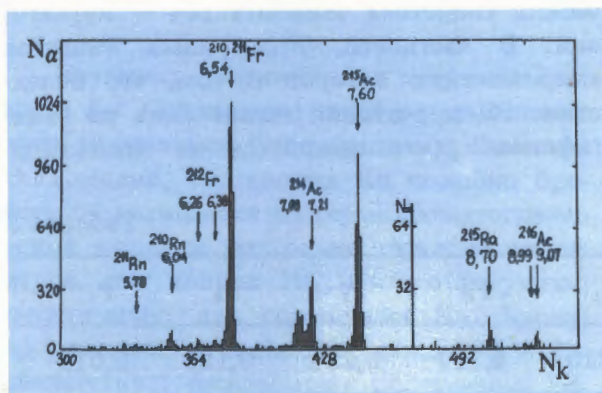


Реакция	$\epsilon, \%$	K	$\sigma, \text{см}^2$
$^{166}\text{Er}(^{31}\text{P}, 5-6n)^{192,191}\text{Bi}$	12	$10^{12}$	$10^{-25}$
$^{182}\text{W}(^{22}\text{Ne}, 4-5n)^{200,199\text{m}}\text{Po}$	5	$10^{12}$	$10^{-25}$
$^{*ST}\text{Dy}(^{40}\text{Ar}, 4-5n)^{200-196}\text{Po}$	25	$10^{10}$	$10^{-26}$
$^{197}\text{Au}(^{22}\text{Ne}, 3-5n)^{216-214}\text{Ac}$	5	$10^{12}$	$0,3-3 \cdot 10^{-27}$
$^{197}\text{Au}(^{22}\text{Ne}, \alpha 4n)^{211}\text{Fr}$	0,5	$10^{12}$	$10^{-26}$
$^{181}\text{Ta}(^{26}\text{Mg}, 5n)^{202}\text{At}$	10	$10^{12}$	$10^{-27}$
$^{208}\text{Pb}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{226}\text{U}$	5	$10^{12}$	$10^{-28}$
$^{206}\text{Pb}(^{40}\text{Ar}, 2n)^{244}\text{Fm}$	30	$10^{11}$	$3 \cdot 10^{-33}$

частиц, а на рис. 5б приведены данные о временной корреляции  $\alpha$ - $\alpha$  цепочек в диапазоне времени от 1,5 до 30 мс. Для искомой цепочки  $^{278-x}110\text{Fr}$   $^{274-x}108\text{Fr}$   $^{270-x}106$  при энергии ионов Ar, равной 225 МэВ, получен предел поперечного сечения реакции  $^{238}\text{U}(^{40}\text{Ar}, xn)^{278-x}110$ , равный  $\sigma < 6 \cdot 10^{-35} \text{см}^2$ . Показано, что в реакции  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  в основном наблюдаются изотопы Ra-Th. По их выходу можно оценить коэффициент очистки от этих продуктов сепаратора, который равен  $\sim 5 \cdot 10^3$ , коэффициент очистки от бомбардирующих ионов с энергией  $> 50$  МэВ составляет  $\sim 10^{15}$ , а с учетом запрета временного детектора —  $\sim 3 \cdot 10^{17}$ . Оценки показывают, что на установке "Василиса" можно проводить поиск  $\alpha$ -радиоактивных и спонтанно делящихся изотопов элементов с  $Z > 110$ , имеющих период полураспада  $> 3$  мкс с сечением  $\sigma > 5 \cdot 10^{-36} \text{см}^2$ .

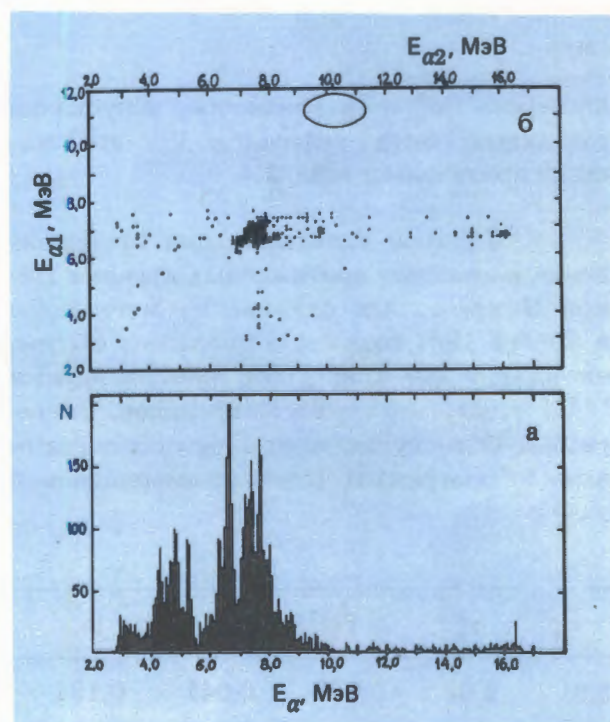
3. С помощью системы, включавшей в себя детекторы осколков деления, нейтро-

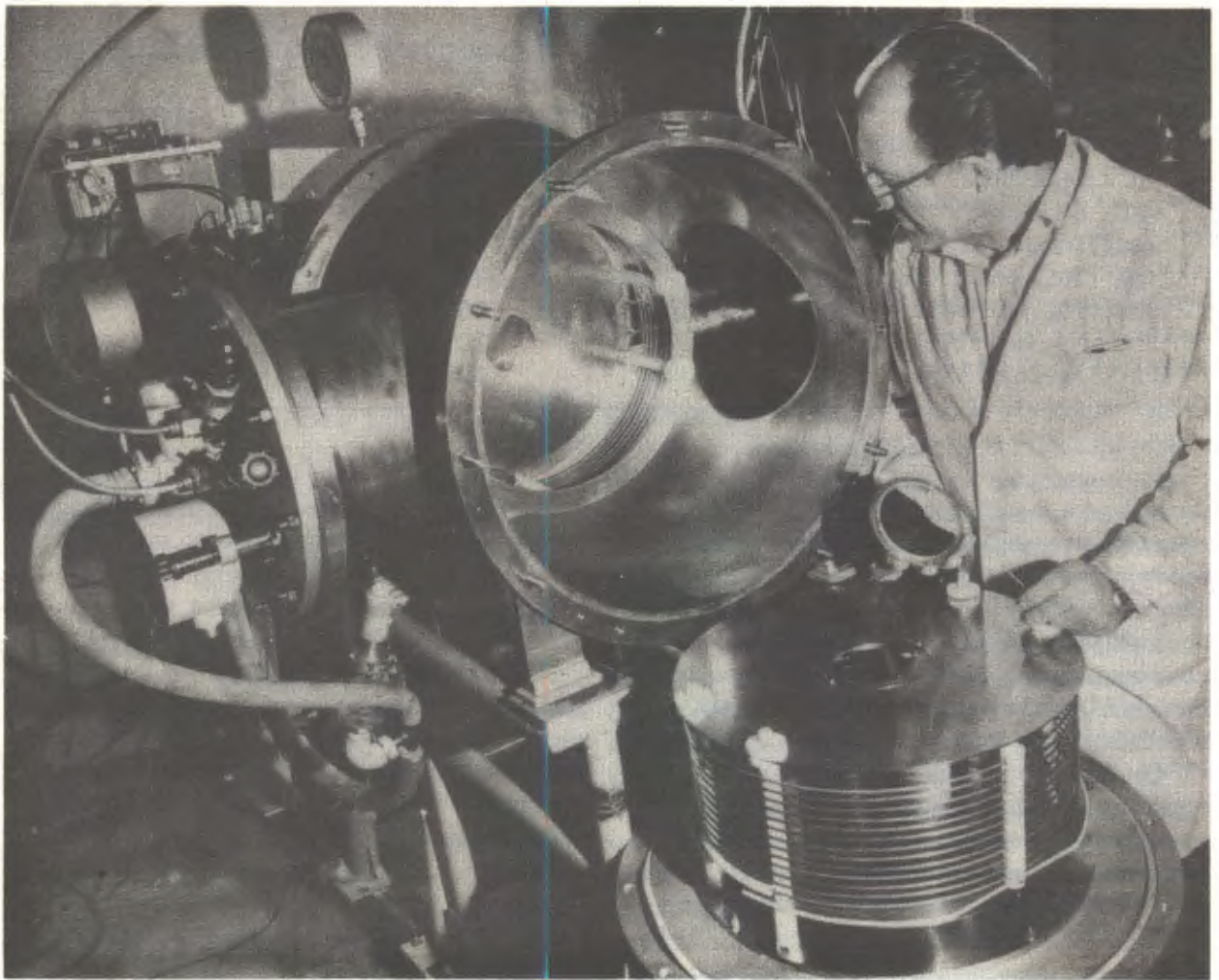
рис. 4. Спектр  $\alpha$ -частиц продуктов реакции  $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$ ,  $E_{\text{лаб}} = 102$  МэВ.



нов и гамма-квантов<sup>14</sup>, проведены измерения параметров мгновенного нейтронного и гамма-излучения от спонтанного деления  $^{256}\text{Fm}$ . Этот изотоп получали как продукт реакции передачи  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  ( $E_{\text{лаб}} = 125$  МэВ). Среднее число гамма-квантов деления составило  $\bar{\nu}_\gamma = 6,19$ , дисперсия распределения гамма-квантов по множественности равнялась  $\sigma_\gamma^2 = 4,03$ . Для распределения мгновенных нейтронов по множественности получены среднее число  $\bar{\nu}_n$ ,

рис. 5. Спектр  $\alpha$ -частиц продуктов реакции  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$ ,  $E_{\text{лаб}} = 225$  МэВ (а);  $\alpha$ - $\alpha$  корреляции, спектр  $\alpha$ -частиц  $E_{\alpha 1}$  в корреляции с энергией  $E_{\alpha 2}$   $\alpha$ -частиц, зарегистрированных за 1,5 — 30 мс после момента регистрации  $\alpha 1$  (б).





С использованием сепаратора продуктов реакций полного слияния сложных ядер (установка "Василиса") проведены эксперименты по поиску в реакциях  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  короткоживущих  $\alpha$ -радиоактивных изотопов 110-го элемента.

дисперсия  $\sigma_n^2$  и вероятности испускания различных чисел нейтронов  $P_\nu$ , эти значения приведены в табл. 3.

4. С целью идентификации происхождения anomalно протяженных древних треков в кристаллах оливина из метеоритов в ноябре 1987 года было проведено облучение свыше 200 кристаллов оливина ядрами  $^{238}\text{U}$  с энергией  $\sim 90$  МэВ/нуклон. Эксперимент был осуществлен в рамках согласованной программы советско-американской

комиссии по исследованию фундаментальных свойств материи в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли (США) на ускорителе Бавалак.

5. Исследовался вопрос о проявлении "релятивистских эффектов" (РЭ) в химических свойствах элемента 104 — курчатовия. В частности, проверялась гипотеза американских авторов о том, что вследствие РЭ курчатовий может быть не "экагафнием" (что ожидается из закономер-

Таблица 3

$\bar{\nu}_n$	$\sigma_n^2$	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$
3,91	2,02	0,005	0,041	0,124	0,215	0,257	0,220	0,122	0,018

ностей системы Менделеева), а скорее "экасвинцом". Релятивистский (по уравнениям Дирака — Фока) многоконфигурационный расчет (468 j-j конфиг.) показал, что основное состояние атома Ку определяется конфигурацией  $ds^2p$ , оно несколько ниже уровня  $s^2d^2$ , характерного для основного состояния атомов d-элементов Ti — Hf. При этом, однако, структура низколежащих возбужденных уровней Ку такова, что при образовании химических связей он должен вести себя как типичный d-элемент. Таким образом, структура атома Ку из-за РЭ несколько отличается от Hf, однако далека от структуры атома Pb (рис. 6).

Экспериментально найдено, что в отличие от атомов Pb (а также от Ti и Au) атомы Ку (их получено 30) и Hf не проходят через хроматографическую колонку при 1200°С. Сделан вывод, что теплота возгонки металлического Ку по крайней мере в два раза выше, чем у Pb.

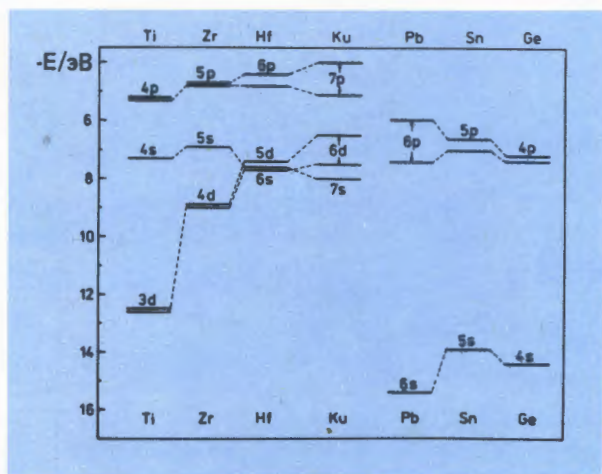


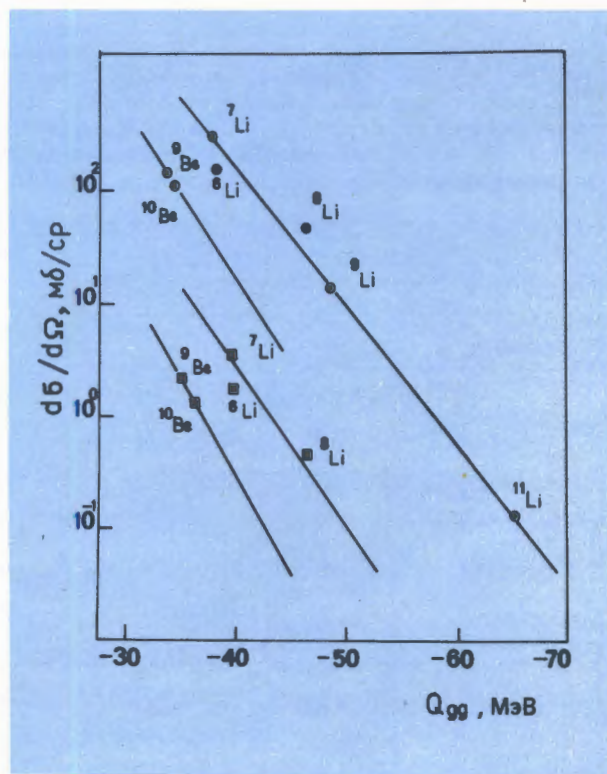
Рис. 6. Диаграмма собственных энергий валентных орбиталей в атомах элементов IV группы (многоконфигурационный расчет методом Дирака — Фока).

Изучалась сравнительная летучесть хлоридов Ку (36 атомов) и Hf с целью выявления возможных, более тонких проявлений РЭ. Найдено, что хлорид Ку подобно бромиду<sup>/5/</sup> осаждается на термохроматографической колонке несколько ниже по температуре, чем хлорид Hf, и что образуются, по-видимому, два соединения Ку. Характер различий в свойствах между Hf и Ку соответствует ожидаемому проявлению РЭ.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛОЖНЫХ ЯДЕР

1. На циклотроне У-400, в реакциях с ускоренными до энергии  $\sim 20$  МэВ/нуклон ионами  $^{11}\text{B}$ ,  $^{20,22}\text{Ne}$ , продолжались эксперименты по исследованию свойств сверхтяжелых изотопов легчайших элементов<sup>/6/</sup>. Показано (рис. 7), что повышение энергии от 10 до 20 МэВ/нуклон приводит к существенному росту сечения образования нейтронообогащенных изотопов<sup>/7/</sup>. Проведен цикл экспериментов по измерению сечений заселения основных и возбужденных состояний изотопов гелия в реакциях перестройки с ионами  $^9\text{Be}$  и  $^{11}\text{Be}$  (табл. 4)<sup>/8/</sup>. С помощью магнитного спектрометра измерялись спектры сопряженных продуктов в бинарных реакциях с энергетическим разрешением  $\sim 300$  кэВ. Впервые обнаружены возбужденные состояния в изотопах  $^7\text{He}$  и  $^8\text{He}$  (рис. 8). Проводились поиски ядер  $^{13}\text{Li}$  в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{20,22}\text{Ne}$  при энергии бомбардирующих ионов 18 МэВ/нуклон, получена верхняя граница сечения образования  $\sigma < 10^{-33}$  см<sup>2</sup>/МэВ·ср.

Рис. 7. Систематика сечений образования изотопов бериллия и лития в реакциях  $\blacksquare$  —  $^{181}\text{Ta} + ^{22}\text{Ne}$  (178 МэВ) и  $\bullet$  —  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  (360 МэВ).



Реакция	Энергия ионов, МэВ	Энергия возбуждения, МэВ	Предельный спин составного ядра, $\hbar$
$^{181}\text{Ta} + ^{52}\text{Cr}$	378	130	60 - 70
$^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$	180	137	65

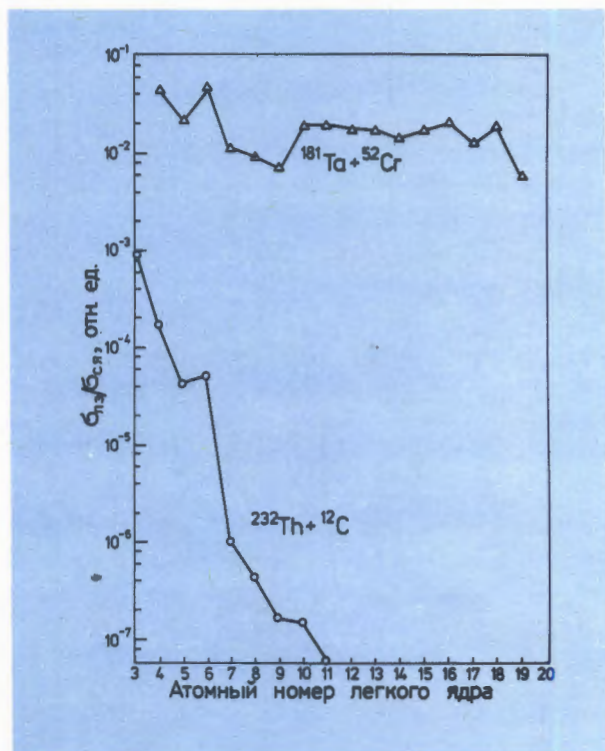


Рис. 11. Сопоставление сечений образования легких элементов в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{54}\text{Cr}$  (378 МэВ) и  $^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$  (180 МэВ), нормированных на сечение образования составного ядра.

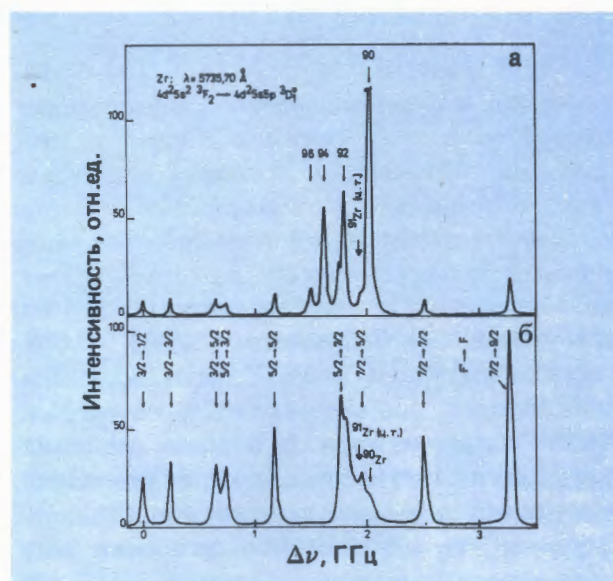
циях их основным источником является эмиссия из составного ядра, то можно ожидать близких сечений образования ядер легких элементов. Однако эксперимент демонстрирует резкое различие и в величинах сечений, и в формах зарядовых распределений продуктов реакций. В реакции с ионами  $^{52}\text{Cr}$  сечение образования легких элементов сравнительно мало изменяется вплоть до  $Z = 19$ . Напротив, в реакции с ионами  $^{12}\text{C}$  оно почти экспоненциально падает с увеличением  $Z$ , и элементов тяжелее натрия в этой реакции вообще не удалось зарегистрировать. Для  $Z = 10, 11$  различие между нормированными сечениями достигает пяти порядков. Объяснить такое большое различие в сечениях разницей числа нейтро-

нов в обоих составных ядрах не удается.

Не исключено, что этот эффект может быть объяснен, по крайней мере качественно, на основе новых представлений о процессе формирования составного ядра в реакциях с тяжелыми ионами<sup>[10]</sup>. Одним из следствий этих представлений является возможность распада двойной ядерной системы на пути к полному слиянию за счет центробежной фрагментации.

5. Проведена модернизация лазерной установки: для формирования пучка исследуемых атомов использовалось импульсное лазерное излучение мощностью до  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup> (в импульсе). Это позволило перейти к исследованиям изотопов, входящих в состав тугоплавких материалов. Были проведены измерения изотопических сдвигов в атомных спектрах циркония (рис. 12). Полученные из изотопических сдвигов значения разностей зарядовых ра-

Рис. 12. Спектр резонансной флуоресценции Zr: а - образец натурального изотопного состава; б - сверхтонкая структура  $^{91}\text{Zr}$ , наблюдаемая на обогащенном образце  $^{91}\text{ZrO}_2$ .



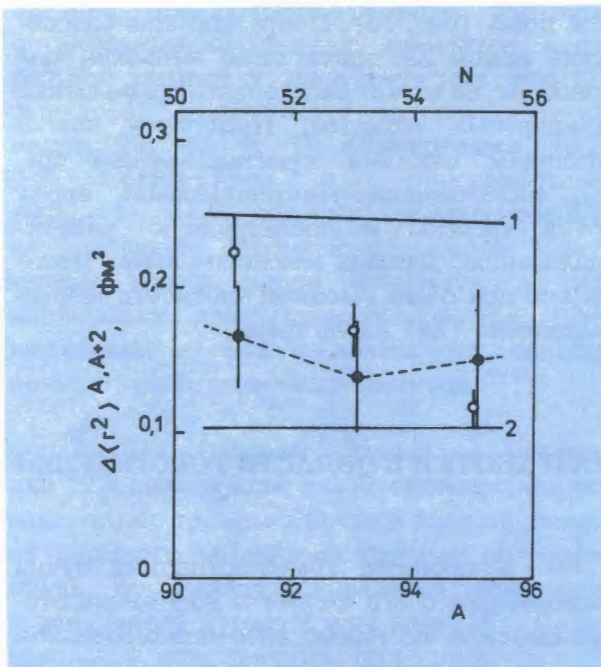


Рис. 13. Зависимость разности зарядовых радиусов соседних четно-четных ядер Zr от их массового числа: O — экспериментальные значения; 1, 2 — рассчитанные по капельной модели значения с различными параметрами сжимаемости; ● — расчетные значения с учетом квадрупольной и октупольной деформации.

Рис. 14. Относительный выход  $\chi$  ядер отдачи вдоль кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$  Si в зависимости от энергии бомбардирующих ионов  $^{27}\text{Al}$  (а) и  $^{40}\text{Ar}$  (б). Точки соответствуют углам регистрации:  $\circ$  —  $64^\circ$  и  $\bullet$  —  $54^\circ$ . Сплошная линия соединяет точки, штриховая дает извлеченные из эксперимента величины смещения  $S_{\text{BT}}$  за счет длительности распада возбужденного продукта.

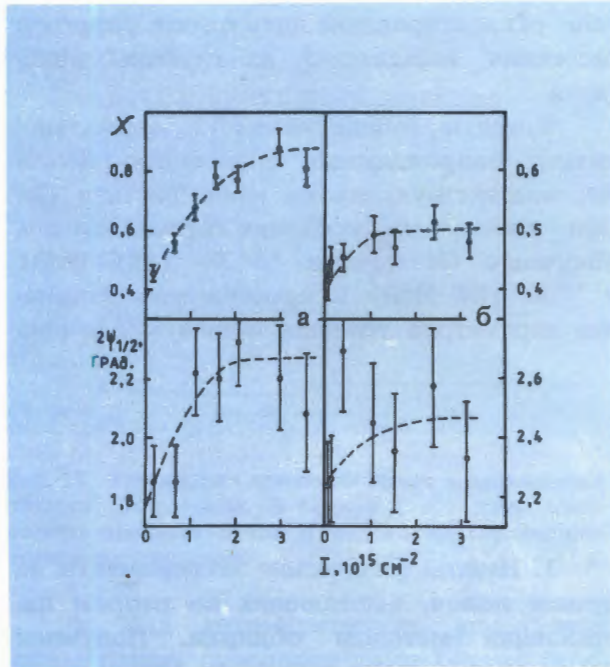
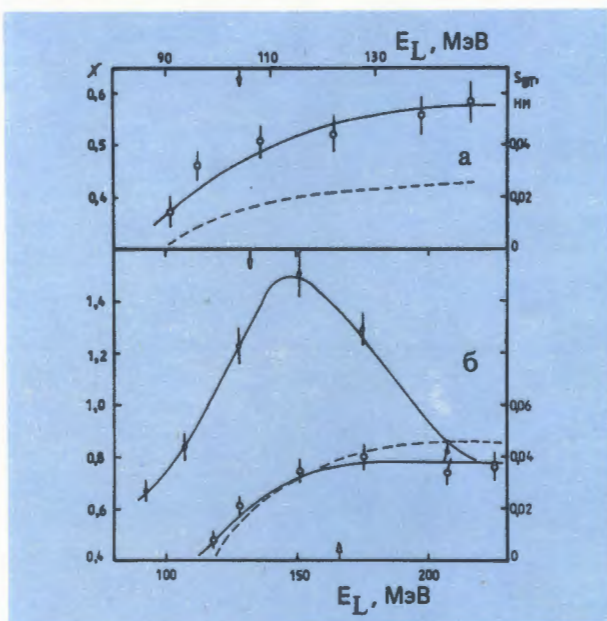


Рис. 15. Выход в теновом минимуме  $\chi$  и угловая полуширина  $\psi_{1/2}$  в зависимости от дозы ионов  $^{40}\text{Ar}$  с энергией 24 МэВ (а) и  $^{129}\text{Xe}$  с энергией 121 МэВ (б). Значения  $\chi$  и  $\psi_{1/2}$  получены для кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$  Ge при регистрации продуктов упругого рассеяния под углом  $49^\circ$  (а) и  $54^\circ$  (б) к пучку. Штриховая линия соединяет точки.

диусов ядер Zr согласуются с расчетами по капельной модели только при учете октупольной деформации (наряду с квадрупольной) ядер  $^{111}$  (рис. 13). Исследована сверхтонкая структура атомных спектров нечетных изотопов Zr, Nd, Sm и Gd. Эти измерения позволили определить значения ядерных моментов и изменения зарядовых радиусов при добавлении к остову нечетного нейтрона  $^{112}$ . Обсуждается связь измеренных величин с квантовыми характеристиками нечетного нейтрона.

6. Исследованы ориентационные эффекты, возникающие при взаимодействии тяжелых ионов с монокристаллами Si. В угловом распределении ядер отдачи упругого и неупругого взаимодействий зафиксирован эффект теней и обнаружено увеличение выхода в теновом минимуме с ростом энергии ионов, связанное с влиянием длительности распада продуктов неупругих столкновений ядер (рис. 14). Выяснены условия, при которых наблюдаются максимумы выхода частиц вдоль кристаллографических направлений, то есть зафиксиро-



вано реканалирование ядер отдачи упругого рассеяния, выходящих из глубины кристалла.

Впервые обнаружена<sup>13</sup> аномально низкая повреждающая способность ионов Хе, воздействующих на монокристалл Ge. При идентичных условиях производилось облучение Ge ионами  $^{129}\text{Xe}$  (121 МэВ) и  $^{40}\text{Ar}$  (24 МэВ) и сравнивалось изменение параметров теневых минимумов с рос-

том дозы (рис. 15). Повреждающая способность ионов Хе, значительно меньшая, чем ионов Ar, не может быть объяснена в рамках стандартных моделей. Предложен новый механизм отклика кристаллической среды, включающий микроплавление вдоль трека частицы и последующую рекристаллизацию. Данный механизм имеет место только при очень высокой плотности энерговыделения (Хе) вдоль трека.

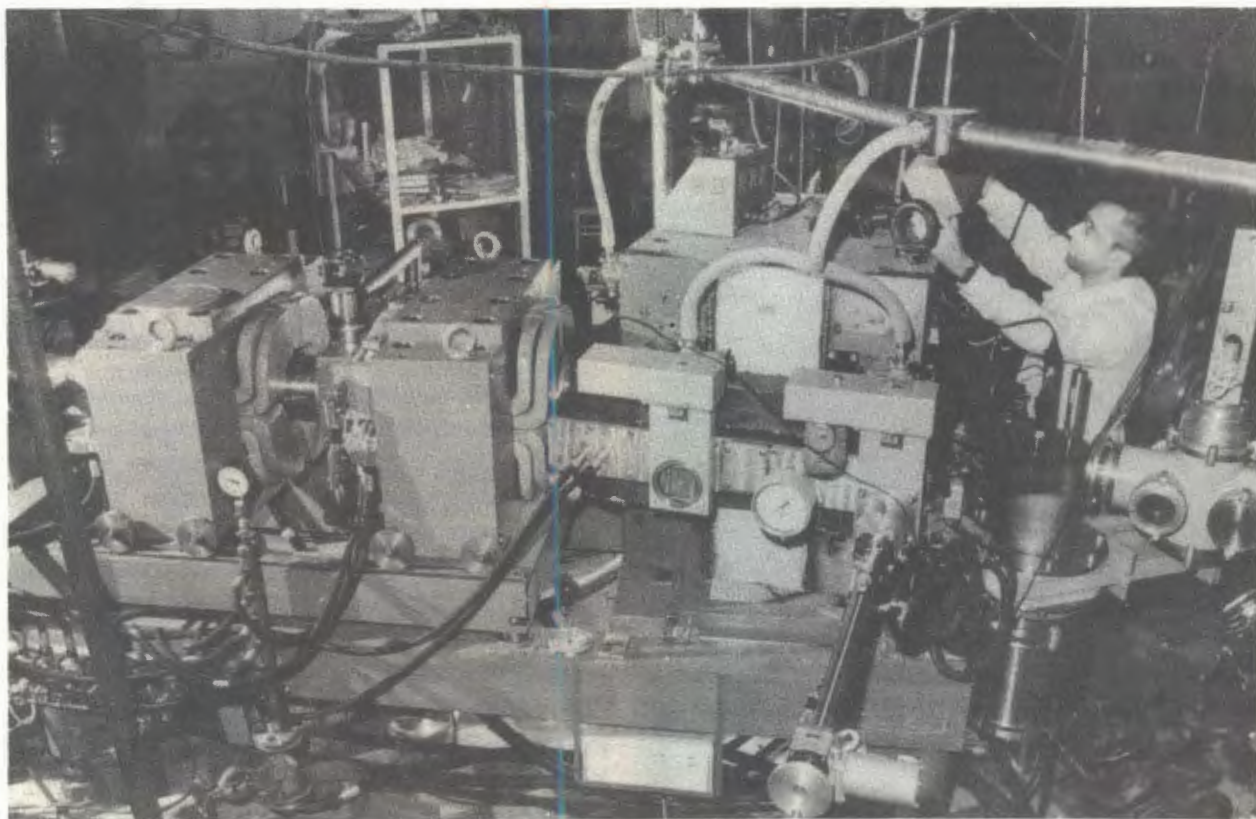
## РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ УСКОРИТЕЛЕЙ

1. Начаты физические эксперименты на пучках ионов, выведенных во втором направлении методом обдирки. Получены пучки ионов  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{90}\text{Zr}$  с энергиями (5-8) МэВ/нуклон и интенсивностями  $(10^{12} - 10^{13})^{-1}$  с. Эффективность транспортировки пучков по каналам составляет (70-90)%, размер пучка на удаленной физической мишени не превышает в диаметре

1 см. В процессе транспортировки пучка информация о его форме и положении отображается с помощью автоматизированной системы контроля параметров (АСКП) на дисплее.

2. На циклотроне У-300 впервые реализован режим ускорения тяжелых ионов на пятой гармонике частоты обращения. На ос-

Испытания на пучках ионов Та, Рб и U ускорителя У-300 газонаполненного масс-сепаратора, предназначенного для экспериментов по синтезу новых трансфермиевых элементов.



новании проведенных расчетов выбраны оптимальные положения элементов центральной оптики и электростатического дефлектора. Получены выведенные пучки ионов Ta, Pb и U с энергиями (0,2-0,5) МэВ/нуклон и интенсивностями (0,5 - 1) мкА, которые протрассированы на удаленную физическую мишень. Полученные пучки ионов используются для калибровки детектирующих систем, применяемых в экспериментах по синтезу новых трансфермиевых элементов.

3. На системе аксиальной инъекции<sup>/14/</sup> циклотрона У-200 проводились исследования транспортировки пучков ионов из внешнего источника. Изучено движение пучка по каналу аксиальной инъекции и вакуумные потери в нем (рис. 16). Получено, что при энергии инъекции, равной 15 кВ, при вакууме  $10^{-5}$  Торр из-за перезарядки на остаточном газе теряется не более 10% пучка. Исследованы условия прохождения пучка через электростатический инфлектор (рис. 17). Получен максимальный коэффициент трансмиссии от анализирующего магнита до конечного радиуса ускорения без банчировки пучка  $\sim 3,8\%$ . Экспериментальные результаты хорошо согласуются с расчетными. Проведены эксперименты по получению интенсивных ионных пучков из дуоплазмотрона. Выполнены первые эксперименты на физической мишени с использованием ускоренного пучка ионов из внешнего источника.

Рис. 16. Зависимость тока пучка ионов  ${}^4\text{He}^{1+}$  на входе в инфлектор от вакуума в канале внешней инъекции.

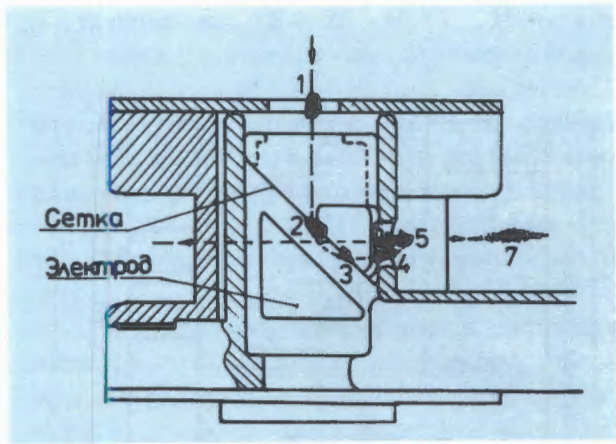
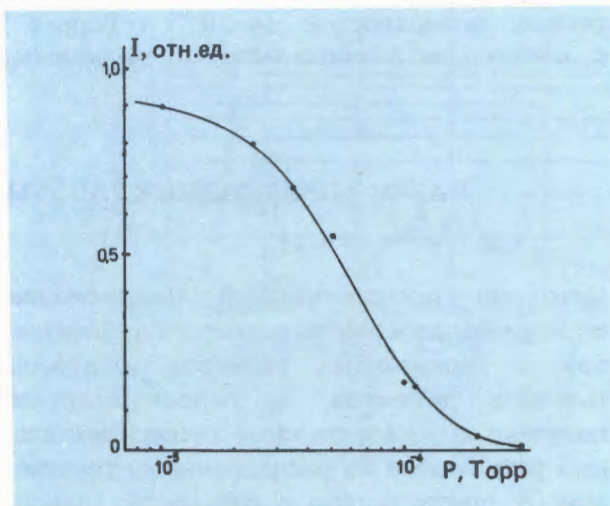


Рис. 17. Траектория движения пучка в центральной области циклотрона. В точках 1 - 7 даны измеренные профили пучка в плоскости, перпендикулярной его движению.

4. Для автоматического управления параметрами, определяющими режим работы циклотронного источника ионов, разработана подсистема (рис. 18) управления дуговым источником многозарядных ионов циклотрона У-400 на базе двух крейтов КАМАК с интеллектуальными микропроцессорными контроллерами<sup>/15/</sup>. Подсистема осуществляет автоматический вывод источника на заданный режим: зажигание разряда и получение заданной мощности распыления рабочего вещества, а также стабилизацию характеристик в этом режиме. Время вывода на режим с приведенной погрешностью настройки параметров  $1\% \sim 5$  мин.

5. С целью изучения возможности повышения эффективности извлечения ионов из плазмы в лазерном источнике ионов проведено исследование количественных и пространственно-временных характеристик ионной компоненты лазерной плазмы при ее разлете в неоднородном магнитном поле. Максимальные величины длительности импульса и количество ускоренных ионов  ${}^{12}\text{C}^{3+}$  на циклотроне У-200 с использованием  $\text{CO}_2$ -лазера составили 14 мкс и  $1,8 \cdot 10^{10}$  частиц/импульс соответственно, что превышает ранее полученные результаты на лазерных источниках ионов для циклотрона У-200<sup>/16/</sup>.

6. Продолжались работы по созданию циклотронного комплекса тяжелых ионов У-400 + У-400М. В 1987 году изготовлены

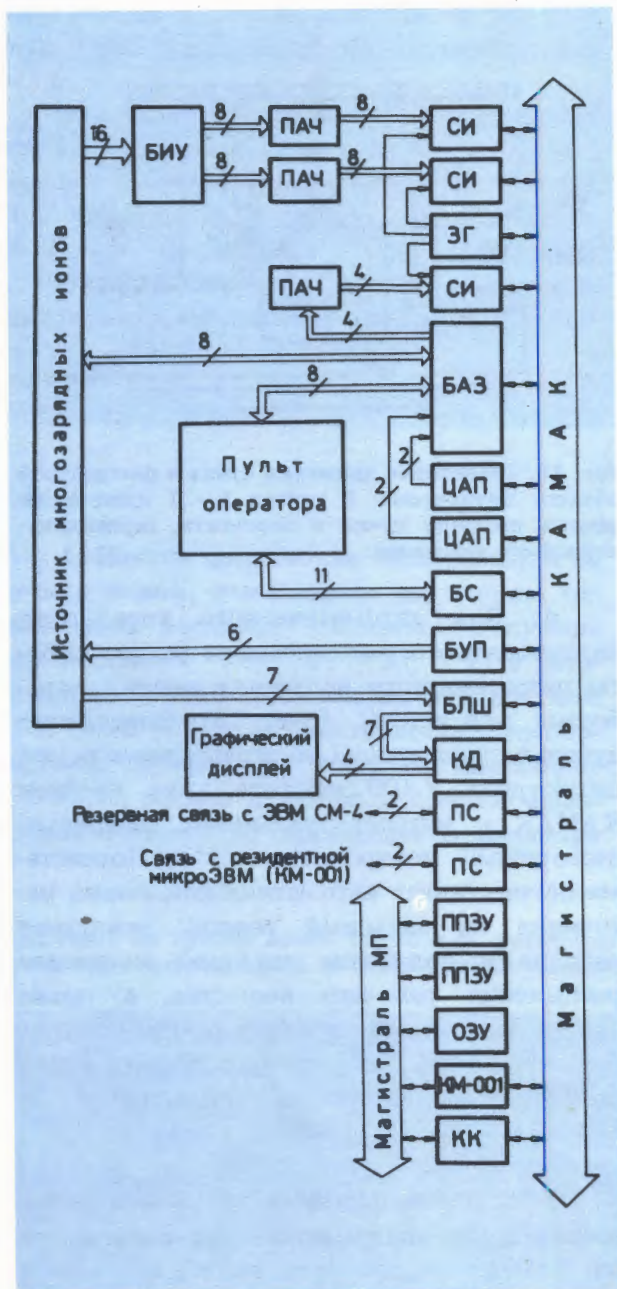
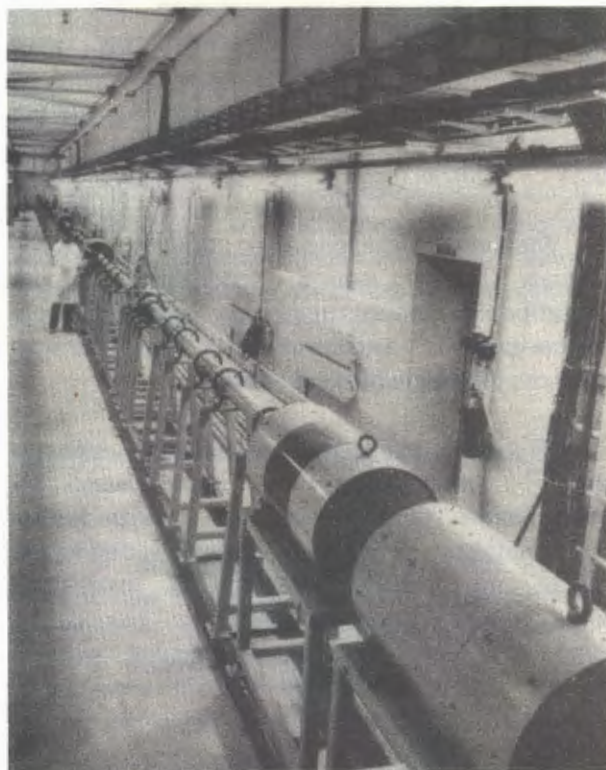


Рис. 18. Блок-схема подсистемы контроля параметров и автоматического управления режимом работы источника ионов.



Ведутся работы по созданию канала транспортировки частиц из ускорителя У-400 в ускоритель У-400М.

и подготовлены к монтажу элементы усиления электромагнита, произведена сборка полюсных наконечников. Создана аппаратура для измерения магнитного поля, связанная с персональным компьютером "Правец-16", которая испытана в процессе измерения поля на модели магнитной структуры циклотрона У-400М в масштабе 1:3. Выполнена контрольная сборка вакуумной камеры и проведены ее испытания. Измеренные величины внешнего натекания ( $2 \cdot 10^{-3}$  л·Торр·с<sup>-1</sup>) и газоотделения с внутренних поверхностей ( $4 \cdot 10^{-9}$  л·Торр·с<sup>-1</sup> с одного см<sup>2</sup>) соответствуют расчетным.

## НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

1. Методом измерения микротвердости изучено радиационное упрочнение ряда чистых металлов (никеля, ванадия, алюминия, меди) при их облучении ионами ксенона с энергией 124 МэВ. Показано, что степень радиационного упрочнения стремится к насыщению с увеличением дозы облучения.

Методами просвечивающей микроскопии определены дозовые зависимости концентраций и характерных размеров кластеров точечных дефектов, на основе которых получено хорошее согласие экспериментальных результатов по радиационному упрочнению с предсказаниями барьерной модели

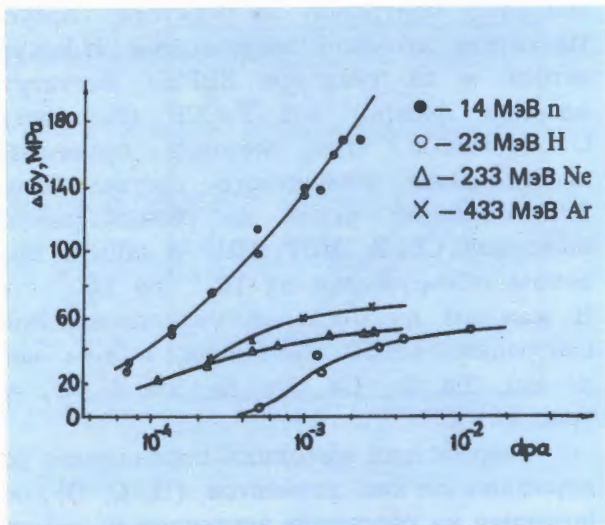


Рис. 19. Дозовые зависимости изменения предела текучести меди при облучении ● — нейтронами (14 МэВ), ○ — протонами (23 МэВ), Δ — ионами неона (233 МэВ) и X — аргона (433 МэВ). Величина дозы выражена в числе смещений на атом (dpa).

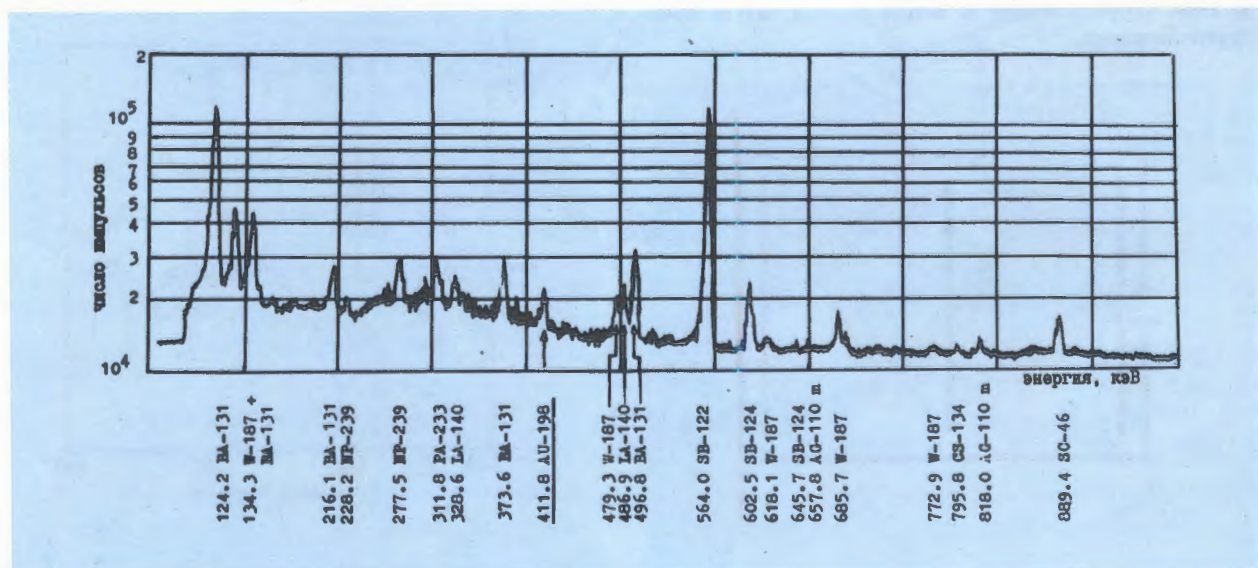
упрочнения. Изучалось также радиационное упрочнение меди при облучении ионами Ne ( $E = 233$  МэВ) и Ar ( $E = 430$  МэВ) по изменению предела текучести  $\Delta\sigma_y$  в зависимости от дозы облучения (рис. 19). Здесь также обнаруживается насыщение эффекта упрочнения и наблюдаются различия в характере дозовых зависимостей при сравнении с результатами экспериментов, полученных в других центрах при облучении меди нейтронами ( $E = 14$  МэВ)

и протонами ( $E = 23$  МэВ). Измерение плотности радиационных дефектов, проведенное методами электронной микроскопии и рентгеновской дифракции, показало, что при облучении заряженными частицами нет однозначной корреляции между монотонно возрастающей плотностью дефектов и эффектом насыщения предела текучести<sup>17-18</sup>.

2. Проведено исследование радиационного распухания меди, облученной ионами ксенона ( $E = 124$  МэВ) и меди ( $E = 63,5$  МэВ), в температурном интервале от  $400^\circ\text{C}$  до  $700^\circ\text{C}$ . Получены дозовые и температурные зависимости радиационного распухания. При облучении меди ионами ксенона обнаружен аномально большой температурный сдвиг максимума распухания по сравнению с имеющимися литературными данными и результатами, полученными при облучении меди ионами меди ( $E = 63,5$  МэВ).

3. Изучено изменение электромеханических свойств кристаллов окиси цинка при их облучении ионами углерода и аргона высоких энергий. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что облучение тяжелыми ионами существенно улучшает пьезоэлектрические свойства данных кристаллов, что, по-видимому, обусловлено радиационно стимулированными процессами перераспределения примеси лития.

Рис. 20. Гамма-спектр одного из образцов углей. Под каждым пиком приведена энергия гамма-линии и ее принадлежность к определенному изотопу.



4. Исследовано дефектообразование в кристаллах алмаза (методами фото- и катодолюминесценции) при облучении их ионами ксенона ( $E = 124$  МэВ) и меди ( $E = 63,5$  МэВ). Показано, что облучение приводит к значительному перераспределению примеси азота, образующей оптически активные центры. Определены зависимости концентраций оптически активных центров по пробегу тяжелых ионов, что позволяет сделать вывод о значительном вкладе в их образование энергетических потерь за счет электронного торможения тяжелого иона.

5. Разработаны методы многоэлементного анализа углей и углистых пород с использованием тормозного излучения электронов и фотонейтронов от уран-бериллиевого конвертора на микротроне, а также

тепловых нейтронов на реакторе "Аргус" Института атомной энергии им. И.В.Курчатова и на реакторе ВВР2М Института ядерной физики АН УзССР (Ташкент). С помощью этих методов проведены исследования элементного состава более 700 образцов углей из разных месторождений СССР, МНР, ПНР и НРБ с пределом обнаружения от  $10^{-6}$  до  $10^{-7}$  г/г. В каждом из образцов определены концентрации 40÷50 элементов, в том числе Au, Tr, In, Ga, Pb, Bi, Th, U, W, Ag (рис. 20) <sup>19-22</sup>.

Разработана методика определения содержания легких элементов (H, C, O), основанная на рассеянии эпитепловых нейтронов на резонансных поглотителях с использованием радиоизотопных источников и микротрона <sup>123</sup>.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

1. Для регистрации  $\alpha$ -распада спонтанного деления продуктов реакций полного слияния ядер на установке "Василиса" построена двойная ионизационная камера, схема которой показана на рис. 21. Компаунд-ядра, сепарированные на установке "Василиса", входят в объем камеры и оста-

навливаются в ее рабочем газе на расстоянии 1-2 см от входного окна, которое представляет собой лавсановую пленку толщиной 0,5-2 мкм и диаметром 7 см. При заполнении камеры смесью аргона и метана, имеющих высокие потенциалы ионизации, большинство атомов после полной остано-

Рис. 21. Схема двойной ионизационной камеры установки "Василиса":  $A_1$  и  $A_2$  — аноды камер, K — катод; вторая камера имеет сетку Фриша. Компаунд-ядра проходят через входное окно (слева) и тонкую пленку в аноде  $A_1$ , тормозятся в газе (группа точек у анода  $A_1$ ), а затем дрейфуют на катод.

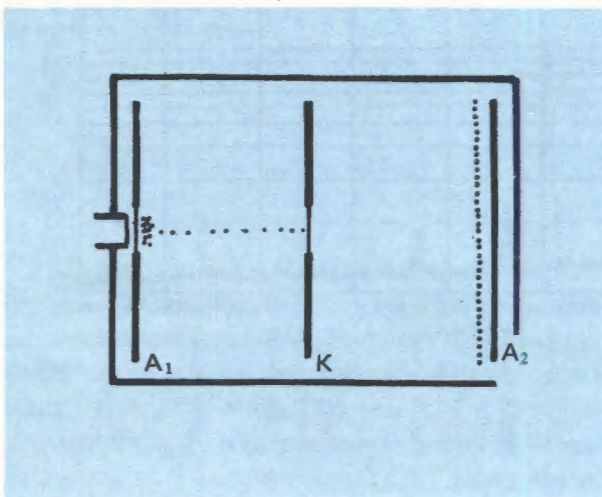
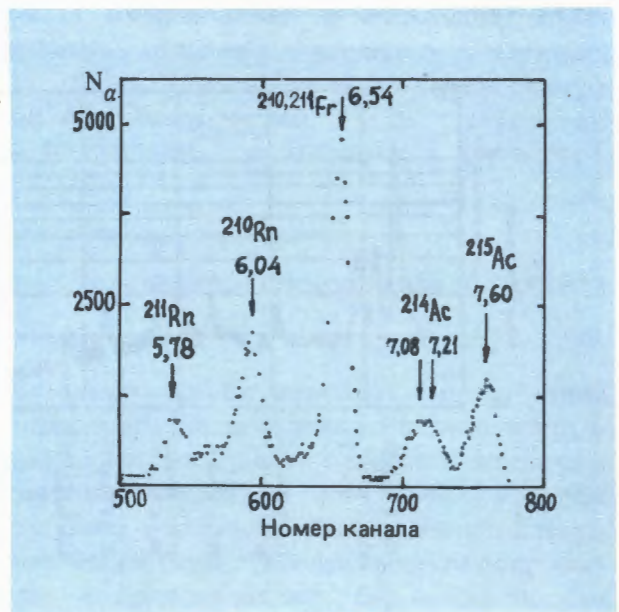


Рис. 22. Альфа-спектр ядер — продуктов реакции  $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$  ( $E_{\text{лаб}} = 102$  МэВ), зарегистрированный второй камерой.



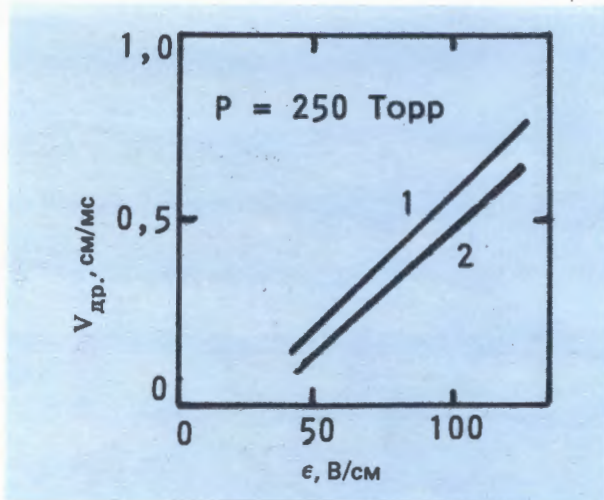


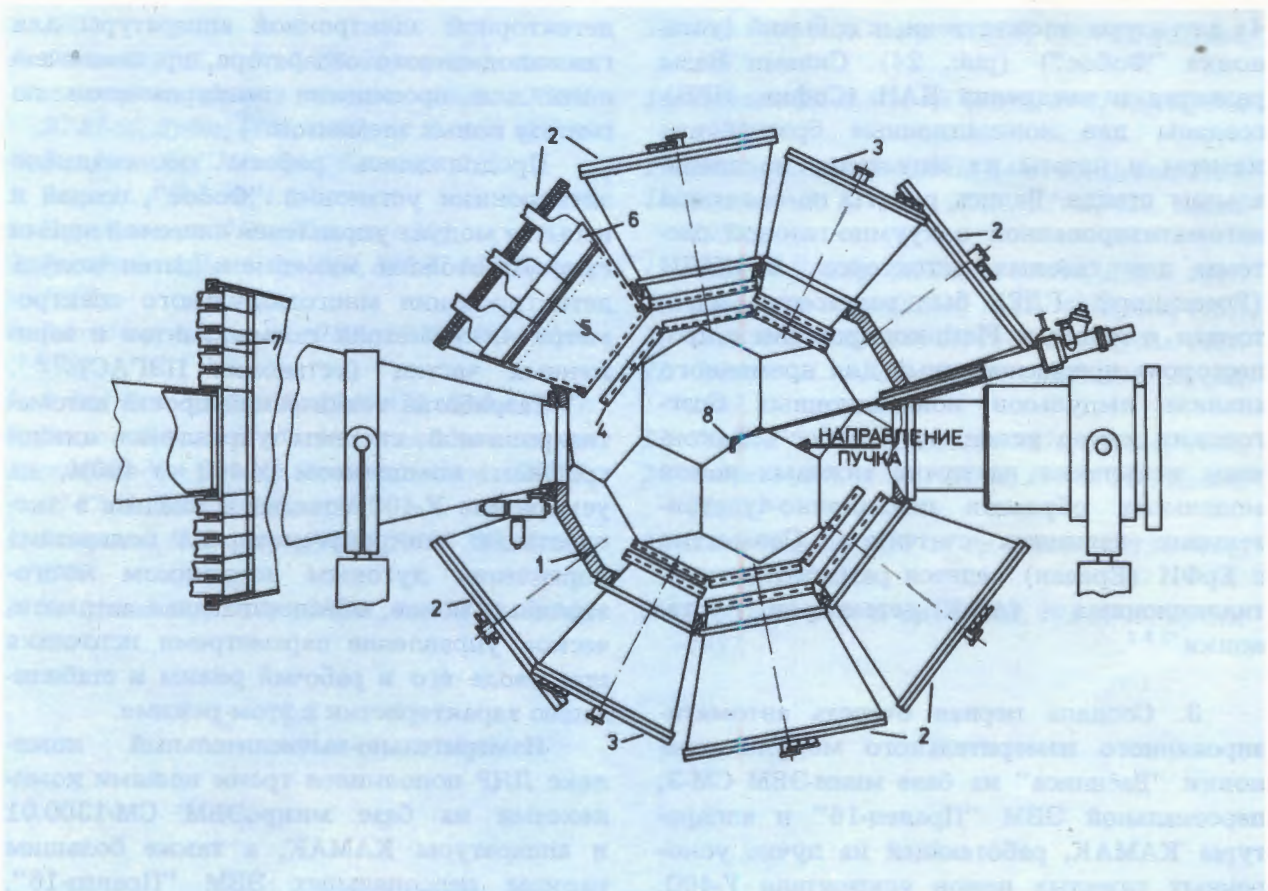
Рис. 23. Зависимость скорости дрейфа от напряженности поля. 1 — 80% Ar + 20% CH<sub>4</sub>; 2 — 90% Ar + 10% CH<sub>4</sub>.

ки (термализации) не могут присоединить последний электрон и оказываются в ионизированном (1+) состоянии. Под действием электрического поля эти ионы дрейфуют на

общий катод двух камер, центральная часть которого представляет собой тонкую (0,5 мкм) металлизированную лавсановую пленку. Длина пути дрейфа равняется 20 см. На рис. 22 показан спектр α-частиц, зарегистрированных второй камерой в эксперименте, в котором в рабочий газ имплантировались продукты реакции  $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$  ( $E_{\text{лаб}} = 102$  МэВ). По отношению пиков  $^{215}\text{Ac}$  ( $E_{\alpha} = 7,60$  МэВ,  $T_{1/2} = 170$  мс) и  $^{214}\text{Ac}$  ( $E_{\alpha} = 7,21$  и  $7,08$  МэВ,  $T_{1/2} = 8,2$  с), которое сравнивалось с таким же отношением, измеренным с помощью Si-Au детектора, определялась скорость дрейфа ядер актиния в электрическом поле. Данные измерения приведены на рис. 23.

С помощью ионизационной камеры были проведены измерения кинетической энергии осколков спонтанного деления  $^{246}\text{Fm}$  ( $T_{1/2} = 1,1$  с), который получали в реакции  $^{208}\text{Pb} (^{40}\text{Ar}, 2n)^{246}\text{Fm}$  ( $E_{\text{лаб}} = 195$  МэВ). Получено значение  $\langle \text{TKE} \rangle = 196 \pm 3$  МэВ<sup>[24]</sup>.

Рис. 24. Схематическое изображение 4π-детектора множественных событий (установка "Фобос"). 1 — корпус (реакционная камера), 2,3 — измерительные модули, 4 — лавинный счетчик, 5 — ионизационная брэгговская камера, 6 — система (ΔE-E)-телескопов, 7 — переднее кольцо (ΔE-E)-телескопов, 8 — мишень.





В Лаборатории создается 4π-спектрометр множественных продуктов, получаемых в ядерных реакциях с тяжелыми ионами — установка "Фобос". На снимке: обсуждение хода создания установки.

2. Продолжались работы по созданию 4π-детектора множественных событий (установка "Фобос") (рис. 24). Силами Базы развития и внедрения БАН (София, НРБ) созданы две ионизационные брегговские камеры и начаты их испытания на специальном стенде. Велись работы по созданию автоматизированной вакуумно-газовой системы для газовых детекторов. В ЦИЯИ (Россендорф, ГДР) был разработан, изготовлен и испытан Flash-кодировщик с процессором, предназначенный для временного анализа импульсов ионизационных брегговских камер установки "Фобос". Закончены испытания на пучке тяжелых ионов модельных образцов позиционно-чувствительных лавинных счетчиков. Совместно с ЕрФИ (Ереван) ведется разработка сцинтилляционных (ΔE-E)-детекторов установки<sup>/25/</sup>.

3. Создана первая очередь автоматизированного измерительного модуля установки "Василиса" на базе мини-ЭВМ СМ-3, персональной ЭВМ "Правец-16" и аппаратуры КАМАК, работающей на пучке ускоренных тяжелых ионов ускорителя У-400,

разработан проект и изготовлен комплекс детекторной электронной аппаратуры для газонаполненного сепаратора, предназначенного для проведения экспериментов по синтезу новых элементов.

Продолжались работы по созданию электроники установки "Фобос", создан и испытан модуль управления системой подачи газа. Изготовлен макет и испытан модуль детектирования многомодульного спектрометра 4π-геометрии гамма-квантов и заряженных частиц (установка ПЭГАС)<sup>/26/</sup>.

Разработан технический проект автоматизированной системы управления циклотронным комплексом У-400 + У-400М, на ускорителе У-400 создана и введена в эксплуатацию микропроцессорная подсистема управления дуговым источником многозарядных ионов, обеспечивающая автоматическое управление параметрами источника при вводе его в рабочий режим и стабилизацию характеристик в этом режиме.

Измерительно-вычислительный комплекс ЛЯР пополнился тремя новыми комплексами на базе микроЭВМ СМ-1300.01 и аппаратуры КАМАК, а также большим парком персональных ЭВМ "Правец-16".



20 — 25 января 1987 г. в Дрездене состоялось рабочее совещание по корреляционным экспериментам на пучках тяжелых ионов, организованное ЦИЯИ АН ГДР совместно с ОИЯИ. На снимке: участники совещания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Flerov G.N. — In: *Proc. Intern. Conf. on Nuclear Physics (Florence, 1983)*. Ed. P. Blasi and R.A. Ricci. Bologna: *Tipografia Compositori*, 1983, p.365.
2. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, Д7-87-392, Дубна, 1987.
3. Оганесян Ю.Ц. — В сб.: *Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов. ОИЯИ, Д7-87-68, Дубна, 1987, с.103.*
4. Тер-Акопьян Г.М. и др. — Там же, с. 212.
5. Звара И. — Там же, с.145.
6. Пенионжкевич Ю.Э. — Там же, с.364.
7. Belozjorov A.V. et al. *JINR, E15-87-733, Dubna, 1987.*
8. Belozjorov A.V. et al. *JINR, E7-87-140, Dubna, 1987.*
9. Зодан Х. и др. ОИЯИ, Р7-87-621, Дубна, 1987.
10. Волков В.В. — В сб.: *Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов. ОИЯИ, Д7-87-68, Дубна, 1987, с.528.*
11. Гангский Ю.П. и др. ОИЯИ, Р6-87-757, Дубна, 1987.
12. Гангский Ю.П. и др. ОИЯИ, Р6-87-478, Дубна, 1987.
13. Карамян С.А. и др. *Краткие сообщения ОИЯИ, №5(25)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.18.*
14. Бехтерев В.В. и др. ОИЯИ, 9-87-379, Дубна, 1987.
15. Касьянов А.А. и др. ОИЯИ, Р9-87-307, Дубна, 1987.
16. Бьковский Ю.А. и др. ОИЯИ, Р9-87-365, Дубна, 1987.
17. Регель В.Р. и др. ОИЯИ, 14-87-30, Дубна, 1987.
18. Kivvan'chak K. et al. *JINR, E14-87-428, Dubna, 1987.*
19. Сосном Н. и др. ОИЯИ, 18-87-406, Дубна, 1987.
20. Сосном Н. и др. ОИЯИ, 18-87-648, Дубна, 1987.
21. Сосном Н. и др. ОИЯИ, 18-87-649, Дубна, 1987.
22. Сосном Н. и др. ОИЯИ, 18-87-694, Дубна, 1987.
23. Тетерев Ю.Т. ОИЯИ, 18-87-870, Дубна, 1987.
24. Андреев А.Н. и др. ОИЯИ, Р13-87-914, Дубна, 1987.
25. Ахлерджанян А.Г. и др. ОИЯИ, Р13-87-760, Дубна, 1987.
26. Агаонян Ф.А. и др. ОИЯИ, Р13-87-15, Дубна, 1987.



# ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В 1987 году основные усилия инженерно-технических служб Лаборатории были направлены на выполнение профилактических работ и совершенствование базовых установок ИБР-2 и ИБР-30 с инжектором ЛУЭ-40. Работа научных отделов была сосредоточена на обработке и анализе проведенных ранее измерений и на создании новых физических установок и аппаратуры.

На реакторе ИБР-2 после стендовых испытаний и проверки на прочность осуществлен монтаж нового модулятора реактивности — подвижного отражателя ПО-2. Новая машина имеет лучшие технологические параметры и более развитый контроль за ее безопасной работой. Реактор ИБР-2 с отражателем ПО-2 введен в эксплуатацию на мощности 2 МВт в ноябре 1987 г. По завершении профилактических работ, в октябре 1987 г., введена в эксплуатацию установка ИБР-30 с инжектором — ускорителем ЛУЭ-40. На строящемся ускорителе ЛИУ-30 осуществлялись работы по созданию

диагностической аппаратуры и определению параметров пучка в инжекторной части. Совершенствовался измерительно-вычислительный центр Лаборатории.

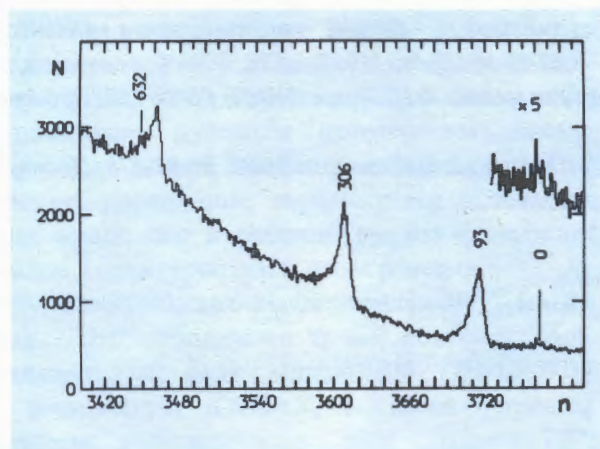
В 1987 г. Лаборатория включилась в исследования высокотемпературной сверхпроводимости. Получены новые данные в экспериментах по малоугловому рассеянию нейтронов, в дифракционных экспериментах и в исследованиях методом неупругого рассеяния тепловых нейтронов. Результаты обсуждались на "Рабочем совещании по исследованиям конденсированных сред на реакторе ИБР-2" (Дубна, 15-17 сентября 1987 г.). Ядерно-физические работы по нейтронной спектроскопии, р-нечетным и р-четным эффектам в резонансах, протонному и гамма-распаду компаунд-состояний, распределению электрического заряда в нейтроне и ряд других исследований были широко представлены на "Международной конференции по нейтронной физике" (Киев, октябрь 1987 г.).

## ГАММА-РАСПАД КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ

Спектроскопическая информация об уровнях деформированных ядер редкоземельной области при возбуждении выше 2 МэВ, которая не могла быть получена стандартными методами, стала поступать благодаря развитому в ЛНФ методу сумми-

Рис. 1. Часть экспериментального спектра суммарных амплитуд импульсов из реакции  $^{177}\text{Hf}(n, 2\gamma)$ . Цифры над пиками — энергия конечного уровня каскада в кэВ.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ



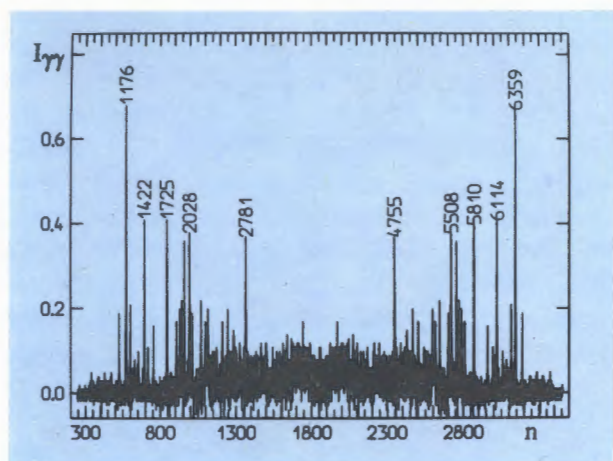


Рис. 2. Интенсивность линий в каскаде с суммарной энергией 7533 кэВ из реакции  $^{177}\text{Hf}(n, 2\gamma)$ .

рования амплитуд совпадающих импульсов с двух германиевых детекторов. В 1987 г. получены результаты для каскадного распада ядра — продукта  $^{178}\text{Hf}$  (реакция  $^{177}\text{Hf}(n, 2\gamma)$ ). На рис. 1 дан пример экспериментального спектра суммарных амплитуд импульсов в этой реакции, а на рис. 2 — распределение интенсивностей линий в двухквантовых каскадах с суммарной энергией 7533 кэВ. Измерены энергии переходов и интенсивности 166 каскадов между исходным и восемью низколежащими состояниями. Обнаруженные нестатистические эффекты — усиление каскадов на основное состояние и подавление каскадов на полосы однофононных состояний<sup>11</sup> — дополняют установленные ранее факты нестатистического поведения каскадного  $\gamma$ -распада ядер  $^{163}\text{Dy}$ ,  $^{167}\text{Er}$  и  $^{179}\text{Hf}$ <sup>12</sup>.

### р-ЧЕТНЫЕ И р-НЕЧЕТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В р-ВОЛНОВЫХ РЕЗОНАНСАХ

Продолжалось экспериментальное изучение эффектов несохранения пространственной четности (р-нечетные эффекты) в нейтронных р-волновых резонансах. Измерения проводились на пучке продольно-поляризованных резонансных нейтронов импульсного бустера с ускорителем электронов ЛУЭ-40 в качестве источника нейтронов. Исследованы образцы Nb (резонансы  $E_p = 35,8$  эВ и  $E_p = 42,2$  эВ), Pr ( $E_p = 4,9$  эВ) и  $^{113}\text{Cd}$  ( $E_p = 7,0$  эВ). р-нечетные эффекты не проявились в пределах экспериментальной точности измерений. Получены верхние

оценки матричных элементов смешивания s- и р-уровней компаунд-ядер<sup>13</sup>.

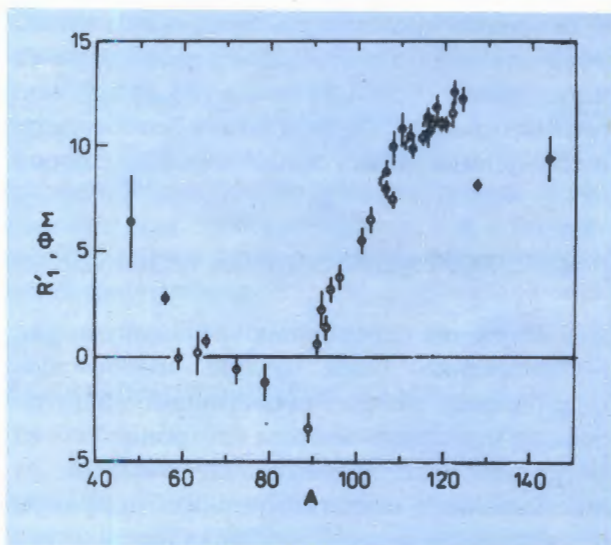
Проанализированы обнаруженные ранее р-четные эффекты (эффекты асимметрии в угловых распределениях  $\gamma$ -квантов) в области р-резонанса  $E_p = 7,0$  эВ в  $^{113}\text{Cd}$ . Помимо традиционных параметров р-резонанса определен вклад спиновых каналов в нейтронную ширину и значение матричного элемента слабого взаимодействия (последнее — с привлечением информации из других работ)<sup>14</sup>.

### НЕЙТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

1. Накопленные за последнее время в ЛНФ данные о дифференциальных сечениях упругого рассеяния нейтронов проанализированы с целью получения информации о влиянии нечетного нуклона ядра-мишени на потенциальное р-рассеяние нейтронов. Данные представлены на рис. 3 в виде зависимости радиуса рассеяния  $R_1'$  от массового числа  $A$  для четно-четных и нечетных ядер. Эффект нечетного нуклона оказался малым: не более 0,5 фм для ядер с  $A > 90$ <sup>15</sup>.

2. Получены простые аналитические выражения для полных радиационных ширин нейтронных резонансов. В основу расчетов положен статистический подход с феноменологической параметризацией энергетической зависимости плотности возбужденных состо-

Рис. 3. Экспериментальные значения радиусов рассеяния р-волновых нейтронов:  $\circ$  — четно-четные ядра,  $\bullet$  — А-нечетные ядра.



ятий. Теоретические выражения хорошо воспроизводят экспериментальные величины и могут быть использованы для уточнения существующих систематик средних радиационных ширин<sup>16</sup>.

3. Сделана попытка проверить теоретическое предсказание для вероятности излучения электрон-позитронных пар при захвате тепловых нейтронов ядрами водорода. Теоретическая оценка  $3 \cdot 10^{-4}$  отношения сечения этого процесса к сечению реакции  $p \rightarrow d\gamma$ , сделанная еще в 1949 г., экспериментально не была достигнута вплоть до последнего времени. Совпадающие кванты от аннигиляции позитрона в мишени регистрировались двумя детекторами NaI(Tl). Для относительной вероятности искомой реакции измерена величина  $(0,58 \pm 0,24) \cdot 10^{-3}$ , близкая по чувствительности к теоретической оценке. Сделан также вывод об отсутствии в природе гипотетического аксиона с массой 1,8 МэВ<sup>17</sup> и временем жизни  $\tau < 5 \cdot 10^{-11}$  с.

4. В дополнение к определенным ранее параметрам нейтронных резонансов в реакции  $^{36}\text{Cl}(n,p)^{36}\text{S}$  измерено тепловое сечение:  $\sigma = 0,4 \pm 0,1$  б. Результаты открывают новую возможность изотопной хронологии посредством определения соотношения концентрации изотопов  $^{36}\text{Cl}$  и  $^{35}\text{Cl}$  (период полураспада  $^{36}\text{Cl}$  равен  $3 \cdot 10^5$  лет)<sup>18</sup>.

5. Совместно с Институтом ядерных исследований АН УССР изучены реакции  $^{143}\text{Nd}(n,\alpha)^{140}\text{Ce}$  и  $^{147}\text{Sm}(n,\alpha)^{144}\text{Nd}$  при энергии нейтронов 144 кэВ, полученной с помощью фильтра из монокристаллического кремния. Измеренные усредненные сечения равны  $(6,6 \pm 1,2)$  мкб и  $(24,5 \pm 5,6)$  мкб соответственно<sup>19</sup>. Результаты согласуются с предсказаниями статистической теории.

## СТРУКТУРА ПРОТОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

Изучение протонных резонансов дает в последние годы новую информацию о свойствах компаунд-состояний ядер, дополняя известные методы нейтронной спектроскопии. Экспериментально показано существование нестатистических эффектов в протонных резонансах неаналогового типа.

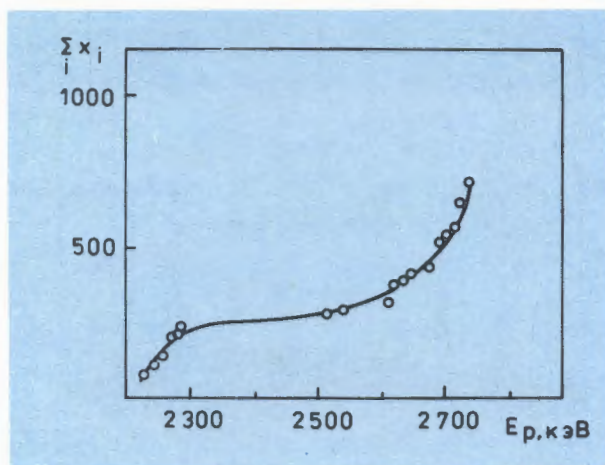
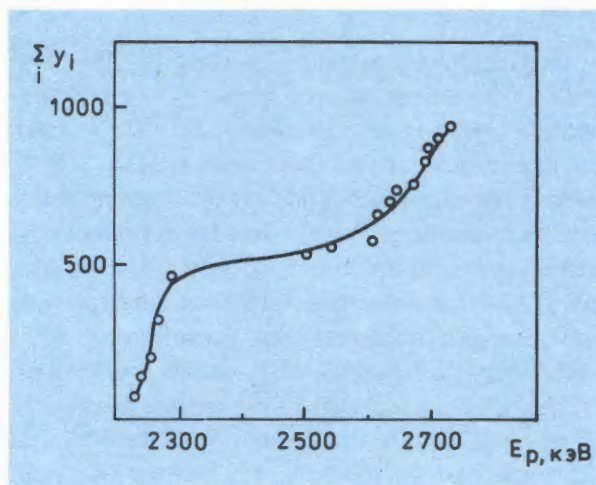


Рис. 4. Нарастающая сумма приведенных ширин  $V(E2)$  прямых  $\gamma$ -переходов в зависимости от энергии протонов в реакции  $^{62}\text{Ni}(p, \gamma)^{63}\text{Cu}$ .

В этой связи на ускорителе протонов ЭГ-5 выполнены измерения угловых распределений гамма-квантов в реакции  $(p, \gamma)$  на четно-четных изотопах  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{62}\text{Ni}$ . Для гамма-распада образующихся компаунд-состояний  $^{59}\text{Cu}$  и  $^{63}\text{Cu}$  характерны сильные  $M1$ -переходы с примесью  $E2$ . В дополнение к ранее полученным результатам по смеси мультипольностей  $\delta = \pm \sqrt{\Gamma_\gamma(E2)/\Gamma_\gamma(M1)}$  в 1987 г. измерялись приведенные вероятности  $V(E2)$  и  $V(M1)$  для переходов на первое возбужденное и основное состояние из индивидуальных протонных резонансов с энергией 2238-2730 кэВ. Гамма-лучи регистрировались Ge(Li)-детектором под углами  $0,30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  к направлению пучка протонов. Пример результатов для приведенных ширин  $V(E2)$  и  $V(M1)$  дан на рис. 4 и 5. Одина-

Рис. 5. Нарастающая сумма приведенных ширин  $V(M1)$  прямых  $\gamma$ -переходов в зависимости от энергии протонов в реакции  $^{62}\text{Ni}(p, \gamma)^{63}\text{Cu}$ .



ковый вид кривых служит качественным указанием на наличие корреляций. Количественные результаты для коэффициента корреляции  $\rho$  (В(Е2), В(М1)) следующие:  $\rho = 0,7 \pm 0,2$  для 14 резонансов с  $J^\pi = 3/2^-$  в  $^{58}\text{Ni}$  и  $\rho = 0,6 \pm 0,2$  для 19 резонансов в  $^{62}\text{Ni}$ . Для  $\gamma$ -переходов на первый возбужденный уровень подобной корреляции не обнаружено. Сделан вывод о существовании нестатистической компоненты в волновых функциях исследованных резонансов с величиной порядка  $10\%^{10}$ .

## УЛЬТРАХОЛОДНЫЕ НЕЙТРОНЫ

1. В дополнение к выполненным ранее в ЛНФ измерениям интегральных коэффициентов отражения ультрахолодных нейтронов (УХН) от сильно поглощающих веществ определена энергетическая зависимость коэффициента отражения  $R$  для  $^{113}\text{Cd}$  и  $^{155}\text{Gd}$ . Спектры отраженных нейтронов регистрировались с помощью времяпролетного корреляционного спектрометра на реакторе со стационарным потоком. Экспериментальные результаты для  $R$  показаны на рис. 6 в виде точек, кривые 1 и 2 отвечают расчету с учетом и без учета поглощения соответственно, кривая 3 — вариант окисленного металла, покрытого слоем окисла толщиной  $50 \text{ \AA}$ .

Рис. 6. Коэффициент отражения  $R$  в зависимости от нормальной компоненты скорости УХН: кривая 1 — расчет с учетом поглощения, 2 — без учета поглощения, 3 — с учетом поглощения для металла, покрытого окислом.

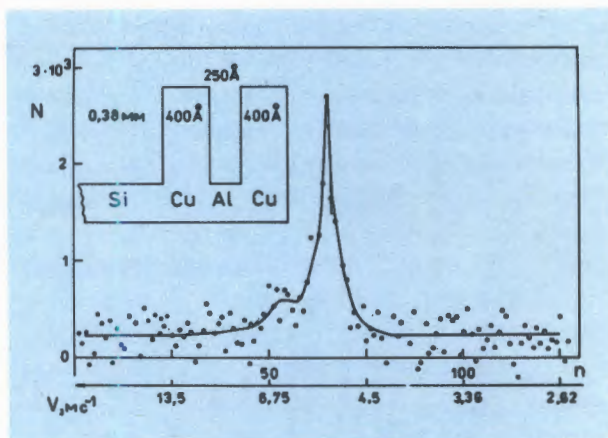
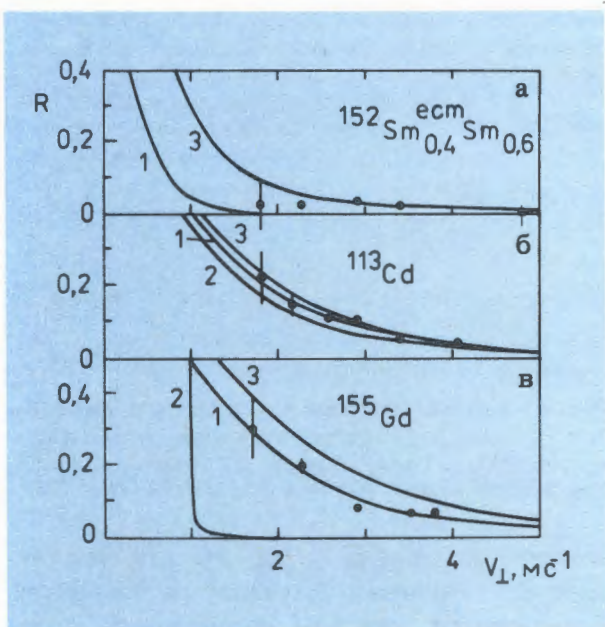


Рис. 7. Спектр по времени пролета для ультрахолодных нейтронов, прошедших показанный на вставке интерференционный фильтр.

Для  $^{155}\text{Gd}$ , у которого поглощение превалирует, наблюдается отражение, обусловленное преобладанием мнимой части длины рассеяния. Для  $^{113}\text{Cd}$  это явление менее выражено, так как действительная и мнимая части длины рассеяния близки по величине<sup>11</sup>.

2. Экспериментально исследованы свойства многослойных ферромагнитных пленок, используемых как затворы УХН. В качестве примера на рис. 7 показан спектр по времени пролета нейтронов, прошедших через один из таких фильтров, состав которого показан на вставке. Наблюдается изолированный пик при скорости нейтронов  $5,1 \text{ м/с}$ , который соответствует квазисвязанному состоянию нейтрона с энергией  $136 \text{ нэВ}$ , образованному в алюминиевом промежутке между двумя барьерами из меди. Использование подобных затворов дает принципиальную возможность достижения энергетического разрешения  $\sim 10^{-11} \text{ эВ}^{12}$ .

3. Проведены теоретические расчеты диффузии ультрахолодных нейтронов в намагниченных нейтронводах и порошках<sup>13</sup> и их прохождения через ферромагнитные пленки<sup>14</sup>.

## ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР НЕЙТРОНАМИ

Исследованы вариации выхода гамма-квантов из осколков при делении  $^{235}\text{U}$  резонансными нейтронами. Применялась ме-

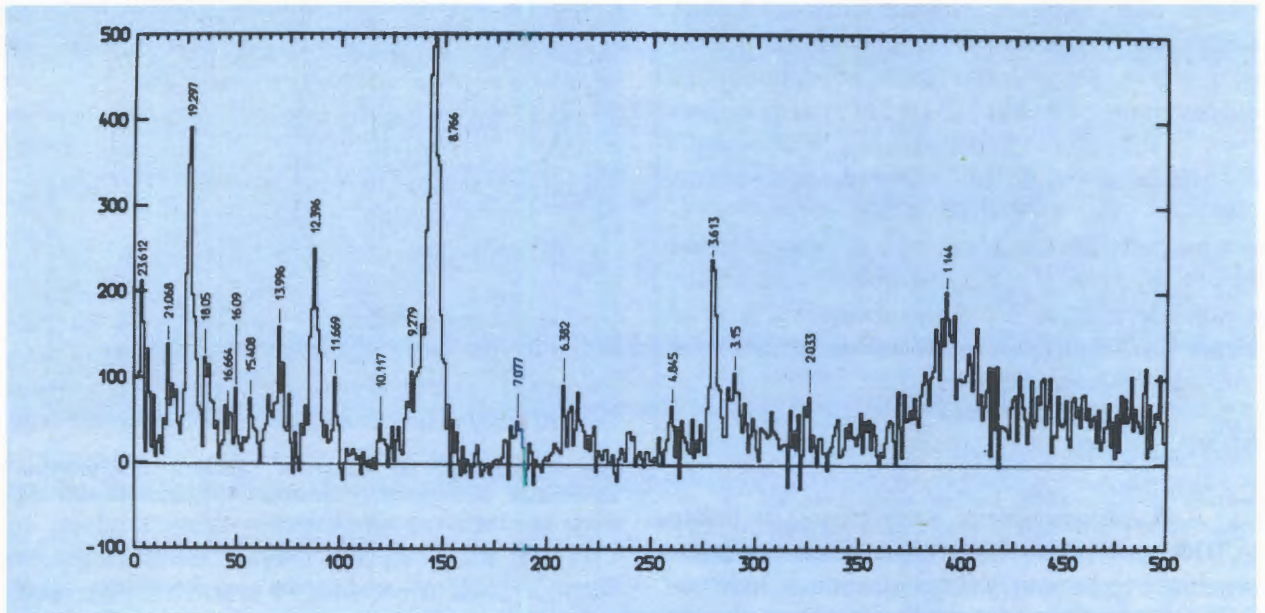


Рис. 8. Времяпролетный спектр выхода гамма-квантов с энергией 199 кэВ, соответствующих  $2^+-0^+$  переходу в осколке деления  $^{144}\text{Ba}$ . Цифры над пиками — энергии резонансов в эВ.

тодика мгновенной гамма-спектрометрии с Ge(Li)-детектором и ионизационной камерой с делящимся образцом. Пример времяпролетных спектров дан на рис. 8. Получены результаты для вариаций от резонанса к резонансу выхода  $\gamma$ -квантов, относящихся к осколкам  $^{95}\text{Sr}$ ,  $^{100}\text{Zr}$ ,  $^{101}\text{Zr}$ ,  $^{102}\text{Zr}$ ,  $^{142}\text{Ba}$ ,  $^{144}\text{Ba}$  и  $^{146}\text{Ba}$ . Исследованные вариации сопоставлены с вариациями других характеристик деления  $^{235}\text{U}$ , таких как вклады каналов с разными К, вариации кинетических энергий и др. Найдены значимые корреляции ряда величин для резонансов со спином  $J = 4$ . Пример результатов дан на рис. 9, где проявляется корреляция вариаций выхода квантов в зависимости от степени открытия делительного канала  $P_{\lambda, K=1} = \Gamma_{\lambda f, K=1} / \Sigma \Gamma_{\lambda f}$  (здесь индекс  $\lambda$  нумерует нейтронный резонанс). Сделано предположение об определяющей роли вибрационных состояний с фиксированными  $J$  и  $K$  в формировании продуктов деления в различных резонансах<sup>[15]</sup>.

#### МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ

1. Для гелевых растворов ряда веществ характерно явление индуцированного изменением температуры коллапса — фазового перехода в виде скачкообразного

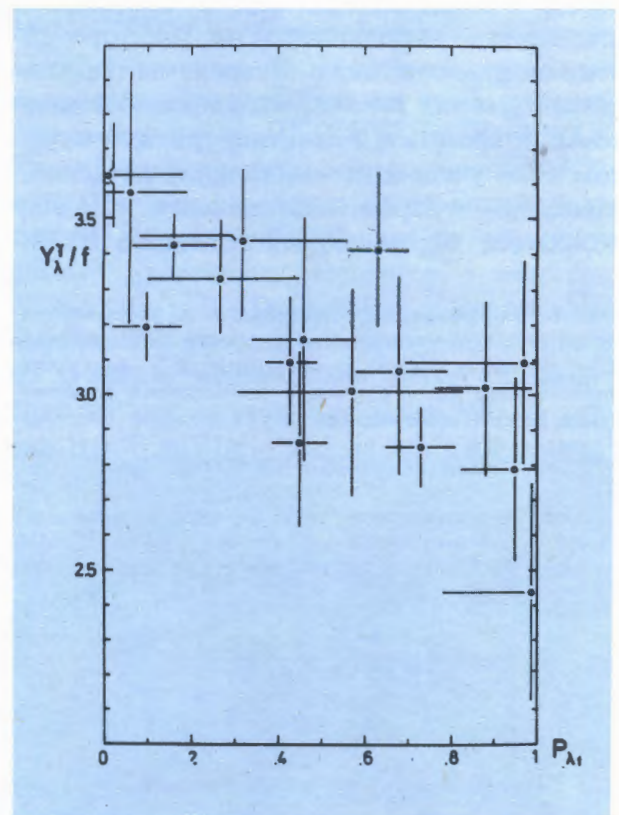


Рис. 9. Зависимость вариаций выхода гамма-квантов  $Y_{\lambda}$  от степени открытия делительного канала  $P_{\lambda, K=1}$  для квантов с энергией 212 кэВ, соответствующих  $2^+-0^+$  переходу в осколке  $^{100}\text{Zr}$ .

изменения объема геля при бесконечно малом изменении состава растворителя. Стандартным методом исследования фазо-

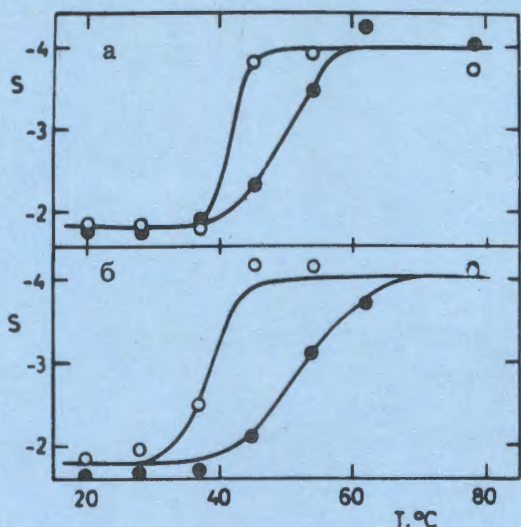
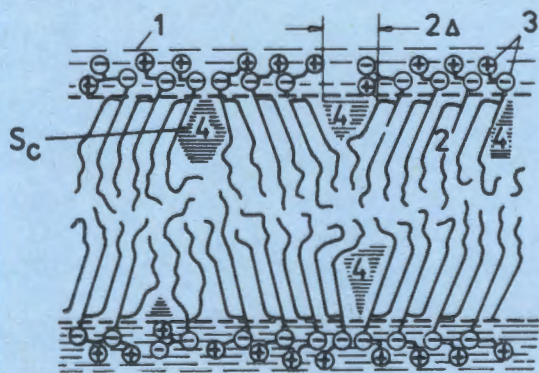


Рис. 10. Температурная зависимость наклона кривых МУРН,  $S$ : а — для сеток, б — для растворов. Светлые и темные точки соответствуют различным образцам.

вого перехода в набухших гелях является рассеяние света. На реакторе ИБР-2 проведены эксперименты для выяснения возможностей метода малоуглового рассеяния. Измерялось малоугловое рассеяние нейтронов (МУРН) на сетках и растворах поли( $N,N$ -диэтилакриламид). В числе полученных результатов — температурная зависимость наклона сечения  $S = d \ln(d\sigma/dQ)/d \ln q$ , представленная на рис. 10. Показано, что МУРН обладает доста-

Рис. 11. Поперечный разрез мембраны в кластерной модели: 1 — вода, 2 — углеводородные цепи липидов, 3 — полярные головы липидов, 4 — дефекты, содержащие воду, с поперечным сечением  $S_c$ ,  $2\Delta$  — размер дефекта, обращенный к поверхности углеводородного слоя.



точной чувствительностью для исследования набухших гелей. Обнаружены новые детали явления, например прослеживаемый на рис. 10 ограниченный коллапс — непрерывный характер перехода от клубковой к компактной форме полимеров<sup>116</sup>. Работа выполнена совместно с Институтом микромолекулярной химии, ЧССР.

2. МУРН как прямой метод наблюдения крупных неоднородностей с успехом применен для исследований дефектов биологических лецитиновых мембран — нарушений в их пространственной структуре. Важнейшим структурным компонентом мембраны является "жидкий" бимолекулярный слой — липидный бислои. Схематическое изображение мембраны с дефектами приведено на рис. 11. Здесь роль дефекта играет переходная область между кластерами с высокой регулярностью упаковки липидных молекул. В зависимости от увлаж-

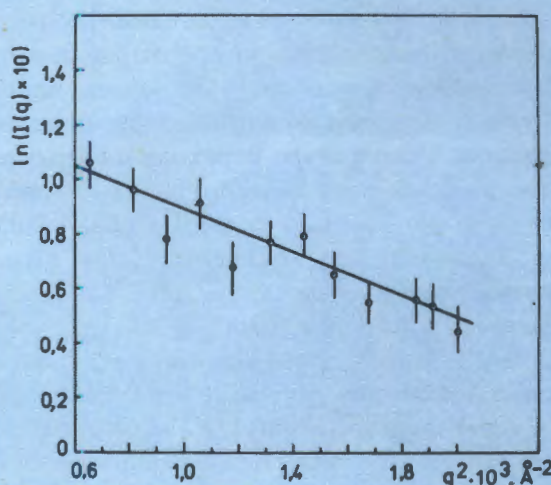


Рис. 12. Избыточная интенсивность малоуглового рассеяния для одного из образцов лецитиновых мембран.

нения образца дефекты могут быть пусты или заполнены водой. На ИБР-2 исследовались мембраны из дипальмитоилфосфотидилхолина. Измерялись увлажненные и сухие образцы. Зависимость избыточной (возникающей при увлажнении) интенсивности малоуглового рассеяния от переданного импульса для одного из образцов показана на рис. 12. Полученные результаты согласуются с кластерной моделью при среднем радиусе кластера  $R = (29 \pm 2) \text{Å}$ ,

доле площади дефектов на поверхности мембраны  $\Sigma = 16\%$  и возрастании объема бислоя из-за внедренных дефектов  $\Delta V/V = 2\%^{17}$ . Эти исследования выполнены совместно с МГУ им. М.В.Ломоносова.

3. В совместной работе с МГУ им. М.В.Ломоносова методом малоуглового рассеяния нейтронов исследована анизотропная конформация макромолекулы гребнеобразного жидкокристаллического полисилоксана в смектической фазе. Полимер был ориентирован с помощью магнитного поля. Измерены проекции радиуса инерции макромолекулярного клубка  $R_{\parallel}$  и  $R_{\perp}$  в направлениях, параллельном и перпендикулярном оси жидкокристаллического упорядочения. Результаты интерпретированы в рамках определенной модели<sup>18</sup>.

### ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

1. В 1987 г. в ЛНФ начаты исследования по высокотемпературной сверхпроводимости. Разработана и освоена методика приготовления металлооксидных керамических образцов. Температура перехода в сверхпроводящее состояние для образцов с химическим составом, близким к  $Y_{1,2}Ba_{0,8}CuO_4$  или  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ , оказалась выше точки кипения жидкого азота, см. рис. 13. Исследовались вольт-амперные характеристики, рис. 14, и поглощение энергии электромагнитных колебаний образцами в зависимости от температуры и внешнего магнитного поля. Обнаружены эффекты влияния слабого магнитного поля, не имеющие места в классических сверхпроводниках. Высказаны предположения о возможном механизме этих явлений<sup>19</sup>.

2. Совместно с ЛТФ ОИЯИ велись теоретические исследования по высокотемпературной сверхпроводимости в перовскитоподобных соединениях типа  $La_2CuO_4$ , в которых было открыто это новое явление. Обращено внимание на связь перехода в сверхпроводящее состояние и структурного фазового перехода, имеющего место в этих соединениях. Предложена микроскопическая модель структурного фазового перехода в  $La_2CuO_4$ , позволившая рассмат-

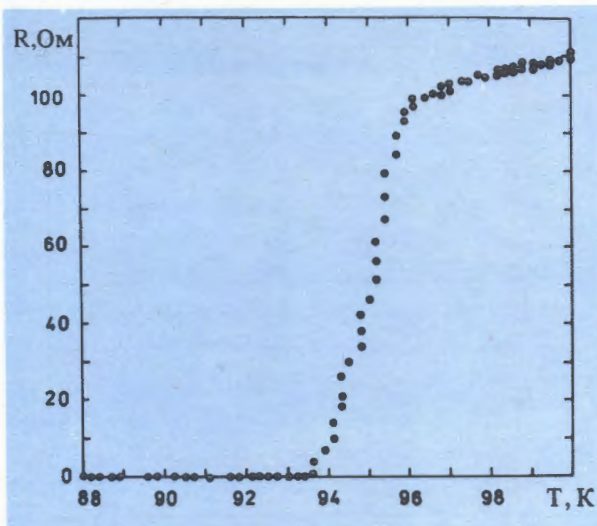
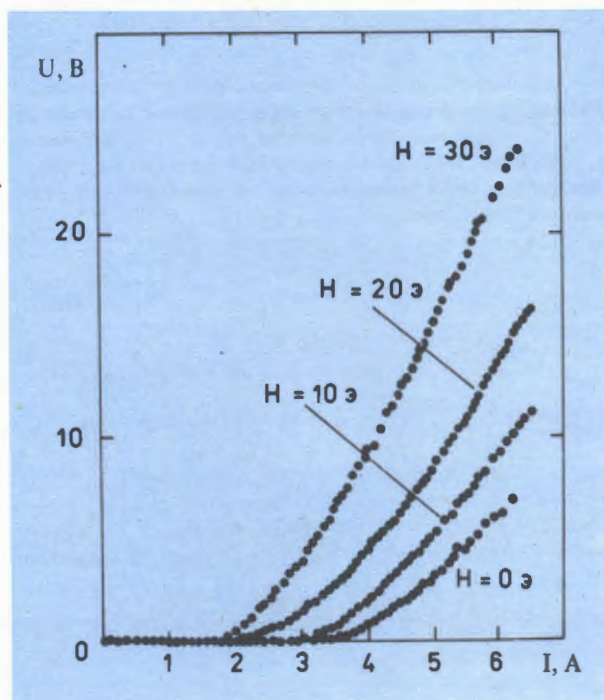


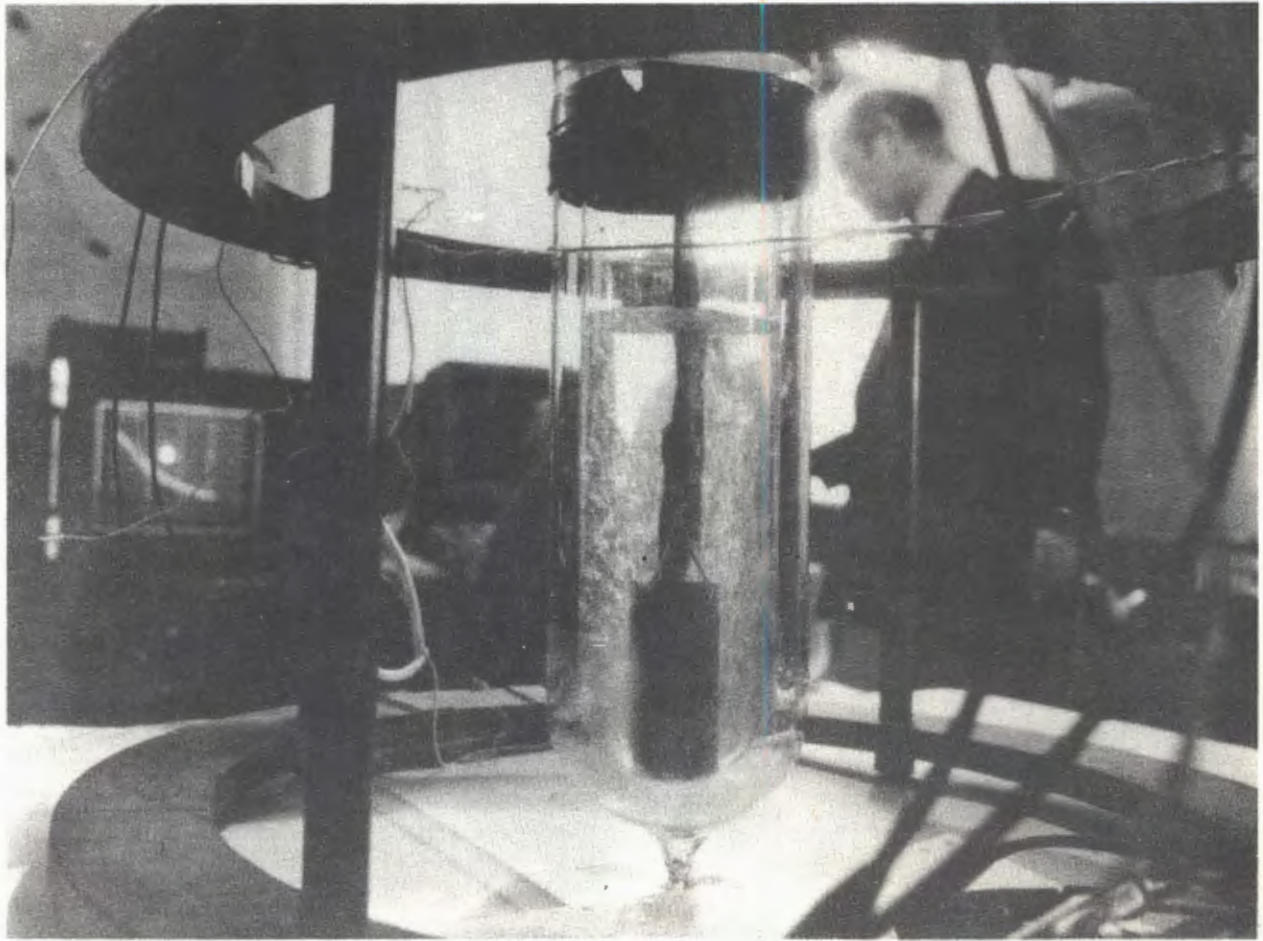
Рис. 13. Сопротивление образца состава  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$  в зависимости от температуры.

ривать не только динамические свойства, но и термодинамику системы при фазовом переходе<sup>20</sup>.

3. Не обнаружено влияния замещения изотопов  $^{63}Cu$  и  $^{65}Cu$  на критическую температуру высокотемпературного сверхпроводника  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ , полученную в результате электрических измерений. Отсутствие изотопического эффекта на меди наряду с его отсутствием на других элементах

Рис. 14. Вольт-амперные характеристики для одного из исследованных сверхпроводящих образцов.

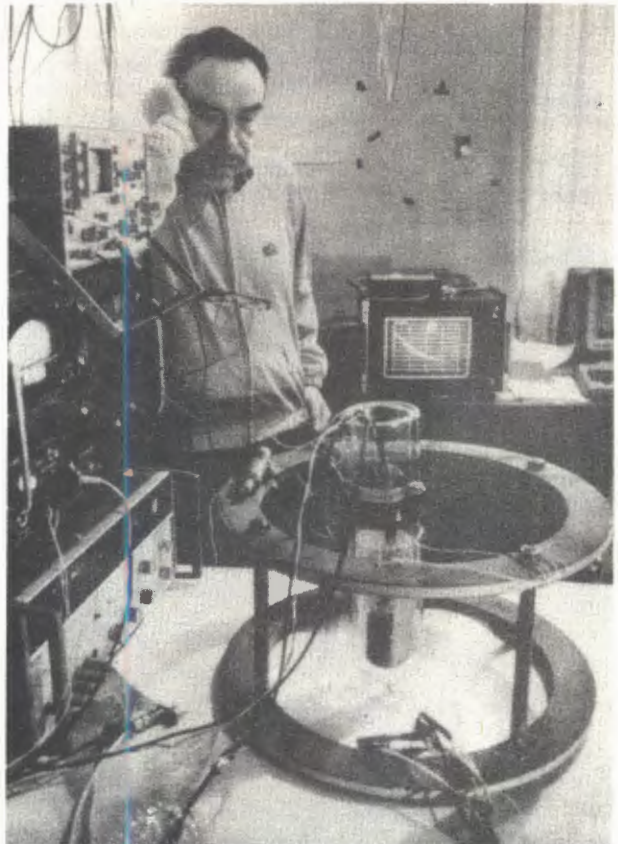




В 1987 году в ЛНФ был получен ряд экспериментальных результатов по высокотемпературной сверхпроводимости в керамических образцах, изготовленных в Лаборатории.

трактуются в пользу нефононного механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

4. На спектрометре КДСОГ-М импульсного реактора ИБР-2 одновременно исследованы спектры неупругого рассеяния и дифракции нейтронов в соединениях  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  и  $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{O}_{4-y}$  при температурах 290, 77 и 10 К. В спектрах неупругого рассеяния при температурах 77 и 10 К обнаружена линия с энергией около 6 мэВ, температурная зависимость интенсивности которой указывает на магнитный характер соответствующего ей возбуждения. По результатам дифракции нейтронов исследуемые образцы во всем интервале температур имели орторомбическую и тетрагональную симметрию соответственно. Проявление рефлекса (100) в орторомбической фазе





$\text{La}_2\text{CuO}_{4-y}$  свидетельствует о наличии антиферромагнитного упорядочения при низких температурах<sup>/21/</sup>.

### ДИНАМИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

1. В совместной работе с Институтом им. И.В.Курчатова и Институтом физики твердого тела АН СССР, Москва, определены плотности фононных состояний в дефектных структурах рения. Задача актуальна в связи с наблюдением увеличения критической температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$  в рении при наличии дефектов, обусловленных деформацией или примесными атомами. Необходимо было разделить влияние последних двух факторов. Измерялись спектры неупругого рассеяния нейтронов: при температурах 300 и 500 К — в ИАЭ на спектрометре холодных нейтронов, при температурах 100 и 290 К — на КДСОГ в ЛНФ ОИЯИ. Образцами служили сплавы Re-Mo на основе рения и рений деформированный. Пример полученных результатов дан на рис. 15. Сделан вывод, что для деформированного рения основной вклад в изменение  $T_c$  дает изменение фононной подсистемы, для сплавов сравнимое влияние на  $T_c$  дает и электронная подсистема<sup>/22/</sup>.

Рис. 15. Обобщенная функция частотного распределения для рения и сплава Re-Mo.

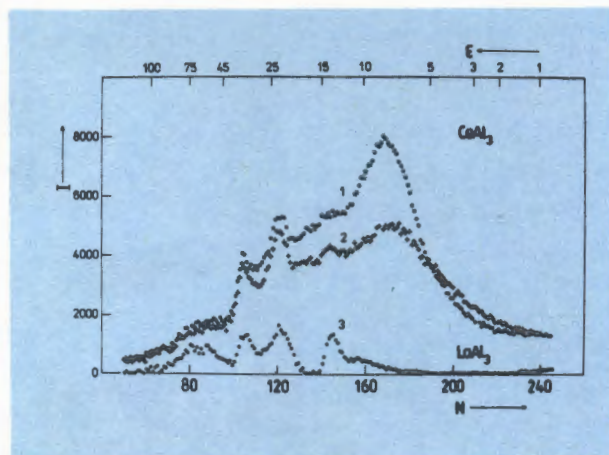
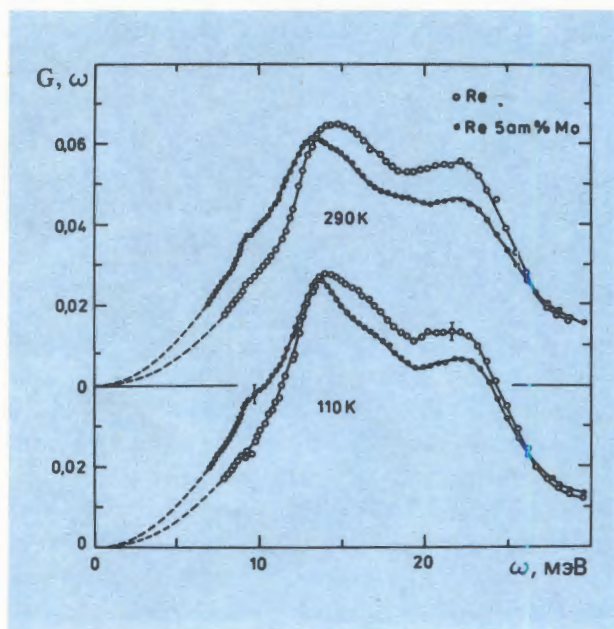


Рис. 16. Спектры неупругого рассеяния нейтронов: 1 — образец  $\text{CeAl}_3$ ,  $T = 10$  К; 2 — образец  $\text{CeAl}_3$ ,  $T = 77$  К; 3 — образец  $\text{LaAl}_3$ ,  $T = 77$  К;  $\epsilon$  — переданная энергия в мэВ,  $N$  — номер канала шириной 128 мкс.

2. Измерено магнитное неупругое рассеяние нейтронов интерметаллическим образцом  $\text{CeAl}_3$ , рис. 16, при температурах 10 и 77 К. Вспомогательные данные для образца  $\text{LaAl}_3$ , показанные на рисунке, служили верхней оценкой вклада обычного, фононного рассеяния нейтронов. В магнитном рассеянии проявилась ожидавшаяся особенность (максимум) при передаче энергии  $\epsilon = 8$  мэВ, обусловленная переходом между уровнями внутрискристаллического электрического поля, и обнаружено интенсивное рассеяние до передач энергии  $\epsilon \approx 60$  мэВ, связанное, по-видимому, с влиянием электронов проводимости, так как  $\text{CeAl}_3$  — система с тяжелыми фермионами, характеризующаяся большой эффективной массой электронов проводимости<sup>/23/</sup>. Данное исследование — совместная работа с Институтом металлургии им. А.А.Байкова АН СССР, Москва, и с Университетом Карла Маркса, Лейпциг.

3. Проведены исследования особенностей динамики кристаллов кофеина<sup>/24/</sup>, плотности фононных состояний аустенных сталей с добавками никеля и марганца, молекулярной динамики и фазовых переходов в ряде водосодержащих веществ.

### ДИФРАКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Осуществлен полный количественный анализ функции разрешения в нейтронной дифрактометрии<sup>/25/</sup>, позволивший постро-

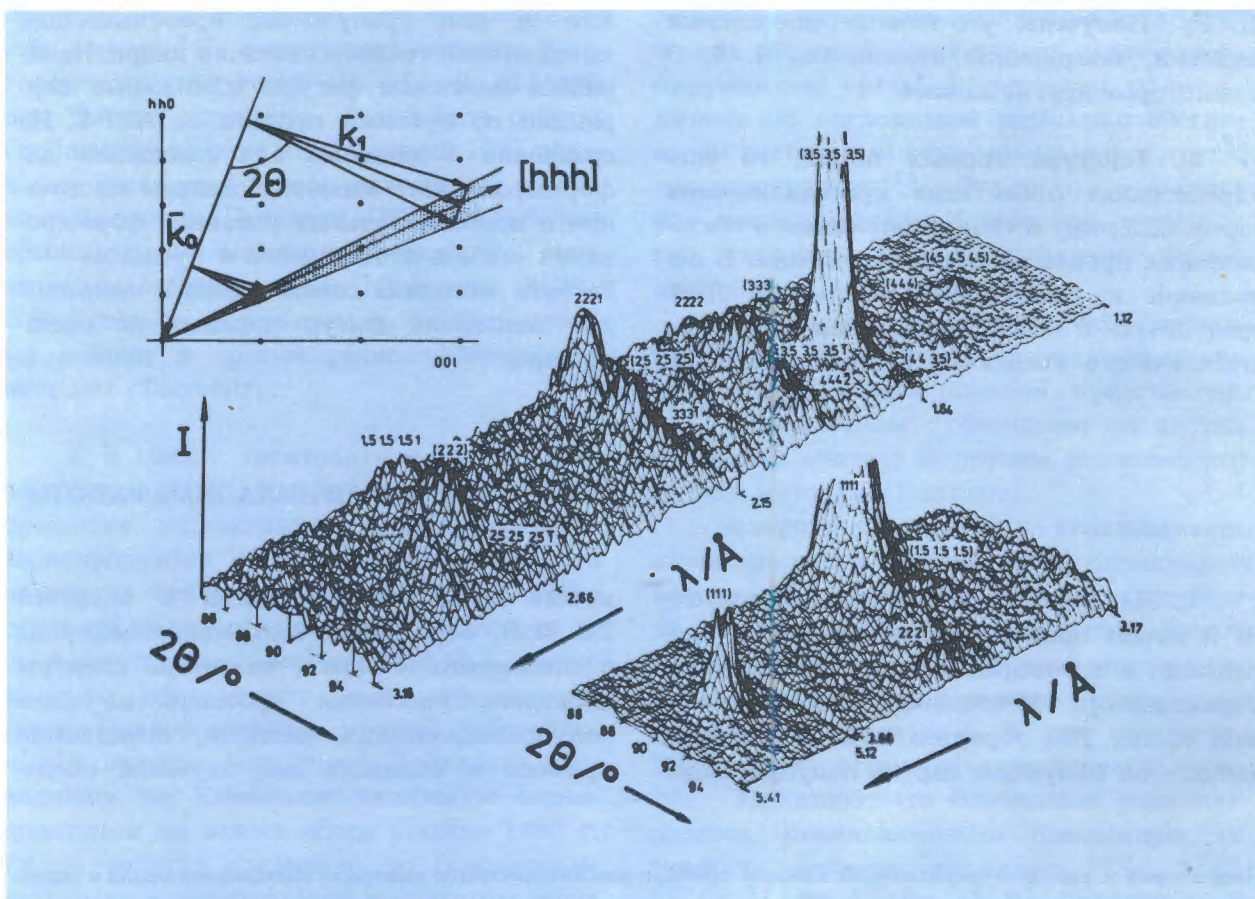


Рис. 17. Участок двумерного (по углу и длине волны) дифракционного спектра для образца  $\text{Sr}_{0,7}\text{Ba}_{0,3}\text{Nb}_2\text{O}_6$ .

ить функцию разрешения нейтронного дифрактометра ДН-2, работающего по времени пролета с позиционно-чувствительным детектором. Проведено сравнение вычисленного спектра с экспериментальными данными, показавшее их соответствие в пределах  $2,5\%^{26}$ . Освоен метод профильного анализа порошковых нейтрограмм на ДН-2, в котором существенным образом используется знание функции разрешения<sup>27</sup>. Разработан метод расчета поправки на тепловое диффузное рассеяние нейтронов кристаллами в дифракционных экспериментах по методу времени пролета<sup>28</sup>.

2. На нейтронном дифрактометре реактора ИБР-2 и на трехосном спектрометре TКСN-400 Центрального института ядерных исследований в Россендорфе (ГДР) проведены измерения дифракционных спектров на монокристалле сегнетоэлектрика  $\text{Sr}_{0,7}\text{Ba}_{0,3}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . Изучался фазовый переход с  $T_c = 350 \text{ K}$  в высокотемпературную параэлектрическую фазу. В экспериментах на-

блюден целый ряд состояний кристалла, зависящих от предыстории его обработки. Для примера на рис. 17 показан участок спектра, измеренный при  $T = 300 \text{ K}$  после приложения к кристаллу электрического поля. Индексами без скобок обозначены сателлиты сверхструктурных рефлексов. Эксперименты показали, что исследованный кристалл и процессы в нем являются весьма сложными, в частности, получены указания на существование помимо известного ( $T_c = 350 \text{ K}$ ) еще одного фазового перехода с  $T_c$  в области  $500-773 \text{ K}^{29}$ .

3. Предпринято новое исследование структуры кристалла гидросульфата цезия в суперионной фазе ( $T_c = 414 \text{ K}$ ). В работе участвовали Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова АН СССР, Московский химико-технологический институт им. Д.И.Менделеева, а также Институт физики и Политехнический институт в Праге. Измерения для образца  $\text{CsHSO}_4$  проводились на нейтронном дифрактометре в ИЯФ (Ржеж,

ЧССР). Получены уточненные постоянные решетки, координаты атомов Cs, H, S, O и некоторые другие данные<sup>130/</sup>.

4. Текстура горных пород, то есть определенная ориентация кристаллических зерен, содержит в себе информацию о тектонических процессах прошлого Земли. В дополнение к ранее исследованным в ЛНФ гранулитам в 1987 г. проведено изучение стебельчатого гнейса из Рудных гор, ГДР.

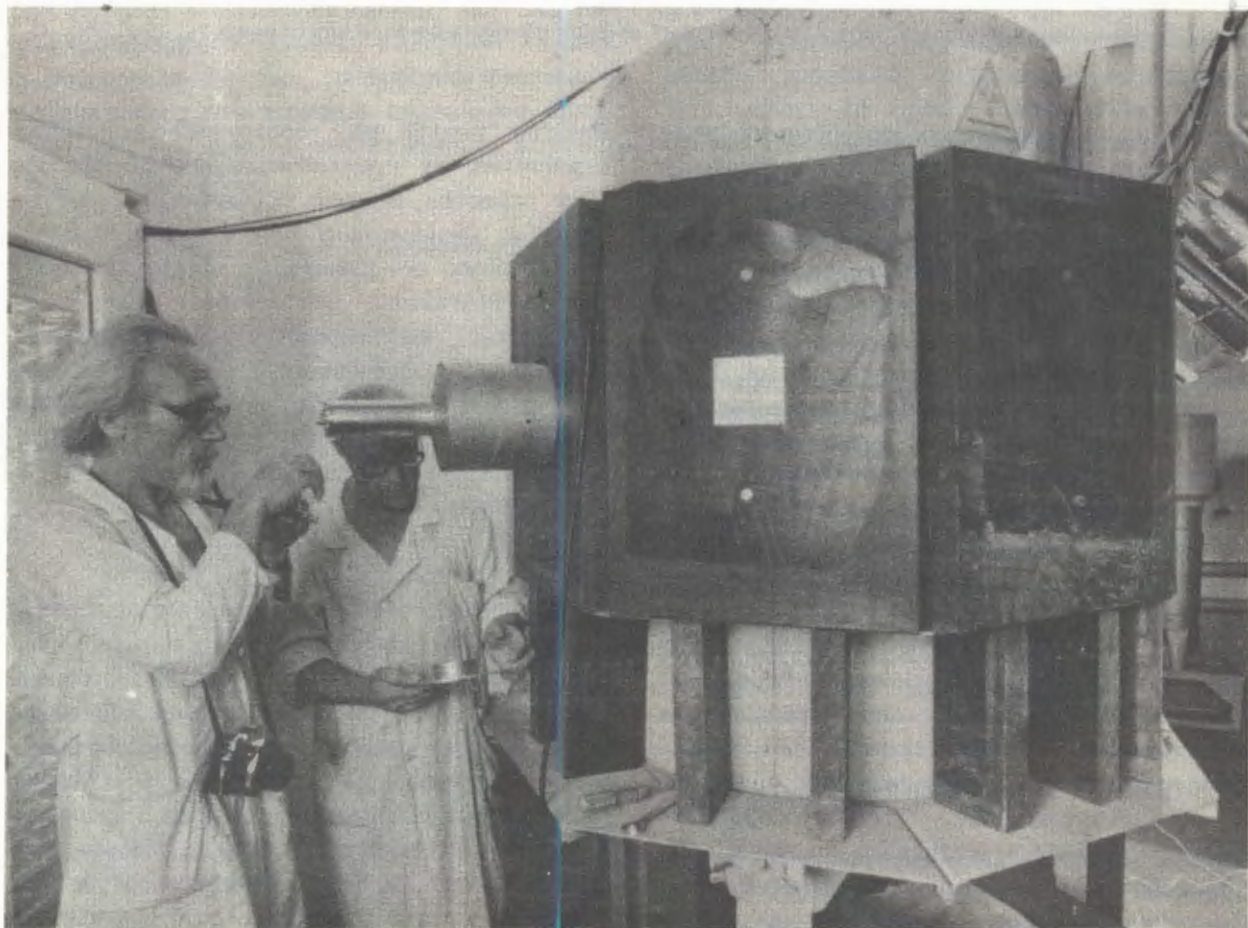
Как и для гранулитов, преобладающей компонентой гнейсов является кварц. Измерялись полюсные фигуры с помощью дифракции по времени пролета на ИБР-2. Из сравнения с данными для специально деформированного кварцита сделаны заключения о приблизительных условиях формирования стебельчатого гнейса в прошлом<sup>131/</sup>. Развита методика согласований и поправок для полюсных фигур сложных по составу пород<sup>132/</sup>.

## НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

1. На электростатическом ускорителе ЭГ-5 велись прикладные измерения по протоколам и договорам с заинтересованными учреждениями. Исследован микроэлементный состав 150 образцов почв и растений, выполнено облучение партии полупроводни-

ковых приборов протонами с энергией 2-3 МэВ, определено содержание водорода в оптических стеклах, измерены спектры обратного рассеяния протонов на ряде полупроводниковых веществ, определены примеси в образцах для изучения сверх-

Подготовка к работе измерительной камеры прибора для экспрессного контроля содержания белка в зерне.



проводимости. Измерены сечения возбуждения ионами  $^3\text{He}$  характеристического рентгеновского излучения К-, L- и M-серий для многих элементов. Результаты работы сообщались на ряде конференций 1987 года, в том числе на 4 Школе-симпозиуме по физике металлов (Пьеховиц, ПНР), 3 Рабочем совещании по высокоэнергетическим ион-атомным столкновениям (Дебрецен, ВНР), 5 Всесоюзном совещании по активационному анализу и другим радиоаналитическим методам (Ташкент).

2. В 1987 г. изготовлен и испытан экспериментальный образец прибора для экспрессного определения белка в зерне и зернопродуктах с помощью портативного источника нейтронов. Выбранная методика основана на определении концентрации азота по гамма-лучам с энергией 10,8 МэВ, возникающим при захвате нейтронов ядрами азота. Прибор успешно прошел лабораторные и полевые испытания. Последние проводились на Каневском комбинате зернопродуктов во время сбора урожая 1987 г. Работа ведется совместно со Всесоюзным научно-исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки, Москва.

Велись измерения совместно методами нейтронного активационного анализа и рент-

генофлуоресцентного анализа ряда экологических образцов для решения задач охраны окружающей среды. В частности, получены данные по поглощению сельскохозяйственными растениями редкоземельных и других микроэлементов<sup>133/</sup>. Эта работа — совместное исследование с Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР, Москва.

Результаты изучения распределения примесных элементов в слитках алюминия, получаемых зонной плавкой, представлены на 5 Всесоюзном совещании по активационному анализу и другим радиоаналитическим методам (Ташкент).

Завершен цикл работ по использованию активационного анализа для определения наведенной активности бетонов, применяемых для защиты ядерных установок. Работы актуальны в связи с проблемой определения срока службы и прекращения эксплуатации реакторных установок. В них участвовал Московский инженерно-строительный институт. Показано, что основными радионуклидами, определяющими наведенную активность бетонов, являются  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ . Сделаны рекомендации по выбору заполнителей бетонов, позволяющие на порядок снизить радиоактивность<sup>134/</sup>.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ БАЗОВЫХ УСТАНОВОК И АППАРАТУРЫ

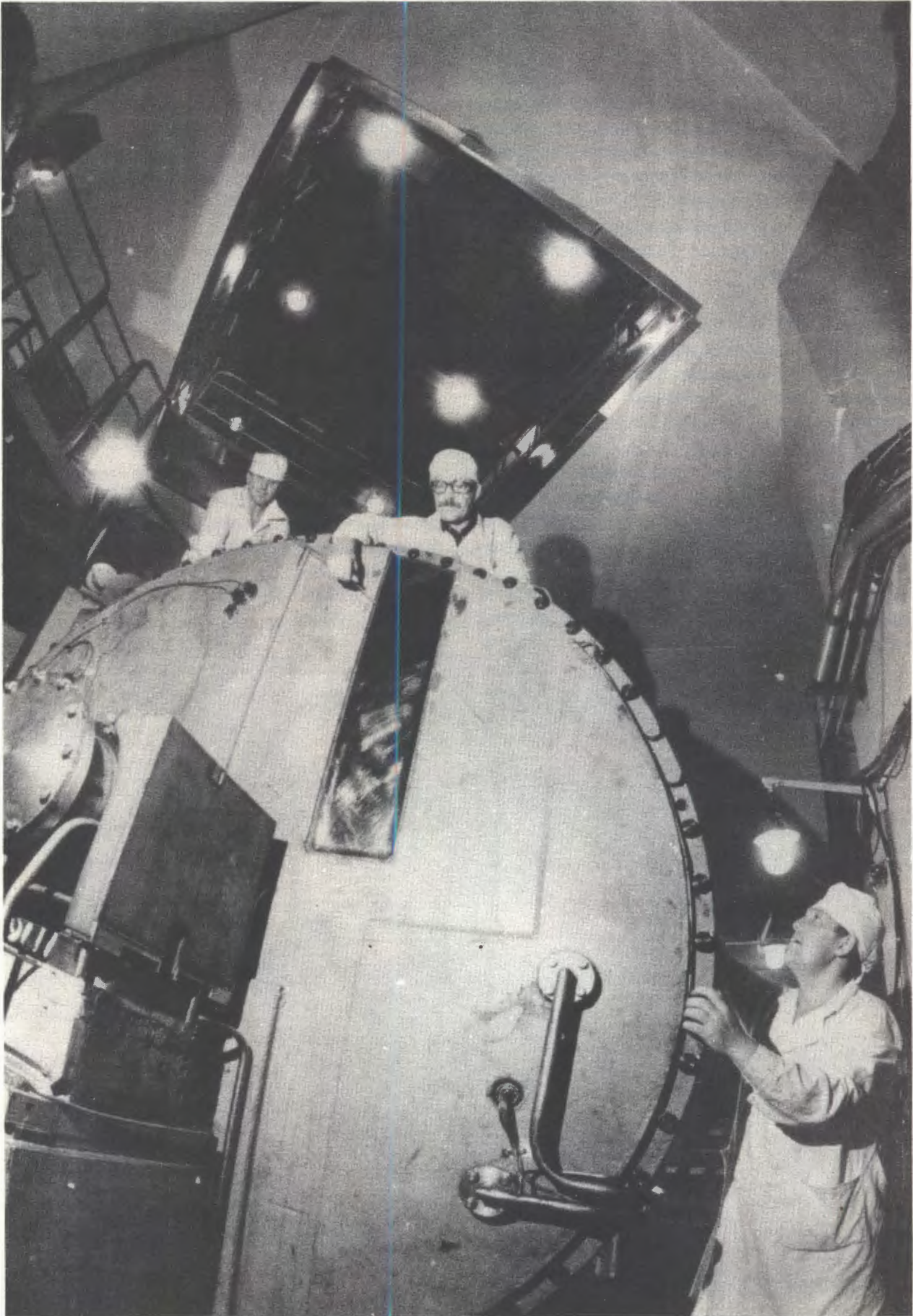
### ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ

В 1987 г. на реакторе ИБР-2 после стендовых и рабочих испытаний введен в действие новый подвижный отражатель ПО-2. Новая машина имеет лучшие технологические параметры и более развитый контроль за ее работой. Эксплуатация реактора ИБР-2 с отражателем ПО-2 на полной проектной мощности начата в ноябре 1987 г. До установки ПО-2 на штатное место была выполнена программа ЭПОС-3 по исследованию на реакторе ИБР-2 полномасштабного фрагмента подвижного отражателя ПО-3. Реактор работал при этом на "нулевой" мощности. Полученные результаты подтвердили рас-

четы и прогноз на сокращение нейтронного импульса до 120 мкс.

Бустер ИБР-2 с инжектором ЛУЭ-40 возобновил работу в октябре 1987 г. после завершения профилактических работ. Установка эксплуатируется в бустерном режиме умножения нейтронов из мишени ускорителя. Проведены дополнительные анализы гипотетических аварийных ситуаций на ИБР-30 и ИБР-2.

На строящемся ускорителе ЛИУ-30 проводились диагностические измерения параметров пучка электронов в ускорителе. Работа проводилась совместно с НИИЭФА (Ленинград). Создан и испытан комплекс диагностической аппаратуры, необходимой



Новый подвижный отражатель (ПО-2) импульсного реактора ИБР-2 (снимок слева).

для наладки ускорителя, в том числе аппаратно-программный комплекс МРФИ на базе ЭВМ МЕРА-60<sup>/35/</sup>. Осуществлены детальные исследования параметров пучка в инжекционной части ускорителя.

## НОВЫЕ УСТАНОВКИ И АППАРАТУРА

Сдана в эксплуатацию импульсная магнитная установка ИМУ-2, предназначенная для проведения нейтронографических исследований на реакторе ИБР-2 в импульсных магнитных полях величиной до 30 Тл.

В ходе работ по созданию новых спектрометров на канале №7 реактора ИБР-2 изготовлены и смонтированы зеркальные нейтроноводы общей протяженностью 80 м. Проведена реконструкция дифрактометра ДН-2: заменены зеркальный нейтроновод и детекторная система. Зеркальный нейтроновод установлен на канале №5 для спектрометра КОРА. На канале №11 смонтирован новый дифрактометр для измерений с поликристаллами. Канал №3 подготовлен для нейтронных исследований в диапазоне скоростей 50-450 м/с, введен в действие криостат с регулировкой температуры образца вплоть до 1,2 К.

Проведено измерение технических и физических характеристик недавно созданного нейтронного спектрометра ДИФРАН, который предназначен для изучения нейтронно-

оптических явлений при дифракции нейтронов на совершенных кристаллах по методу времени пролета. Представлены результаты измерений для некоторых кристаллов<sup>/36/</sup>.

Совместно с Лабораторией ядерных проблем создана двухкоординатная гейгеровская камера с гелиевым наполнением. Для улучшения точности измерения координаты применены специальные формирующие электроды<sup>/37/</sup>. Камера входит в состав скintилляционно-камерной аппаратуры для поиска двойного бета-распада<sup>/38/</sup>.

Экспериментально исследованы причины ухудшения с ростом длины волны поляризующих свойств нейтроноводов с поглощающим подслоем из сплава гадолиния с титаном. Измерялась спектральная зависимость коэффициента отражения нейтронов от зеркал, рис. 18. Его возрастание объяснено непостоянством длины рассеяния Gd.

Идут работы по созданию нового спектрометра — установки НЕРА-ПР.

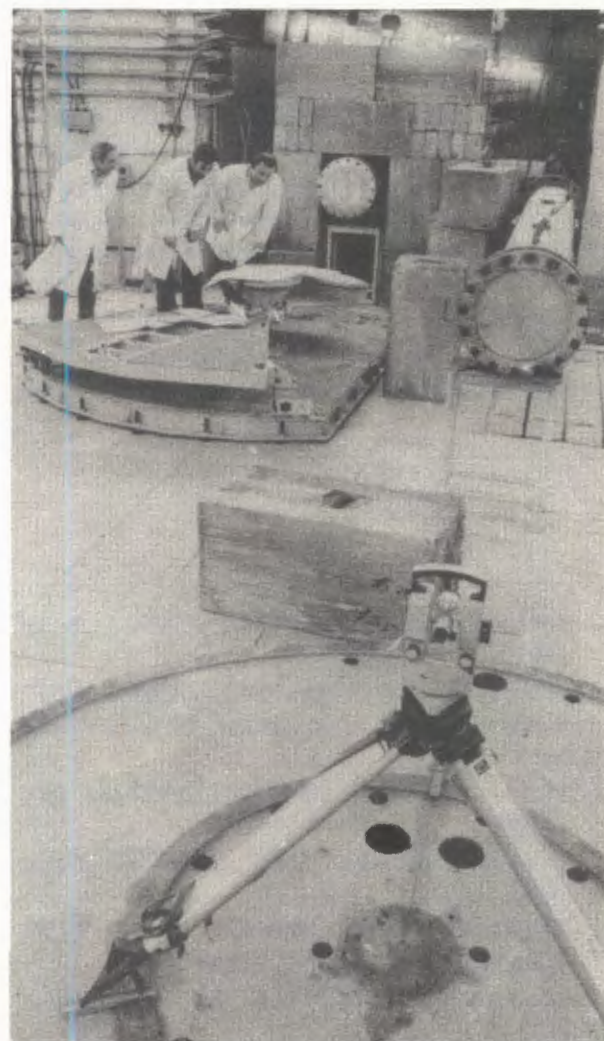
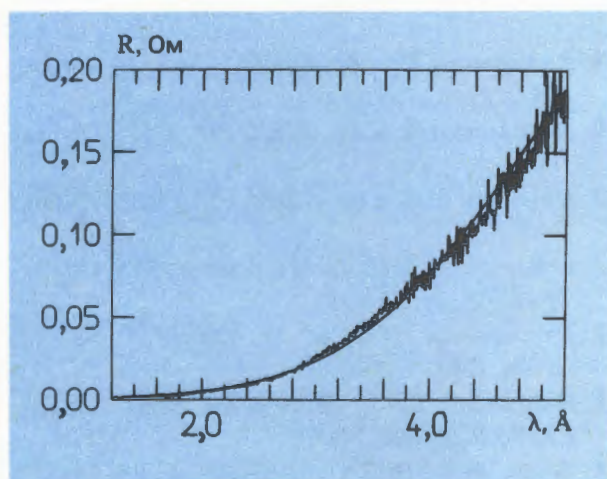


Рис. 18. Спектральная зависимость коэффициента отражения от зеркала.



Предложены более оптимальные композиции поглощающего подслоя<sup>/39/</sup>.

Создана экспериментальная установка для исследования веществ вблизи критической точки методом пропускания гамма-излучения с энергией 123 кэВ. В состав установки помимо блока источника и регистрирующего тракта с Ge(Li)-детектором входит термостат с системой стабилизации температуры, позволяющий работать в диапазоне 285-340 К с погрешностью  $10^{-4}^{\circ}\text{C}$ , или  $\Delta T/T \cong 3 \cdot 10^{-7}$ <sup>/40/</sup>.

### ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Все основное оборудование центра после перерыва в работе на время перебазирования в новое здание было подготовлено к работе. С октября 1987 г. началась регулярная эксплуатация измерительных модулей и обеспечение аппаратурой и вычислительной техникой физических измерений на нейтронных пучках ИБР-2 и ИБР-30 с инжектором ЛУЭ-40.

Велась работа по модернизации и дальнейшему развитию Измерительно-вычислительного центра. Полностью введена в эксплуатацию локальная сеть ЭВМ центра и новое программное обеспечение к ней<sup>/41/</sup>, что в 25 раз повысило скорость обмена информацией между измерительными модулями и центральным процессором. Создан интеллектуальный терминал на основе

микропроцессора И880 (ГДР) и цветного дисплея, повысивший эффективность обработки физической информации<sup>/42/</sup>. Начата регулярная эксплуатация графопостроителя "Дигиграф".

Начаты работы по модернизации ряда измерительных модулей: спектрометр МУРН оснащен двухмашинным комплексом СМ4/СМ1300, подготовлена многопроцессорная контрольно-измерительная система спектрометра поляризованных нейтронов (СПН), переоборудована для измерений со сверхпроводниками аппаратура дифрактометра ДН-2. Проведена замена части технологического оборудования для изготовления электронных блоков. Модернизирована система контроля и управления условиями эксперимента на спектрометре КДСОГ-М<sup>/43/</sup>. Разработана модульная система накопления спектрометрической информации<sup>/44/</sup>.

Разрабатывались и создавались новые блоки и устройства для измерительных модулей и автоматизации эксперимента, в том числе многофункциональный кодировщик номера детектора, который может работать как в автономном режиме, так и как программно-управляемый блок КАМАК на связи с ЭВМ<sup>/45/</sup>; блок управления шаговыми двигателями в стандарте КАМАК с микропроцессором К 1801ВМ1<sup>/46/</sup>; программные и аппаратные средства программирования интегральных схем К556 РТ-1<sup>/47/</sup>; блоки распределения аналоговых данных с изолированной линией последовательного интерфейса<sup>/48/</sup> и ряд других.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, Р6-87-73, Дубна, 1987.
2. Бонева С.Т. и др. ОИЯИ, Р3-87-513, Дубна, 1987.
3. Алфименков В.П. и др. ОИЯИ, Р3-87-43, Дубна, 1987.
4. Алфименков В.П. и др. ОИЯИ, Р3-87-117, Дубна, 1987.
5. Кузнецова Л.В. и др. ОИЯИ, Р3-87-114, Дубна, 1987.
6. Ломаченков И.А., Фурман В.И. ОИЯИ, Р4-87-746, Дубна, 1987.
7. Борзаков С.Б. и др. ОИЯИ, Р3-87-131, Дубна, 1987.
8. Анджеевски Ю. и др. ОИЯИ, Р3-87-319, Дубна, 1987.
9. Анджеевски Ю. и др. ОИЯИ, Р15-87-530, Дубна, 1987.
10. Изосимов И.Н. и др. ОИЯИ, Р15-87-276, Дубна, 1987.
11. Новопольцев М.И., Покотиловский Ю.Н. ОИЯИ, Р3-87-408, Дубна, 1987.
12. Новопольцев М.И. и др. ОИЯИ, Р3-87-578, Дубна, 1987.
13. Игнатович В.К., Никитенко Ю.В. ОИЯИ, Р3-87-326, Дубна, 1987.
14. Таран Ю.В. ОИЯИ, Р3-87-220, Дубна, 1987.

15. Гундорин Н.А. и др. ОИЯИ, РЗ-87-718, Дубна, 1987.
16. Борбей Ш. и др. ОИЯИ, Р14-87-418, Дубна, 1987.
17. Беззаботнов В.Ю. и др. ОИЯИ, Р14-87-88, Дубна, 1987.
18. Костромин С.Г. и др. ОИЯИ, 14-87-361, Дубна, 1987.
19. Васильев Б.В., Лущиков В.И. ОИЯИ, Р14-87-463, Дубна, 1987.
20. Аксенов В.Л. и др. ОИЯИ, Р17-87-444, Дубна, 1987.
21. Velushkin A.V. et al. JINR, D14-88-11, Dubna, 1988.
22. Белушкин А.В. и др. ОИЯИ, Р14-87-644, Дубна, 1987.
23. Goremychkin E.A. et al. JINR, E14-87-278, Dubna, 1987.
24. Хоменко В.Г. и др. ОИЯИ, Р14-87-596, Дубна, 1987.
25. Попа Н. ОИЯИ, Р14-87-293, Дубна, 1987.
26. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, РЗ-87-531, Дубна, 1987.
27. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, Р14-87-744, Дубна, 1987.
28. Рора Н.С. JINR, E14-87-180, Dubna, 1987.
29. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, Р14-87-38, Дубна, 1987.
30. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, 14-87-353, Дубна, 1987.
31. Вальтер К. и др. ОИЯИ, 18-87-291, Дубна, 1987.
32. Feldmann K. et al. JINR, E14-87-677, Dubna, 1987.
33. Горбунов А.В. и др. ОИЯИ, Р14-87-447, Дубна, 1987.
34. Лавданский П.А. и др. ОИЯИ, Р14-87-56, Дубна, 1987.
35. Журавлев В.В. и др. ОИЯИ, 13-87-633, Дубна, 1987.
36. Александров Ю.А. и др. ОИЯИ, РЗ-87-449, Дубна, 1987.
37. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, Р13-87-205, Дубна, 1987.
38. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 13-87-248, Дубна, 1987.
39. Докукин Е.Б. и др. – В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №4 [24]-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.22.
40. Осипенко Б.П. и др. ОИЯИ, Р14-87-592, Дубна, 1987.
41. Алфименков А.В., Хрыкина Т.Д. ОИЯИ, Р11-87-839, Дубна, 1987.
42. Гюнтер З. и др. ОИЯИ, Р10-87-717, Дубна, 1987.
43. Браньковски Е. и др. ОИЯИ, Р11-87-273, Дубна, 1987.
44. Бойа Я. и др. ОИЯИ, Р10-87-691, Дубна, 1987.
45. Жиронкин Г.Ф., Оганезов Г.А. ОИЯИ, 13-87-628, Дубна, 1987.
46. Вагов В.А., Сиротин А.П. ОИЯИ, 13-87-316, Дубна, 1987.
47. Вагов В.А. и др. ОИЯИ, Р11-87-317, Дубна, 1987.
48. Замрий В.Н., Роганов А.Б. ОИЯИ, 13-87-160, Дубна, 1987.



# ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

В 1987 году коллективом Лаборатории проведены работы, направленные на развитие и эффективное использование Центрального вычислительного комплекса, локальной сети ЭВМ и терминалов, а также на модернизацию их математического обеспечения. Получили дальнейшее развитие

системы обработки камерных снимков. Исследованы методы и созданы программы решения нелинейных задач математической физики в связи с разработками, проводимыми в ОИЯИ. Созданы комплексы программ для обработки экспериментальных данных.

## РАЗВИТИЕ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОИЯИ

Подключен к ЭВМ ЕС-1061 и сдан в эксплуатацию матричный процессор ЕС-2706. Получен первый опыт использования процессора при решении задач численного эксперимента в  $SU(2)$ -калибровочной теории поля. Изучался температурный фазовый переход "конфайнмент — деконфайнмент", в ходе которого матричный процессор работал со скоростью 16 млн. операций в секунду.

Освоено математическое обеспечение матричного процессора: драйвер, обслуживающий взаимодействие ЕС-2706 и ЕС-1061, библиотеки программ элементарных операций и прикладных программ, трансляторы с языков ФОРТРАН, АРАЛ и др.

На ЕС-1061 произведена замена 6 магнитофонов типа ЕС-5025.03 на 8 магнитофонов типа ЕС-5612 М1, более надежных в работе. Сдан в эксплуатацию терминальный контроллер на 16 входов на базе микропроцессора 8086, что позволило на ЕС-1061 дать выход пользователям с терминалов сети. К машине подключен и активно используется графопостроитель ЕС-7053М. На ЭВМ ЕС-1061 испытано два новых варианта операционной системы типа ТКС, снимающих часть нагрузки на внешнюю память машины и лучше реагирующие на сбои дисковых накопителей. Набор возможностей этих вариантов системы расширен за счет включе-

ния ряда программ слежения за прохождением задач, измерения нагрузки на каналы и устройства ЭВМ, учета частоты использования модулей операционной системы и т.д. Проведена существенная модификация библиотек программ общего назначения и адаптация пакета графических программ ГРАФОР для обслуживания графопостроителя ЕС-7053М и графического терминала ИНТЕР.

На ЭВМ CDC-6500 произведена замена изношенных дисковых устройств и магнитофонов. В настоящее время в составе ЭВМ имеется 7 магнитофонов с плотностью записи до 1600 бит/дюйм, магнитные диски в 200, 100 и 30 Мбайт общей емкостью 1290 Мбайт. Задействован дополнительный терминальный мультиплексор на 32 входа, общее число терминалов, подключаемых к машине, может достигать 48.

На ЭВМ CDC-6500 произведена замена операционной системы на более современный вариант (NOS/BE уровня 472), с помощью которого стало возможным обслуживание новых магнитофонов, а также ускорение выполнения целого ряда программ пользователей. В операционную систему внесены изменения, обеспечивающие расширение на 200 Мбайт дисковой памяти, выделяемой для хранения архивов (программ и данных) пользователей. Проведена полная пе-



Матричный процессор ЕС-2706 введен в эксплуатацию в составе ЭВМ ЕС-1061.

ретрансляция библиотеки программ общего назначения. В состав общесистемного обеспечения машины включен транслятор с языка ПАСКАЛЬ-3.

На ЭВМ БЭСМ-6 проведены работы по замене магнитных барабанов на электронную память, сдан в эксплуатацию мультиплексор на базе микропроцессора 580ИК80, что позволило осуществить выход машины в сеть напрямую. Расширена библиотека программ общего назначения, в частности внедрен новый набор программ для решения систем интегральных уравнений.

Дальнейшее развитие получила локальная сеть ОИЯИ. Общая длина коаксиального кабеля составляет 9 км. В настоящее время в составе сети к портам подключено около 130 терминалов и персональных ЭВМ. К сети подключены ЭВМ измерительных центров: PDP 11/70 (ЛНФ), СМ-4 и СМ-1420 (ОНМУ), СМ-4 (ЛЯР) и МЕРА-60 (ЛЯП). Для обеспечения возможности расширения сети проводились разработки аналогов плат, используемых в сети.

Введен в режим эксплуатации по 2 часа в день терминал, имеющий выход на зарубежные сети, в частности на ЭВМ ЦЕРНа. Ведутся работы по переходу на связь этого

терминала с узлом в Москве по протоколу X.25. Это повысит надежность работы терминала и откроет возможность выхода с внешних сетей, в том числе из институтов стран-участниц ОИЯИ, на ЭВМ, подключенные к сети Института<sup>1-4</sup>.

В 1987 году начала работать терминальная станция для связи с вычислительным центром ЦЕРНа.



Таблица  
Эксплуатация базовых электронно-вычислительных машин

ЭВМ	Годовой план, ч	Общее полезное время счета за год, ч	Среднесуточное полезное время, ч	Число пропущенных задач
ЕС-1061	6000	6914	19,5	157950/98008*
ЕС-1060	6000	6851	19,6	32983/11028*
CDC-6500	7300	7760	22	164349/76474*
БЭСМ-6	6600	7276	21,1	63309/20680*

\*Число задач, пропущенных с терминалов.

### РАЗВИТИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЭВМ

Все большую популярность в Институте находит система аналитических вычислений REDUCE. На ЭВМ ЕС-1060 и ЕС-1061 закончено внедрение ее версии REDUCE 3.2. Система работает в двух вариантах: максимальном и минимальном. Минимальный вариант не содержит в оперативной памяти модулей интегратора, факторизации, решения систем уравнений и некоторых других. При необходимости они подгружаются в оперативную память автоматически.

Метод усреднения Крылова — Боголюбова использован для исследования условий поведения амплитуд бетатронных колебаний заряженной частицы в окрестности резонанса третьего порядка, который проходит достаточно близко от рабочей точки синхротрона ОИЯИ. Вычисления выполнены на ЭВМ с помощью системы REDUCE 3.2. При некоторых условиях, накладываемых на параметры магнитного поля, доказана ограниченность амплитуд. Показана возможность применения системы REDUCE для решения задач теории возмущений квантовой механики на современном языке

группы динамической симметрии. Создана программа STARK для вычислений в аналитическом виде энергии и волновых функций атома водорода в однородном электрическом поле в произвольном порядке теории возмущений.

На языке SCHOONSCHIP создана универсальная программа двухпетлевых расчетов диаграмм пропагаторного типа в двухпетлевых киральных теориях, которая реализует интегрирование как по гроссмановым, так и по импульсным переменным. Интегрирование по гроссмановым переменным может быть также применено для (3÷6)-петлевых диаграмм. Исследованы условия интегрируемости систем нелинейных эволюционных уравнений, линейных относительно старших производных по пространственной переменной. Сформулированы математические основы симметричного метода проверки условий интегрируемости и предложен алгоритм, реализующий данный метод для широкого класса нелинейных эволюционных систем. Алгоритм реализован в виде программы на языке FORMAC<sup>15-81</sup>.

### СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ВИЗУАЛЬНОЙ СВЯЗИ С ЭВМ

Интеллектуальные графические рабочие станции являются важнейшими элементами систем автоматизации научных исследований, проектирования и управления производством. Требование увеличения их интерактивных возможностей, то есть сокращения

времени реакции на "воздействие" пользователя, радикальным образом влияет на архитектуру таких станций.

Персональные компьютеры вследствие своей универсальности, а также малой скорости генерации изображения не позволяют

достичь высокой степени интерактивности. Вместе с тем, взяв персональную ЭВМ за основу и дополнив специальными узлами для генерации и хранения изображения, можно получить систему со значительно улучшенными характеристиками. На такой основе выбрана структура и разработаны принципы построения графической рабочей станции, которая базируется на персональном компьютере.

Разработаны и изготовлены микропрограммируемые генераторы функций вывода изображения на цветной растровый дисплей. Создано базовое программное обеспечение графического процессора. Сданы в эксплуатацию графические терминалы ИНТЕР-80 (подключен к ЕС ЭВМ) и ИНТЕР-85 (имеет выход на локальную сеть). Осуществлена стыковка графического пакета ГРАФОР с локальным программным обеспечением терминалов<sup>19</sup>.

Графический терминал ИНТЕР-85 с микропроцессорным управлением подключен через локальную сеть к ЭВМ ЕС-1061.



## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭВМ НА ЛИНИИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Массовая обработка экспериментальных данных предполагает разработку приемов, методов и соответствующего программного обеспечения, которые объединяются понятием автосопровождение массовых процессов (МОПАС).

Производительность обрабатывающей системы определяется дисциплиной обслуживания и надежностью операционной среды. В тех случаях, когда надежность операционной среды недостаточно высока, набор функций МОПАС расширяется средствами обнаружения и локализации ошибки, исправления ее последствий автоматически или с привлечением человека, уменьшения потерь, вызванных этой ошибкой, восстановле-

ния запросов на обслуживание при аварийном окончании задания.

В рамках рассматриваемого подхода пользователь освобождается от трудоемких функций по обслуживанию системы массовой обработки, в результате чего повышается эффективность использования ресурсов ЭВМ, надежность функционирования системы и уровень автоматизации работы операторов. Применение обсуждаемых средств повышает скорость массовой обработки на ЭВМ коллективного пользования; так было достигнуто устойчивое 5-6-кратное увеличение производительности системы по сравнению с традиционным подходом.

На ЭВМ ЕС-1040 создана эффективная система оперативного контроля работы мюонного спектрометра "Нейтринного детектора". На базе персональной ЭВМ СОРАМ-501 создана станция разработки программ анализа экспериментальных данных. Адаптированы для персональной ЭВМ варианты проблемно-ориентированных пакетов PATCHY, HBOOK и HPLOT, предназначенных для работы в интерактивном режиме.

Создан программный комплекс, который обеспечивает массовую автоматизированную обработку спектрометрической информации с установки "Гамма". Этот комплекс работает в диалоговом режиме и обеспечивает прием массивов данных на магнитные диски, предварительную обработку записанной информации и передачу ее на базовые ЭВМ<sup>10-12</sup>.

#### СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ КАМЕРНЫХ СНИМКОВ

В Лаборатории обрабатываются камерные снимки, полученные в десяти экспериментах физических групп ЛВЭ и ЛЯП.

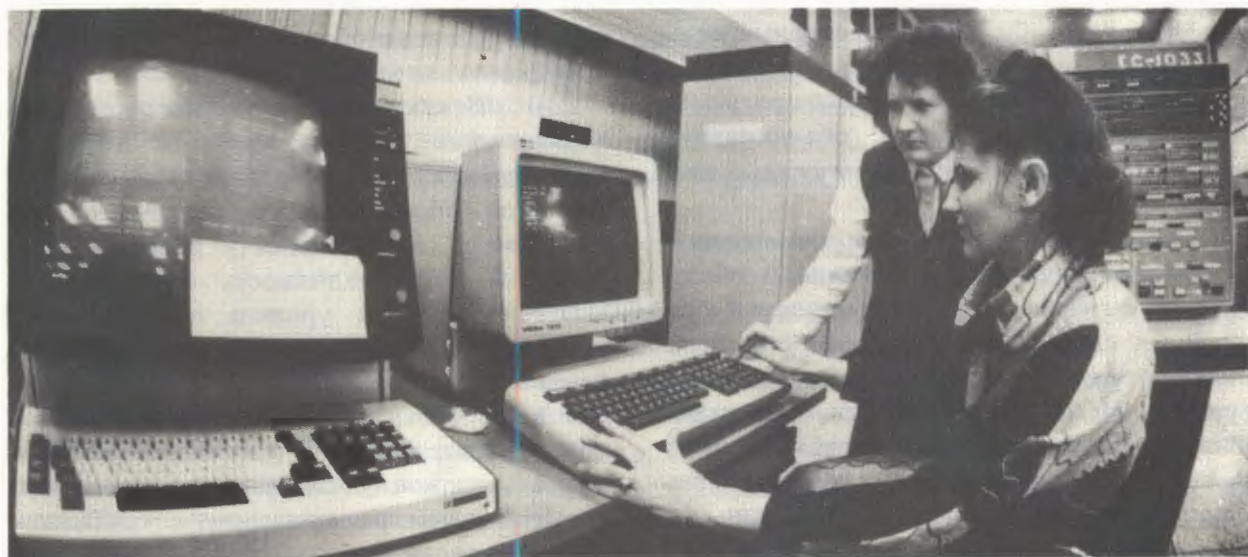
Выполнены работы по внедрению матриц ПЗС и персональных ЭВМ "Правец-16" в приборы ПУОС, что должно повысить точность и скорость измерений примерно на пятнадцать процентов. Реализуется связь ЭВМ "Правец-16" с ЕС ЭВМ, что обеспечит включение матрицы ПЗС в действующую измерительную систему на каждом приборе. На управляющей ЭВМ ЕС-1033 внедрена программа контроля в реальном времени измерений до уровня геометрической реконструкции.

На спиральном измерителе завершена разработка и начата отладка на реальных событиях со спектрометра РИСК программы

фильтрации в интерактивном режиме на линии с ЭВМ ЕС-1060. Реализован алгоритм выделения трековых сигналов со снимков пузырьковых и стримерных камер, снятых с помощью матрицы ПЗС, имеющей 256x 288 элементов. В качестве процессора предварительной обработки и фильтрации полученных данных применяется спецпроцессор RISC-архитектуры. Введение в состав процессора специализированных команд (спецпроцессор микропрограммируемый) позволяет распознавать и выделять элементы трека в зоне 0,25 мм<sup>2</sup> за 0,17-0,2 с, что обеспечивает работу в реальном масштабе времени.

Разработана интерфейсная карта для связи НРД с ЭВМ ЕС-1060. Выполнен большой объем работ по подготовке и отладке

Система ПАИС обеспечивает полуавтоматическую обработку снимков, полученных в 9 экспериментах ЛВЭ и ЛЯП. Система включает в себя 24 измерительных прибора, работающих на линии с ЭВМ ЕС-1033.



математического обеспечения НРД на ЕС-1060. Созданы программы организации диалога в режиме полутонных измерений на сканирующем автомате АЭЛТ-2/160<sup>/13,14/</sup>. Реализован электронный привод, предназначенный для прецизионных перемещений измерительных кареток. Устройство решает задачу повышения точности регулирования на малых скоростях<sup>/15/</sup>.

## СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В течение ряда лет в Лаборатории проводились работы по повышению уровня автоматизации процесса обработки फिल्मовой информации. Были созданы высокоавтоматизированные системы математической обработки результатов измерений камерных фотографий, позволяющих в 3-4 раза сократить календарные сроки анализа экспериментальных данных. Это достигнуто в основном за счет оптимизации самого процесса, алгоритмизации ряда операций, традиционно выполнявшихся людьми, и создания на этой основе ряда программ, внедрение которых дало возможность переложить на ЭВМ наиболее трудоемкие операции, выполнявшиеся ранее человеком. Например, программное ведение журнала истории обработки результатов позволяет автома-

При помощи полуавтоматических устройств ПУОС-САМЕТ измерено 425 тысяч треков событий на снимках с камер Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем. На сканирующем автомате НРД обеспечен ресурс в объеме 2780 часов для проведения массовой обработки снимков, на АЭЛТ-2/160 — ресурс в объеме 1600 часов для измерения снимков с установки МИС.

тически формировать ленты суммарных результатов и подводить итоги обработки программным путем<sup>/16,17/</sup>.

Среди приложений аппроксимационных методов в физике одной из актуальных является задача обработки калибровочных измерений, проводимых для определения точностных характеристик автоматических измерительных приборов и установления связи между системами координат, в которых ведутся измерения, и координатами измеряемого объекта. Алгоритм полиномиальной аппроксимации применен на спиральном измерителе для обработки калибровочных данных реперных крестов. Аппроксимация ведется в полярных координатах, что упрощает вычисления и повышает их точность<sup>/18/</sup>.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ И ФИЗИКЕ РЕЗОНАНСОВ

Для различных механизмов протекания реакций  ${}^1\text{H}(d, p)\text{X}$  при 9 ГэВ/с выполнены расчеты импульсных спектров протонов, испускаемых как с большими, так и с нулевыми поперечными импульсами (углы регистрации протонов 0,139 и 0 рад соответственно). Показано, что в случае больших поперечных импульсов вторичных протонов диаграммы с возбуждением пионных степеней свободы дают в целом незначительные поправки к результатам, полученным в модели жестких соударений. Напротив, для угла регистрации 0° в области импульсов вторичных протонов 0,1 ÷ 0,3 ГэВ/с (в системе покоя дейтрона)

вклады процесса прямой фрагментации и механизмов с возбуждением пионных степеней свободы сравнимы по величине, и при рассмотрении вопроса об адекватности теоретического описания следует считаться с возможностью интерференции амплитуд различных механизмов рассматриваемой реакции<sup>/19/</sup>. Предложены и проанализированы три критерия отбора быстрых однозарядных фрагментов, регистрируемых при помощи магнитного спектрометра с проводочными камерами, одномерный критерий геометрического отбора событий, а также два двумерных критерия разделения по массам протонов, дейтронов и ядер трития.

Геометрический критерий снижает потерю истинных событий в наиболее критическом интервале импульсов изучаемых частиц до пятнадцати процентов. Критерии разделения по массам основаны на двукратном независимом определении масс частиц. Они позволяют выделить частицы, сечение образования которых составляет  $10^{-4} - 10^{-6}$  сечения образования остальных частиц<sup>/20/</sup>.

В  $\pi^-$ -р-взаимодействиях при 16 ГэВ/с в событиях с зарегистрированными  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ -частицами обнаружен  $K(1629)$ -мезон с параметрами  $M = (1629 \pm 4) \text{ МэВ}/c^2$ ,  $\Gamma = (13_{-13}^{+16}) \text{ МэВ}/c^2$ . Предпринятый компиля-

тивный анализ работ по исследованию резонансных состояний странных мезонов, выполненных в  $K^{\pm}$ -р-,  $\pi^-$ -р-взаимодействиях при различных энергиях, подтверждает полученные результаты<sup>/21/</sup>.

На основе глауберовского и дуально-топологического подходов создана программа, моделирующая неупругие дифракционные взаимодействия протонов и ядер с ядрами при высоких и сверхвысоких энергиях. Путем моделирования на ЭВМ исследована роль многокварковых конфигураций в кумулятивных процессах при адрон-ядерных столкновениях<sup>/42/</sup>.

## РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Проведено численное исследование релятивистских квазипотенциальных уравнений, описывающих связанную систему двух частиц в импульсном пространстве, в случае, когда интегральный оператор содержит нелинейную зависимость от собственного числа — массы системы. Установлена зависимость энергии связи от массы промежуточного бозона, найдены критические значения массы, при которых в системе появляется первое связанное состояние.

Получены условия разложимости погрешности приближенных решений в задаче на собственные значения для самосопряженного оператора по некоторому параметру аппроксимации. При численном решении спектральной задачи с интегральным оператором на полуоси такое разложение позволяет повысить точность приближенных решений на один, два порядка на основе экстраполяции по параметру аппроксимации.

Разработан метод приближенного вычисления интегралов по траекториям в евклидовой квантовой механике без решеточной дискретизации. Метод основан на представлении этих интегралов в виде континуальных интегралов по условной мере Винера и использовании построенных приближенных формул, точных на классе функциональных многочленов заданной степени<sup>/22,23/</sup>.

Разработаны квадратурные формулы, предназначенные для вычисления интеграла Фурье путем аппроксимации исходной

функции на конечном отрезке сплайном и учета остаточной части интеграла путем использования информации о поведении функции в окрестности бесконечности. Формулы применены для построения экономичного численного алгоритма решения обратной задачи рассеяния квантовой механики по полуоси<sup>/24/</sup>.

Исследованы условия существования периодических режимов в одномерном джозефсоновском переходе конечной длины с микронеоднородностью. Проведено численное решение синус-уравнения Гордона с сингулярностью. Установлено существование решений, содержащих ограниченные периодические функции. Такие решения обнаружены также в однородном переходе<sup>/25/</sup>. Для пространственных задач магнитостатики в неограниченной области рассмотрены комбинированные численные алгоритмы, основанные на объединении метода граничных интегральных уравнений с методами, использующими дифференциальную постановку. Установлена однозначная разрешимость в соболевских пространствах уравнений в комбинированной постановке для нелинейного случая. Получены условия сходимости итерационных методов градиентного и ньютоновского типа<sup>/26-28/</sup>.

Исследованы решения двумерных интегральных уравнений магнитостатики с использованием кусочно-линейной аппроксимации намагнитченности. Предложен приближенный метод вычисления коэффициентов

матрицы дискретизованных уравнений. Для двумерных задач магнитостатики в случае сложных многосвязных областей разработан экономичный алгоритм численного решения. Используются дифференциальные уравнения внутри области, содержащей ферромагнетик, и граничные интегральные уравнения в качестве краевого условия. Разработана методика, позволяющая проводить численные расчеты по выравниванию магнитного поля с помощью ферромагнитных вставок<sup>/29,30/</sup>.

Развит метод линеаризации, основанный на алгебро-геометрической теории исследования нелинейных эволюционных уравнений. Метод позволяет генерировать одновременно как сами уравнения, так и их точные решения с достаточно произвольной асимптотикой. Метод применен для исследования ряда интегрируемых моделей неидеального бозе-газа на квазиклассическом уровне, в том числе смеси разных газов, взаимодействующих друг с другом непосредственно и через промежуточное поле. Такие же уравнения возникают в теории квазиодно-

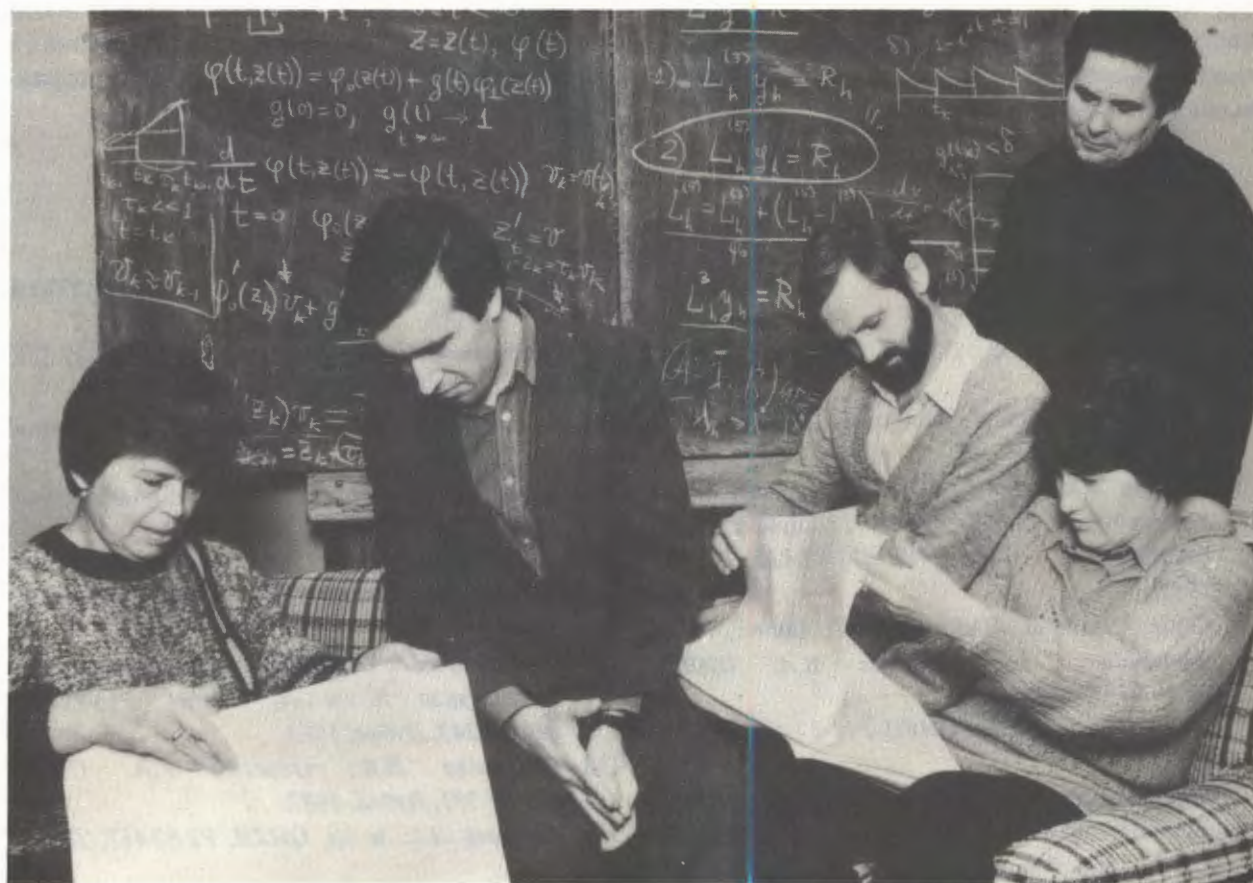
мерных магнитных кристаллов с многослойной структурой.

Проведено численное исследование топологических солитонов на решетке, а также устойчивости солитоноподобных объектов в модели ядерной гидродинамики с силами Скирма в ряде магнитных систем и в модели сверхтекучего бозе-газа<sup>/31-34/</sup>.

Разработана оригинальная вариационная схема с регуляризацией для расчета трехмерной системы трех кулоновских частиц в рамках уравнения Шредингера. Проведена оптимизация нелинейных параметров и распределения независимых переменных в базисных функциях с учетом асимптотических свойств волновых функций. Исследованы вопросы экстраполяции результата по числу базисных функций. Проведена модификация алгоритмов, позволившая довести в расчетах число базисных функций до 2000.

Впервые вычислены значения уровней энергии связи слабосвязанных состояний мезомолекул  $dd\mu$  и  $dt\mu$  с точностью  $2 \cdot 10^{-4}$  эВ, сопоставимой с известной на се-

Обсуждение результатов расчета уровней энергии слабосвязанных состояний мезомолекул  $dd\mu$  и  $dt\mu$  ведут (слева направо) Т.П.Пузынина, В.С.Мележик, В.И.Коробов, Т.А.Стриж и И.В.Пузынин.





годня точностью измерения масс частиц. Таким образом, решена одна из важнейших проблем теории мюонного катализа.

Разработана постановка спектральной задачи для расчета характеристик системы трех частиц в рамках трехмерного уравнения Шредингера в гиперсферических координатах. Для ее решения применяется разложение волновой функции по двумерному базису. В результате этого подхода эффективные потенциалы вычисляются с помощью решения спектральной задачи в двумерной конечной области<sup>/35-38/</sup>.

Разработаны комплексы программ решения задачи Штурма — Лиувилля с не-

линейной зависимостью от спектрального параметра для одного уравнения и системы в одномерном случае с помощью итерационных ньютоновских схем. В комплекс включены модули автоматического построения начальных приближений для итераций<sup>/39/</sup>.

Разработан новый метод статистического анализа радиохимических данных по выходу изотопов в реакциях расщепления. Создана программа, моделирующая развитие широких атмосферных ливней (в частности, развитие мюон-нейтринной компоненты) в атмосфере при энергиях, которые больше  $10^3$  ГэВ<sup>/40,41/</sup>.

## НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Сконструирована цифровая телевизионная камера на ПЗС-линейке К1200ЦЛ2, видеосигнал которой обрабатывается на микрокомпьютере ДВК-2. Обычно при обработке видеосигнала ПЗС-линейки ограничиваются простейшей пороговой обработкой для обнаружения объектов и измерения их положения. Предложены два квазиоптимальных алгоритма измерения координат точечных объектов, которые позволяют достичь точности в два раза большей, чем традиционная, при минимальном увеличении вычислительных затрат<sup>/43/</sup>.

Созданный в ЛВТА ОИЯИ сканирующий автомат АЭЛТ-2/160 используется для обработки черно-белых полутонных фильмов, а также цветных фильмов, полученных в эксперименте по нагреванию модели в газовом потоке.

Результаты количественного сравнения данных обработки на автомате с ручными измерениями показывают, что применение автомата сокращает время, затрачиваемое на обработку фильмов с полутонной информацией, более чем на два порядка<sup>/44,45/</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мазепа Е.Ю. и др. ОИЯИ, P11-87-90, Дубна, 1987.
2. Галактионов В.В., Хаиндрова М.Н. ОИЯИ, P11-87-147, Дубна, 1987.
3. Хасанов А.М. ОИЯИ, P11-87-585, Дубна, 1987.
4. Бавижев А.Д. ОИЯИ, P11-87-715, Дубна, 1987.
5. Fedorova R.N. et al. JINR, E11-87-110, Dubna, 1987.
6. Gerdt V.P. et al. JINR, E5-87-40, Dubna, 1987.
7. Виницкий С.И., Ростовцев В.А. ОИЯИ, P11-87-303, Дубна, 1987.
8. Амирханов И.В. и др. ОИЯИ, P11-87-452, Дубна, 1987.
9. Брук К. и др. ОИЯИ, P10-87-253, Дубна, 1987.
10. Евсиков И.И., Иванченко И.М. ОИЯИ, P10-87-52, Дубна, 1987.
11. Аниховский В.Е. и др. ОИЯИ, P10-87-193, Дубна, 1987.
12. Бутцев В.С. и др. ОИЯИ, P1-87-560, Дубна, 1987.
13. Беляев А.В. и др. ОИЯИ, P10-87-639, Дубна, 1987.
14. Бан Я. и др. ОИЯИ, P10-87-339, Дубна, 1987.
15. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P10-87-275, Дубна, 1987.
16. Балгансурэн Я. ОИЯИ, P10-87-241, Дубна, 1987.
17. Балгансурэн Я. и др. ОИЯИ, P10-87-242, P10-87-243, Дубна, 1987.
18. Богданова Н.Б., Ососков Г.А. ОИЯИ, P10-87-731, Дубна, 1987.
19. Ажгирей Л.С. и др. ОИЯИ, P2-87-417, Дубна, 1987.

20. Словинский Б. и др. ОИЯИ, P1-87-51, Дубна, 1987.
21. Карнаухов В.М. и др. ОИЯИ, P1-87-559, Дубна, 1987.
22. Жидков Е.П. и др. ОИЯИ, P11-87-261, P11-87-375, Дубна, 1987.
23. Lobaov Yu.Yu., Zhidkov E.P. JINR, E2-87-507, Dubna, 1987.
24. Егикян Р.С., Жидков Е.П. ОИЯИ, P5-87-284, P5-87-285, Дубна, 1987.
25. Казача Г.С., Сердюкова С.И. ОИЯИ, P11-87-434, Дубна, 1987.
26. Айрян Э.А. и др. ОИЯИ, P11-87-49, Дубна, 1987.
27. Жидков Е.П. и др. ОИЯИ, P11-87-501, Дубна, 1987.
28. Грегуш М. и др. ОИЯИ, P11-87-556, Дубна, 1987.
29. Akishin P.G. et al. JINR, E11-87-101, Dubna, 1987.
30. Акишин П.Г. и др. ОИЯИ, P11-87-427, P11-87-732, Дубна, 1987.
31. Varashenkov I.V., Makhan'kov V.G. JINR, E17-87-29, Dubna, 1987.
32. Маханьков А.В., Маханьков В.Г. ОИЯИ, P17-87-295, Дубна, 1987.
33. Боголюбский И.Л. ОИЯИ, P5-87-354, Дубна, 1987.
34. Dibrovin V.A. et al. JINR, E5-87-710, Dubna, 1987.
35. Виноцкий С.И. и др. ОИЯИ, P4-87-8, Дубна, 1987.
36. Коробов В.И. и др. ОИЯИ, P4-87-225, Дубна, 1987.
37. Коробов В.И. ОИЯИ, P11-87-351, Дубна, 1987.
38. Гочева А.Д., Пузынин И.В. ОИЯИ, P11-87-459, Дубна, 1987.
39. Пузынин И.В. и др. ОИЯИ, P11-87-332, Дубна, 1987.
40. Херрман Э. и др. ОИЯИ, P1-87-809, Дубна, 1987.
41. Архестов Г.Х., Бештоев Х.М. ОИЯИ, P2-87-504, Дубна, 1987.
42. Lukasov G.I. et al. JINR, E2-87-355, Dubna, 1987.
43. Меньшиков А.Л. и др. ОИЯИ, P10-87-515, P10-87-516, Дубна, 1987.
44. Иванов В.В. и др. ОИЯИ, P10-87-80, Дубна, 1987.
45. Бражко В.Н. и др. ОИЯИ, P10-87-79, Дубна, 1987.

## ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

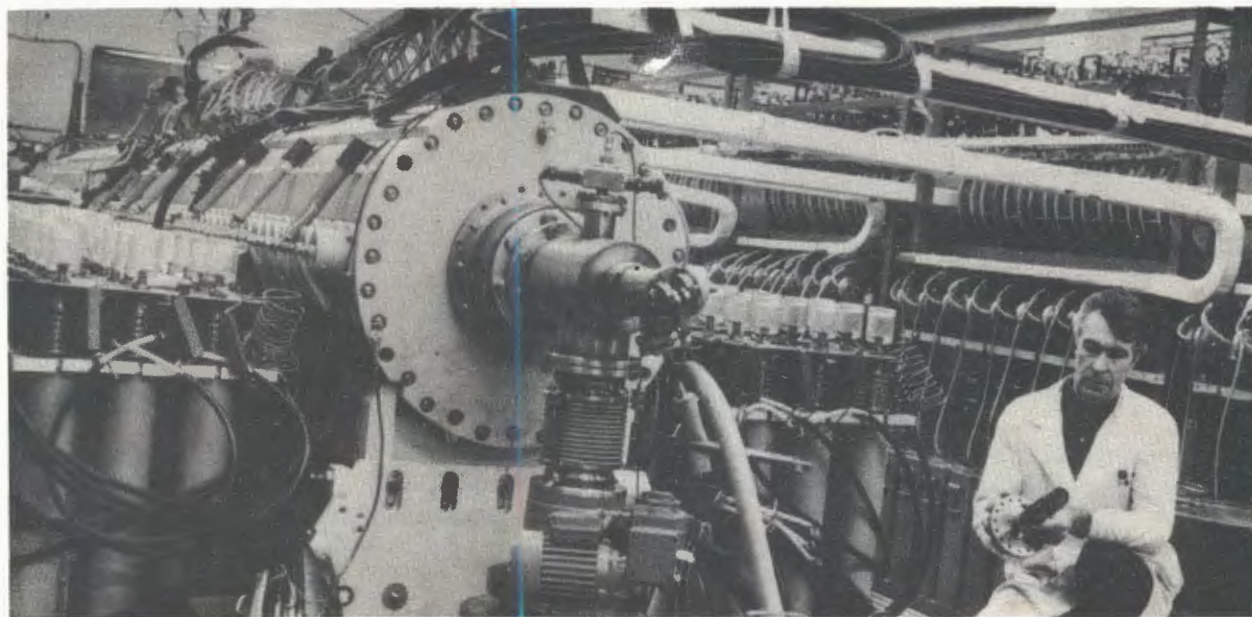
Основные усилия Отдела новых методов ускорения\* были направлены на исследования по коллективному методу ускорения, на методические разработки, связанные с созданием координатных детекторов, и на создание отдельных систем ускорительно-накопительного комплекса в ИФВЭ (Протвино).

### ИССЛЕДОВАНИЕ КУТИ-20

На ускорителе КУТИ-20 проводились работы, направленные на улучшение параметров электронно-ионных колец. В СИЛУНДе проведена замена плазменного источника электронов на источник

со взрывоэмиссионным углеродно-волоконистым катодом, что позволило отказаться от пленки, разделявшей вакуумные объемы СИЛУНДа и адгезатора и ухудшавшей качество пучка, инжектируемого в камеру адгезатора. Кроме того, проведена реконструкция переходного участка, улучшившая фокусировку и экранировку пучка на тракте ввода. В результате ток в точке инъекции достигает 500 А и половина его обладает эмиттансом, не превышающим величины акцептанса камеры адгезатора. Для улучшения захвата пучка, формирования кольца и его сжатия реконструирована магнитная система адгезатора. Вместо системы, реализующей захват при низких значениях показателя спада

Идет стендовая наладка секций ЛУЭК по электронному пучку.



\*С 26 октября 1987 г. преобразован в Общественное научно-методическое отделение по физике высоких энергий (ОНМО).

магнитного поля  $n \approx 0,2$ , создана система, осуществляющая захват при  $n \approx 0,5$  с последующим сжатием в I и II ступенях магнитного поля при показателе поля, который больше резонансного значения  $n = 0,25$ , и "быстрым" прохождением резонанса  $2\nu_z = I$  в III ступени магнитного поля в присутствии ионов, накопленных при сжатии. В соответствии с теоретическими представлениями наличие ионов отодвигает резонанс в область меньших  $n$  и за счет нелинейности их сил может существенно облегчить прохождение резонанса.

Исследование процессов захвата в новой системе показало, что при высоких значениях  $n$  в камере адгезатора возможен устойчивый захват пучка с током до 150 А. При сжатии в новой системе реализована на траектории электронов зависимость  $n(r, t)$ , близкая к расчетной. При изучении потерь частиц из кольца при прохождении одночастичных резонансов выявлено, что их прохождение улучшается с увеличением тока захваченных электронов (число оставшихся в кольце частиц увеличивается, а потери падают). Пороговый характер этой зависимости указывает на возможное влияние на эти процессы присутствующих в кольце ионов. Проведенные работы позволили получить сжатые кольца с большим числом электронов при приемлемых геометрических параметрах<sup>11/</sup>.

#### НОВЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработана технология изготовления координатных детекторов на основе дрейфовых труб для комплекса "Меченые нейтрино" и соответствующая электроника. В Опытном производстве ОИЯИ организовано серийное изготовление модулей дрейфовых труб и блоков регистрирующей электроники; изготовлено 40% аппаратуры мюонного спектрометра (8 координатных плоскостей, 192 8-канальных усилителя, 96 16-канальных ВЦП и др.). В модульном корпусе ОНМУ создан стенд для испытаний крупногабаритных детекторов, на котором испытываются детекторы комплекса "Меченые нейтрино".

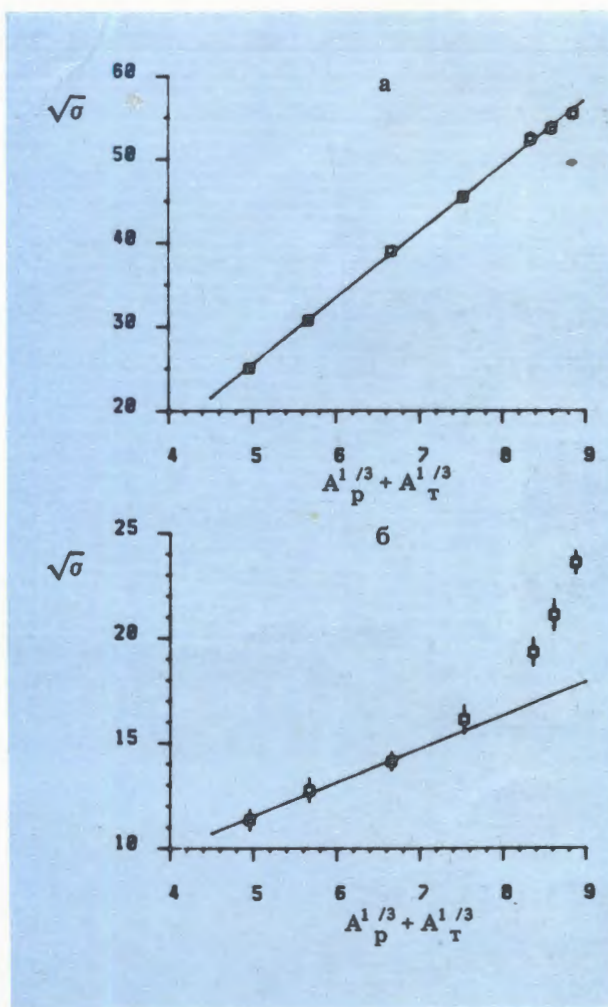
Созданный по разработкам ОНМУ на основе дрейфовых камер с соответствующей электроникой координатный детектор уста-

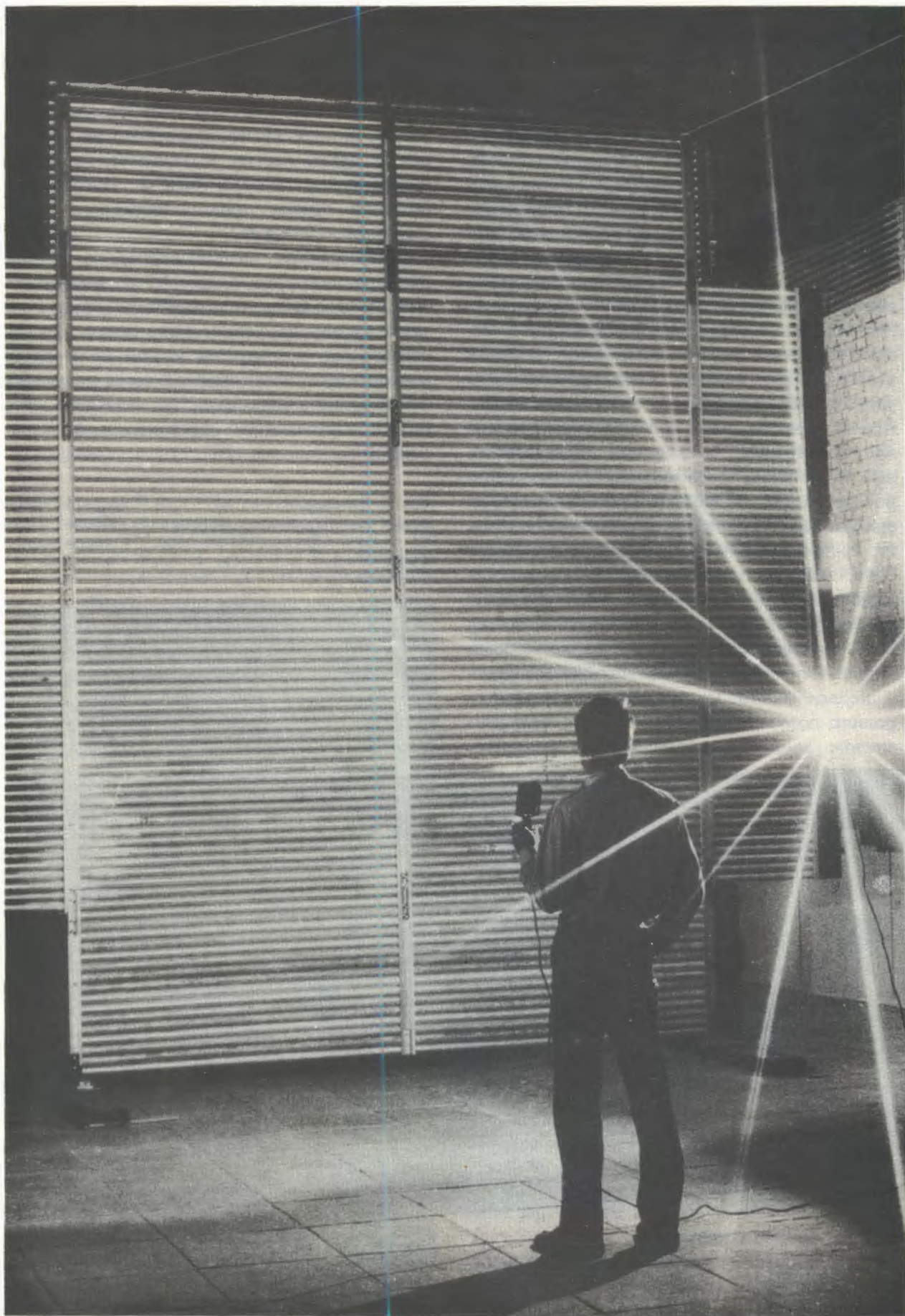
новки "Нейтринный детектор" успешно работает в сеансах по набору экспериментальных данных в пучке нейтрино широкого спектра в ИФВЭ (Протвино).

Завершено изготовление опытной партии пучковых камер, проведено их испытание в пучке частиц и осуществлен запуск в составе установки МИС-2. Изготовлена опытная партия пропорциональных камер размером 0,9x1,3 м.

Продолжен анализ данных о сечениях фрагментации ядер  $^{19}\text{F}$  с импульсом  $\sim 4$  ГэВ/с·нуклон при взаимодействии с ядрами углерода, алюминия, меди, индия, вольфрама, висмута и урана, полученных с использованием основной части установки "Аномалон". Выделены парциальные сечения с образованием фрагментов фиксированной зарядности (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость от  $A_p^{1/3} + A_t^{1/3}$  ( $A_p$  и  $A_t$  — массовые числа падающего ядра и ядра мишени) корня из сечений образования из ядра  $^{19}\text{F}$  совокупности фрагментов с  $Z \leq 4$  (а) и ядра кислорода (б).  $\sqrt{\sigma}$  дан в (мб)<sup>1/2</sup>.





Координатная плоскость мюонного спектрометра комплекса "Меченые нейтрино" в испытательном павильоне (снимок слева).

Предложена математическая модель многотрековой картины, на основании которой возможно определение координат вершин распада частиц на продукты, имеющие прямые траектории, без сложной процедуры предварительного восстановления траекторий. Для анализа многоэкстремальных функций в задачах трековосстановления предложен интегральный, подход определения окрестности главного максимума. Этот подход заключается в анализе коэффициентов в полиномах Эрмита, представляющих разложение в ряд функции, симметризованной относительно искомой точки главного максимума<sup>1,2,3</sup>.

#### РАБОТЫ, СВЯЗАННЫЕ С СОЗДАНИЕМ УНК

Осуществлен монтаж всей цепочки каскадов макета ВЧ-генератора импульсного канала станции перегруппировки пучка У-70 на частоте 200 МГц. Проведены его настройка и запуск на выходную мощность 1,2 МВт в импульсе.

Необходимость практического применения сверхтекучего гелия в качестве криоагента в современных сверхпроводящих магнитных системах требует информации о нестационарных тепловых процессах на границе твердое тело — гелий-II. Для анализа процессов аварийного перехода сверхпроводящего материала в нормальное состояние нужны данные, в частности, о развитии тепловых возмущений с турбулентным фронтом, динамике фазовых переходов сверхтекучего гелия как в пар гелия, так и в нормальный гелий-I. Для этих целей создан экспериментальный стенд, включающий криогенное и электронное оборудование. Разработанная электронная питающая и измерительная аппаратура, выполненная в стандарте КАМАК, обеспечивала проведение экспериментов на линии с ЭВМ. Экспериментальный цилиндрический образец на основе тонкой углеродной пленки, служивший одновременно нагревателем и малоинерционным высокочувствительным тер-

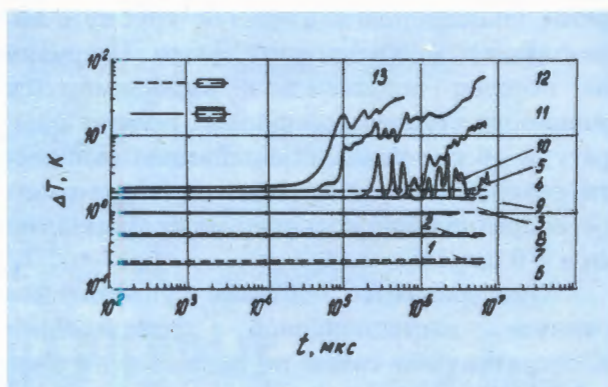
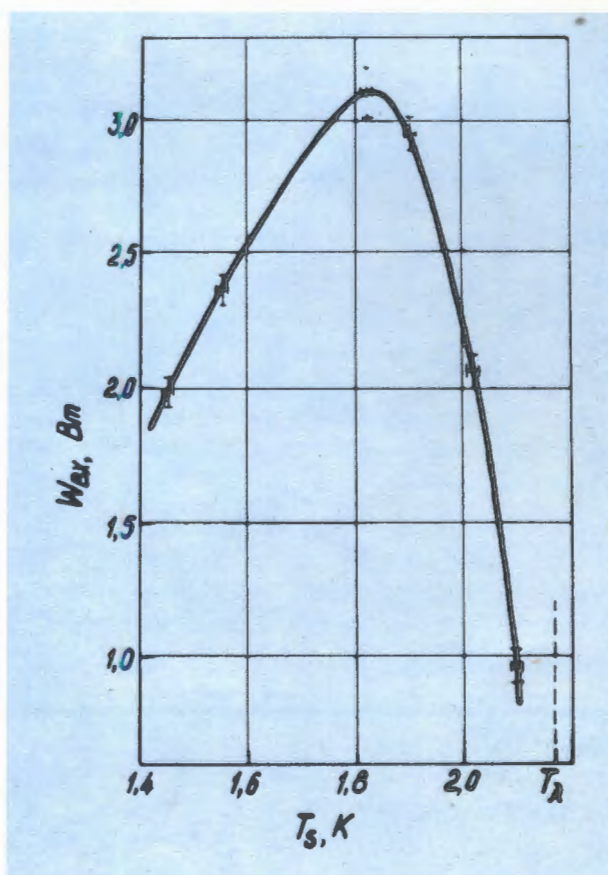


Рис. 2. Зависимость перегрева поверхности  $\Delta T$  от времени при  $T_s = 1,82$  К. Величина зазора 1,3 мм (кривые 6÷13). Зависимости 1÷5 относятся к свободным условиям. 1 и 6 —  $W = 0,087$  Вт; 2 и 7 — 0,32 Вт; 3 и 8 — 1,2 Вт; 4 и 9 — 3,1 Вт; 5 — 6,7 Вт; 10 — 3,2 Вт; 11 — 4,0 Вт; 12 — 6,3 Вт; 13 — 10 Вт.

мопреобразователем, помещался в объем со сверхтекучим гелием, на свободной поверхности которого поддерживалась температура  $T_s$  в диапазоне 1,45-2,09 К. Исследования проводились как в свободных, так и в стесненных условиях. Стесненные условия, характерные для реальных объектов, моделировались путем помещения об-

Рис. 3. Зависимость  $W_{вх}$  от  $T_s$  при зазоре 1,3 мм.



разца коаксиально в стальную трубку с образованием необходимого зазора. Нагрузка на образец подавалась в виде импульса мощности ступенчатой формы, причем аппаратура обеспечивала стабилизацию мощности тепловыделения в нагревателе-термометре, сопротивление которого может изменяться в 5-6 раз.

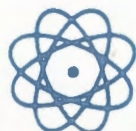
Эксперименты показали существенное отличие нестационарной теплопередачи в сверхтекучем гелии по сравнению с нормальным гелием. Времена установления некоторых характерных режимов для гелия-II по крайней мере на три порядка отличаются от соответствующих величин для гелия-I. Обнаружена особенность процессов в кольцевых каналах по сравнению со свободными условиями (рис. 2). При определенных условиях в кольцевых каналах возможно развитие сверхтекучей турбулентности, чем вызывается каскад процес-

сов смены гидродинамических и термодинамических состояний гелия и, в конечном итоге, существенное ухудшение режима передачи тепла через границу раздела твердое тело — гелий-II. Установлены количественные зависимости времени возникновения сверхтекучей турбулентности от мощности импульса, а также пороговой тепловой нагрузки вихреобразования  $W_{вх}$  от температуры объема гелия  $T_s$  (рис. 3)<sup>141</sup>.

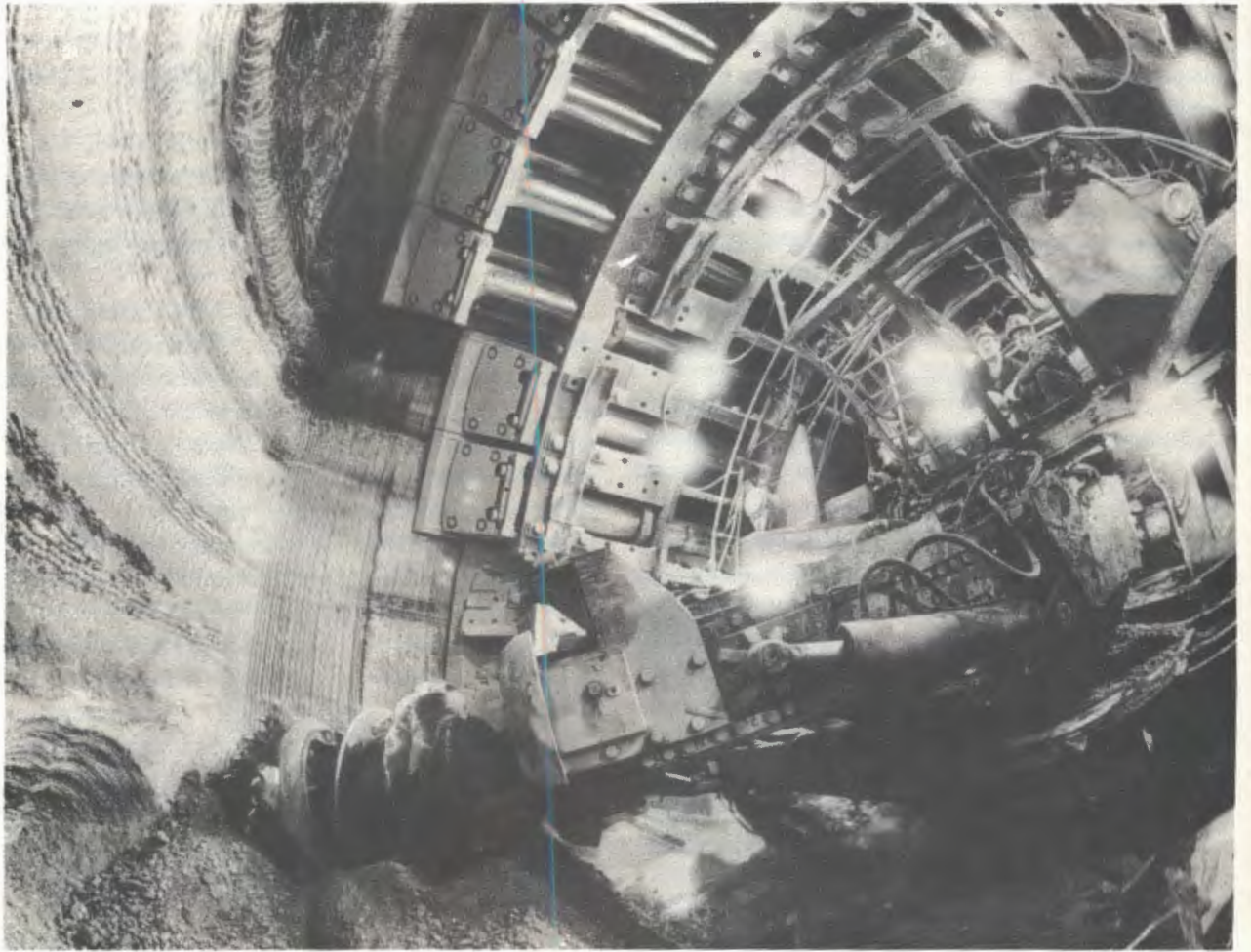
#### ЛИТЕРАТУРА

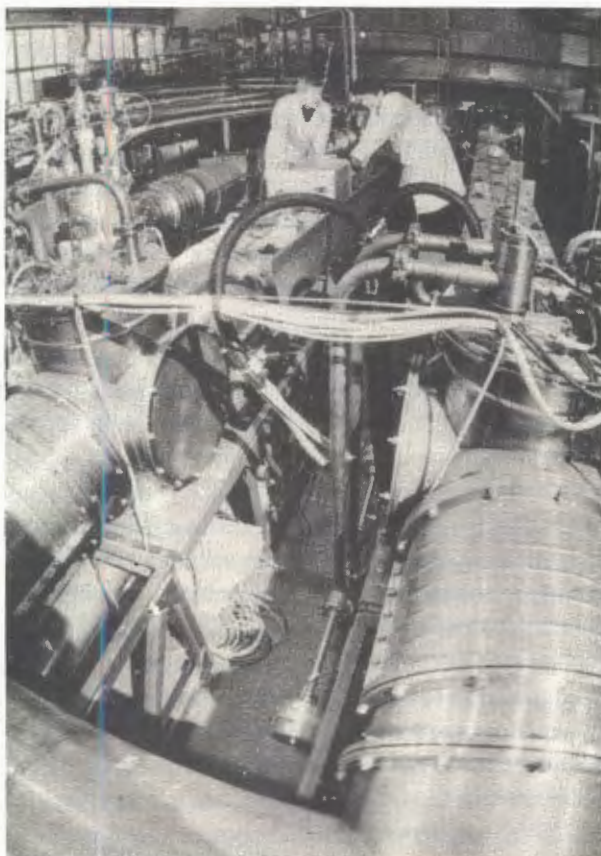
1. Азорский Н.И. и др. ОИЯИ, P10-87-163, Дубна, 1987.
2. Яцуненко Ю.А. ОИЯИ, P1-88-29, Дубна, 1988.
3. Яцуненко Ю.А. ОИЯИ, P5-88-74, Дубна, 1988.
4. Микляев В.М., Сергеев И.А., Филиппов Ю.П. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №5(25)-87. Дубна: ОИЯИ, 1987, с.31.

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ  
СВЯЗИ  
И НАУЧНОЕ  
СОТРУДНИЧЕСТВО**









Дальнейшее развитие экспериментальной базы ОИЯИ связывается не только с Дубной, но и с крупнейшими ускорителями других научных центров. В первую очередь это ускорительно-накопительный комплекс (УНК), создаваемый в ИФВЭ (Протвино). Комплекс располагается в подземном туннеле длиной около 21 км с диаметром регулярной части 5 м. В туннеле будут размещаться три ускорителя: ускоритель протонов на энергию 400-600 ГэВ на основе классических электромагнитов (I ступень УНК) и два ускорителя на энергию 3 ТэВ на основе сверхпроводящих магнитов (II и III ступень). Предусматривается два режима работы УНК. В первом интенсивный пучок протонов, инжектируемый из существующего синхротрона ИФВЭ, будет ускоряться в I ступени до энергии 400 ГэВ, переводиться во II ступень, ускоряться до проектной энергии 3 ТэВ и выводиться из УНК для формирования пучков вторичных частиц широкого диапазона сортов и энергии. Во втором режиме работы ускоренный в I ступени пучок протонов будет накапливаться во II и III ступенях УНК. Накопленные пучки будут ускоряться до энергии 3 ТэВ и сталкиваться в местах расположения экспериментальных установок. На снимках: сооружение подземной линии УНК (слева); испытания на стенде секций сверхпроводящих магнитов ускорителя.

В разработке и создании аппаратуры для физических исследований и автоматизации процесса получения и обработки данных с использованием ЭВМ в Лаборатории участвуют специалисты практически всех стран-участниц.

*Лаборатория ядерных проблем.* Международное научно-техническое сотрудничество велось по 24 темам, в том числе по 5 общеинститутским, проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ в области физики высоких, средних и низких энергий.

Большая группа ученых из НРБ, ВНР, ГДР, МНР, КНДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР

занималась изучением свойств ядер, далеких от полосы бета-стабильности (программа ЯСНАПП), и механизмов ядерных реакций при промежуточных и высоких энергиях. В ИЯИ ВАН (Дебрецен) проведены измерения кривых эффективности регистрации бета-излучения спектрометром "Мини-апельсин". Последний будет входить в спектрометрическую установку ЭЛГА. Для совместных исследований в области радиохимии из ЦИФИ ВАН (Будапешт) поставлены приборы и химическое оборудование. Вместе с сотрудниками ЦИЯИ (Россендорф) проведены эксперименты по высокотемпературному выделению радионуклидов, продолжены исследования состояний ионов

радиоэлементов в водных средах. В ИЯФ (Краков) продолжалось изготовление оборудования для переработки массивных мишеней. На электростатическом бета-спектрометре ИЯФ ЧСАН (Ржеж) проведены измерения спектров с целью окончательной идентификации аномально быстрого бета-перехода первого запрета.

Усилия коллектива ученых НРБ, ВНР, СССР и ЧССР были направлены на обработку экспериментального материала, полученного на установке РИСК. Специалисты из Университета и ИЯИЯЭ БАН (София), ФИ ЧСАН и Карлова университета (Прага) ведут исследования процессов рождения частиц с большим поперечным импульсом во взаимодействиях адронов высоких энергий с нуклонами и ядрами, что позволяет прояснить пространственно-временную картину механизма взаимодействия элементарных составляющих адронов-кварков и глюонов.

Продолжались работы по изготовлению полупроводниковых детекторов для телескопических систем с целью исследования свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада (проект "Нейтрино"). В них участвуют специалисты НРБ, ГДР, КНДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. В Электротехническом институте САН (Братислава) отработаны режимы нанесения защитных пленок из нитрида кремния на кремниевые детекторы.

В создании электронных систем реального времени для автоматизации исследований в области ядерной физики (проект "Автомат") участвуют сотрудники из НРБ, ВНР, СРВ, ГДР, МНР, КНДР, ПНР, СРР и ЧССР. Так, совместно со специалистами НРБ разработаны в стандарте КАМАК многоканальные анализаторы и контроллеры для связи с персональной ЭВМ "Правец-16". В ИЯФ ЧСАН (Ржеж) была выполнена совместная работа по наладке и испытанию электронной системы трехмерного амплитудного анализатора в стандарте КАМАК. В Университете им. Я.А.Коменского (Братислава) создана одномерная система для амплитудного анализа спектров.

В ЦИФИ ВАН (Будапешт) разработан интерфейс 5502 для накопителей на магнитной ленте. Показана его полная совместимость с программными и аппаратными средствами измерительно-вычислительного комплекса на базе ЭВМ СМ-3 в установке

"Нейтринный детектор". В ИФВЭ АН ГДР (Цойтен) изготавливается лазерная система контроля параметров вершинного детектора этой установки.

Кубинские специалисты из ИЯИ (Гавана) участвуют в разработке регистрирующей электроники для исследования процессов эксклюзивного образования и распадов адронов на установке СИГМА-АЯКС, а в ФИ ЧСАН (Прага) проведены испытания образцов сцинтилляторов для адронного калориметра.

В ИЯФ (Краков) создан и испытан рабочий образец узкоазорной дрейфовой камеры для магнитного адронного релятивистского спектрометра (установка МАРС), в физической программе которого заинтересованы ученые НРБ, СРВ, ПНР, СССР и ЧССР.

В проекте РИТМ по изучению биологического действия излучений и магнитных полей участвуют ученые НРБ, ПНР, МНР, СРР, СССР и ЧССР. В ИЯИЯЭ БАН (София) проводятся совместные исследования закономерностей и механизмов индукции бактериального профага при действии ионизирующих излучений разного качества. В ИЯХТ (Варшава) изучаются летальные эффекты, возникающие при действии разных видов излучения на клетки млекопитающих, а в ИЯП (Варшава) — микродозиметрические характеристики излучений с разными физическими характеристиками. Исследования мутагенного влияния ионизирующих излучений на микроорганизмы проводились совместно с Институтом биофизики ЧСАН (Брно).

*Лаборатория ядерных реакций.* Международное научно-техническое сотрудничество с институтами и организациями стран-участниц ОИЯИ проводилось в рамках 7 тем проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ.

В работах по синтезу трансураниевых и сверхтяжелых элементов и поиску в природе редких атомных ядер и ядерных превращений участвовали научные организации НРБ, ВНР, ГДР, КНДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. Так, сотрудниками ЦИИРИ (Лейпциг) проводилось радиохимическое разделение трансураниевых элементов в опытах по синтезу 110 элемента.

В исследовании механизма взаимодействия тяжелых ионов с ядрами сотрудни-

чают ученые НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. На Базе развития и внедрения Единого центра по физике БАН (София) изготовлена часть детектирующих модулей для установки "Фобос", подписан контракт между ОИЯИ и БРВ БАН по созданию этой установки. В ЦИЯИ АН ГДР (Россендорф) продолжены работы по испытанию детектирующих устройств установки "Фобос", проводилась модернизация установки ДЭМАС, на которой исследован механизм нового процесса — "холодного" быстрого деления. Теоретики ЦИФ (Бухарест) принимают активное участие в интерпретации результатов, полученных на установке ДЭМАС.

Изучение глубокоэластичных столкновений сложных ядер и свойств нуклидов, удаленных от полосы бета-стабильности, осуществляли специалисты НРБ, ВНР, ГДР, КНР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. В сотрудничестве с Политехническим институтом, Карловым университетом (Прага) и ИЯФ ЧСАН (Ржеж) ведутся работы по измерению зарядовых радиусов ядер с помощью лазерного излучения. Совместно с Государственным университетом (Улан-Батор) проводятся исследования лазерного излучения при резонансном возбуждении атомов.

В разработке и использовании ядерно-физических методов для решения задач в смежных областях науки и техники активное участие принимают институты НРБ, ВНР, СРВ, ГДР, Республики Куба, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. ОИЯИ оказывал помощь в создании Университетом (Пловдив) микроотрона. Болгарские специалисты проходили стажировку на микроотроне ЛЯР. Совместно с Университетом им. Л.Этвеша (Будапешт) на пучке циклотрона У-400 ЛЯР с помощью установки РИПС ведутся исследования в области радиационного материаловедения. Специалисты СРВ принимали участие в эксплуатации циклического имплантатора тяжелых ионов ИЦ-100, используемого для получения ядерных фильтров. Сотрудники ОИЯИ участвовали в наладке оборудования и подготовке к запуску микроотрона в ЦИИРИ (Лейпциг). С использованием рентгенофлуоресцентного метода, в усовершенствовании которого принимали участие сотрудники ИЯИ (Гаваана), проводились анализы образцов, взятых на Кубе и в СССР.

Осуществляется сотрудничество с ИЯИ (Сверк) по модернизации циклотрона У-400, а также по подготовке к запуску циклотрона У-250П Варшавского университета. Совместно с ЦИФ (Бухарест) ведется работа по созданию в ЦИФ оборудования системы транспортировки выведенных пучков циклотронного комплекса У-400 — У-400М по техническому заданию, разработанному в ОИЯИ.

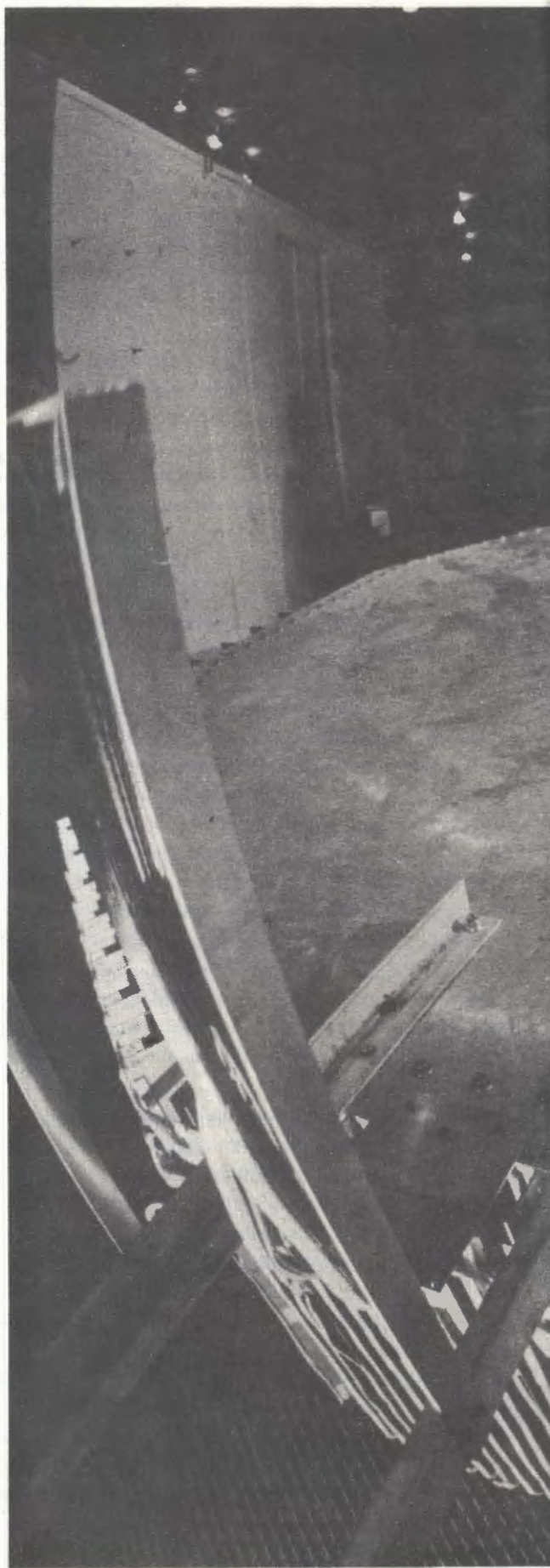
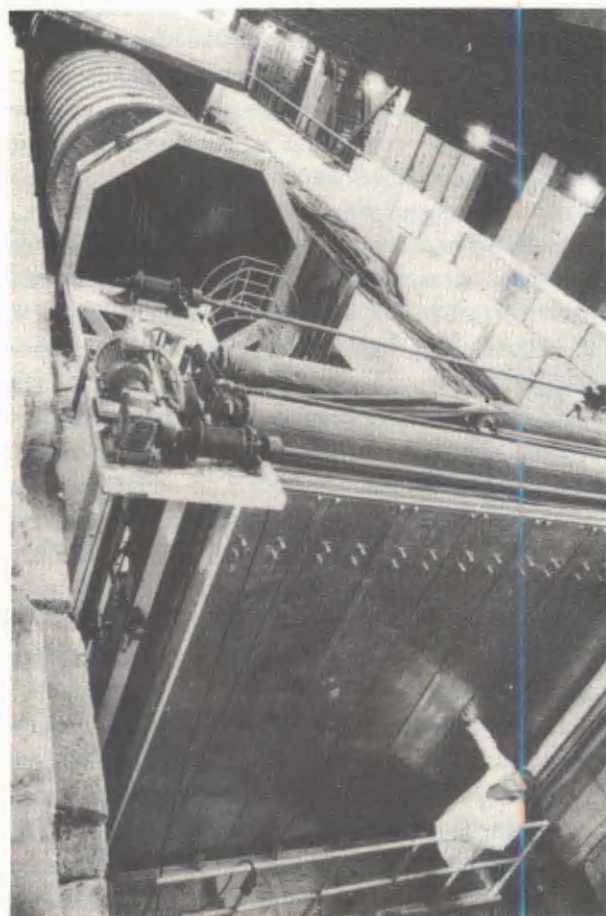
*Лаборатория нейтронной физики.* Научно-техническое сотрудничество осуществлялось с институтами и организациями стран-участниц по пяти темам проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ ОИЯИ. Формы сотрудничества — разработка и изготовление отдельных элементов физических установок, предоставление образцов и приборов, обработка экспериментальных результатов и подготовка публикаций. В исследованиях принимали участие специалисты всех стран-участниц ОИЯИ.

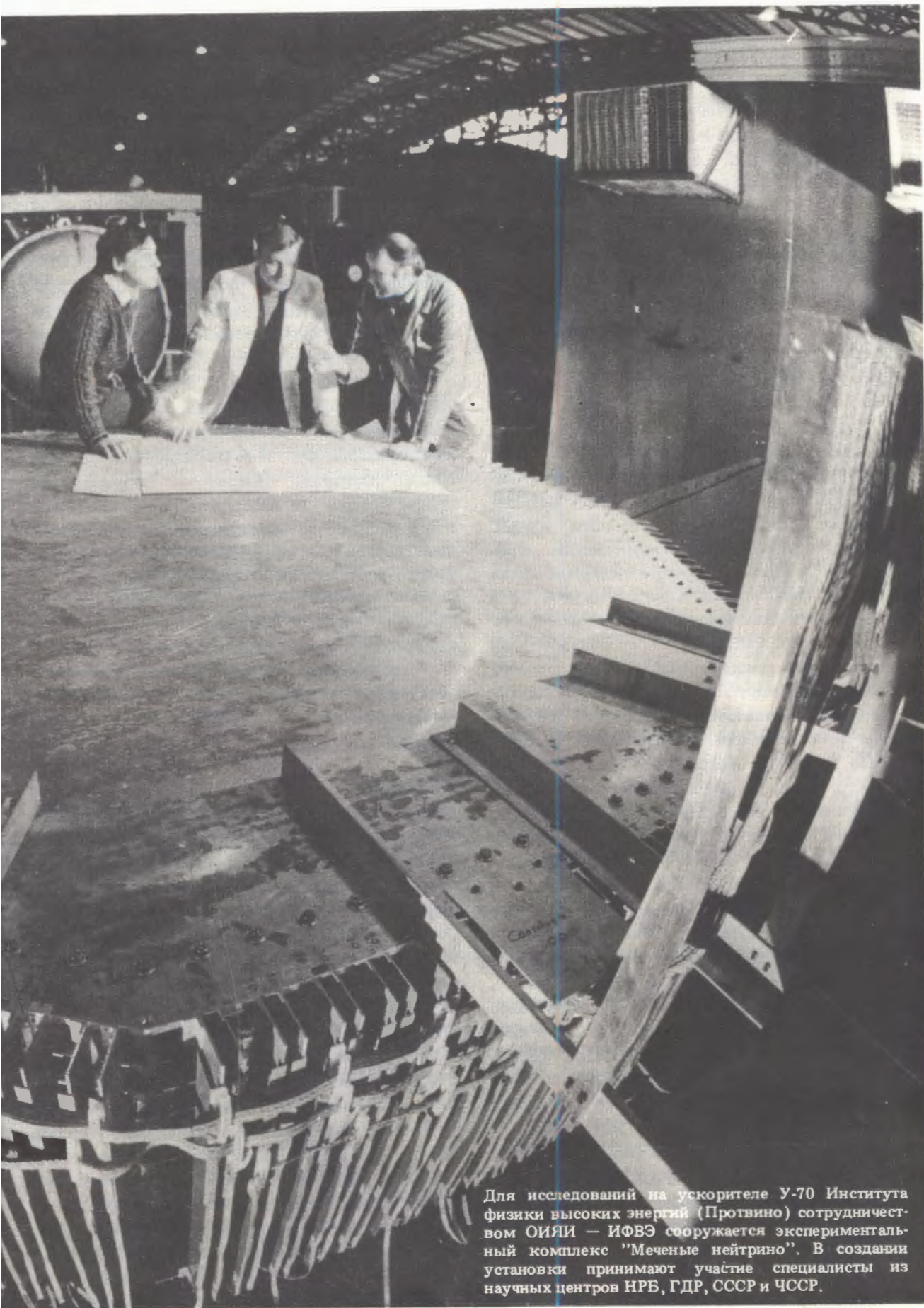
В работах по исследованию свойств альфа-распада ядер участвуют специалисты Университета (Пловдив).

ВТШ (Магдебург) поставила в ОИЯИ изготовленный по чертежам Лаборатории двухдисковый прерыватель нейтронов для спектрометра поляризованных нейтронов СПН-1. Сотрудничество с научными организациями ПНР ускорило начало исследований конденсированных сред при высоких давлениях на спектрометре КДСОГ-М.

В ТУ (Дрезден) разрабатываются программные средства для локальной вычислительной сети Лаборатории. Сотрудниками ЦИФИ ВАН (Будапешт) создано программное обеспечение сетевого адаптера и протокола, а для создаваемого магнитокардиографа изготовлен интеллектуальный контроллер. Для дифрактометра на реакторе в ИЯФ ЧСАН (Ржеж) переданы разработанные и изготовленные в ЛНФ детектор нейтронов и комплект электронного оборудования. На этом дифрактометре для совместных исследований предоставляется до 1000 часов пучкового времени.

Сотрудники ИЯИЯЭ (София) ведут работы по измерению нейтронных сечений конструкционных материалов для реакторов. Совместно со специалистами ЦИЯИ (Россендорф) совершенствовалась переданная в химлабораторию ИБР-2 установка





Для исследований на ускорителе У-70 Института физики высоких энергий (Протвино) сотрудничеством ОИЯИ — ИФВЭ сооружается экспериментальный комплекс "Меченые нейтрино". В создании установки принимают участие специалисты из научных центров НРВ, ГДР, СССР и ЧССР.

для контроля содержания кислорода в теплоносителе реактора. Использование этой установки значительно повышает безопасность эксплуатации реактора. В ИИГА (Краков) проводится анализ экспериментальных результатов и вырабатываются критерии диагностики состояния ИБР-2 по шумам мощности реактора.

*Лаборатория вычислительной техники и автоматизации.* В 1987 году Лаборатория сотрудничала с научно-исследовательскими организациями стран-участниц ОИЯИ по 21 теме, в том числе по трем общеинститутским, проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества.

Совместно со специалистами из НРБ, ВНР, ГДР, КНДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР успешно выполнялась одна из главных задач ЛВТА — эффективное использование и развитие Центрального вычислительного комплекса. Проводились консультации и обмен опытом использования болгарских накопителей на магнитных дисках и магнитных лентах, применяемых на ЕС ЭВМ ЦВК. Совместно с болгарскими специалистами велась подготовка к внедрению матричного процессора ЕС-2706. В развитии библиотеки программ для ЕС ЭВМ участвовали специалисты ЦИИРИ (Лейпциг), а в работах по повышению эксплуатационных качеств операционных систем ЕС ЭВМ — сотрудники ЦИЯИ (Россендорф). Плодотворным было сотрудничество с ИАЭ (Сверк) и ЦИФРОНЕТ (Краков) по развитию программного обеспечения ЭВМ фирмы CDC. Проводилась разработка и создание мультиплексора терминалов для ЭВМ типа CYBER и CDC, проведено опробование макетного образца.

Развитие и использование систем аналитических вычислений осуществлялось специалистами НРБ, ВНР, СРВ, ГДР, КНДР, СССР и ЧССР. Сотрудники ЕЦММ БАН и ИМ БАН (София) участвовали в работах по расширению системы REDUCE прикладными программами. Совместно с ЦИФИ ВАН (Будапешт) тестировались системы REDUCE и AMP с целью их применения в задачах статистической механики и физики высоких энергий. В рамках сотрудничества с Лейпцигским университетом создается пакет программ для анализа нели-

нейных алгебраических уравнений на базе системы AMP. Совместно со специалистами Карлова университета (Прага) изучалась возможность применения систем МКМАТ и REDUCE для персональных компьютеров при решении некоторых электродинамических задач.

В разработках интеллектуальных графических систем на базе микропроцессорной техники участвовали инженеры ВНР, ГДР, КНДР, ПНР, СССР и ЧССР. В ЦНП АН ГДР (Берлин) проведено проектирование и изготовление печатных плат процессора для графической системы на основе персонального компьютера и цветного ТВ-монитора с высоким разрешением. Совместно с ИФВЭ АН ГДР (Цойтен) ведется разработка его программного обеспечения. Сотрудники Университета им. Я.А.Коменского (Братислава) приняли участие в подключении графического терминала к ЭВМ ЕС-1061 и адаптации графических пакетов программ для ЭВМ СМ-4 и персональной ЭВМ "Правец-16". В сотрудничестве с ЦИИТ ЦЭФИ САН (Братислава) разработан и изготовлен опытный образец "светового пара" (устройство ввода в графической системе).

Издан пятый совместный сборник научных работ в области вычислительной прикладной математики ОИЯИ — ЦИФИ ВАН (Будапешт).

*Отдел новых методов ускорения.* В 1987 году отдел осуществлял сотрудничество с научными центрами НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР по шести темам проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества, в том числе по одной общеинститутской.

Наиболее активно велись работы по созданию ускорителя КУТИ-20 с участием специалистов из НРБ, ВНР, ГДР, СРР, СССР и ЧССР. Вместе с проблемной группой по ускорителям ИЯИЯЭ БАН (София) были проведены исследования устойчивости сильноточного электронного пучка в импульсном источнике электронов. Совместно с ЦИФИ ВАН (Будапешт) модернизирована автоматизированная система управления КУТИ-20 путем использования в ее составе персональных ЭВМ. В сотрудничестве с ТУ (Дрезден) создавалась автоматизированная водно-масляная система охлаждения маг-

нитной системы адгезатора. Разработанные в ТУ (Дрезден) средства диагностики магнитной системы адгезатора были включены в состав АСУ КУТИ-20. Специалистами ЭИ САН (Братислава) создан ряд детекторов диагностики электронных колец.

В работах по развитию методики координатных детекторов частиц и ядер участвовали инженеры НРБ, ВНР, ГДР, СРР и СССР. В ЦИФИ ВАН (Будапешт) изготовлен опытный образец пропорциональной камеры с малым количеством вещества на пути частиц. Вместе со специалистами ИФВЭ (Цойтен) проведены испытания координатных микростриповых детекторов, разработанных в ГДР.

По тематике ускорительно-накопительного комплекса ИФВЭ (Протвино) совместно с сотрудниками ТУ (Дрезден) проводились работы по экспериментальному исследованию электрофизических свойств материалов для датчика скольжения фаз двухфазных потоков гелия при  $T = (3 \pm 10)$  К.

Сотрудничество с ЭИ САН (Братислава) было направлено на исследование структуры и свойств тонкопленочных углеродных термодатчиков при гелиевых температурах. Данные проведенных исследований используются в работах на тепловой модели сверхпроводящего магнита.

## НАУЧНЫЕ СОВЕЩАНИЯ

В 1987 году ОИЯИ организовал и провел шесть крупных международных совещаний.

В июне в Дубне проходило Международное совещание по теории малочастичных кварк-адронных систем. Целью Совещания являлся анализ последних достижений, тенденций в теории и экспериментах, связанных с изучением малочастичных систем. В Совещании участвовали специалисты из научных центров стран-участниц, а также США, Японии, ФРГ, Австрии, Канады.

Более 130 участников собрал 11 Международный симпозиум по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом, который проводился в Дубне в июле. В программу Симпозиума были включены следующие вопросы: использование положительных мюонов для изучения конденсированного состояния вещества; мезоатом-

ные процессы в средах, содержащих водород; пи- и мю-нуклонные атомы; аппаратура. В работе Симпозиума приняли участие ученые из 12 стран, в том числе из ФРГ, Италии, Великобритании, США, Швейцарии, Японии.

С 25 по 29 августа ОИЯИ совместно с Математическим институтом им. В.А.Стеклова АН СССР проводил в Дубне IV Международный симпозиум по избранным проблемам статистической механики. В программе Симпозиума: строгие результаты в статистической механике; фазовые переходы и критические явления; модели квантовой статистической механики; фундаментальные вопросы кинетической теории; математические и физические аспекты квантовой оптики.

6-19 сентября близ Варны (НРБ) проходила Международная школа ОИЯИ — ЦЕРН по физике. Это десятая в серии совместных школ, организуемых Объединенным институтом и Европейской организацией ядерных исследований. Научная программа Школы отразила современное состояние физики высоких энергий. Лекции были прочитаны ведущими учеными стран-участниц ОИЯИ и ЦЕРНа.

Объединенный институт при поддержке и участии Секции по аппаратуре Международного комитета по будущим ускорителям (ИКФА) провел в Дубне в сентябре Международный симпозиум по координатным детекторам в физике высоких энергий, в работе которого участвовали специалисты из стран-участниц Института, а также Италии, КНР, США, ФРГ, Швеции и Швейцарии.

В октябре в Алуште состоялось организованное ОИЯИ VIII Международное совещание по проблемам квантовой теории поля. Обсуждались следующие вопросы: калибровочные теории поля и квантовая хромодинамика; суперсимметричные теории; кварковые модели и феноменология элементарных частиц; вопросы квантовой теории многих тел.

Большое значение для научной деятельности ОИЯИ имели рабочие научные совещания. Таких совещаний состоялось в истекшем году 23, в том числе по исследованиям на двухметровой пропановой камере; спектрометрах ГИБС, МИС, СИГМА-АЯКС; исследованиям по физике конденсированных сред на реакторе ИБР-2.





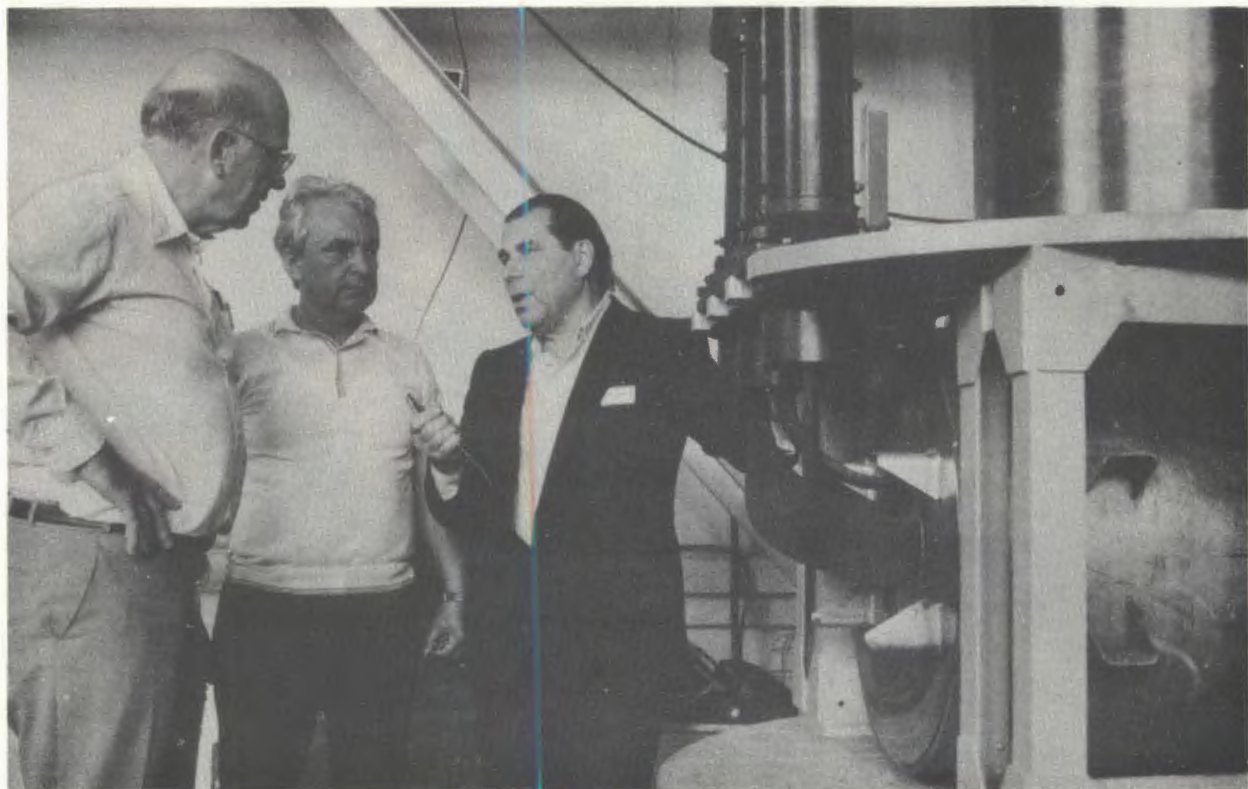
Более ста специалистов из ведущих научных центров мира собрал в Дубне 22-25 сентября 1987 года Международный симпозиум по координатным детекторам в физике высоких энергий, организованный ОИЯИ при поддержке и участии Секции по аппаратуре Международного комитета по будущим ускорителям (ИКФА).





Международное совещание по теории малочастичных и кварк-адронных систем проходило в Дубне 16-20 июня. Совещание было организовано ОИЯИ совместно с Научным советом по физике электромагнитных взаимодействий АН СССР.





С 30 июня по 4 июля в Дубне проходил II Международный симпозиум по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. На снимке (слева направо): участники симпозиума А.Сигер (ФРГ), В.Г.Гребинник (ОИЯИ) и В.А.Суетин (СССР) во время посещения установки "Мю-спин" в Лаборатории ядерных проблем.

С 25 по 29 августа ОИЯИ совместно с Математическим институтом имени В.А.Стеклова АН СССР проводил в Дубне IV Международный симпозиум по избранным проблемам статистической механики. На снимке: участники Симпозиума в перерыве между заседаниями.



## ЭКСКУРСИИ В ОИЯИ

В 1987 году в Объединенном институте ядерных исследований было принято 77 экскурсионных групп общей численностью 1286 человек. С деятельностью ОИЯИ познакомились послы ГДР, ПНР, Италии, сотрудники посольств НРБ, ВНР, СРВ в СССР, работники Секретариата СЭВ, министры стран-участниц ОИЯИ, специалисты различных научных центров, студенты технических вузов.



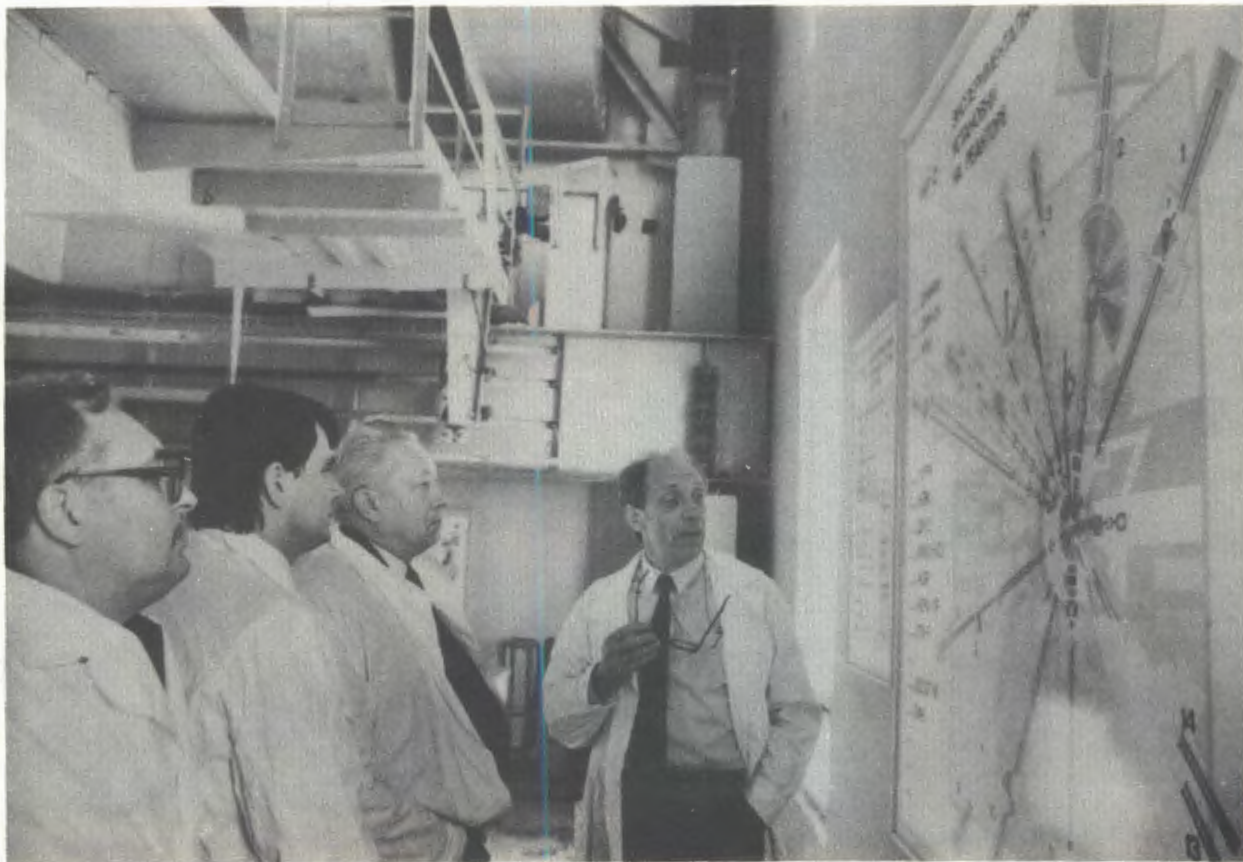
В апреле 1987 года ОИЯИ посетил Чрезвычайный и Полномочный Посол ГДР в СССР Г.Кёниг. На снимке: директор Лаборатории ядерных реакций академик Г.Н.Флеров знакомит Г.Кёнига с исследованиями, проводимыми в Лаборатории.



В мае 1987 года Дубну посетил руководитель отдела ядерной физики Национального университета Австралии профессор Дж.О.Ньютон. На снимке: профессор Ю.Ц.Оганесян и Дж.О.Ньютон в Лаборатории ядерных реакций.

Член Государственного совета СРВ, директор Национального института атомной энергии профессор Нгуен Дин Ты был одним из первых вьетнамских физиков в ОИЯИ, стал соавтором открытия антисигма-минус-гиперона. На снимке: профессор Нгуен Дин Ты (второй справа) знакомится с использованием персональных ЭВМ в Лаборатории ядерных проблем.





Полномочный Представитель правительства ВНР в ОИЯИ академик И.Ланг во время посещения Лаборатории нейтронной физики. Об экспериментальных исследованиях на пучках реактора ИБР-2 рассказывает начальник отдела ЛНФ Ю.М.Останевич.

Три недели провел в Дубне известный китайский ученый директор Института теоретической физики профессор Ху Нин. На снимке: профессор Ху Нин в Лаборатории теоретической физики.



## УЧАСТИЕ ОИЯИ В МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

ОИЯИ командировал в страны-участницы 131 специалиста для участия в 44 международных и национальных конференциях.

Специалисты Института были лекторами и слушателями традиционных школ по физике в Варне (НРБ), Велене и Хольцхау (ГДР), Закопане, Карпаче и Миколайках (ПНР). Делегация Объединенного института была направлена на Международную конференцию по ядерной физике промежуточных энергий, которая проходила в Балатонфюреде (ВНР). На III Рабочем совещании по ион-атомным столкновениям при высоких энергиях, состоявшемся в Дебрецене (ВНР), значительный интерес вызвали сообщения сотрудников ОИЯИ. Целый ряд мероприятий, в которых участвовали сотрудники Института, был связан с компьютерами и программированием, в частности Европейская конференция по компьютерной алгебре в Лейпциге (ГДР), Симпозиум по микрокомпьютерам и микропроцессорам в Будапеште (ВНР), школа "Микрокомпьютеры в физике" в Бехине (ЧССР), конференция "Автоматизация информационного обслуживания" в Бургасе (НРБ). Высокую оценку получили доклады, представленные ОИЯИ на семинар "Проблемы и применение искусственного интеллекта" в Варне (НРБ). Специалисты Института принимали участие также в XI Радиохимической конференции в Марианске-Лазне (ЧССР), X Международном симпозиуме "Малоугловое рассеяние и сопутствующие методы" в Праге (ЧССР), IX Конференции Европейского физического общества в Варне (НРБ), XI Международной конференции по нелинейным колебаниям в Будапеште (ВНР).

Многие сотрудники ОИЯИ участвовали более чем в 100 конференциях, проходивших в Советском Союзе, в том числе в Совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Юрмале, Международной конференции по нейтронной физике в Киеве, конференции по слабым и сильным взаимодействиям и гравитации в Москве.

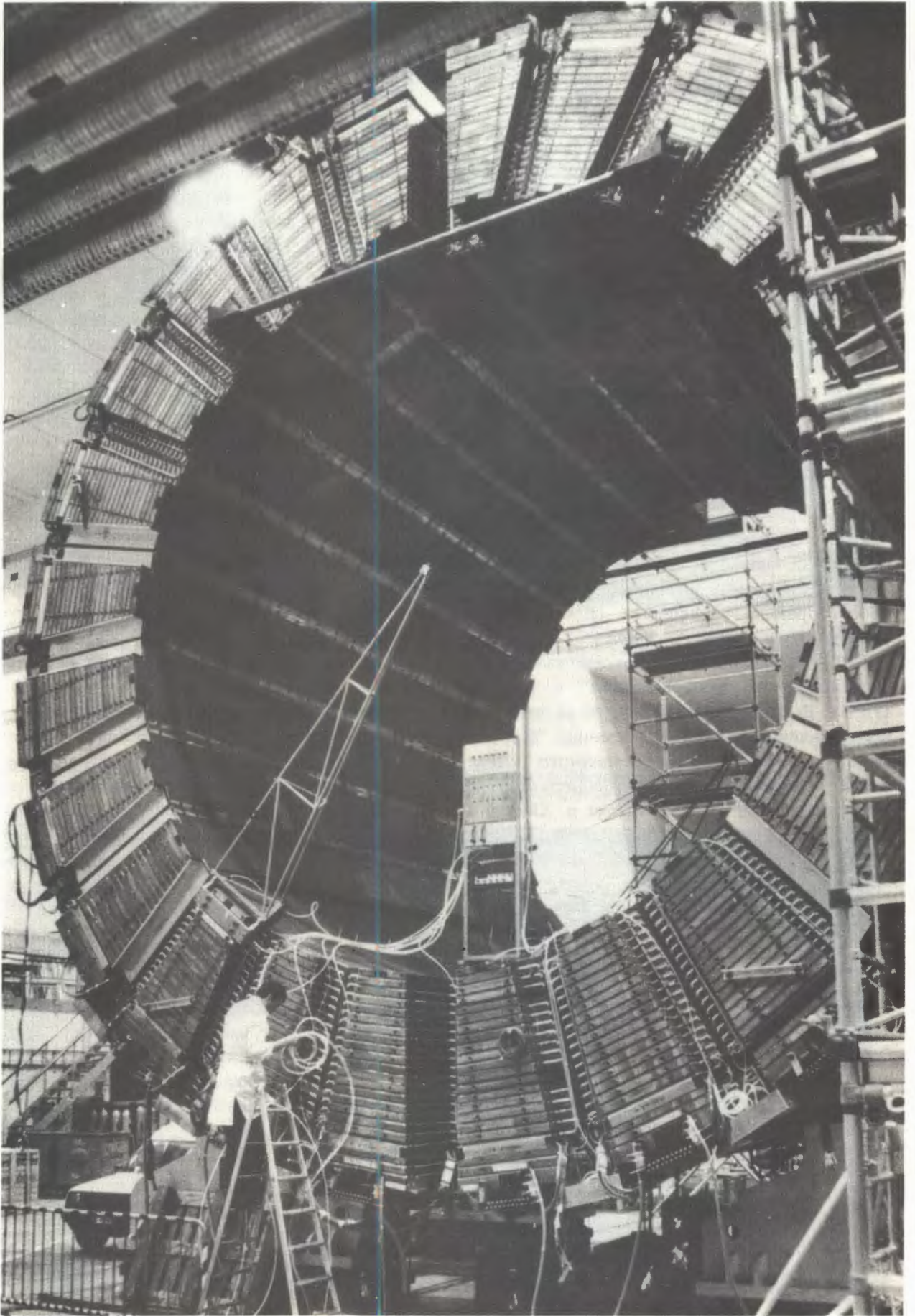
66 специалистов Института участвовали в 36 международных конференциях, симпозиумах, проведенных в 13 странах, не являющихся членами ОИЯИ.

Делегация в составе 7 ученых Института выезжала в Уппсалу (Швеция) на Европейскую конференцию по физике высоких энергий. Наибольший интерес среди докладов, представленных ОИЯИ, вызвали сообщения по результатам экспериментальных исследований радиальных возбуждений мезонов, структурных функций в релятивистской ядерной физике, теоретических работ по новому подходу к квантовой хромодинамике. Сотрудники ОИЯИ представили свои работы на Международный симпозиум по взаимодействию лептонов и фотонов при высоких энергиях (Мюнхен, ФРГ). Группа ученых ОИЯИ участвовала в работе Международной конференции по частицам и ядрам. (Киото, Япония), на которой обсуждались направления развития релятивистской ядерной физики и физики атомного ядра. В 1987 году ученые Института направлялись на три международных конференции по физике конденсированных сред: VII Европейскую конференцию по физике конденсированных сред (Пиза, Италия), Специальную адриатическую конференцию по высокотемпературным сверхпроводникам (Триест, Италия), Международную конференцию по физике низких температур (Нагоя, Япония). Участие в конференциях по этой научной тематике позволило физикам ОИЯИ представить наряду с другими результатами в области физики конденсированных сред первые данные исследований по физике высокотемпературной сверхпроводимости и тем самым закрепить приоритет в актуальном и перспективном направлении исследований.

## СВЯЗИ С НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ СТРАН, НЕ ЯВЛЯЮЩИХСЯ УЧАСТНИЦАМИ ОИЯИ, И МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

ОИЯИ поддерживает связи с 35 научными центрами стран-неучастниц Института и выполняет совместные работы с учеными этих стран по 19 темам.

В 1987 году активно развивалось сотрудничество с ЦЕРНом. В настоящее время совместно с Европейским центром ядерных исследований проводится 5 экспериментов. Продолжалась работа по созданию установки DELPHI. Завершена сборка адронного калориметра, выполнены методи-





В рамках сотрудничества ОИЯИ — ЦЕРН специалисты Дубны участвовали в создании адронного калориметра установки DELPHI. 11 ноября из Дубны в Женеву была отправлена последняя партия детекторов (всего изготовлено, испытано и отправлено в ЦЕРН около 25 тысяч детекторов). В ЦЕРНе осуществлена сборка детектирующих плоскостей адронного калориметра. На левом снимке — проверка детекторов цилиндрической части адронного калориметра; группа сотрудников ОИЯИ, ведущих в ЦЕРНе монтаж и испытания координатных плоскостей адронного калориметра (снимок сверху).

ческие исследования, оптимизирующие условия его работы. Начата проверка модулей с помощью детектирования космических мюонов. Успешно проводятся совместные исследования на ускорителе LEAR ЦЕРНа. Получены интересные данные по взаимодействию медленных антипротонов с веществом. Они докладывались на международных конференциях и опубликованы в научных журналах. Группа физиков из Италии, Франции и Дубны, осуществлявшая эти исследования, приступила к реализации нового проекта "Обелиск". В рамках проекта предполагается создать сложную многоцелевую экспериментальную установку, которая обеспечит возможность изучения на ускорителе LEAR взаимодействий антинуклонов с ядрами.

В ходе обработки данных с установки NA-4 получены значения структурных функций протона, отличающиеся высокой точностью. Эти результаты встречены с большим интересом на международных конференциях в Упсале (Швеция) и Гамбурге (ФРГ).

В сотрудничестве с учеными ЦЕРНа продолжались исследования с помощью установки МИС-2 на ускорителе протонов ИФВЭ в Серпухове. Уже получено более 100 тысяч снимков для изучения неупругого взаимодействия пионов с ядрами при 40 ГэВ/с. На этом же ускорителе проводятся совместные исследования с помощью установки СИГМА-АЯКС.

Институт проводил совместные исследования с Национальной лабораторией тяжелых ионов ГАНИЛ в Кане (Франция)



по синтезу и изучению свойств экзотических ядер. В эксперименте с использованием пучков экзотических ионов  $^{48}\text{Ca}$  впервые получены 10 новых изотопов легких элементов, расположенных на границе ядерной стабильности, и изучены их свойства.

В течение года осуществлялся обмен научной информацией ученых ОИЯИ с Обществом по исследованиям с тяжелыми ионами в Дармштадте (ФРГ), сотрудничеству с Центром ядерных исследований в Страсбурге (Франция) и Институтом химии в Марбурге (ФРГ) по изучению механизмов взаимодействия релятивистских тяжелых ионов с атомными ядрами, с Институтом физики в Белграде (СФРЮ), где идет обработка снимков с двухметровой пропановой камеры.

Успешно развивались научные контакты с Центром ядерной спектроскопии и спектрометрии масс в Орсе (Франция). На созданном совместно с этим Центром электростатическом бета-спектрометре проводятся исследования по измерению массы антинейтрино. Институт ведет совместные работы с Университетом Ювясколя в Хельсинки (Финляндия) и с Университетом в Сассексе (Великобритания) по исследованию спиновых эффектов при распаде ориентированных при сверхнизких температурах ядер.

Физики-теоретики Дубны продолжили сотрудничество с Институтом Н.Бора (Дания) и Университетом Бергена (Норвегия) в области развития микроскопических подходов в описании реакций адронов и ионов с атомными ядрами.

#### СПРАВКА

о развитии международного сотрудничества и связей  
Объединенного института ядерных исследований за период 1965-1987 гг.

№№ пп	Вид сотрудничества	1965	1970	1975	1980	1985	1987
1.	Количество командировок специалистов из стран-участниц в ОИЯИ (без совещаний, но с учетом приездов по контрактам)	203	446	1026	1216	1469	1366
2.	Количество командировок специалистов ОИЯИ в страны-участницы	171	287	474	558	600	545*
3.	Количество научных, методических и научно-организационных совещаний ОИЯИ	19	28	42	40	49	49
4.	Количество командировок на международные конференции и в научные центры стран-неучастниц	69	166	131	109	119	138
5.	Количество приездов специалистов из стран-неучастниц	27	176	226	93	144	218
6.	Количество стипендиатов ОИЯИ	—	8	11	7	3	11

\*Без учета выездов по вызовам.

## ПЕРЕЧЕНЬ

научных и научно-организационных совещаний,  
проведенных Объединенным институтом ядерных исследований в 1987 году

№№ пп	Название совещания	Время проведения	Место проведения	Количество участников
<i>I. Совещания, школы и симпозиумы</i>				
1.	Совещание по теории малочастичных кварк-адронных систем	16-20 июня	Дубна	150
2.	Международный симпозиум по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом	30 июня — 4 июля	Дубна	160
3.	IV Международный симпозиум по избранным проблемам статистической механики	25-29 августа	Дубна	150
4.	X Школа ОИЯИ-ЦЕРН по физике высоких энергий	6-19 сентября	Варна, НРБ	100
5.	Международное совещание по координатным детекторам	22-25 сентября	Дубна	80
6.	VIII Международное совещание по проблемам квантовой теории поля	10-16 октября	Алушта, СССР	160
<i>II. Рабочие совещания</i>				
1.	Совещание по нейтринному детектору	20-22 января	Дубна	50
2.	Совещание по мультинейтронным системам	28-30 января	Дубна	50
3.	Совещание по исследованию механизма неупругих столкновений релятивистских ядер	3-5 февраля	Дубна	30
4.	Совещание по совместному ОИЯИ-ЦЕРН эксперименту NA-4	25-27 февраля	Дубна	50
5.	Совещание по исследованиям на установке БИС-2	17-19 марта	Дубна	50
6.	Совещание по исследованиям на установке "Людмила"	24-26 марта	Дубна	35
7.	Совещание по исследованию взаимодействий легких релятивистских ядер с протонами	19-21 мая	Дубна	25
8.	Совещание по исследованиям на установке РИСК	19-21 мая	Дубна	50
9.	Совещание по исследованиям на двухметровой пропановой камере	26-28 мая	Дубна	50
10.	Совещание по исследованию множественного кумулятивного рождения частиц и развитию спектрометра ГИБС	26-28 мая	Дубна	40

11.	Совещание по исследованию корреляционных эффектов в кумулятивном рождении частиц	9-11 июня	Дубна	50
12.	Совещание по коллективным методам ускорения	23-25 июня	Дубна	50
13.	Совещание по проекту ПАРУС	8-10 сентября	Дубна	30
14.	Совещание по физике конденсированных сред на реакторе ИБР-2	15-17 сентября	Дубна	50
15.	Совещание рабочей группы по развитию детекторов для экспериментальных исследований комитета ИКФА	22-25 сентября	Дубна	16
16.	Заседание комиссии по сотрудничеству с ЦЕРН	26-28 сентября	Дубна	25
17.	Совещание по программе исследований удаленных ядер с помощью комплекса ЯСНАПП	12-14 октября	Дубна	50
18.	Совещание по исследованиям на двухметровой пропановой камере и установке БИС-2	13-15 октября	Тбилиси, СССР	60
19.	Совещание по исследованию когерентного образования бозонных систем на установке МИС	27-29 октября	Дубна	45
20.	Совещание по экспериментам на установке СИГМА-АЯКС	29-31 октября	Дубна	40
21.	Совещание по научным результатам и планам исследований и развития аппаратуры сотрудничества МАРС	3-5 ноября	Дубна	50
22.	Совещание по экспериментам на установке АРЕС	10-12 ноября	Дубна	40
23.	Совещание по исследованиям на спектрометре с вершинным детектором	10-12 ноября	Дубна	35

### III. Научно-организационные совещания

1.	61 сессия Ученого совета ОИЯИ	13-15 января	Дубна	100
2.	Комитет Полномочных Представителей стран-участниц	3-5 марта	Дубна	80
3.	Комитет по структуре ядра	7-9 апреля	Дубна	30
4.	Комитет по нейтронной физике	7-9 апреля	Дубна	30
5.	Комитет по физике тяжелых ионов	7-9 апреля	Дубна	30
6.	Камерный комитет	14-16 апреля	Дубна	30
7.	Фотоэмульсионный комитет	14-16 апреля	Дубна	30
8.	Комитет по электронным экспериментам	14-16 апреля	Дубна	30
9.	62 сессия Ученого совета ОИЯИ и его секций по физике высоких энергий, физике низких энергий и теоретической физике	2-5 июня	Дубна	100

10. Совещание Контрольной комиссии Финансового комитета	9-11 июня	Дубна	20
11. Комитет по структуре ядра	13-15 октября	Дубна	30
12. Комитет по нейтронной физике	13-15 октября	Дубна	30
13. Комитет по физике тяжелых ионов	13-15 октября	Дубна	30
14. Камерный комитет	20-22 октября	Дубна	30
15. Комитет по электронным экспериментам	20-22 октября	Дубна	30
16. Фотоэмульсионный комитет	20-22 октября	Дубна	30
17. Заседание Финансового комитета	10-12 ноября	Дубна	20
18. Секция Ученого совета ОИЯИ по физике высоких энергий	24-26 ноября	Дубна	30
19. Секция Ученого совета ОИЯИ по теоретической физике	27-28 ноября	Дубна	30
20. Секция Ученого совета ОИЯИ по физике низких энергий	1-3 декабря	Дубна	30

ПЕРЕЧЕНЬ

международных и национальных конференций, симпозиумов, совещаний и школ,  
в которых принимали участие специалисты  
Объединенного института ядерных исследований в 1987 году

№№ пп	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
<i>В странах-участницах</i>				
1.	Школа-семинар по суперсимметрии, супергравитации и суперструнам	СССР, Протвино	5-14 января	11
2.	XII Всесоюзная школа по ядерным взаимодействиям при высоких энергиях	СССР, Бакуриани	15-24 января	6
3.	2 Всесоюзный симпозиум "Жидкокристаллические полимеры"	СССР, Суздаль	20-23 января	2
4.	Международная школа по рассеянию протонов	ГДР, Штадт Велен	25-30 января	4
5.	Конференция "Современные проблемы статистической физики"	СССР, Львов	2-5 февраля	4
6.	XIV Бакурианская школа по радиационной физике металлов и сплавов	СССР, Бакуриани	8-16 февраля	3
7.	XXII Зимняя школа по физике атомного ядра и элементарных частиц	СССР, Усть-Нарва	8-18 февраля	4
8.	23 Международная школа по теоретической физике	ПНР, Карпач	15 февраля — 1 марта	3
9.	XX Всесоюзная метеоритная конференция	СССР, Таллин	18-20 февраля	2
10.	Школа-семинар молодых ученых по технической сверхпроводимости	СССР, Протвино	8-13 марта	3
11.	Семинар по магнетизму	ГДР, Дома	16-20 марта	1
12.	Школа-семинар по машинной графике	СССР, Цахкадзор	16-20 марта	2
13.	19 Международный симпозиум по физике радиационной защиты	ГДР, Бад-Шандау	24-27 марта	1
14.	Международная конференция по физике плазмы	СССР, Киев	6-12 апреля	3
15.	Международное рабочее совещание по технике микротрона и использованию тормозного излучения	ПНР, Варшава	7-9 апреля	1
16.	Конференция по слабым и сильным взаимодействиям и гравитации	СССР, Москва	7-9 апреля	30
17.	V Всесоюзный семинар "Программа экспериментальных исследований на мезонной фабрике"	СССР, Звенигород	12-15 апреля	20
18.	Международный семинар по проблеме реализации комплексной программы НТП	СССР, Кишинев	13-17 апреля	1
19.	37 Совещание по ядерной спектроскопии и структуре ядра	СССР, Юрмала	14-16 апреля	30
20.	Всесоюзная конференция "Современные проблемы физики и ее приложения"	СССР, Москва	19-21 апреля	2

21. XI Радиохимическая конференция	ЧССР, Марианске- Лазне	21-25 апреля	6
22. Весенняя школа по физике высоких энергий	ГДР, Хольцхау	21-29 апреля	3
23. 2 Рабочее совещание "Ненуклонные степени свободы в ядрах"	СССР, Гатчина	20-24 апреля	5
24. Совещание по физике и технике низких температур	ГДР, Гауссиг	21-24 апреля	5
25. Международный симпозиум по электронной структуре металлов и сплавов	ГДР, Гауссиг	27-30 апреля	4
26. 4 Совещание по ядерным аналитическим методам	ГДР, Дрезден	4-8 мая	3
27. Рабочее совещание "Адроны-87"	СССР, Киев	4-7 мая	3
28. 25 Школа по ядерной физике	ГДР, Хольцхау	4-9 мая	4
29. V Всесоюзный семинар по высокочастотной релятивистской электронике	СССР, Новосибирск	5-7 мая	3
30. 22 Международная школа по физике	ПНР, Закопане	6-13 мая	1
31. III Всесоюзный симпозиум по вычислительной томографии	СССР, Киев	11-15 мая	3
32. Координационное совещание по физике высоких энергий	СССР, Ереван	12-14 мая	4
33. Всесоюзная конференция по избранным вопросам теории твердого тела	СССР, Звенигород	13-17 мая	3
34. Международная конференция "Оптика-87"	НРБ, Варна	18-27 мая	1
35. VII Всесоюзный симпозиум по физике интенсивных источников ионов и ионных пучков	СССР, Киев	18-24 мая	2
36. Всесоюзная школа-совещание "Математические проблемы статистической механики и квантовой теории поля"	СССР, Куйбышев	18-23 мая	7
37. Всесоюзное совещание "Проблемы повышения эффективности использования научно-технического потенциала"	СССР, Звенигород	18-20 мая	2
38. V Всесоюзное совещание по активационному анализу и другим радиоаналитическим методам	СССР, Ташкент	19-21 мая	9
39. IV Всесоюзная конференция "Научно-технические проблемы и достижения в криогенной технике"	СССР, Москва	20-22 мая	2
40. XVII Совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами	СССР, Москва	25-27 мая	2
41. IV Международный семинар "Квантовая теория гравитации"	СССР, Москва	25-29 мая	6
42. Международный симпозиум "Мюонный катализ-87"	СССР, Гатчина	25-30 мая	13
43. X Всесоюзный семинар по линейным ускорителям заряженных частиц	СССР, Харьков	2-4 июня	4
44. Европейская конференция по компьютерной алгебре	ГДР, Лейпциг	2-5 июня	3
45. Симпозиум "Физика деления ядер"	СССР, Обнинск	2-5 июня	20
46. Школа-семинар по твердотельным трековым детекторам и автордиографии	СССР, Одесса	1-6 июня	3

47.	27 Краковская школа по теоретической физике	ПНР, Закопане	8-16 июня	1
48.	VIII Всесоюзное совещание по дозиметрии интенсивных потоков ионизирующих излучений	СССР, Обнинск	9-11 июня	1
49.	Семинар "Коллективная ядерная динамика"	СССР, Одесса	9-11 июня	8
50.	Семинар "Электромагнитные взаимодействия адронов в резонансной области энергий"	СССР, Харьков	9-11 июня	1
51.	Международная школа и коллоквиум по теоретико-групповым методам в физике	НРБ, Варна	10-20 июня	2
52.	8 Международная конференция по ядерной физике промежуточных энергий	ВНР, Балатонфюред	8-13 июня	6
53.	7 Школа по микрокомпьютерам в физике	ЧССР, Бехине	9-18 июня	3
54.	Симпозиум по физике высоких энергий	ЧССР, Либлице	9-13 июня	7
55.	Симпозиум "Актуальные вопросы теории и практики получения и применения материалов ФП"	СССР, Москва	15-17 июня	4
56.	Международный симпозиум "Новейшие достижения ядерной физики"	СССР, Новосибирск	27 июня — 1 июля	15
57.	X Международный семинар по физике высоких энергий и теории поля	СССР, Протвино	6-12 июля	15
58.	XI Международная конференция "Высокие давления в науке и технике"	СССР, Киев	12-17 июля	2
59.	X Международная конференция "Малоголовое рассеяние и сопутствующие методы"	ЧССР, Прага	13-17 июля	2
60.	XX Международная конференция по космическим лучам	СССР, Москва	2-15 августа	2
61.	3 Рабочее совещание по ион-атомным столкновениям при высоких энергиях	ВНР, Дебрецен	3-6 августа	3
62.	XI Международная конференция по нелинейным колебаниям	ВНР, Будапешт	17-23 августа	3
63.	8 Международный конгресс по логике, методологии и философии науки	СССР, Москва	17-22 августа	2
64.	Конференция по транспортировке явлений	ЧССР, Братислава	18-22 августа	1
65.	12 Конференция по аморфным полупроводникам	ЧССР, Прага	24-28 августа	2
66.	VI Всесоюзная школа-семинар "Современное состояние и перспективы развития базы данных ИНИС, пути повышения эффективности ее использования"	СССР, Обнинск	24-30 августа	3
67.	2 Международный симпозиум по численному анализу	ЧССР, Прага	24-28 августа	1
68.	7 Конференция социалистических стран по жидким кристаллам	ЧССР, Пардубице	31 августа — 4 сентября	1
69.	Рабочее совещание по химии астата	ВНР, Будапешт	1-3 сентября	1
70.	Международная школа по ядерной физике	ПНР, Миколайки	1-13 сентября	4

71. 2 Международный коллоквиум по информации	ГДР, Магдебург	1-8 сентября	1
72. I Всесоюзный семинар молодых ученых "Ускорители заряженных частиц и радиационная физика"	СССР, Москва	5-11 сентября	1
73. Рабочее совещание по сепарабельным взаимодействиям в динамических системах	ВНР, Будапешт	7-11 сентября	3
74. 4 Симпозиум по физике поверхностей	ЧССР, Бехине	7-11 сентября	1
75. XVIII Международный симпозиум по многочастичной динамике	СССР, Ташкент	8-12 сентября	6
76. IV Советско-итальянский симпозиум по теоретической физике	СССР, Москва	9-19 сентября	2
77. 9 Конференция Европейского физического общества ("От холодных к горячим атомам")	НРБ, Варна	13-18 сентября	3
78. Совещание по программе экспериментальных исследований на УНК	СССР, Протвино	14-19 сентября	20
79. Международная конференция "Эксперименты и экспериментальная методика в физике высоких энергий"	ЧССР, Бехине	14-18 сентября	8
80. Семинар-совещание "Вакуум КХД и структура адронов"	СССР, Ташкент	14-22 сентября	7
81. Семинар "Автоматизированное рабочее место программиста"	СССР, Новосибирск	15-17 сентября	1
82. 3 Конференция "Автоматизация информационного обслуживания"	НРБ, Бургас	17-20 сентября	1
83. Рабочее совещание по советско-финскому проекту "Сфинкс"	СССР, Гатчина	20-26 сентября	3
84. Международное совещание по проблемам квантовой физики	ПНР, Гданьск	20-25 сентября	1
85. Международная школа по магнитному резонансу	СССР, Новосибирск	20-26 сентября	1
86. Международная конференция по нейтронной физике	СССР, Киев	21-25 сентября	32
87. Семинар "Проблемы и применение искусственного интеллекта"	НРБ, Варна	21-25 сентября	2
88. Всесоюзная школа-семинар "Современные методы квантовой теории поля"	СССР, Ереван	23 сентября — 2 октября	3
89. Международная школа по нелинейным дифференциальным уравнениям	НРБ, Варна	28 сентября — 3 октября	3
90. X Конференция молодых ученых по теоретической физике	СССР, Киев	29 сентября — 1 октября	2
91. Международный симпозиум по микрокомпьютерам и микропроцессорам	ВНР, Будапешт	29 сентября — 1 октября	4
92. X Международная конференция "Современные методы в рентгеновском и нейтронном анализе структуры материалов"	ЧССР, Карлови-Вари	3-9 октября	2
93. Международный симпозиум по теории элементарных частиц	ГДР, Зеллин	12-17 октября	1
94. 8 Международная школа по физике ядра, нейтронной физике и ядерной энергетике	НРБ, Варна	19-28 октября	5
95. Всесоюзная школа "Автоматизация и эффективность научных исследований"	СССР, Протвино	19-30 октября	2



96. Всесоюзная школа "Теоретические и прикладные проблемы вычислительной математики и математической физики"	СССР, Одесса	16-25 октября	2
97. Школа "Системы аналитических вычислений на ЭВМ и их приложения в технике"	СССР, Москва	19-30 октября	1
98. Симпозиум "Механизмы биологического действия электромагнитных излучений"	СССР, Пушино	27-31 октября	1
99. Школа по функциональному анализу	ГДР, Грюнхейд	2-14 ноября	1
100. 17 Международный симпозиум по ядерной физике	ГДР, Гауссиг	9-13 ноября	1
101. 26 Конференция стран СЭВ по физике низких температур	ВНР, Будапешт	16-20 ноября	6
102. Международная конференция "Структура адронов-87"	ЧССР, Смоленце	16-20 ноября	3
103. Международный семинар "Адроны и структура материи"	СССР, Москва	17-20 ноября	13
104. Семинар по оксидным сцинтилляторам	СССР, Рига	19-21 ноября	2
105. Международное рабочее совещание по проблемам нелинейной оптики и кинетики полупроводников	ГДР, Бад-Штюг	23-28 ноября	1
106. V Всесоюзная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики"	СССР, Новосибирск	24-26 ноября	3
107. Конференция "Опыт интеграции науки и производства стран-членов СЭВ"	СССР, Львов	23-27 ноября	1
108. 3 Всесоюзная конференция по химии нептуния и плутония	СССР, Ленинград	24-26 ноября	4
109. XII Всесоюзная научно-техническая конференция "Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов"	СССР, Москва	30 ноября — 4 декабря	2
110. Симпозиум латиноамериканских стран по физике твердого тела	Республика Куба, Гавана	7-14 декабря	1
111. Международная конференция "Компьютеры и микропроцессорная техника"	ГДР, Магдебург	8-10 декабря	4
112. Совещание по теоретическим проблемам мю-катализа	СССР, Москва	12-16 декабря	6

*В странах-неучастницах*

1. Международная школа по физике	Австрия, Шладминг	17-27 февраля	2
2. Конференция по ускорителям заряженных частиц	США, Вашингтон	16-19 марта	1
3. VII Международная конференция по физике конденсированных сред	Италия, Пиза	7-10 апреля	3
4. Международная конференция по содействию международному сотрудничеству в области мирного использования атомной энергии	Швейцария, Женева	23 марта — 10 апреля	1
5. Международный семинар "Мезоны и кварки в ядре"	Япония, Киото	15-18 апреля	1

6. XI Международная конференция по частицам и ядрам	Япония, Киото	20-24 апреля	3
7. Международная школа по полимерной физике	Италия, Триест	27 апреля — 15 мая	1
8. XV Совещание сотрудников по связи с ИНИС	Австрия, Вена	11-14 мая	1
9. II Международная конференция по статистике	Финляндия, Тампере	1-4 июня	3
10. Школа молодых физиков и заседание рабочей группы ИКФА по детекторам частиц	Италия, Триест	8-19 июня	1
11. Рабочее совещание сотрудничества по экспериментам с пучком меченых нейтрино	Италия, Пиза	15-20 июня	2
12. Международная конференция по криогенной технике и криогенным материалам	США, Батавия	14-18 июня	1
13. Международная школа по физике "Реакции с тяжелыми ионами и новые направления в ядерной физике"	Италия, Варенна	22 июня — 3 июля	2
14. Международная конференция по физике высоких энергий	Швеция, Уппсала	25 июня — 1 июля	7
15. Специальная Адриатическая конференция по высокотемпературной сверхпроводимости	Италия, Триест	6-8 июля	5
16. Рабочее совещание "Тяжелые заряженные частицы в биологии и медицине"	ФРГ, Дармштадт	13-15 июля	2
17. VIII Международный конгресс по радиационным исследованиям	Великобритания, Эдинбург	27-31 июля	2
18. Международный симпозиум по лептон-фотонным взаимодействиям при высоких энергиях	ФРГ, Гамбург	27-31 июля	2
19. Международная школа по субъядерной физике	Италия, Эриче	6-14 августа	1
20. Аспенское рабочее совещание по теоретической физике	США, Аспен	10-31 августа	1
21. Генеральная ассамблея ИЮПАК. Симпозиум по химическим и ядерным свойствам трансплутониевых элементов	США, Бостон Новый Орлеан	18 августа — 4 сентября	1
22. 18 Международная конференция по физике низких температур. Симпозиум по физике сверхнизких температур	Япония, Киото Нагоя	20-26 августа 27-30 августа	2
23. Международная конференция по расчету электромагнитных полей "Компьюмаг-87"	Австрия, Грац	25-28 августа	2
24. VI Международный симпозиум по спектроскопии гамма-лучей захвата	Бельгия, Левен	31 августа — 4 сентября	2
25. IX Международная конференция по граничным элементам в технике	ФРГ, Штутгарт	31 августа — 4 сентября	1
26. Международная конференция по позиционно-чувствительным детекторам	Великобритания, Лондон	7-11 сентября	1
27. Международное рабочее совещание "Интерферометрия волн материи". Симпозиум, посвященный 100-летию со дня рождения Э.Шредингера	Австрия, Вена	14-19 сентября	2

28.	Международная конференция по ядрам, удаленным от линии бета-стабильности	Канада, Кливленд-Хаус	14-19 сентября	2
29.	Международный симпозиум по микро-процессорам и микропрограммированию "Евромикро-87"	Великобритания, Портсмут	14-17 сентября	2
30.	Международная школа по физике элементарных частиц	Югославия, Дуилово	20 сентября — 4 октября	1
31.	X Международная конференция по магнитной технологии	США, Бостон	22-26 сентября	1
32.	Международное совещание "Возбуждение гигантских резонансов в столкновениях тяжелых ионов"	Италия, Падуя	21-25 сентября	2
33.	Заседание Международного комитета по будущим ускорителям (ИКФА)	США, Брукхейвен	5-9 октября	1
34.	II Рабочее совещание по установкам и дозиметрии радиотерапевтических пучков заряженных частиц	США, Лома-Линда	12-14 октября	1
35.	III Международное совещание "Концепция вероятности", посвященное 100-летию со дня рождения Э.Шредингера	Греция, Дельфы	12-17 октября	2
36.	Колледж по римановым поверхностям	Италия, Триест	30 ноября — 12 декабря	1

**ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ  
СЛУЖБЫ**



## ОТДЕЛ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Деятельность Отдела радиационной безопасности и радиационных исследований в 1987 году была направлена на обеспечение радиационного контроля на рабочих местах сотрудников Института и в окружающей среде, разработку и внедрение новых средств контроля, в том числе автоматизированных систем, на подготовку работ по созданию опорных полей излучений, а также на проведение радиационных исследований в новых неизученных режимах работы ядерно-физических установок.

Радиационный контроль осуществлялся на следующих ядерно-физических установках ОИЯИ:

- импульсном быстром реакторе ИБР-30;
- импульсном быстром реакторе ИБР-2;
- синхрофазотроне в режиме ускорения протонов и релятивистских ядер с энергией несколько ГэВ/нуклон;
- фазотроне при работе на эксперимент и в режиме наладки каналов транспортировки пучков;
- циклотронах У-200, У-300 и У-400 в режимах ускорения ионов с энергиями до 20 МэВ/нуклон;
- микротроне МТ-25 на энергию электронов 25 МэВ;
- прототипе коллективного ускорителя первой очереди КУТИ-20, а также ЛИУ-3000;
- линейном ускорителе электронов ЛИУ-30 при энергии до 8 МэВ в режиме пуско-наладочных работ, при проведении работ с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

Контроль радиационной обстановки и индивидуальных доз внешнего облучения персонала в зонах радиационного воздействия позволил организовать деятельность подразделений Института так, что годовой уровень облучения персонала и населения не превысил ни предельно допустимых доз, ни пределов доз. К концу 1987 года на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) в ОИЯИ состояло 2536 человек, из них 181 сотрудник, прикомандированный к ОИЯИ из сторонних организаций. Годовая доза облучения у 99% сотрудников, рабо-

тающих в радиационно-вредных условиях труда, не превысила 15 мЗв (1,5 бэр), что ниже регламентированной величины. Доза облучения в окружающей среде от ядерно-физических установок Института составляет пренебрежимо малую величину по сравнению с природной дозой радиации; радиоактивность внешней среды в районе расположения ОИЯИ обусловлена наличием в ней естественных радиоактивных элементов и продуктов глобальных выпадений, на фоне которых вклад работы установок Института в загрязненность окружающей среды не обнаружен.

С целью развития и совершенствования средств радиационного контроля совместно с сотрудниками ЛВЭ введена в опытную эксплуатацию система контроля доз и мощностей доз нейтронов на комплексе синхрофазотрона в режиме автоматизированного сбора, накопления, обработки и представления информации. Проводились работы по созданию автоматизированной системы радиационного контроля на ускорительном комплексе ЛЯР. Введена в опытную эксплуатацию автоматизированная система стационарного дозиметрического контроля радиоактивных аэрозолей и газа, нейтронов и гамма-излучений на реакторе ИБР-30.

Продолжались исследования различных типов термомлюминесцентных детекторов (ТЛД) для использования их в индивидуальной дозиметрии и для контроля уровня гамма-излучения и заряженных частиц в окружающей среде. В опытную эксплуатацию для измерения индивидуальных доз гамма-излучения персонала внедрены новые детекторы ТЛД-400.

Введена в опытную эксплуатацию низкофоновая установка гамма-гамма совпадений. Развита и успешно опробована в реальных условиях высокочувствительный метод измерения флюенсов, эквивалентных доз и спектров нейтронов высокой энергии.

В области радиационных исследований завершено в основном изучение радиационной обстановки на комплексах фазотрона ЛЯР и синхрофазотрона ЛВЭ, проводившее-

ся совместно с лабораториями в течение нескольких лет.

Выявлены основные источники излучения, определяющие радиационную обстановку как внутри комплексов, так и на прилегающей к ним территории. Уточнены границы радиационных зон, исследовано влияние новых каналов транспортировки пучков и режимов работы ускорителей на радиационную обстановку, разработаны рекомендации по повышению радиационной безопасности ускорителей, поз-

воляющие увеличить эффективность их эксплуатации.

Продолжены работы по программному обеспечению расчетов защит ускорителей протонов и тяжелых ионов, проведены эксперименты по проверке методов расчета защиты<sup>1-4</sup>.

Показана возможность восстановления энергетических распределений полей фотонов короткой длительности с помощью термомлюминесцентных детекторов с граничной энергией около 1 МэВ<sup>15</sup>.

1. Бамблевский В.П., Крылов А.Р., Тимошенко Г.Н. В кн.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-105, Дубна, 1987, т.2, с.368.
2. Астапов А.А., Бамблевский В.П. ОИЯИ, 16-87-486, Дубна, 1987.

- ЛИТЕРАТУРА
3. Астапов А.А., Комочков М.М. ОИЯИ, 16-87-310, Дубна, 1987.
  4. Бескровная Л.Г., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-87-304, Дубна, 1987.
  5. Хо Га Хон, Цовбун В.И. ОИЯИ, Р16-87-589, Дубна, 1987.

## ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В 1987 году коллектив Опытного производства выполнил большой объем работ по созданию в лабораториях Института базовых и экспериментальных установок.

Продолжалось изготовление сверхпроводящей магнитной системы ускорителя нуклотрон (ЛВЭ). Было выпущено 26 комплектов криостатов и 65 магнитопроводов дипольных магнитов, приспособления для намотки сверхпроводящих полуобмоток дипольных магнитов, опытный образец электротехнического шкафа и другие узлы. Начаты работы по созданию квадрупольных линз.

Для ускорителя У-400М (ЛЯР) были изготовлены остов магнита Е-8В, детали системы водоохлаждения и ионных источников, устройство подъема вертикального ионного источника, 4 опоры штоков с юстировочными устройствами, 6 корпусов вакуумных агрегатов и 6 ловушек к вакуумным насосам, 10 цилиндров Фарадея с пневмоприводами и другие узлы.

В согласованные сроки завершена работа по стримерным трубкам для установки DELPHI (ОИЯИ — ЦЕРН). Почти 15000 трубок после контрольных испытаний, прове-

денных сотрудниками ЛЯП, были отправлены в Женеву.

Продолжалось изготовление магнитопровода установки МАРС (ЛЯП). Собраны очередные 3 пакета. Одновременно была завершена подготовка производства к изготовлению магнитопровода установки "Парус". Кроме того, для Лаборатории ядерных проблем было поставлено 120 черенковских счетчиков, 5 эмиссионных камер.

Завершена работа по изготовлению основных узлов для двух комплектов просмотрово-измерительной аппаратуры установки АИСТ (ЛВТА). Подготовлены специальные помещения и начата общая сборка просмотрово-измерительного оборудования для комплексной отладки и испытаний.

В течение года была проведена подготовка производства к серийному выпуску координатных полуплоскостей из дрейфовых трубок комплекса "Меченые нейтрино" (ОНМУ). Было изготовлено все необходимое нестандартное оборудование и оснастка, что позволило организовать серийное производство этих детекторов высокого качества. Всего к концу года создано 16 полу-



По технологии, разработанной в ОНМУ, в Опытном производстве ОИЯИ ведется изготовление серии больших пропорциональных камер для новой установки ОИЯИ — спектрометра с вершинным детектором, предназначенной для экспериментов на ускорителе ИФВЭ.



Изготовление модулей координатных плоскостей из дрейфовых трубок для установки "Меченые нейтрино".

плоскостей. Следует отметить, что впервые в практике Опытного производства детекторы изготавливались в комплекте с радиоэлектронной аппаратурой, обеспечивающей съем и обработку информации.

В целом за 1987 год лаборатории Института получили значительное количество радиоэлектронной аппаратуры: 455 источников питания различных типов, 60 крейтов КАМАК с источниками питания и вентиляторами, почти 2000 блоков КАМАК различных типов и около 12000 дм<sup>2</sup> печатных плат. Была выпущена первая партия контроллеров КК-009, которые позволяют использовать персональные ЭВМ "Правец-16" совместно с радиоэлектронной аппаратурой в стандарте КАМАК для автоматизации физических экспериментов.

# НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ





## ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 1987 году издательский отдел ОИЯИ выпустил в свет 920 наименований сообщений и препринтов ОИЯИ. Было издано 256 служебных материалов.

Вышли из печати сборники трудов V Школы по нейтронной физике, Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, Международного совеща-

ния по проблемам квантовой теории поля, совещания "Ренормгруппа-86" и др. Всего в 1987 году издано 8 таких сборников.

К 70-летию Великой Октябрьской социалистической революции издана книга "Орбиты сотрудничества", рассказывающая о совместных исследованиях ученых-физиков стран социалистического содружества. Книга содержит большое количество иллюстративного материала. Это издание отличается высоким качеством полиграфического исполнения, за что книга была удостоена диплома на Московском конкурсе полиграфической продукции, изготовленной средствами оперативной полиграфии.

Продолжалось издание брошюр из серии "Лекции для молодых ученых". Опубликованы лекции А.М.Балдина и Л.А.Диденко "Асимптотические свойства адронной материи в пространстве четырехмерных относительных скоростей", Димитра Пушкарова "Дефектоны в кристаллах", Анны Дубничковой "Непрерывные группы для физиков", Н.М.Никитюка "От современной алгебры — к специализированным процессорам".



В наборном отделении.





В 1987 году в издательском отделе ОИЯИ изготовлено более 500 тысяч ксерокопий по заказам подразделений Института, в том числе значительное количество крупноформатных чертежей для конструкторских бюро лабораторий.

Большой популярностью пользуются "Краткие сообщения ОИЯИ", знакомящие мировую научную общественность с наиболее интересными научными, научно-техническими, методическими и прикладными результатами, полученными в Дубне. В 1987 г. издано 6 выпусков "Кратких сообщений ОИЯИ".

В редакции журналов, на различные конференции, симпозиумы и т.д., проводившиеся как в странах-участницах, так и в других странах, было направлено 1209 статей и докладов, содержащих результаты работ ученых Дубны.

Статьи сотрудников ОИЯИ публиковались в таких журналах, как "Журнал экспериментальной и теоретической физики", "Теоретическая и математическая физика", "Приборы и техника эксперимента", "Ядерная физика", "Физика элементарных частиц и атомного ядра", "Атомная энергия", "Journal of Physics", "Physics Letters", "Zeitschrift für Physik", "Nuclear Physics", "Nuclear Instruments and Methods" и др.

В 44 страны мира рассылались публикации Дубны. В 1987 году в списке рассыл-

ки публикаций ОИЯИ появилось 25 новых адресов.

В научно-техническую библиотеку ОИЯИ в 1987 году поступила в порядке обмена 11381 публикация из 40 стран, в том числе 2119 из ЦЕРНа. В порядке обмена же в НТБ бесплатно поступает 121 наименование научных журналов из 22 стран.

Оперативному информированию читателей научно-технической библиотеки о новых поступлениях служат выпускаемые издательским отделом экспресс-бюллетени НТБ и патентного отдела. Увидел свет традиционный ежегодный библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 1986 год и отчет о деятельности ОИЯИ за 1986 год.

Издательским отделом выполнялись многочисленные заказы лабораторий на ксерокопирование.

Выполнено свыше 5 тысяч заказов на переплетные работы.

Для обработки экспериментальной информации и других целей отпечатано свыше 700 тысяч различных бланков.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 1987 году число читателей научно-технической библиотеки и ее филиалов составило 5735 человек. Количество выданной за год литературы и просмотренных на выставках новых поступлений составило 370 тысяч экземпляров. По заявкам читателей получено по межбиблиотечному абонементу (МБА) 2449 наименований книг. Выполнено более 700 читательских заявок, поступивших из библиотек Советского Союза.

По всем источникам комплектования (покупка, подписка, книгообмен) в 1987 году поступило около 16 тысяч экземпляров книг, препринтов, периодических изданий, в том числе 8,5 тысяч на иностранных языках.

На 1 января 1988 года библиотечный фонд составил 393 тысячи экземпляров, из них более 165 тысяч — на иностранных язы-

ках. Все поступившие издания своевременно обрабатывались и отражались в центральном каталоге и в каталогах филиалов. Картотека новых поступлений пополнилась 21631 карточкой, тематические картотеки — 21552 карточками. Картотека публикаций сотрудников Института пополнилась 4841 карточкой.

Подготовлен и издан "Указатель работ сотрудников ОИЯИ за 1986 г.". Ежедневно выпускались экспресс-бюллетени "Книги", "Препринты", "Статьи" (156 номеров), содержащие информацию о новых публикациях (24700 наименований).

Ежедневно обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, на которых было представлено 9477 новых наименований. Было организовано 12 тематических выставок.

## ПАТЕНТНЫЙ ОТДЕЛ

В 1987 году в СССР зарегистрировано открытие, сделанное сотрудниками Объединенного института ядерных исследований в 1973 году: "Закономерность упругого рассеяния адронов на большие углы при высоких энергиях — правила кваркового

## ПРАВОВАЯ ОХРАНА ОТКРЫТИЙ

счета Матвеева — Мурадяна — Тавхелидзе" (диплом №343). Авторы открытия: В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян и А.Н.Тавхелидзе.

Всего за период 1958-1987 гг. в СССР зарегистрировано 30 открытий, сделанных с участием сотрудников ОИЯИ.

## ЗАЩИТА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЙ

	1987 г.	1958-1987 гг.
Получено положительных решений по заявкам на изобретения	57	1161
Использовано изобретений	22	536

## РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

	1987 г.	1958-1987 гг.
Использовано рационализаторских предложений	557	13662
Экономический эффект от использования изобретений и рационализаторских предложений (тыс.руб.)	176	3075,7

**АДМИНИСТРАТИВНО-  
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**



## КАДРЫ

Численность сотрудников Объединенного института ядерных исследований на конец 1987 года составила 7378 человек. Распределение по категориям показано в таблице.

В Объединенном институте ядерных исследований работают 5 академиков: Н.Н.Боголюбов, А.М.Балдин, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеров, И.М.Франк; 5 членов-корреспондентов академий наук: Н.Н.Говорун, В.П.Джелепов, И.Звара, М.Г.Мещеряков, Д.В.Ширков; 172 доктора наук; 601 кандидат наук.

В 1987 году принято 863 человека, из них:

научных работников — 228

инженеров	— 204
техников и мастеров	— 16
рабочих	— 322
учеников	— 25
служащих	— 60
младшего обслуживающего персонала	— 8

Уволено из ОИЯИ за этот же период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 877 человек. В течение года присвоены ученые звания профессора 2 сотрудникам, старшего научного сотрудника — 10, младшего научного сотрудника — 17.

В 1987 году защитили кандидатские диссертации 24 сотрудника, докторские — 10.

Категория работников	Численность		
	в лабораториях и управлении	в производственных подразделениях	всего
Научные работники,	1326	4	1330
из них:			
научно-руководящий персонал	256	—	
ведущие и старшие научные сотрудники	496	—	
научные сотрудники	396	1	
младшие научные сотрудники	178	3	
Инженеры	1652	280	1932
Техники и мастера	152	142	294
Рабочие	1800	1466	3266
Ученики	4	16	20
Служащие	267	200	467
Младший обслуживающий персонал	3	66	69
Всего:	5204	2174	7378

## ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Комитет Полномочных Представителей правительств государств-членов Объединенного института ядерных исследований для проведения научно-исследовательских работ, капитального строительства и других мероприятий, связанных с деятельностью Института, на 1987 год ассигновал 48,2 млн.руб. На финансирование объектов, сооружаемых совместно с другими организациями, передано централизованно 0,8 млн.руб. Фактические расходы за год составили

47,3 млн.руб., или 99,8% по отношению к годовым ассигнованиям.

Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ за 1987 год выполнен в полном объеме, в сметной стоимости и по номенклатуре. Фактические расходы составили 33,7 млн.руб., или 98,4% к сметной стоимости. Достигнута экономия 0,5 млн.руб.

Распределение бюджета по разделам приведено в таблице.

Наименование разделов	Ассигнования на год, млн.руб.	Фактические расходы за год, млн.руб.	% к плану
I. Административно-управленческие и хозяйственные расходы	7,7	7,4	96,3
II. Расходы на научно-исследовательскую деятельность	26,5	26,3	99,0
Итого по основной деятельности	34,2	33,7	98,4
III. Капитальные вложения на строительство научно-исследовательских и других объектов	13,2	13,6	103,1
Всего	47,4	47,3	99,8

### КАПИТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Затраты на капитальное строительство научно-исследовательских и других объектов планировались в сумме 13,2 миллиона рублей. Выполнение годового плана капитального строительства показано в таблице.

Структура капитальных вложений	Годовой план, млн.руб.	Фактическое выполнение, млн.руб.	% выполнения
Всего капитальных вложений, в том числе:	13,2	13,6	103,1
1. Строительно-монтажные работы	2,3	1,3	57,6
2. Оборудование и инвентарь	10,5	12,0	108,7
3. Проектно-изыскательские и прочие затраты	0,4	0,3	75,0
Ввод в действие основных средств (фондов)	22,8	22,6	99,4

### ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В составе ОИЯИ находятся производственные, вспомогательные и обслуживающие подразделения. Деятельность этих подразделений за 1987 год характеризуется основными показателями, приведенными в таблице:

Показатели	Годовой план	Фактическое выполнение	% выполнения
1. Объем готовой продукции, выполненных работ и оказанных услуг, млн.руб.	15,2	16,7	110,0
2. Результаты финансово-хозяйственной деятельности, млн.руб.	0,2	1,5	
3. Затраты на один рубль готовой продукции, выполненных работ и оказанных услуг (коп.)	98,5	90,9	
4. Численность работающих	2327	2163	