

ДУБНА · 1991

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4067/92

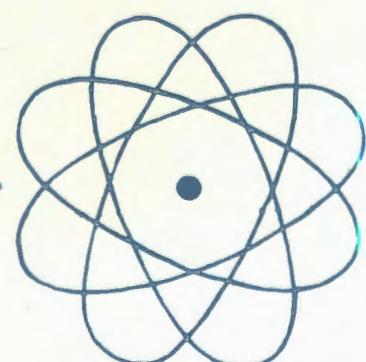


JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1991 · ДУБНА

ЭКЗ. чит. зала

ОТЧЕТ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ЕЖЕГОДНОЕ ИЗДАНИЕ

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ	
Деятельность руководящих и консультативных органов	8
Премии	17
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ЛАБОРАТОРИЯМИ ОИЯИ В 1991 ГОДУ	
Лаборатория теоретической физики	20
Лаборатория высоких энергий	29
Лаборатория сверхвысоких энергий	44
Лаборатория ядерных проблем	54
Лаборатория ядерных реакций	71
Лаборатория нейтронной физики	90
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации	107
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	116
ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ	
Отдел радиационной безопасности и радиационных исследований	138
Опытное производство	139
НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Издательский отдел	142
Научно-техническая библиотека	143
Патентный отдел	144
АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	146

ВВЕДЕНИЕ

Последние несколько лет были для Объединенного института ядерных исследований далеко не простыми. Коллектив Института делал все, чтобы сохранить научный потенциал, наше интеллектуальное богатство. Деятельность ОИЯИ и по сей день является основным интегрирующим фактором в объединении ученых разных стран, что особенно важно в наше время, когда возникают «центробежные» силы.

Физическая программа Института проводилась по 34 научным проблемам. По программе проектирования накопительного комплекса электронов, позитронов и ионов в ОИЯИ на заключительной стадии разработки находятся концептуальные проекты основных объектов комплекса.

Завершены сборка, электрический монтаж и наладка всех систем первого квадранта магнитной

системы нуклонона, в камере получен вакуум $8 \cdot 10^{-8}$ Торр.

Изготовлен криогенный замедлитель ИБР-2 и стенд для его испытаний.

Проведена разработка базового варианта сетевого программного обеспечения для международной компьютерной сети с использованием спутниковой связи на базе ОИЯИ и СКС «Дубна».

28 декабря Государственная комиссия подписала акт о приемке в эксплуатацию изохронного циклотрона У-400М.

Были проведены актуальные теоретические исследования в области фундаментальных взаимодействий, атомного ядра, математической физики, релятивистской ядерной физики, конденсированного состояния вещества, высокотемпературной сверхпроводимости.

Директор ОИЯИ академик Д.Киш и вице-директора профессор А.Н.Сисакян и профессор Д.Эберт беседуют с гостем Дубны — профессором Х.П.Дюрром из Университета им. М.Планка (Мюнхен, ФРГ)





В мае состоялось очередное заседание комиссии по сотрудничеству ОИЯИ — ЦЕРН

На установке ДЕЛФИ (ЛЕР, ЦЕРН) продолжается набор статистики в области Z^0 -резонанса. Проведено прецизионное сканирование Z -пика с использованием адронных и лептонных мод распада, фитирование проводилось по модели, разработанной с участием физиков Объединенного института.

На ускорителе У-70 Института физики высоких энергий (Протвино) продолжалась реализация экспериментальной программы на установках МИС-2, СВД, КМН, ЭКСЧАРМ, «Нейтринный детектор», ГЛЮОН.

На первой очереди установки СФЕРА проведены измерения A -зависимости выхода кумулятивных π^- -мезонов при фрагментации релятивистских дейtronов под углом, близким к 0° , на ядрах. Введена в строй 4 π -установка ФАЗА, предназначенная для исследования процесса мультифрагментации в ядро-ядерных взаимодействиях на пучках синхрофазотрона ОИЯИ.

В совместном ОИЯИ — ГАНИЛ эксперименте впервые исследовано упругое рассеяние ^{11}Li . С использованием кинематического сепаратора «Василиса» на циклотроне У-400 изучен широкий спектр реакций, приводящих к компаунд-ядрам с $83 \leq Z \leq 94$.

Впервые проведены исследования ЭВК и ожеэлектронов криптона в экспериментах по измерению массы антинейтрино.

В рамках «Дубненской кремниевой программы», объединяющей многие группы из СНГ, США и Западной Европы, разработана и изготовлена опытная партия калориметрических радиационно стойких кремниевых детекторов.

Получен ряд новых результатов по изучению структуры и динамики высокотемпературных сверхпроводников.

С 1991 года начал свою работу Учебно-научный центр МГУ и МИФИ при ОИЯИ. Студенты УНЦ приняли участие в работе школ и конференций, организуемых для молодых ученых; выезжают на летнюю стажировку в США.

Главным политическим событием прошедшего года было вступление в нашу международную организацию Беларусь, России, Украины. Россия как страна местонахождения ОИЯИ взяла на себя все соответствующие обязательства и сделала первый денежный взнос в бюджет Института, который несколько стабилизировал обстановку.

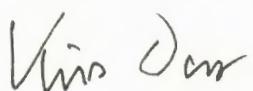
Вторым существенным моментом явилось подписание Соглашения между ОИЯИ и Феде-

ральным министерством исследований и технологий (ФМИТ) ФРГ «О сотрудничестве и использовании установок ОИЯИ».

Нужно также отметить, что в 1991 году Объединенный институт был принят в качестве наблюдателя в Европейский комитет по будущим ускорителям — организацию, координирующую европейские программы по физике высоких энергий. Ранее Институт был принят в члены Европейского физического общества и члены PAPF — организации по поддержке и участию

в создании высококачественной европейской компьютерной коммуникации для научных исследований.

Взаимодействие с мировой наукой — один из основных аргументов в научном поиске. Традиции международной интеграции в Институте по-прежнему сильны. В них залог наших будущих достижений, залог реализации Концепции развития и реорганизации Объединенного института ядерных исследований как международного центра фундаментальных исследований.



Д.Киш

Директор Объединенного института
ядерных исследований

РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РУКОВОДЯЩИХ И КОНСУЛЬТАТИВНЫХ ОРГАНОВ ОИЯИ

СОВЕЩАНИЯ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОИЯИ

5—6 марта в Дубне проходило совещание Комитета Полномочных Представителей правительств государств — членов Объединенного института ядерных исследований.

Заслушав доклад директора ОИЯИ академика Д.Киша о деятельности Института в 1986—1990 гг., о задачах на 1991 г. и о программе развития ОИЯИ на последующие годы, Комитет Полномочных Представителей принял решение одобрить работу Института по выполнению плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в 1986—1990 гг. Были утверждены решения 68 и 69 сессий Ученого совета ОИЯИ, план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества на 1991 г., планы проведения научных совещаний, планы командирования специалистов ОИЯИ на конференции, симпозиумы и школы в 1991 г.

В качестве главных задач Института в 1991 г. КПП определил следующие:

— дальнейшее развитие современных теоретических и экспериментальных исследований в области физики атомного ядра, конденсированных состояний, в том числе высокотемпературных сверхпроводников, физики элементарных частиц с использованием базовых установок ОИЯИ, ускорителей ИФВЭ, ЦЕРНа в соответствии с задачами, поставленными в решениях 69 сессии Ученого совета ОИЯИ;

— монтаж и пусконаладочные работы по нуклоному, подготовка первоочередных экспериментов на нуклономе;

— развитие и совершенствование систем рефрактора ИБР-2;

— работы по запуску циклотрона У-400М и созданию установки ФОБОС; подготовка рабочего проекта накопительного комплекса тяжелых ионов К4—К10;

— развитие и эффективное использование информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ;

— участие в разработке и создании совместно с ИФВЭ систем УНК и подготовка первоочередных экспериментов на нем;

— работы в области прикладных исследований;

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

Комитет Полномочных Представителей принял к сведению представленную программу развития ОИЯИ.

Комитет согласился с решениями Ученого совета и рекомендациями совещания финансовых органов стран-участниц ОИЯИ о необходимости составления бюджета ОИЯИ в свободно конвертируемой валюте.

С учетом сложившегося трудного финансового положения дирекции Института поручено продолжить поиск путей выхода из этой ситуации и доложить о его результатах на внеочередном совещании КПП. Дирекция ОИЯИ должна также представить Полномочным Представителям до конца июня план-график и смету для выполнения принятых ОИЯИ до конца 1991 г. обязательств по проведению экспериментов в ЦЕРНе и ИФВЭ.

КПП одобрил проведение проектных работ по комплексу накопителей электронов, позитронов, ионов и по нейтронному источнику высокого разрешения. При этом указал, что разработка новых проектов должна включать в себя их всестороннюю научную и финансовую экспертизу. Утвердил отчет ОИЯИ об исполнении бюджета за 1989 г., Протокол заседания Финансового комитета от 13—14 декабря 1990 г.

Комитет принял к сведению информацию об исполнении бюджета за 1990 г., решил, что бюджет ОИЯИ на 1991 и 1992 гг. представляется в долларах США. Каждое государство — член ОИЯИ в установленные сроки оплачивает свои долевые взносы в свободно конвертируемой валюте или частично путем поставок товаров и оказа-



На внеочередном совещании КПП правительств государств — членов ОИЯИ, проходившем в Дубне с 10 по 13 декабря

ния услуг в соответствии с заявками ОИЯИ по ценам мирового рынка.

Был принят временно бюджет Объединенного института на 1991 г. с общей суммой расходов 32,4 млн. долларов. Утверждены долевые взносы государств — членов Института. Утвержден представленный дирекцией план капитального строительства на 1991 г.

Комитет Полномочных Представителей посчитал необходимым увеличить среднюю за-

ботную плату сотрудников Института не менее чем на 18—20%, в том числе за счет прироста заработной платы — на 8,5% и за счет сокращения численности — на 10%.

Выражая заинтересованность в сохранении и развитии ОИЯИ как международной научной организации, учитывая ухудшающиеся условия функционирования Института на территории СССР, Комитет Полномочных Представителей просил Полномочного Представителя СССР в

ОИЯИ обратиться к высшему руководству страны с просьбой о принятии срочных мер в решении вопросов, связанных с условиями жизни и деятельности интернационального коллектива сотрудников этой международной организации на территории СССР.

Заслушав и обсудив информацию председателя Рабочей группы по пересмотру и подготовке концепции и новых основных нормативных актов ОИЯИ профессора Т.Рускова, Комитет Полномочных Представителей принял к сведению деятельность Рабочей группы. Отмечена необходимость выработки механизма финансирования деятельности Института, позволяющего при сохранении долевого участия, наряду с вкладом в инфраструктуру, осуществлять финансирование программ и проектов и дающего, таким образом, возможность учитывать как научную заинтересованность стран, так и их экономические возможности. Рабочей группе поручено подготовить окончательный проект нормативных актов и концепции развития Института и направить его на рассмотрение Полномочным Представителям государств — членов ОИЯИ не позднее июля 1991 г.

10—13 декабря в Дубне состоялось внеочередное совещание Комитета Полномочных Представителей правительства государств — членов Объединенного института ядерных исследований.

В работе совещания приняли участие в качестве наблюдателей представители Федеративной Республики Германии, Азербайджанской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Грузия, Республики Казахстан, Латвийской Республики, Литовской Республики, Республики Молдова, Российской Федерации, Украины и Республики Узбекистан.

Комитет Полномочных Представителей рассмотрел заявления правительств Российской Федерации, Украины, Беларуси об их желании присоединиться к Соглашению об организации ОИЯИ от 26 марта 1956 г. и признании Устава ОИЯИ и единогласно принял эти республики в число государств — членов Объединенного института ядерных исследований.

Комитет Полномочных Представителей принял к сведению информацию директора ОИЯИ академика Д.Киша о деятельности дирекции Института в 1991 г.

Было принято предложение дирекции об установлении для сотрудников Института, работающих в нормальных условиях труда, вводимой в стране местонахождения ОИЯИ продолжительности рабочей недели в количестве 40 часов. Признана приемлемой выплата единовременного пособия сотрудникам, независимо от норм страны

их гражданства, уволенным из ОИЯИ после 1.01.92 г. по сокращению штатов, в размере 3—6 месячных окладов, с учетом стажа работы в ОИЯИ. Временно (на 1991—1992 гг.) сняты ограничения на размер персональных надбавок, устанавливаемых сотрудникам Института.

Дирекции ОИЯИ предложено установить порядок обязательного заключения срочных трудовых договоров продолжительностью до трех лет с вновь принимаемыми на работу научными работниками и специалистами. Рекомендовано применять практику заключения срочных трудовых договоров также со специалистами, переводимыми на другую работу, как правило, с установлением персональной надбавки к зарплате. Трудовые отношения с лицами, достигшими пенсионного возраста, включая работающих в настоящее время сотрудников (женщин — после 55 лет, мужчин — после 60 лет), оформлять только на условиях срочного трудового договора.

Комитет Полномочных Представителей постановил создать экспертную комиссию для подготовки проектов нормативных документов, определяющих правовые основы использования интеллектуальной собственности ОИЯИ и наделения ОИЯИ правами собственника, а также образовать Комиссию по выборам дирекции ОИЯИ, которой поручается подготовить предложения к очередному совещанию КПП.

На совещании был заслушан и обсужден доклад Рабочей группы КПП по пересмотру и подготовке концепции и новых нормативных актов ОИЯИ. Приняты за основу Концепция развития и реорганизации Объединенного института ядерных исследований как международного центра фундаментальных исследований (СМ 11-5505) и предложенный Рабочей группой проект новой редакции Устава ОИЯИ (СМ 11-5541).

Проект Положения о персонале ОИЯИ поручено доработать вместе с проектом нормативного документа по Ассоциации персонала ОИЯИ и с учетом высказанных замечаний представить эти документы для рассмотрения на очередном совещании КПП.

Рабочей группе КПП совместно с дирекцией Института поручено подготовить временное Соглашение между ОИЯИ и правительством страны местонахождения Института и перед подписанием согласовать его с Полномочными Представителями.

Финансовому комитету поручено подготовить для включения в Устав отдельный финансовый протокол, содержащий принципы формирования бюджета Института с учетом его разбивки по статьям расходов и порядок финансирования ОИЯИ странами-участницами.

В течение 1992 года решено реализовать систему целевого финансирования направлений и

проектов, учитывая при этом специфику работы в области теоретической и экспериментальной физики. Для этого в кратчайшие сроки предложено принять документ «Права и обязанности руководителей тем/проектов», который даст юридическую основу для системы целевого финансирования.

КПП принял к сведению информацию о подписанным Соглашении между ФМИТ ФРГ и ОИЯИ и, учитывая изменения в составе государств — членов Института, постановил пересмотреть в соответствии со статьей 14 Устава ОИЯИ шкалу долевого участия этих государств в расходах на строительство и содержание Института.

Комитет постановил, что бюджет ОИЯИ на 1992 год не должен превышать уровня, опреде-

ленного на 1991 год, и предоставил дирекции право оперативного изменения, разработки и внедрения нормативных документов, регламентирующих деятельность хозрасчетных производственных подразделений Института, направленных на большую производственную самостоятельность.

Комитет Полномочных Представителей заслушал информацию вице-директора ОИЯИ профессора А.Н.Сисакяна о создании в Дубне Международного центра развития науки и технологий «Дубна». Дирекции Института поручено оформить сотрудничество ОИЯИ и Международного центра развития науки и технологий на основе специального соглашения с правительством Российской Федерации и представить совещанию КПП с учетом рекомендаций Финансового комитета.

СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

8—10 января в Дубне состоялась 69 сессия Ученого совета ОИЯИ. Ученый совет одобрил мероприятия дирекции Института по выполнению решений 67 и 68 сессий Ученого совета ОИЯИ. Совет считает одной из основных задач выполнение решений 69 сессии Ученого совета о проекте пятилетнего плана развития ОИЯИ на 1991—1995 гг. (СМ 11-5301, разд. V).

Были рассмотрены и одобрены рекомендации Научно-координационного совета по физике низких и промежуточных энергий и НКС по исследованиям конденсированных сред ядерными методами, сессии которых состоялись в ноябре — декабре 1990 г. Одобрен доклад дирекции Института о работе с кадрами — специалистами из стран-участниц ОИЯИ. Дирекции предложено продолжить работу по привлечению молодых специалистов. Численность сотрудников штата дирекции рекомендовано оставить на уровне 1990 года. Совет принял к сведению информацию об Учебно-научном центре и признал целесообразным содействовать комплектованию центра студентами из стран-участниц ОИЯИ и других стран.

Ученый совет объявил выборы на следующие должности:

— заместителей директора Лаборатории нейтронной физики (2 вакансии). Выборы состоятся на 70 сессии Ученого совета в июне 1991 г.

— директоров Лаборатории теоретической физики и Лаборатории высоких энергий, заместителей директоров Лаборатории высоких энергий (2 вакансии), Лаборатории сверхвысоких энергий (1 вакансия), Лаборатории ядерных проблем (2 вакансии), Лаборатории вычислительной тех-

ники и автоматизации (2 вакансии). Выборы будут проведены на 71 сессии Ученого совета в январе 1992 г.

На сессии одобрена деятельность дирекции ОИЯИ по международному сотрудничеству Института в 1990 г. Утвержден план проведения научных совещаний ОИЯИ на 1991 г. Принят к сведению перечень международных и национальных конференций, симпозиумов, совещаний, школ, в которых планируется участие специалистов ОИЯИ в 1991 г.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премий ОИЯИ за лучшие работы, выполненные в 1990 г. Совет рекомендовал дирекции Института при проведении конкурса лучших работ ОИЯИ приглашать в качестве членов жюри не только сотрудников ОИЯИ, но и специалистов из центров стран-участниц и других стран.

На сессии Ученого совета были заслушаны доклады директоров лабораторий Института об основных итогах выполнения научной программы в 1986—1990 гг. и планах на 1991 г. Одобренны основные итоги научно-исследовательской деятельности научных подразделений ОИЯИ в 1986—1990 гг. Утвержден «Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 1991 г.», составленный с учетом предложений стран-участниц. Отмечены главные задачи лабораторий ОИЯИ в 1991 г.

Заслушав доклад директора Института академика Д.Киша, Ученый совет принял представленную в нем программу развития ОИЯИ с учетом высказанных замечаний за основу и предложил рассмотреть ее на очередном совещании Комитета

**ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ

И. Ванков (Республика Болгария)
 Н. Кроо (Венгерская Республика)
 Буй Зоан Чонг (Социалистическая Республика Вьетнам)
 Хон Гун Йхе (Корейская Народно-Демократическая Республика)
 А. Кардосо (Республика Куба)

Н. Содном (Монгольская Народная Республика)
 Р. Желязны (Республика Польша)
 М. Оннеску (Румыния)
 В. В. Никилев (Союз Советских Социалистических Республик)
 Р. Мах (Чехо-Словацкая Федеративная Республика)

Финансовый комитет
 По одному представителю от
 каждой страны-участницы
ОИЯИ

УЧЕНЫЙ СОВЕТ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Председатель – Д. Ким (ВР)

А. Н. Сисакян (СССР)

Д. Эберт (ФРГ)

И. о. главного ученого секретаря – Н. А. Русакович (СССР)

Республика Болгария	Венгерская Республика	Социалистическая Республика Вьетнам	Корейская Народно-Демократическая Республика	Монгольская Республика Куба	Народная Республика Польша	Республика Монголия	Республика Польша	Румыния	Совет Социалистических Республик
И. Златев	Н. Кроо	Ле Конг Кви	Ким Гван Бин	Ф. Фернандес	Н. Содном	Р. Сосновский	Д. Балти	А. М. Балдин	Чехо-Словакская Федеративная Республика
Т. Русков	Т. Фенеш	Нгуен Хоан Тьиу	Ли За Хек	Б. Далхсүрэн Ц. Баатар	А. Хрынкевич	А. Хрынкевич	А. Михул	А. А. Васильев	
								В. Г. Кадышевский	
								Л. Шандор	

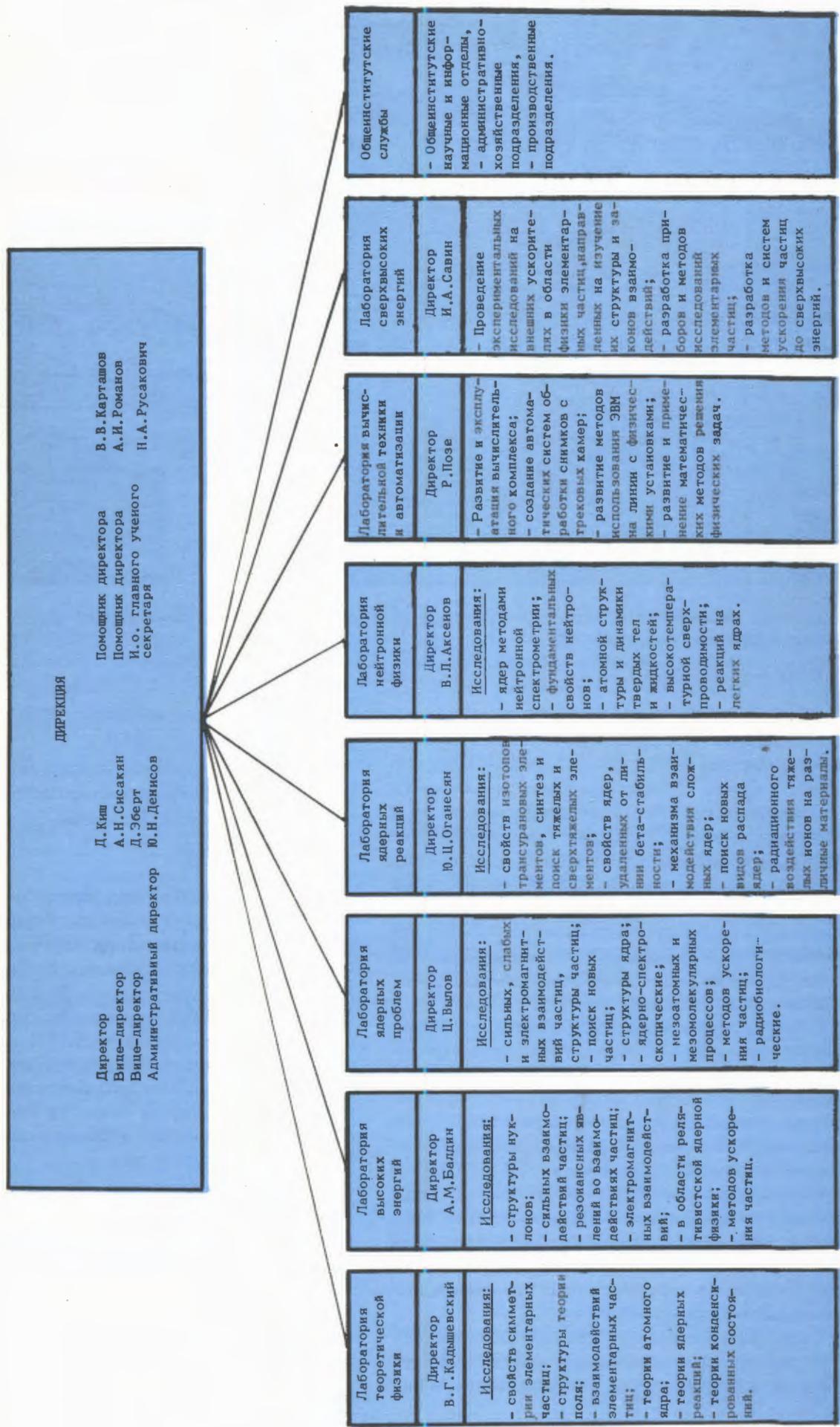
Научно-координационный совет ОИЯИ по физике высоких энергий
 Председатель – А. Н. Сисакян
 Ученый секретарь – М. Г. Шафранова

Научно-координационный совет ОИЯИ по физике ядерных и промежуточных энергий
 Председатель – Д. Эберт
 Ученый секретарь – Н. К. Скобелев

Научно-координационный совет ОИЯИ по теоретической физике
 Председатель – В. Г. Кадышевский
 Ученый секретарь – М. А. Смондырев

Научно-координационный совет ОИЯИ по исследованию конденсированных сред ядерными методами
 Председатель – Д. Эберт
 Ученый секретарь – А. Б. Кунченко

ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ





69 сессия Ученого совета ОИЯИ. С докладом «Основные результаты, полученные в эксперименте ДЕЛФИ» перед членами Ученого совета выступил У.Амальди (ЦЕРН)

Полномочных Представителей. Совет поддержал рекомендации совещания финансовых органов стран-участниц ОИЯИ (11—12 декабря 1990 г.) о необходимости финансирования деятельности Института в свободно конвертируемой валюте. Учитывая сложное финансовое положение Института, Ученый совет просил КПП рассмотреть вопрос о необходимости увеличения бюджета ОИЯИ на 30% (от уровня и в ценах 1990 г.) начиная с 1992 г. для создания конкурентоспособной научной базы и при составлении бюджета на 1992 и последующие годы принимать во внимание происходящую инфляцию.

Ученый совет предложил дирекции Объединенного института обеспечить выполнение обязательств по проведению экспериментов в ИФВЭ (Протвино) и ЦЕРНе, проведение проектных работ по комплексу накопителей электронов, позитронов, ионов, по нейтронному источнику высокого разрешения. Дирекциям ОИЯИ, ЛВЭ и ЛЯР рекомендовано обеспечить завершение работ по запуску нуклонного и циклотрона У-400М в начале 1992 года. В полном объеме должно быть обеспечено финансирование приоритетных базовых установок и первоочередных проектов экспериментальных установок.

На сессии была заслушана информация о проекте проблемно-тематического плана ОИЯИ на 1991 год и новом подходе к планированию и фи-

нансированию, а также о работе Комиссии по выработке нормативных актов.

Начало последующих январских сессий Ученого совета ОИЯИ было решено перенести на третий вторник января каждого года.

4—6 июня в Дубне состоялась 70 сессия Ученого совета ОИЯИ. Ученый совет принял к сведению информацию директора Института академика Д.Киша о решениях Комитета Полномочных Представителей на совещании 5—6 марта 1991 г. Совет рекомендовал дирекции Института продолжить работу по включению ОИЯИ в сферу деятельности международных организаций (ЭКФА, МАГАТЭ, ЮНЕСКО и др.). Совет просил дирекцию Института дать на 71 сессии Ученого совета информацию о работе Учебно-научного центра и перспективах его развития.

По докладам директоров лабораторий приняты к сведению проект «Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 1992 год (темы первого приоритета)» и «Предложения лабораторий в ПТП НИР и международного сотрудничества ОИЯИ на 1992 год». Рекомендовано включить в число тем первого приоритета часть тематики Лаборатории теоретической физики.

Дирекциям Института и лабораторий рекомендовано продолжить до 1 октября этого года работу над проектом ПТП-92 с учетом Программы развития Института (ОИЯИ, 11-5460), замечаний Ученого совета и заинтересованности организаций стран-участниц. Список приоритетных тем обсудить на НКС и комиссии из авторитетных ученых по предложению дирекции Института. Совет просил страны-участницы до 1 октября направить в дирекцию Института свои замечания и предложения в проект плана для их последующего рассмотрения Финансовым комитетом, НКС и Ученым советом. Ученый совет отметил, что из бюджета ОИЯИ могут быть финансированы полностью только темы первого приоритета. Рекомендовано руководителям тем, дирекциям ОИЯИ и лабораторий для поддержания исследований, имеющих высокую научную значимость, использовать возможности дополнительного внебюджетного финансирования (целевое, вклады сотрудничающих организаций). Дирекциям лабораторий рекомендовано шире применять межлабораторные связи для более эффективного использования оборудования и ресурсов.

Ученый совет принял к сведению информацию о деятельности Рабочей группы КПП по выработке основных нормативных актов ОИЯИ и

выразил благодарность Рабочей группе и членам Оргкомитета за проделанную работу. Одобрены основные положения Концепции развития и реорганизации ОИЯИ как международного центра фундаментальных исследований, разработанные Рабочей группой и Оргкомитетом, отмечено, что при ее доработке необходимо учесть замечания Ученого совета. Совет поддержал просьбы Рабочей группы в адрес дирекции Института: внести на рассмотрение Финансового комитета ОИЯИ предложенную Концепцию для выработки рекомендаций по вопросам, входящим в его компетенцию; оказать помощь в доработке новой редакции Устава и Положения о персонале ОИЯИ на основе предложенной Концепции и с учетом высказанных замечаний направить эти материалы в страны-участницы в течение июля 1991 года.

На сессии состоялись выборы на должности. На основании результатов тайного голосования Ученый совет утвердил заместителями директора ЛНФ кандидата физико-математических наук И.Натканца и профессора Ю.П.Попова сроком на 3 года.

Объявлены вакансии на должности заместителей директоров ЛТФ (1 вакансия) и ЛСВЭ (1 вакансия). Выборы состоятся на 72 сессии Ученого совета ОИЯИ в июне 1992 г.

ЗАСЕДАНИЯ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА ОИЯИ

12—13 июня в Дубне состоялось внеочередное заседание Финансового комитета с участием представителей финансовых органов стран-участниц ОИЯИ.

Финансовый комитет согласился с бюджетом Объединенного института ядерных исследований на 1991 год с общей суммой расходов 27,5 млн. долларов США. При формировании бюджета Института на 1991 г. в долларах США дирекция исходила из согласованного Комитетом Полномочных Представителей и Финансовым комитетом объема финансирования 53,6 млн. рублей в ценах 1989 года.

Утверждены долевые взносы государств — членов Института.

Установлено, что часть долевого взноса может быть внесена государствами — членами Института путем поставок материалов, оборудования и оказания услуг по заявкам ОИЯИ. Не менее 20% вносится в свободно конвертируемой валюте для обеспечения международного сотрудничества, приобретения материалов и оборудования в других странах. Кроме того, в свободно конвертируемой валюте вносятся суммы, необходимые для

перевода части заработной платы сотрудников, не являющихся гражданами СССР, в страну постоянного проживания.

Финансовый комитет согласился с предложенным дирекцией порядком ведения бухгалтерского учета и отчетности при формировании бюджета ОИЯИ в долларах США.

Финансовый комитет еще раз подчеркнул необходимость повышения заработной платы сотрудников ОИЯИ на 80—100% без сокращения объема научных исследований.

По поручению 70 сессии Ученого совета дирекция Института сделала сообщение «О концепции развития и реорганизации Объединенного института ядерных исследований как международного центра фундаментальных исследований». Комитет принял к сведению основные положения предложенной концепции.

9—11 декабря в Дубне проходило заседание Финансового комитета ОИЯИ, на котором были рассмотрены следующие вопросы: информация о деятельности дирекции Института в



12—13 июня в Дубне проходило внеочередное заседание Финансового комитета ОИЯИ

1991 году; о подписании Соглашения между ФМИТ ФРГ и ОИЯИ, о пересмотре шкалы долевых взносов в связи с прекращением членства ГДР в ОИЯИ; итоги работы Контрольной комиссии 10—11 июня 1991 года; о выплате пособий сотрудникам, уволенным из Института в связи с сокращением штатной численности.

Был заслушан отчет дирекции о выполнении рекомендаций Финансового комитета от 13—14 декабря 1990 года, 12—13 июня 1991 года и предложений Контрольной комиссии от 10—11 июня 1991 года; информация о проекте бюдже-

та на 1992 год и предложения по контрольным цифрам бюджета на 1993 год.

Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить отчет ОИЯИ за 1990 год, принял к сведению информацию о финансовой деятельности ОИЯИ в 1991 году и предложил поручить дирекции разработать проект бюджета на 1992 год с общей суммой расходов на уровне 1991 года.

Финансовый комитет считал необходимым образование экспертной группы из представителей всех стран — участниц ОИЯИ для подготовки новой шкалы долевых взносов.

ПРЕМИИ

Золотой медали и диплома о присуждении премии им.Гиббса удостоен почетный директор Объединенного института ядерных исследований академик Н.Н.Боголюбов.

ПРЕМИИ ОИЯИ

На соискание премий ОИЯИ за 1991 год были выдвинуты лучшие научно-исследовательские, научно-методические и научно-технические работы, выполненные сотрудниками Объединенного института.

Решением Ученого совета ОИЯИ от 18 января 1992 года присуждены следующие премии:

ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ТЕОРЕТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

Первая премия

«Структура фазового пространства в калиброновых теориях».

Авторы: Л.В.Прохоров, С.В.Шабанов.

Вторая премия

«Теория полярона в режимах слабой и промежуточной связи».

Авторы: Е.А.Кочетов, О.В.Селюгин, М.А.Смондырев.

ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ РАБОТАМ

Первая премия

«Экспериментальное изучение деления возбужденных ядер в диапазоне $Z^2/A = -43$ ».

Авторы: Э.М.Козулин, С.М.Лукьянов, Ю.Э.Пенионжкевич; В.С.Саламатин, Г.Г.Чубарян, М.Г.Иткис, В.Н.Околович, А.Я.Русанов, Г.Н.Смирнекин, Х.Зодан.

Вторая премия

«Исследование образования кумулятивных адронов в протон-ядерных взаимодействиях при энергиях от 15 до 65 ГэВ».

Авторы: И.М.Беляев, Н.В.Власов, О.П.Гавришук, Л.С.Золин, В.Ф.Переседов, А.Ю.Суханов.

ПО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ РАБОТАМ

Первая премия

«Создание высокоспиновой ядерной мишени $^{178m}_{\Lambda}Hg$ ».

Авторы: Ю.Ц.Оганесян, С.Н.Богомолов, Ш.Бриансон, Ю.П.Гангрский, Б.Горски, Г.Н.Иванов, С.А.Карамян, Б.Н.Марков, Н.В.Пронин, М.Юссонна.

Две вторые премии

«Измерение времени жизни нейтрона в гравитационной ловушке ультрахолодных нейтронов».

Авторы: В.П.Алфименков, В.И.Луциков, А.В.Стрелков, В.Н.Швецов, В.В.Несвижевский, А.П.Серебров, Р.Р.Тальдаев, А.Г.Харитонов.

«Цинтилляционный спектрометр нейтронов полного поглощения».

Авторы: В.П.Джелепов, В.Г.Зинов, А.Д.Конин, Л.Марциш, А.И.Руденко, В.В.Фильченков.

ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРИКЛАДНЫМ РАБОТАМ

Первая премия

«Исследование мутагенного действия ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками».

Авторы: М.Н.Бонев, С.Козубек, Е.А.Красавин, М.М.Огиевецкая, Б.Токаров.

Вторая премия

«Мониторинг криогенных потоков».

Авторы: А.И.Алексеев, В.В.Данилов,
И.С.Мамедов, Н.И.Лебедев, С.В.Романов,
Ю.П.Филиппов.

Поощрительные премии

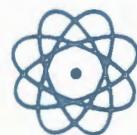
«Новые химические и плазмохимические ме-
тоды концентрирования золота, платины и ири-
дия при анализе природных объектов».

Авторы: Г.Н.Флеров, С.Н.Дмитриев,
Т.В.Шишкина, В.Я.Лебедев, А.В.Краснов,
С.В.Шишкин, Ж.Чимэг, Е.Л.Журавлева,
Т.П.Дробина, Ш.Гэрбиш.

«Изучение процессов образования продуктов ис-
парительных реакций с $Z > 83$ в реакциях с тяже-
лыми ионами Ne, Mg, Ag и Ca».

Авторы: А.Н.Андреев, Д.Д.Богданов,
А.В.Еремин, А.П.Кабаченко, О.Н.Малышев,
Ю.А.Музычка, Б.И.Пустыльник, Г.М.Тер-
Акопьян, В.И.Чепигин.

**НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ
РАБОТЫ,
ВЫПОЛНЕННЫЕ
ЛАБОРАТОРИЯМИ ОИЯИ
В 1991 ГОДУ**



ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ТЕОРИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

При исследовании структуры фазового пространства в калибровочных теориях поля показано, что исключение нефизических переменных приводит к изменению энергетического спектра и квазиклассического приближения. Например, меняется спектр внутренних возбуждений квантового солитона [1].

Обобщено на случай спиновых квантовых полей в пространстве-времени произвольной размерности представление Фейнмана для пропагатора свободного поля в виде суммы по случайнym полям. Найденный спиновый фактор оказался равным топологическому члену Весса — Зумино — Виттена — Новикова и является частным случаем неабелевой фазы Берри, возникающей при изменении волновой функции частицы при ее движении вдоль случайногo пути [2].

Фазовая структура и характер фазового перехода изучены в модели $g\varphi^4$ квантовой теории поля в пространстве R^d ($d = 2, 3, 4$) методами канонического квантования, ренормгруппы и функционального интегрирования. Показано, что модель при $d = 3, 4$ описывает симметричную систему как при малой [3], так и при большой константе связи, а при $d = 2, 3$ — фазовый переход первого рода [4].

Ранее в ЛТФ было показано, что результат известного эксперимента европейского мюонного сотрудничества (EMC) — равенство полного спина всех夸ков и антикварков в нуклоне нулю — является следствием наивной партонной модели. На самом деле, в КХД результат эксперимента EMC может быть следствием компенсации кваркового и глюонного вкладов. Полный вклад кварков при этом может быть связан обобщенным соотношением Гольдбергера — Треймана с константой взаимодействия голдстоуновского η' -мезона с нуклоном [5]. Теперь предложен способ определения этой константы путем измерения продольной спиновой корреляции в упругом pd - или dd -рассеянии [6].

Для нахождения вклада странных кварков в спин нуклона, который должен быть большим (около 20% в случае отсутствия компенсирующего глюонного вклада), было предложено использовать полуинклюзивное глубоконеупругое рассеяние с регистрацией быстрых K -мезонов.

Продолжалась разработка нового направления в полупертурбативной КХД — КХД с нелокальными конденсатами. В ней вакуумные夸ковые и глюонные конденсаты рассматриваются как некоторые убывающие на характерных адронных масштабах функции (нелокальный конденсат), а не просто как константы. Были построены новые модели такого вакуума и установлено, что при приближении параметров нелокальности к параметрам инстантонной жидкости волновая функция пиона (твиста 2) приближается к асимптотической [7]. Был развит формализм для определения электромагнитного формфактора легко-тяжелых мезонов $q\bar{Q}$ в пределе $m_Q \rightarrow \infty$ [8]. Установлено, что универсальный Isgur — Wise формфактор для таких систем прямо связан с夸ковым пропагатором в мнимом времени, то есть определяется поведением夸кового нелокального конденсата. Таким образом, открывается возможность извлекать характеристики КХД-вакуума непосредственно из эксперимента.

Продолжались применения найденного в ЛТФ метода гармонического суперпространства. Обнаружена замечательная аналогия между гиперкэлеровыми сигма-моделями в гармоническом суперпространстве и гамильтоновой механикой [9].

Получена новая форма действия для суперчастицы и суперструны, обладающая как мировой, так и пространственно-временной суперсимметриями. Выяснен смысл фермионной каппа-симметрии для $d = 2$ суперчастицы и $d = 4$ суперструны [10].

Предложен новый подход к W -симметриям, основанный на их нелинейных реализациях [11].



Сотрудники ЛТФ провели цикл рабочих совещаний с учеными из Германии. На снимке: участники совещания по теоретической ядерной физике ЛТФ ОИЯИ — ФРГ

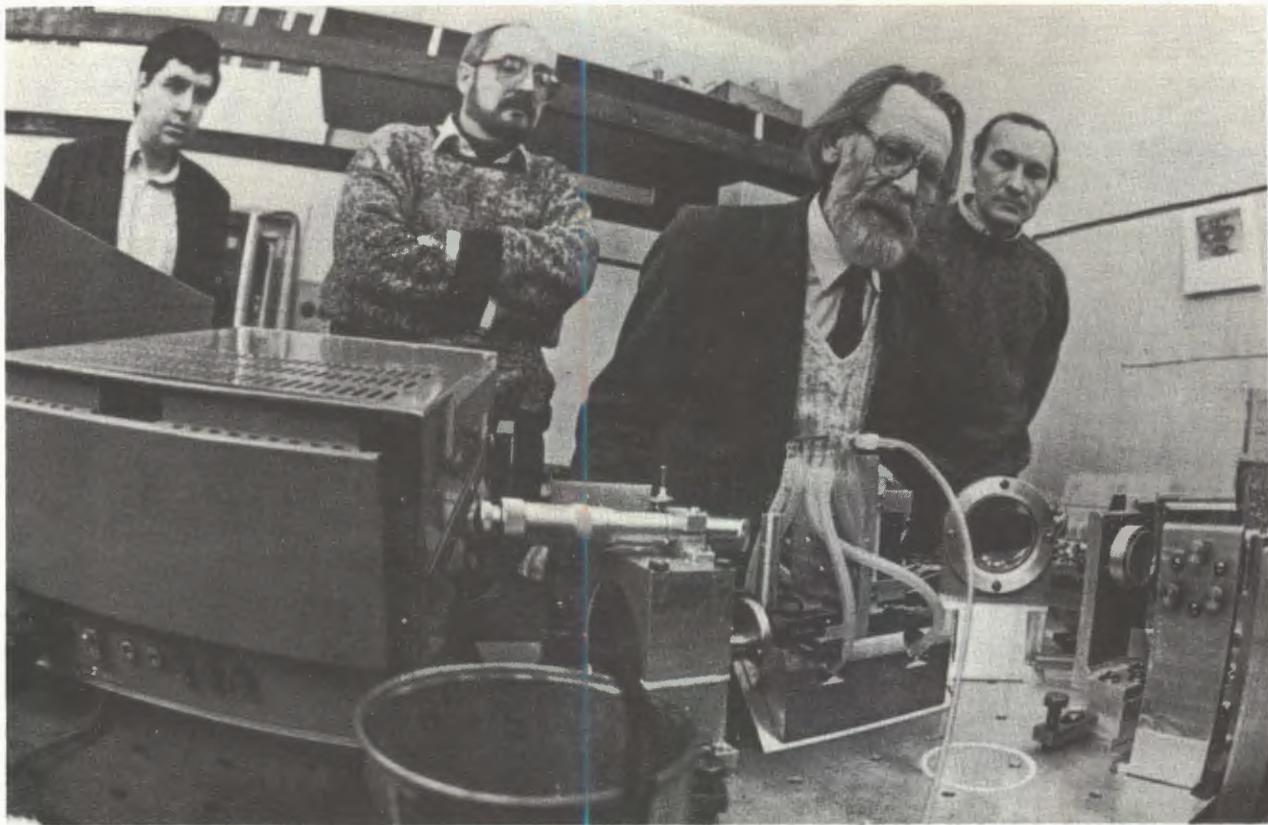
Рассмотрена классическая динамика релятивистской струны, нагруженной массами на концах (кварки). Записаны уравнения движения в терминах геометрических инвариантов мировых траекторий массивных концов струны, а именно: их кривизны и кручений. Таким образом, движение масс определяет всю мировую поверхность струны. Иначе говоря, струна выступает здесь как переносчик взаимодействия на расстоянии между двумя релятивистскими массивными частицами аналогично электромагнитному полю, связывающему два заряда в подходе Уилера и Фейнмана [12]. Получены новые классы решений уравнений Янга — Миллса в R^4 для произвольной калибровочной группы. Предложен алгебраический метод построения решений уравнения Янга — Миллса в пространстве произвольной размерности [13].

Проведен новый теоретический анализ экспериментов по распаду $\tau \rightarrow 3\pi\nu$ и определению из

него массы a_1 -мезона. В результате согласованы экспериментальные данные различных групп (DELCO, MARK II, ARGUS, MAC) (1986), где масса a_1 -мезона определялась в широком интервале энергий $1046 \text{ МэВ} \leq m \leq 1194 \text{ МэВ}$, и получено значение, близкое к верхней границе [14]. Это значение близко и к результатам опытов 1981 г., полученным из рассеяния $\pi N \rightarrow 3\pi N$. Показано, как влияет глюонный конденсат на параметры кварковой модели типа Намбу — Иона — Лазинио [15]. (Эта модель хорошо описывает низкоэнергетическую физику адронов).

В кварковой модели мешков выдвинута идея о связи возможного аномального поведения спин-зависимой структурной функции $g_1^p(x)$ с некоторыми важными особенностями $p p$ - и $\bar{p} p$ -рассеяния адронов при высоких энергиях [16].

В динамической модели взаимодействия адронов с учетом сильных формфакторов вычисле-



Квантовая оптика — одно из направлений, развивающихся в ЛТФ. На снимке: физики ОИЯИ А.С.Шумовский и Б.С.Неганов в Институте спектроскопии знакомятся с аппаратурой для исследований по квантовой оптике

ны различные спиновые корреляционные эффекты в нуклон-нуклонном, нуклон-антинуклонном и мезон-нуклонном упругом рассеянии [17]. Показана существенная роль вещественной части амплитуды рассеяния. Предсказан ряд новых эффектов для поведения поляризации, наклона и отношения вещественной к мнимой части амплитуды рассеяния [18].

Из анализа экспериментальных данных ФНАЛ на основе полученных ранее правил сумм для магнитных моментов барионов найдено, что параметры отношения «приведенных» D - и F -констант связи для магнитных моментов заметно меньше такого отношения для аксиальных констант слабых полулептонных распадов барионов. Это различие интерпретировано как обусловленное влиянием примеси d -волны в основном состоянии барионов. Оценка для вероятностей примесных состояний со смешанной симметрией и d -волны ($\omega_M + \omega_D \approx 0,2$) в волновой функции нуклона улучшает согласие теории с экспериментальными данными для M1- и E2-амплитуд фотовозбуждения $\Delta_{33}(1232)$ -резонанса.

На основе релятивизованной кварковой модели, разработанной в ЛТФ, рассчитан спектр радиальных и орбитальных возбуждений легких мезонов.

нов. Получено хорошее согласие между теорией и экспериментом (в частности, в ЛЯП ОИЯИ) для псевдоскалярных резонансов [19].

В рамках модели конфайнмированных夸克ов (МКК) вычислены поляризуемости пионов и каонов [20], ширины полулептонных распадов очарованных барионов и ширина редкого распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ [21]. Предложено обобщение МКК на тяжелые кварки, и получены форм-факторы полулептонных распадов тяжелых мезонов.

Применение метода, основанного на аналитичности и унитарности, к $\pi\pi$ -рассеянию в области энергий вплоть до 1,6 ГэВ при учете порогов KK - и $\eta\eta$ -каналов привело к выводу, что из ряда обсуждаемых скалярных мезонов в экспериментальных данных видны только два: один $f_0(S^*)$ в области 1 ГэВ, природа которого определяется в значительной степени 4-кварковой компонентой, и второй в области 1500 МэВ, для точного определения параметров которого требуется учет дополнительных каналов [22].

Предложен метод представления функциональных интегралов в режиме сильной связи. Метод применен к вычислению энергии полярона при большой константе связи. Третье приближе-

ние метода дает ошибку $1 \cdot 10^{-4}$ к точному результату [23].

Выполнены расчеты амплитуды хиггс-хиггсовского взаимодействия с учетом высших порядков теории возмущений в рамках суперсимметричного расширения стандартной модели электрослабого взаимодействия [24]. Выполнен КХД-анализ данных по образованию адронов в e^+e^- -аннигиляции коллабораций TASSO и DELPHI. Проведен феноменологический анализ явления «перемежаемости» (intermittency) в процессах множественного рождения частиц, которое предсказывалось ранее, в том числе в работах дубненских теоретиков, а в настоящее время экспериментально обнаружено с помощью установки ДЕЛФИ [25] на коллайдере LEP в ЦЕРНе.

Решена поставленная Лобачевским задача о движении планеты в условиях открытой им геометрии. Найдены гравитационный потенциал и лагранжиан, орбита планеты и период ее обращения вокруг центра. Это решение может быть получено из релятивистской теории гравитации в пределе $c \rightarrow \infty$ [26].

Получены определяющие соотношения для уравнения sine-Gordon с источником в физических переменных x, t . Решение задачи Коши для этого уравнения сведено к решению прямой и обратной задач рассеяния для оператора Дирака. Найдены условия, при выполнении которых здесь имеет место рождение и уничтожение солитонов.

С помощью метода определяющих соотношений показано, что для многокомпонентного нелинейного уравнения Шредингера с источником применим метод обратной задачи рассеяния. Нелинейность эволюционного уравнения

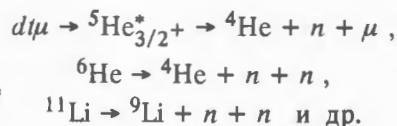
для данных рассеяния указывает на возможность хаотического движения солитонов, которая ранее не встречалась в практике метода обратной задачи [27].

Предложена решеточная модель с неограниченным числом компонент. Эта модель обобщает известные n -вершинные модели, решаемые методом анзаца Бете. Впервые этим методом получено точное решение на ограниченной решетке, которое дает возможность в явном виде получить поправки к термодинамическим функциям от эффектов конечного размера [28].

Выведены точные формулы для одношаговой динамики моделей нейронных сетей, основанных на модели Поттса. Вычислены параметры, характеризующие емкость памяти таких моделей [29].

Построены представления фазового пространства для спинов $1/2, 1, 3/2, 2$. На этом языке сопоставлена квантовая теория вероятностей с классической. Коррелятор проекций двух спинов в синглетном состоянии отличается от его возможного классического аналога численными множителями. Получены квантовые аналоги неравенства Белла [30].

Дана новая адиабатическая формулировка прямой и обратной задачи рассеяния трех частиц в классе быстроубывающих потенциалов для уравнений Фаддеева с учетом всех процессов выше и ниже трехчастичного порога [31]. Эта формулировка может быть полезна при построении трехкластерных моделей экзотических систем [32]:



ТЕОРИЯ АТОМНОГО ЯДРА И ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В рамках единого описания электрических и магнитных возбуждений квазичастично-фононной модели ядра рассчитаны электрические дипольные переходы и колебательные состояния ряда редкоземельных и трансурановых элементов. Получено хорошее описание экспериментальных данных [33].

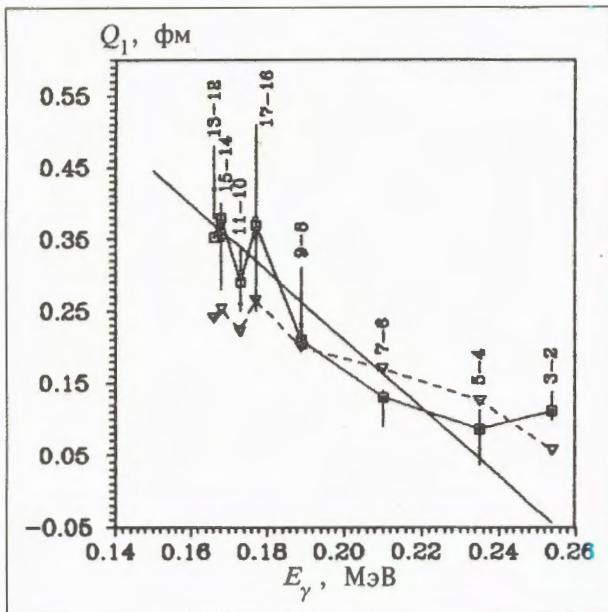
Показано, что в сферических ядрах для констант слабого взаимодействия выполняется условие $|g_A/g_V| \geq 0$. Рассмотрено влияние спин-квадрупольных сил на магнитные свойства сферических ядер.

Построена модель для описания нечетно-нечетных деформированных ядер с учетом коллек-

тивных степеней свободы $n-p$ взаимодействия нечетных частиц [34].

Исследована тонкая структура сечения реакции ${}^{208}\text{Pb}(y, n)$. Расчеты позволяют объяснить экспериментально наблюдаемые подструктуры. Показано, что структура низколежащих колективных состояний сталкивающихся ядер и каналы одно- и двухнуклонных передач определяют различие в распадных свойствах составного ядра [35]. В рамках модели киральных солитонов исследованы свойства малобарионных систем: возбужденные состояния, кластеризация, форма легких ядер.

Указанные вопросы структуры сложных ядер докладывались и обсуждались на ряде междуна-



Эффективный дипольный момент переходов между ираст-полосами отрицательной и положительной четности в ядре ^{226}Ra . Вертикальные линии — результаты, полученные R.Kulessa, H.R.Wollersheim. Треугольники — традиционное описание с учетом кориолисова смешивания состояний. Прямая линия соответствует теории, в которой допускается интерференция дипольных электрического и торOIDного моментов, но не учтено кориолисово смешивание. Квадраты — описание, допускающее интерференцию указанных моментов при учете кориолисова смешивания

родных конференций и семинаров, в том числе на международном совещании по теории атомных ядер и на советско-германском семинаре, проходивших в ЛТФ в апреле и июне 1991 года.

Продолжены исследования формы и спектра коллективных возбуждений вращающихся ядер. Новым в них является выяснение роли степеней свободы ядра — иных, чем традиционно обсуждающиеся степени свободы деформации ядерной поверхности. Основанием такого поиска являются результаты экспериментов, выполненных в Страсбурге с участием французских ученых [36]. Эти результаты позволяют предположить активное участие в формировании коллективных состояний при низких энергиях возбуждения некоторых ядер токовых мод, генерирующих торOIDные моменты. Новое указание на это получено при анализе вероятностей дипольных электрических возбуждений в ядре ^{226}Ra . Это ядро обладает достаточно стабильной деформацией, и его спектр легко описать в рамках, установленных для подобных случаев теоретических схем. В то же время дипольные переходы в ^{226}Ra , измеренные R.Kulessa, H.R.Wollersheim, можно объяснить, только допустив участие в операторе перехода слагаемых, линейно зависящих от энергии испускаемого γ -кванта. Именно такая структура опе-

ратора перехода соответствует интерференции дипольного электрического и дипольного торOIDного (и/или магнитного квадрупольного) моментов.

Новые результаты получены в теории реакции слияния. Проведенный в рамках коллабораций Дубна — Орса теоретический анализ позволил установить важную роль «0» — звуковых колебаний в механизме данной реакции. Они могут существенно повлиять на жесткость системы, состоящей из двух столкнувшихся ионов, а также на ее диссипативные характеристики.

При исследовании коллективных свойств электронной материи в атомах получены оценки энергий возбуждения «атомных гигантских резонансов» — гипотетических аналогов ядерных гигантских резонансов, а также проделан анализ возможности их экспериментального обнаружения в реакции нейтронного рассеяния.

В сотрудничестве с теоретиками из Института им. Гана и Мейтнер в Берлине начата реализация большого проекта по изучению динамики деления, в частности деления гиперядер. Показана сильная зависимость прилипания Λ -частицы к легкому осколку от скорости схлопывания шейки ядра в процессе деления.

Важную роль в исследованиях играло сотрудничество с другими лабораториями Института (ЛЯП, ЛВТА), Институтом ядерной физики АН УзССР, а также коллаборация как с французскими учеными из Центра ядерной спектроскопии и спектрометрии масс (Орсе) и Института ядерных наук (Гренобль), так и с немецкими учеными из Института им. Гана и Мейтнер.

Исследовались свойства легких и особенно легких нейтронионизбыточных ядер ^6He , ^{11}Li , экспериментальная информация о необычных свойствах которых получена в последнее время. Разработана трехчастичная модель для описания их свойств. Модель позволяет описывать распределение ядерного вещества и переходные плотности. Работоспособность модели была проверена при описании различных процессов: сильных, электромагнитных, слабых — и дала удовлетворительные результаты. Предполагается использовать модель для исследования структуры ядер, которые можно рассматривать как трехчастичные системы [31].

Развит новый подход для описания ядерных реакций, идущих с возбуждением дельта-изобарных степеней свободы [37]. Он позволяет извлекать из экспериментальных данных раздельно информацию о кинематике реакции и о структуре ядер. Установлен механизм зарядово-обменных процессов, вызываемых адронами и легкими ионами (при промежуточных кинетических энергиях). Показано, что процесс идет на периферии ядра.

Исследована эволюция двойной ядерной системы, образующейся при слиянии ядер. Предложено объяснение экспериментально обнаруженного значительного усиления выхода легких ядер в реакциях с относительно тяжелыми налетающими частицами [38]. Расчеты показали, что динамическая связь относительно движения ядер с нуклонным обменом ведет к неустойчивости сильно асимметричных конфигураций двойной ядерной системы и усилению выхода легких ядер.

Предложен метод построения коллективного гамильтониана, описывающего глубоконеупругие столкновения ядер и деление [39]. Основой для построения такого гамильтониана является фермионный микроскопический гамильтониан самого общего вида. Таким образом, все характеристики коллективного гамильтониана определяются микроскопически.

Получены новые результаты по методу бозонного представления гамильтониана многофермионной системы, состоящей из четного числа протонов и нейтронов. Расчеты, выполненные на основе новых разработок, показали, что модель взаимодействующих бозонов, опирающаяся на динамическую $SU(6)$ -симметрию, является вполне удовлетворительным приближением при описании структуры четно-четных ядер.

Найдено объяснение нерегулярностей в спектрах ротационных возбуждений нечетных неаксиальных ядер. Предложена простая трехпараметрическая формула для описания ротационных спектров нечетных ядер.

Рассмотрена возможность эксперимента на Ф-фабриках для изучения тяжелых изотопов водорода $^{5,6}\text{H}$, рождающихся в реакциях образования легких гиперядер $^{6,7}\text{Li}(K^-, \pi^+)^{6,7}\text{H}$ [40].

Показана сильная чувствительность реакции $^{14}\text{C}(\gamma, \pi^-)^{14}\text{N}_{gs}$ к малым бессpinовым компонентам амплитуды элементарного процесса на нейтроне. Предлагается исследовать этот процесс экспериментально [41].

Для анализа структурных функций из глубоконеупругих реакций на ядрах разработан теоре-

тико-полевой подход с учетом влияния ядерных эффектов. На этой базе из данных NMC-коллaborации получена структурная функция нейтрона, которая не нарушает правил сумм партонной модели, как это получалось при обработке без учета ядерных эффектов [42]. В рамках расширенной скирмionной модели получены изомерные конфигурации альфаподобных объектов в структуре шестибарионных систем, исследована структура тяжелых киральных солитонов, содержащих антибарионы [43]. Для pp -столкновений исследовано в рамках модели NJL рождение векторных мезонов в предположении о разных значениях констант связи в мезонном и дикварковых секторах и выявлена важная роль диаграмм с промежуточными скалярными дикварками [44]. В рамках динамической кварк-глюонной модели струн, развитой в ЛТФ для ядро-ядерных столкновений, объяснены последние данные из Брукхэвена по множественному рождению частиц, а также сделаны предсказания спектров протонов и мезонов для центральных $\text{Pb}-\text{Pb}$ столкновений при энергиях ускорителя ЦЕРНа, которые могут быть в случае образования плотной барионной материи [45]. Предложена модель ядерной материи, учитывающая существование взаимодействующих кварков, глюонов и адронов, которая хорошо согласуется с результатами численных расчетов КХД на решетке [46]. Показано, что учет мезонных обменных токов в упругом формфакторе дейтрона и поляризации при больших переданных импульсах приводит к снижению вклада шести夸ковой примеси в волновой функции дейтрона до 0,2—1% [47].

На основе гипотезы об образовании в промежуточном состоянии (при столкновениях релятивистских ядер) как горячей кварк-глюонной плазмы, так и тяжелого барионного кластера, состоящего из структурных кварков, и с учетом данных по множественному рождению получена оценка интервала плотностей и температур [48], при которых адронное вещество может существовать в виде материи из структурных кварков: $0,17 \text{ fm}^{-3} \leq \rho_q \leq 15 \text{ fm}^{-3}$; $0,08 \text{ ГэВ} \leq T_q \leq 0,25 \text{ ГэВ}$.

МЕТОДЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Большинство реалистических систем статистической механики достаточно сложно и требует для описания применения тонких математических методов. Методы калибровочной теории использовались для описания дислокаций в нелинейных твердых телах [49]. $1/N$ -раз-

ложение применялось к исследованию полярона Фрелиха [50]. Был также предложен новый метод, названный методом автомодельных приближений, который позволяет с высокой точностью описывать сильно взаимодействующие системы [51].

Построена феноменологическая теория структурных и магнитных фазовых переходов в купратах лантана, выявлена их взаимосвязь с деформациями кристалла. На основе микроскопической модели определены феноменологические константы и рассмотрено влияние структурных переходов на сверхпроводимость [52].

Разработан ряд моделей для описания электронного спектра в системах с сильной корреляцией, и проведено вычисление плотности электронных состояний [53]. На основе новой модели исследован спектр возбуждений дырки с учетом сильных корреляций на антиферромагнитном фоне [54].

Методом ренормгруппы для конечных систем исследованы фазовые переходы в ряде статистических моделей и доказана эффективность и простота этого метода [55].

Вычислен формфактор полимерной цепи и дан анализ экспериментов по малоугловому

рассеянию нейтронов в этих системах, проводимых в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

На основе метода модельных гамильтонианов рассчитаны физические характеристики хемосорбции во всей области покрытий и интегралов перекрывания [56].

На основе расчета статистической суммы по методу Монте-Карло построено уравнение состояния вещества. Предложена модель для расчета термодинамических свойств и параметров фазовых равновесий систем жидкость — пар, жидкость — твердое тело, и показано, что в этой схеме переходы всегда первого рода [57].

Исследованы фазовые свойства полей, генерируемых в различных нелинейных оптических процессах [58].

Найдены границы изменений частоты, температуры, времени и накачки, допускающие сжатие света в параметрическом усилителе [59].

РАЗВИТИЕ СЕТИ ПЭВМ

Организована связь через ВЦ КРАСТ с международными научными центрами.

Переоснащен парк ПК в ЛТФ.

Установлены пакеты программ численно-аналитических вычислений: MATHEMATICA, REDUCE и MACSYMA.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Развивается новое направление — квантовая корреляционная спектроскопия конденсированных сред. В ЛТФ исследования по квантовой оптике ведутся в последние годы с участием ученых Вьетнама, Германии, Монголии, Польши, суверенных государств СНГ. Недавно было показано, что новые квантовые состояния света могут быть использованы для получения информации о квантовых свойствах возбуждений в средах при достаточно низких температурах.

Ученые ЛТФ сотрудничают также с сектором сверхнизких температур ЛСВЭ ОИЯИ и Институтом спектроскопии. Сейчас обсуждается возможность создания установки на основе уникального спектрометра ИС Академии наук и криостата с оптическими вводами. Установок такого рода в мире еще нет.

В июне в ОИЯИ в течение 10 дней проходило научное совещание ученых ЛТФ и теоретиков из центров ФРГ по трем основным направлениям исследования ЛТФ: физика элементарных частиц и квантовая теория поля, ядерная физика, теория конденсированных сред. Уже традиционно, на-

пример, сотрудничество профессоров В.Холлика и Р.Рюкла из Мюнхена с группой Д.Ю.Бардина по проверке стандартной модели электрослабых взаимодействий, сотрудничество профессора В.Зандхаса (Бонн) с В.Б.Беляевым по теории малочастичных систем.

Высокий уровень и новизну исследований в ЛТФ отмечали профессора Х.Хорнер и Х.Дош из Гейдельберга, А.Фэсслер из Тюбингена, И.Келлер из Регенсбурга. Проф. Х.Роллик из Боннского университета предложил научно-организационную программу дальнейшего сотрудничества, назвав ее «Программа Гейзенберг — Ландау». Результаты совещания академик Н.Н.Боголюбов оценил как весьма перспективные.

В мае в ОИЯИ проходило международное рабочее совещание по проблемам проекта сооружения в ОИЯИ с-тау фабрики. По программе исследований на этой установке выступил профессор С.М.Биленский (ЛТФ). Речь шла об исследовании свойств кварков и лептонов второго и третьего поколений. Докладчик оценил программу как перспективную минимально на 20 лет. Ориги-

нальные доклады представили В.Н.Первушин, В.Каллис, Ю.Л.Калиновский (ЛТФ).

В мае в ОИЯИ проходила традиционная 12 Международная школа ОИЯИ — ЦЕРН по физике с участием более 100 физиков из 15 стран. На ней лекции о слабых взаимодействиях прочитал профессор С.М.Биленский (ЛТФ). Рядом дискуссий руководили А.В.Ефремов и Г.Корчемский (ЛТФ).

Сотрудники ЛТФ принимали участие в Международном рабочем совещании по структуре дейtron'a при высоких энергиях (июнь, ЛВЭ, Дубна) и Международной школе-семинаре по релятивистской ядерной динамике (сентябрь, Владивосток), на которых сотрудники ЛТФ сделали 7 приглашенных докладов, получивших высокую оценку специалистов. Кроме ученых стран-участниц ОИЯИ в этих совещаниях участвовало более 30 специалистов из научных центров Италии, Франции, Германии, Японии, США и других стран, рассмотрены актуальные вопросы, связанные с исследованием ненуклонных степеней свободы, в том числе по темплану ЛТФ. Совещание по дейtronу резюмировало, что у ОИЯИ есть возможность конкурировать с крупнейшими мировыми ядерными центрами.

В октябре в ЛТФ прошел IV Международный семинар «Гравитационная энергия и гравитационные волны». В его работе приняли участие более 30 специалистов из различных городов России, суверенных республик СНГ и стран-участниц ОИЯИ.

Темы докладов, в основном, касались теоретических исследований в области классической теории гравитации. Некоторые доклады были посвящены квантовым аспектам теории, космологии и вопросам эксперимента. Совещание показало перспективность развития в ЛТФ этой тематики.

По предложению А.В.Радюшкина утвержден проект эксперимента по проверке правила сумм Герасимова — Дрелла — Херна на строящейся установке Национальной лаборатории СЕБАФ (г.Ньюпорт-Ньюс, шт.Вирджиния, США).

Группой Ф.А.Гареева совместно с учеными из Норвегии и Института им.И.В.Курчатова предложена модель [37] для описания дельта-изобарных возбуждений в ядрах, высокий интерес к которой был проявлен как на международных конференциях, так в научных центрах Австрии, США, Дании, Италии, Испании. Комитет ЦЕРНа решил финансово поддержать эту коллaborацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров Л.В., Шабанов С.В. — УФН, 1991, т.161, с.13—75; Shabanov S.V. — JINR Preprint E2-91-291, Dubna, 1991.
2. Korchemsky G.P. — In: Proceedings of the XX International Symposium on the Theory of Elementary Particles. Gosen, Germany, 1991.
3. Efimov G.V., Nedelko S.N. — Preprint Universitat Heidelberg, No.613, 1991.
4. Ganbold G. — JINR, E2-91-437, Dubna, 1991.
5. Efremov A., Soffer J., Tornqvist N. — Phys. Rev. D, 1991, v.44, No.5.
6. Alizade V., Efremov A. — JINR, E2-91-465, Dubna, 1991. (Subm. to «Phys.Lett.»).
7. Mikhailov S.V., Radyushkin A.V. — CEBAF-TH-91-11, Newport News, 1991. To be published in «Phys. Rev. D».
8. Radyushkin A.V. — CEBAF-TH-91-09, Newport News, 1991. To be published in «Physics Letters B» (1991).
9. Огневецкий В.И. — Доклад на I Межд. конференции, посвященной А.Д.Сахарову. Москва, 1991.
10. Ivanov E.A., Kapustnikov A.A. — Preprints IC/90/425; IC/91/68; Trieste, 1991; Physics Letters B, 1991, v.267, p.175.
11. Ivanov E.A., Krivonos S.O., Pichugin A.A. — JINR, E2-91-328, Dubna, 1991.
12. Barashov B.M., Chervyakov A.M. — Journal of Physics A, 1991, v.24, No.11, p.2443.
13. Попов А.Д. — ЖЭТФ, 1991, т.54, №3, с.128.
14. Volkov M.K., Osipov A.A., Ivanov Yu.P. — Z.Phys. C, 1991, v.49, p.5631.
15. Elbert D., Volkov M.K. — JINR, E2-91-362, Dubna, 1991. Preprint ICTP IC/91/349, Trieste, 1991. Submitted to «Phys. Lett. B».
16. Dorokhov A.E., Kochlev N.I., Zubov Yu.A. — JINR, E2-91-375, Dubna, 1991.
17. Goloskokov S.V., Kuleshov S.P., Selyugin O.V. — Z.Phys. C. — Particles and Fields, 1991, v.50, p.455.
18. Selyugin O.V. — JINR, E2-91-356, Dubna, 1991.
19. Govorkov A.B. — JINR, E2-91-358, E2-91-359, Dubna, 1991.
20. Ivanov M.A., Mizutake T. — Preprint CFNU IFM-12/91; Lisboa, 1991; «Phys. Rev. D» (to be published).
21. Efimov G.V. et al. — Z.Phys.C, 1991, v.52, pp.129, 149.
22. Суровцев Ю.С. — ЯФ, 1991, т.54, с.1412; ОИЯИ, Р2-91-211, Дубна, 1991.

23. Efimov G.V., Ganbold G. — Preprint ICTP, IC/91/30, Trieste, 1991; *Physica Status Solidi (b)*, 1991, v.167, No.2, p.511.
24. Dvoeglazov V.V., Skachkov N.B. — JINR, E2-91-179, Dubna, 1991.
25. Сисакян А.Н., Дарбайдзе Я.З., Мерабашвили З.В., Слепченко Л.А. — ОИЯИ, Р2-91-258, Дубна, 1991.
26. Chernikov N.A. — JINR, E2-91-441, Dubna, 1991.
27. Mel'nikov V.K. — In: Proc. Int. Conf. «RG-91», Dubna, 1991.
28. Priezzhev V.B. — *J. Phys. A*, 1991, v.24, p.1045.
29. Partick A.E., Picco P., Ruiz J., Zagrebnov V.A. — *J. Phys. A*, 1991, v.24, p.L367.
30. Polubarinov I.V. — JINR, E4-91-247; E2-91-462, Dubna, 1991.
31. Markovski B.L., Suzko A.A., Vinitksy S.I. — JINR, E4-91-379, Dubna, 1991; *ЯФ*, 1992, m.55, №3.
32. Виницкий С.И. и др. — *ЯФ*, 1992, m.55, №2, c.444.
33. Soloviev V.G. — *Zeit. Phys. A*, 1991, v.338, p.271; Soloviev V.G., Sushkov A.V. — *Phys. Lett. B*, 1991, v.262, p.189; Соловьев В.Г., Сушков А.В., Широкова Н.Ю. — *ЯФ*, 1991, m.54, c.1232.
34. Kvasil J., Nesterenko V.O., Hrivnacova I. — *Czech. J. Phys.*, 1991, v.41, p.345.
35. Belyaev S.N. et al. — JINR, E4-91-314, Dubna, 1991; Тараканов А.В., Шилов В.М., Шмидт Р. — *ЯФ*, 1991, m.53, c.1285.
36. Aiche M., Brianson Ch., Chevallie A. et al. — *Phys. Rev. Lett.*, 1989, v.63, p.2645.
37. Danilin B., Zhukov M., Ershov S., Gareev F. et al. — *Phys. Rev. C*, 1991, v.43, p.2835; Ratis Yu.L., Strokovsky E.A., Gareev F.A., Vaagen J. — In: International Conference on Spin and Isospin Nucl. Interactions, Telluride, 1991.
38. Antonenko N.V., Jolos R.V. — *Z. Phys. A*, 1991, v.339, p.453.
39. Ivanova S.P., Jolos R.V. — *Nucl. Phys. A*, 1991, v.530, p.232.
40. Majling L. — To be published in: «Few Body Systems», Suppl., 1992.
41. Bennhold C. et al. — *Phys. Rev. C*, 1991, v.43, No.6, p.2742.
42. Kaptari L.P., Umnikov A.Yu. — *Phys. Lett. B*, 1991, v.259, p.155.
43. Николаева Р.М., Николаев В.А., Ткачев О.Г. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №1[47]-91, Дубна, 1991, с.17.
44. Bratkovskaya E.L., Titov A.I. — JINR, E2-91-442, Dubna, 1991.
45. Amelin N.S. et al. — *Phys. Rev. Lett.*, 1991, v.67, p.1523; *Phys. Lett. B*, 1991, v.261, p.352; *Phys. Rev. C*, 1991, v.44, p.1541.
46. Kadantseva E.P., Shanenko A.A., Yukalov V.I. — *Phys. Lett. B*, 1991, v.255, p.427.
47. Burov V.V. et al. — In: Proc. X Int. Seminar on H.E.Phys., Singapore, 1991.
48. Гагарин Ю.Ф., Калинкин Б.Н. и др. — Препринт ФТИ №1537, Ленинград, 1991.
49. Osipov V.A. — *J. Phys. A*, 1991, v.24, p.3237.
50. Smodyrev M.A. — *Physica A*, 1991, No.171, p.191.
51. Yukalov V.I. — *J. Math. Phys.*, 1991, v.32, p.1235.
52. Plakida N.M., Krasavin S.E. — In: Proceedings of the M^2 -HTSC III Conference, Kanazawa, 1991.
53. Hayn R., Schumann R. — *Physica C*, 1991, v.174, p.199.
54. Yushankhai V.YU., Richard J.-L. — Submitted to «*Phys. Rev. B*».
55. Ilkovic V. — *phys. stat. sol. (b)*, 1991, v.166, pp.K31, K35, K99.
56. Cardenas R., Taranko E., Taranko R., Fedyanin V.K. — JINR, E17-91-16, E17-91-17, E17-91-18, Dubna, 1991.
57. Zryakov I.N., Marushevsky G.B., Fedyanin V.K. — JINR, E17-91-27, Dubna, 1991.
58. Tanas R., Gantsog T., Zawodny R. — *Opt. Comm.*, 1991, v.83, p.278.
59. Сюракшина Л.А., Ярунин В.С. — ДАН СССР, 1991, м.321, с.294.

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

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

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

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

Физические исследования концентрировались в рамках двух крупных научных программ:

- Исследование множественных процессов в условиях 4π -геометрии;
- Исследование ненуклонных степеней свободы и спиновых эффектов в малонуклонных системах.

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

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

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

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

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

СВОЙСТВА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ И МУЛЬТИКВАРКОВЫХ СОСТОЯНИЙ

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

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

Совместное образование ϕ -мезонов со странными частицами позволило выбрать разре-

шенную по правилу OZI диаграмму рождения ϕ -мезонов из двух странных «морских»夸克ов [1].

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

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

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

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

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

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

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛЬНО ВОЗБУЖДЕННОЙ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

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

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

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

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

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

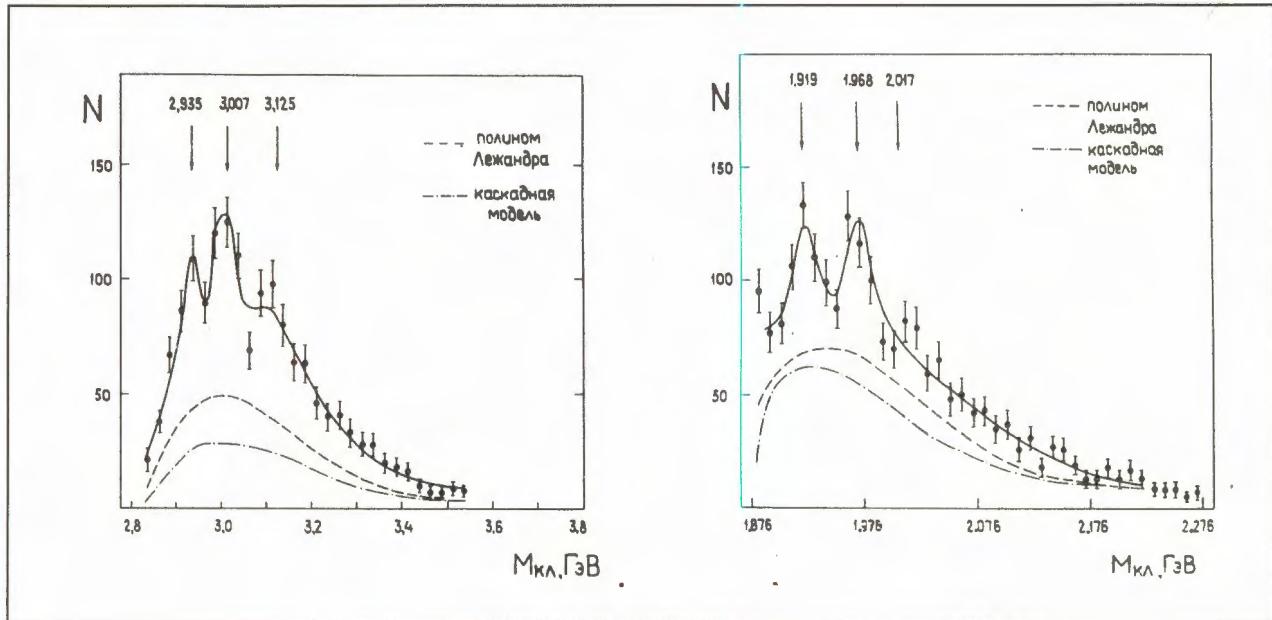


Рис. 1. Спектры эффективных масс протонных кластеров, образованных в p -, d -, Не-, СС-взаимодействиях при импульсе $4,2 \text{ A}\cdot\text{ГэВ}/c$ с различной множественностью протонов: $n_p = 2$; $n_p = 3$

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

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

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

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

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

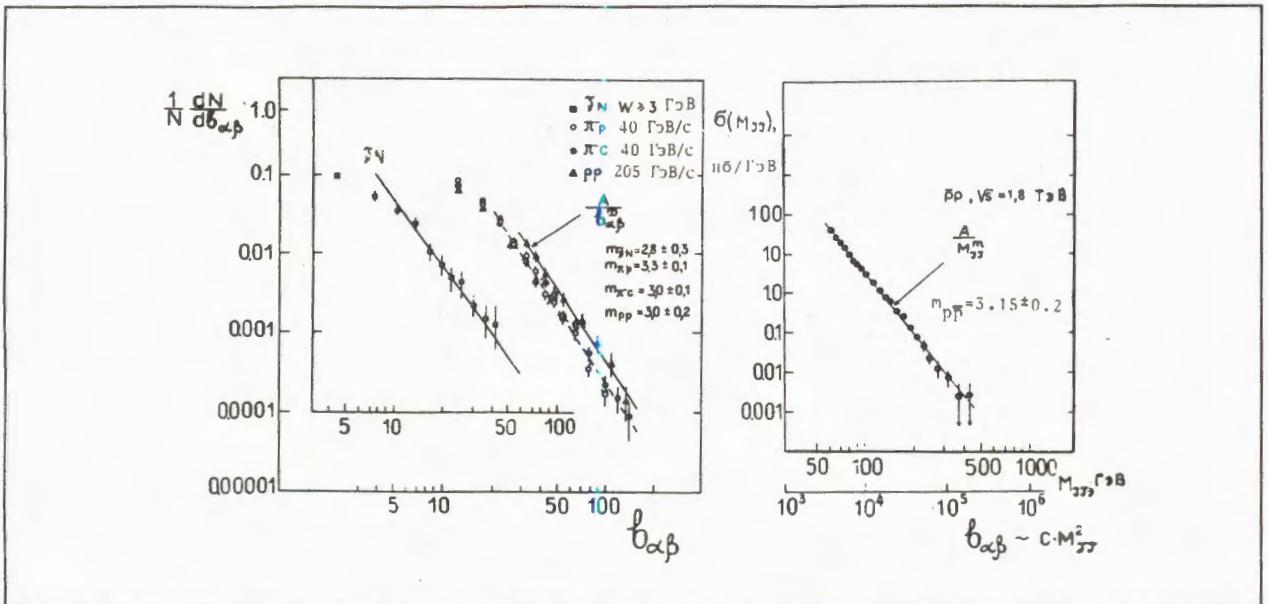


Рис. 2. Распределение частиц в четырехмерных струях, образованных в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при $\sqrt{s} = 1,8$ ТэВ (справа) и $\pi^- p$, $\pi^- C$, $p\bar{p}$, $\bar{\nu}N$ -взаимодействиях при энергии 40+200 ГэВ/нуклон (слева)

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

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

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

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

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

где $b_{ik} = -(u_i - u_k)^2$ определено ранее в п.1, а m_0 — атомная единица массы.

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

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

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

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

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

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

8. Продолжался анализ материалов эксперимента на установке ФОТОН — МАССЕР по исследованию A -зависимости инклузивного рождения π^0 -мезонов [16].

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

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

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

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

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

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

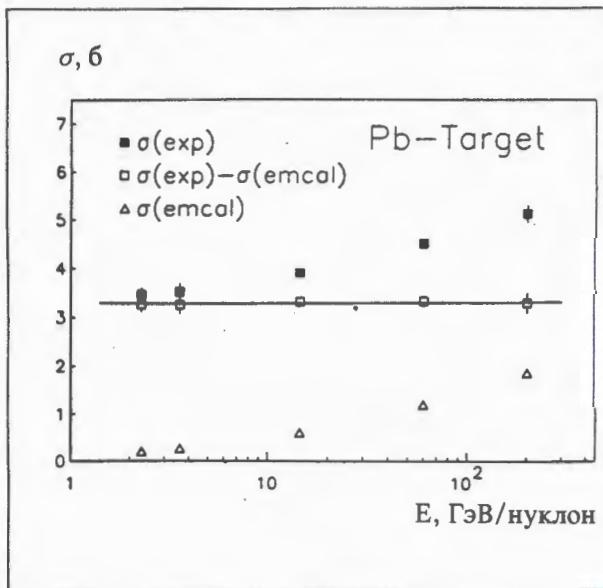


Рис. 3. Зависимость сечения ядерной фрагментации ядра кислорода на свинцовой мишени в диапазоне энергий 2+200 ГэВ/нуклон

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

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

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

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

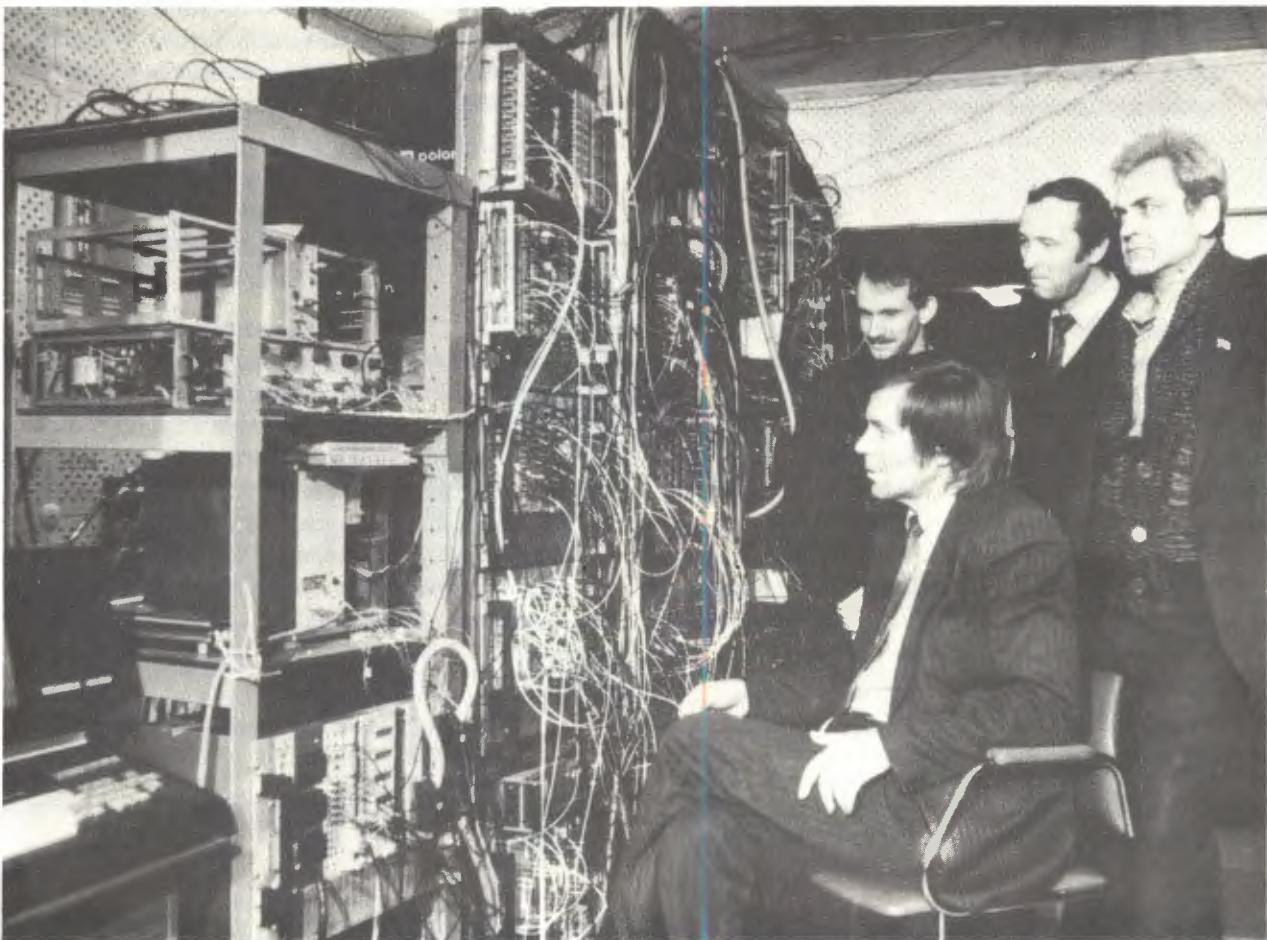
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕНУКЛОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ И СПИНОВЫХ ЭФФЕКТОВ В МАЛОНУКЛОННЫХ СИСТЕМАХ

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

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

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

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



Группа АЛЬФА проводит исследования на пучках поляризованных дейтронов синхрофазотрона

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

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

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

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

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

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

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

ДРУГИЕ РАБОТЫ

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

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

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

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. МЕТОДИКА. ПОДГОТОВКА ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА НУКЛОТРОНЕ

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

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

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

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

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

СФЕРА

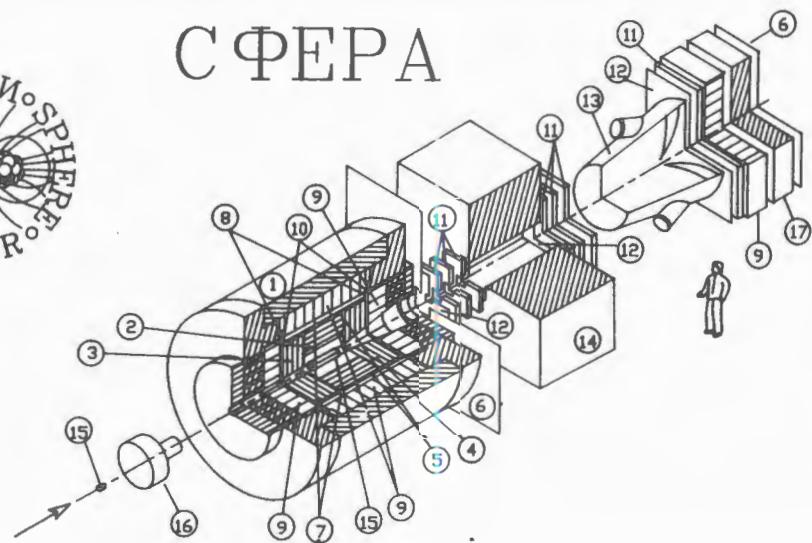


Рис. 4. Общая схема установки СФЕРА: 1 — сверхпроводящий соленоид с железным замыкателем, 2 — центральная дрейфовая камера, 3 — задняя дрейфовая камера, 4 — передняя пропорциональная камера, 5 — цилиндрический сцинтилляционный гамма-детектор, 6 — мюонный сцинтилляционный гамма-детектор, 7 — цилиндрический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

Сборка сцинтилляционного гамма-детектора установки СФЕРА



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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЭЛЕКТРОНИКА. СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

1. Продолжалась разработка модулей VME, ФАСТБАС, КАМАК и в других стандартах для спектрометров СФЕРА, ГИБС, ФОРБИС, в частности, разработаны 6-разрядная память в стандарте ФАСТБАС на 6-слойной плате; буферная память в стандарте ФАСТБАС емкостью 32x32 К; универсальный широкодиапазонный генератор до 110 МГц; 8-канальный формирователь для сцинтилляционного гадоскопа; программатор с программным обеспечением для кодирования памяти.

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

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

Устройство сопряжения канала микро-ЭВМ типа «LSI-11» с шиной VME (тип И.02), конструкция которого удовлетворяет спецификации VME редакции C1, описано в [33]. Модуль И.02 является управляющим модулем (MASTER) шины VME и пассивным (SLAVE) — канала микро-ЭВМ. Схемные узлы, ответственные за выполнение протокола шины VME, поддерживают работу с 24-разрядным адресом, 16-разрядным словом данных, 6-разрядным кодом модификатора адреса и со всеми сигналами управления. Осуществляется передача 8- и 16-разрядных слов данных

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

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

РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

СООРУЖЕНИЕ НУКЛОТРОНА

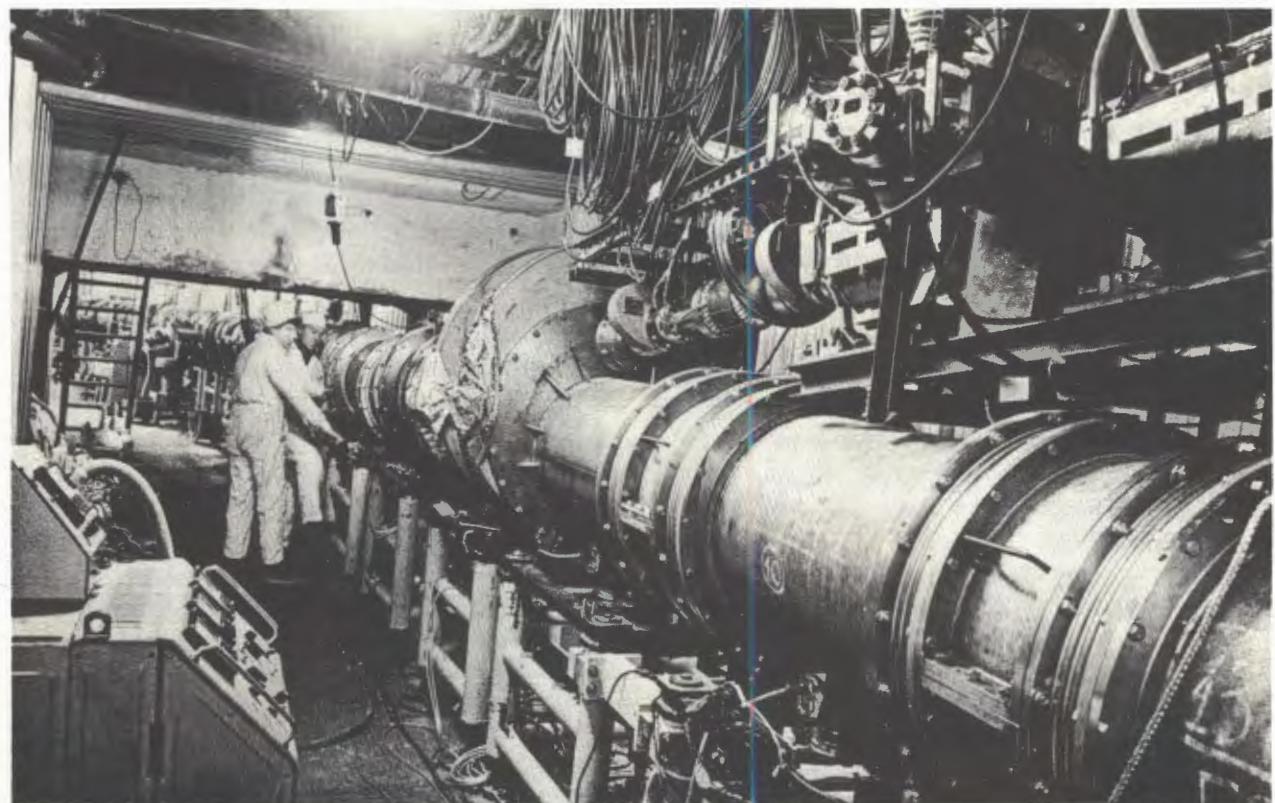
Завершалось изготовление элементов и систем нуклотрона, проводились их испытания, монтаж и наладка в тоннеле.

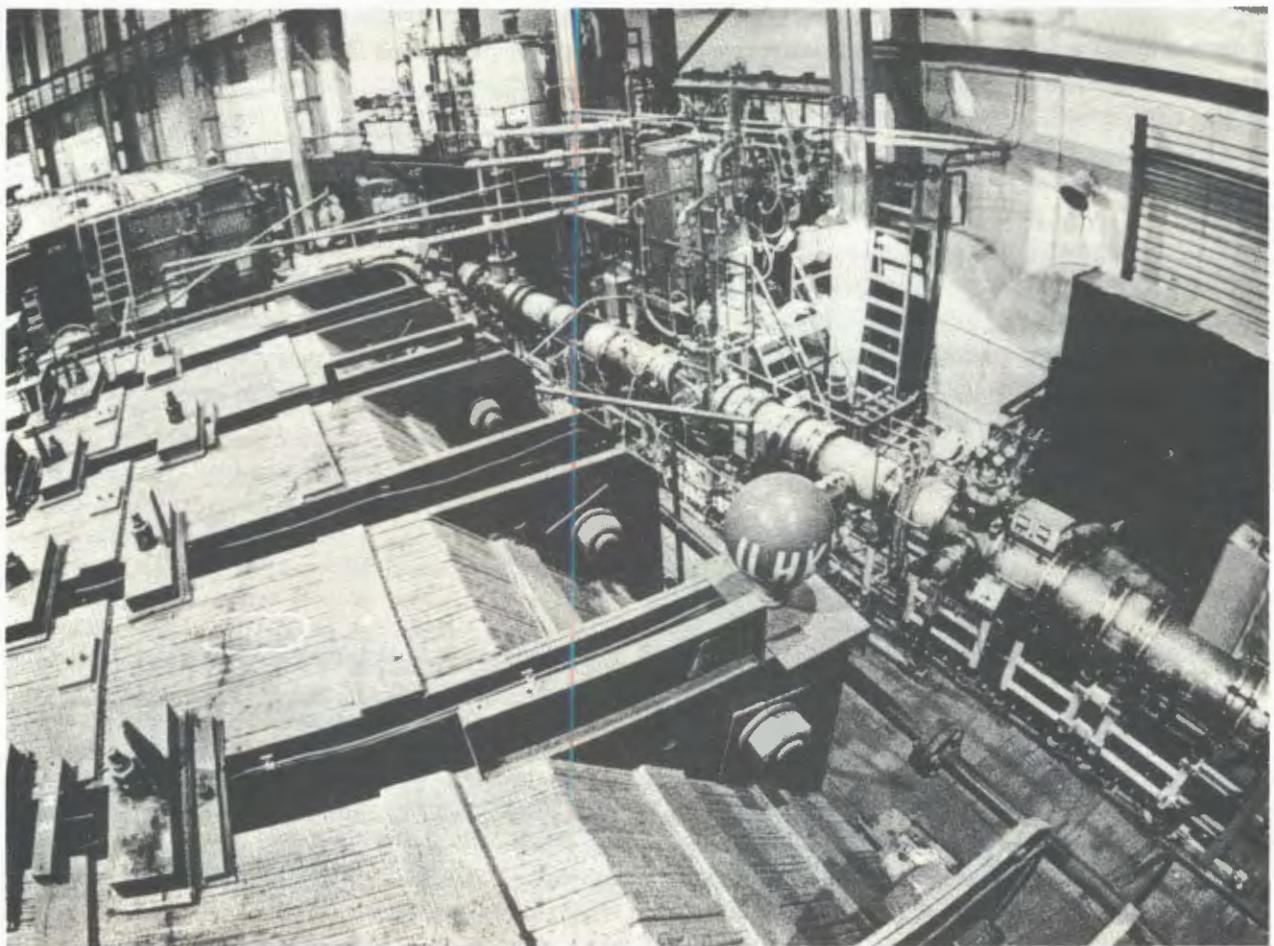
Первый квадрант ускорителя подготовлен к проводке пучка, смонтированы и отьюстированы магнитно-криостатные блоки II квадранта, основ-

ное оборудование IV квадранта размещено в тоннеле.

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

Общий вид сверхпроводящей магнитной системы нуклотрона в районе инжекции пучка





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

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

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

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

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

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

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

Первая очередь системы позволяет решать следующие основные задачи:

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

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

тановлены в кольце также магнитоиндукционные, магнитомодуляционные и сцинтилляционные датчики.

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

РАЗВИТИЕ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

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

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

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

РАБОТА СИНХРОФАЗОТРОНА

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

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

ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

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

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

Продолжались исследования влияния облучения тяжелыми ионами на критические токи

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

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

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

ДРУГИЕ РАБОТЫ ПО УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕМАТИКЕ

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

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

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



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

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

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

Чувствительный размер детектора — 256×130 мм, эффективность регистрации нейтронов ($\lambda = 6$ Å) 70%, пространственное разрешение $\sim 1,6$ мм.

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

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

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

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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

5. Abreu P. et al. — CERN-PPE/91-95, CERN-PPE/91-131, CERN-PPE/91-115, Geneva, 1991.
6. Abreu P. et al. — CERN-PPE/91-132, Geneva, 1991.
7. Didenko L.A., Grishin V.G., Kuznetsov A.A. — JINR, EI-91-329, Dubna, 1991.
8. Baldin A.M., Didenko L.A. — *Fortschritte der Physik*, 1990, v.38, No.4, p.261—332.
9. Basković S. et al. — JINR, EI-91-376, Dubna, 1991.
10. Армутлийски Д. и др. — ОИЯИ, Р1-91-191, Дубна, 1991.
11. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, Р1-91-394, Дубна, 1991.
12. Ангелов Н., Любимов В.Б., Тогоо Р. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ*, №1[47]-91, Дубна, 1991, с.27.
13. Авраменко С.А. и др. — ОИЯИ, Р1-91-235, Дубна, 1991.
14. Вокал С. и др. — ОИЯИ, Р1-91-85, Дубна, 1991.
15. Ботвина А.С. и др. — ОИЯИ, Р1-90-560, Дубна, 1990.
16. Абраамян Х.У. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ*, №7[46]-90, Дубна, 1990.
17. Авраменко С.А. и др. — ОИЯИ, Р1-91-206, Дубна, 1991.
18. Strugalski Z. — JINR, EI-91-243, Dubna, 1991.
19. Okonov E.O. — JINR, EI-91-188, Dubna, 1991.
20. Tokarev M.V. — JINR Rapid Commun. No.3[49]-91, Dubna, 1991, p.27.
21. Zborovski I. — JINR Rapid Commun. No.3[49]-91, Dubna, 1991, p.34.
22. Glagolev V.V. — JINR, EI-91-511, Dubna, 1991.
23. Strel'tsov V.N. — JINR, E2-91-97, Dubna, 1991.
24. Стрельцов В.Н. — ОИЯИ, Д2-91-212, Дубна, 1991.
25. Strel'tsov V.N. — JINR, D2-91-367, Dubna, 1991.
26. Афанасьев С.В. и др. — ОИЯИ, Р13-91-380, Дубна, 1991.
27. Slowinski B. — JINR Rapid Commun. №3[49]-91, Dubna, 1991.
28. Буриев Н.Т. и др. — ОИЯИ, Р1-91-42, Дубна, 1991.
29. Коваленко А.Д., Титков В.В. — ОИЯИ, Р1-91-88, Дубна, 1991.
30. Коваленко А.Д. и др. — ОИЯИ, Р1-91-476, Дубна, 1991.
31. Ershov V.P. et al. — In: *Proceeding of the International Workshop «Polarized Gas Targets for Storage Rings»*, Heidelberg, Sept. 1991.
32. Базылев С.Н., Смирнов В.А. — ОИЯИ, Р10-91-32, Дубна, 1991.
33. Смирнов В.А. — ОИЯИ, Р10-91-33, Дубна, 1991.
34. Nikityuk N.M. — JINR, E10-91-161, Dubna, 1991.
35. Азапов Н.Н. и др. — ОИЯИ, Р8-91-509, Дубна, 1991.
36. Азапов Н.Н. и др. — ОИЯИ, Р8-91-510, Дубна, 1991.
37. Иссинский И.Б., Михайлов В.А. — ОИЯИ, Р9-91-2, Дубна, 1991.
38. Цамбел В. и др. — ОИЯИ, Р9-91-301, Дубна, 1991.
39. Василишин Б.В. и др. — ОИЯИ, Р9-91-353, Дубна, 1991.
40. Бонц-Осломовский А.Г., Решетникова К.А. — В сб.: *Краткие сообщения ОИЯИ*, №1[47]-91, Дубна, 1991.
41. Novak A. et al. — *Preprint IAP CS-21-1991*, Bucharest, 1991.
42. Жуков А.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1991, т.53, вып.9, с.446—469.
43. Еорюков Д.Л. и др. — ОИЯИ, Р9-91-324, Дубна, 1991.
44. Гусаков Ю.В., Романов Ю.И. — ОИЯИ, Р13-91-148, Дубна, 1991.
45. Ким Ун Се, Дацков В.И. — ОИЯИ, Р8-91-173, Дубна, 1991.

ЛАБОРАТОРИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Главными задачами Лаборатории сверхвысоких энергий в 1991 году были: подготовка первоочередных экспериментов на УНК, развитие методики, разработка и создание систем УНК, реализация экспериментальной программы на

ускорителе У-70 в соответствии с ранее принятymi в Объединенном институте решениями, соглашениями между ОИЯИ и ИФВЭ (Протвино); изучение поведения спиновых структурных функций нуклонов и ядер в ЦЕРНе.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УНК

Эксперимент на установке НЕПТУН. Эта установка будет работать на внутреннем пучке УНК и первой начнет функционировать на теплом варианте ускорителя. Отличительная особенность установки состоит в использовании струйной поляризованной водородной ($p \uparrow$ и $d \uparrow$) мишени, которая создается в сотрудничестве ученых ОИЯИ и Мичиганского университета (США).

Программа первоочередных исследований взаимодействий $pp \uparrow$, $pd \uparrow$ включает измерение:

- асимметрии эмиссии адронов, фотонов и лептонов;
- спиновых корреляций между частицами в начальном и конечном состояниях, анализ механизма передачи спина на конституентном уровне (рождение гиперонов и векторных мезонов);
- асимметрии и параметра поворота спина в упругих и дифракционных процессах.

В 1991 г. продолжалось создание струйной поляризованной водородной и дейтериевой мишени в научно-исследовательском криогенном отделе ЛВЭ. Принцип ее действия состоит в диссоциации водорода $H_2 \rightarrow 2H$ с последующим формированием поляризованного атомарного пучка в градиентном магнитном и ВЧ-поле. Завершено конструирование мишени, начато ее изготовление. Проектная плотность атомарного пучка-мишени составляет $5 \cdot E+11$ атомов/ cm^3 , а светимость — $1 \cdot E+31$ $cm^{-2} \cdot s^{-1}$.

В Мичиганском университете (США) и в ЛВЭ на стендах продолжается совместная работа по созданию струйной поляризованной мишени, в ос-

нове действия которой лежит принцип накопления атомов в магнитной ловушке при температуре $0,4^\circ C$ с последующим их выводом градиентным магнитным или ВЧ-полем. Из проведенных стендовых исследований видно, что, основываясь на этом принципе, можно получить плотность атомарного пучка $1 \cdot E+13$ атомов/ cm^3 . В настоящее время создается прототип этой мишени.

Продолжается отработка технологии и изготовление опытных партий полупроводниковых детекторов. Завершается сборка пропорциональных камер, изготовлено 50 сцинтилляционных счетчиков к сцинтилляционному спектрометру.

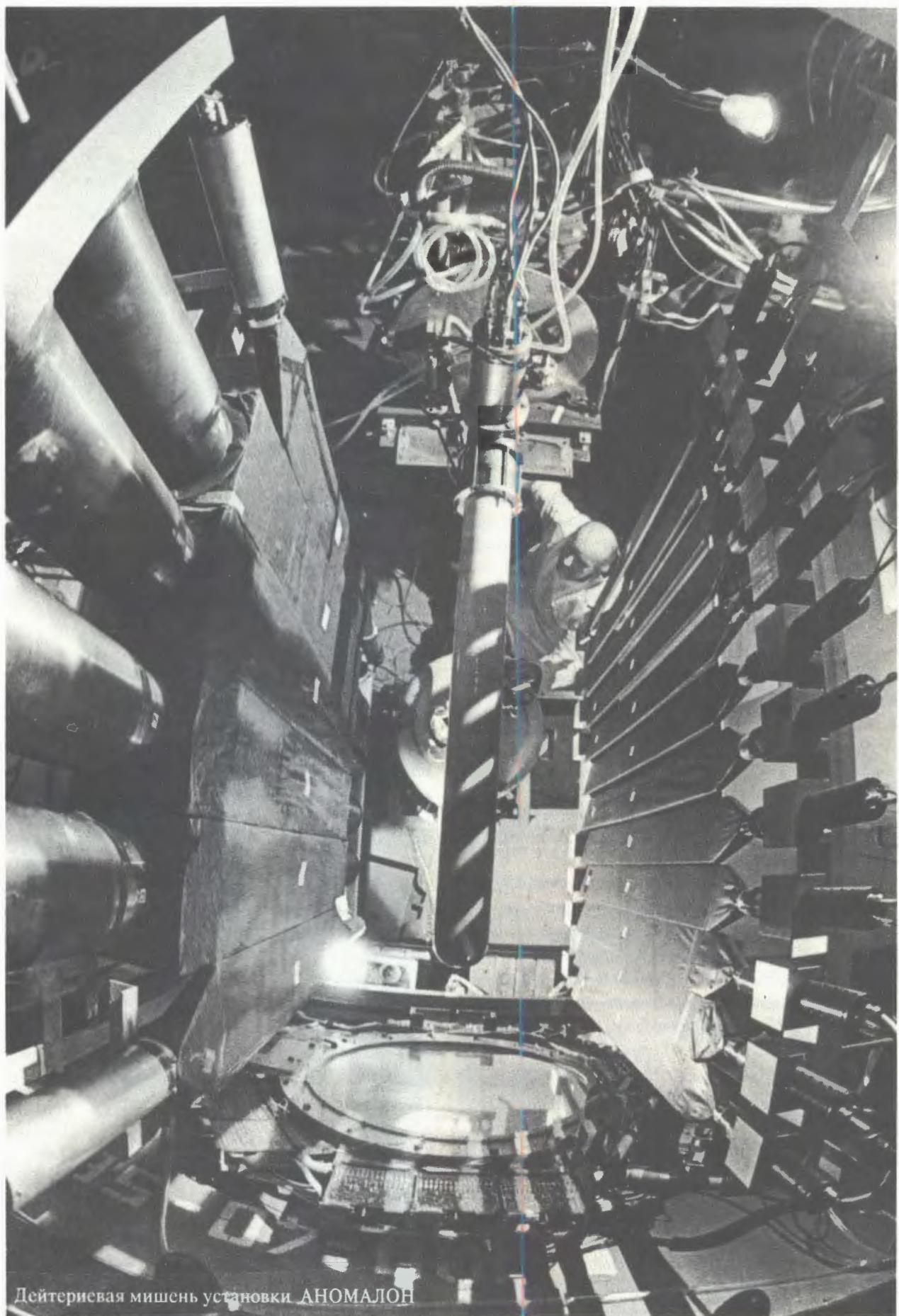
Отдельные готовые узлы установки используются для методических и физических исследований на синхрофазотроне ОИЯИ [1,2].

Эксперимент ГИНЭС. Гибридный нейтринный спектрометр (ГИНЭС) создается в ИФВЭ при участии ЛСВЭ как многоцелевая универсальная установка для нейтринных исследований в «beam-damp» эксперименте и в пучке мюонных нейтрино узкого спектра на УНК.

В физическую программу проекта входит наблюдение и исследование свойств τ -нейтрино, проверка стандартной модели, измерение киральных констант связи u -, d -, s -, c -, b -кварков, изучение конечных адронных состояний и др.

В 1991 г. на нейтринном канале У-70 был смонтирован разработанный в ЛСВЭ прототип мюонного идентификатора установки ГИНЭС. Создана система его газового обеспечения, а также программы моделирования событий.

Эксперимент «Сверхпроводящий тородальный спектрометр» (СТОРС). Разработано предложение, в котором планируется исследовать



Дейтериевая мишень установки АНОМАЛОН

глубоконеупругое взаимодействие мюонов на протонах, дейtronах и тяжелых ядрах на УНК с целью прецизионного измерения нуклонных структурных функций F_1 и F_2 , получения партонных распределений, измерения константы сильного взаимодействия α_s с точностью лучше 1 %. В эксперименте будут детально проверены КХД и предсказания теории большого объединения. Реализация проекта позволит получить точные данные по структурной функции $R = \sigma_L/\sigma_T$, сравнить их с предсказаниями КХД по распределению глюонов, по разности $F_2^p - F_2^n$, получить информацию об асимметрии между компонентами моря, выполнить тест для несинглетной структурной

функции, сделать точную проверку стандартной модели, решить ряд других проблем современной физики элементарных частиц.

Основу экспериментальной установки составляют:

- сверхпроводящий тороидальный воздушный магнит;
- система координатных детекторов для измерения траекторий мюонов;
- триггерная система;
- гадоскопическая система для мониторирования пучка.

В 1991 г. выполнены расчеты полей сверхпроводящего тороидального спектрометра, сделаны оценки импульсного разрешения спектрометра.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОГРАММА НА УСКОРИТЕЛЕ У-70 ИФВЭ

В 1991 году в пучках ускорителя У-70 проводились работы по запуску и набору данных на четырех установках: «Спектрометр с вершинным детектором» (СВД), ЭКСЧАРМ, «Магнитный искровой спектрометр-2» (МИС-2, проект МДС) и «Комплекс меченых нейтрино» (КМН).

Эксперимент СВД. В 1991 г. установка СВД была полностью подготовлена для исследования рождения частиц с открытым очарованием, были выполнены работы по совершенствованию спектрометра. Включение системы координатных полупроводниковых детекторов в триггер позволило локализовать с высокой точностью координаты пучковой частицы внутри рабочего объема пузырьковой камеры и обеспечить высокоэффективный отбор событий взаимодействий по выбыванию частиц из пучка.

Одновременно проводился анализ антидейтрон-ядерных взаимодействий по полученным ранее материалам на установке «Людмила». Найдено, что отношения сечений образования нейтральных странных частиц $R = \sigma(\Lambda)/\sigma(K_L^0)$ в антидейтрон-ядерных взаимодействиях при $P_{\bar{d}} = 12$ ГэВ/с составляют: $R(\bar{d}d) = 1,13 \pm 0,25$, $R(\bar{d}C) = 1,40 \pm 0,27$, $R(\bar{d}Pb) = 1,46 \pm 0,13$. Полученные значения на порядок превышают данные, полученные в $\bar{N}N$ -взаимодействиях, это не объясняется в рамках обычных каскадных моделей. Результаты опубликованы в работах [3–6].

Эксперимент ЭКСЧАРМ. Сотрудничеством БИС-2 завершен монтаж основных элементов спектрометра ЭКСЧАРМ на канале 5Н в новой экспериментальной зоне ускорителя У-70. В соответствии с планом пусконаладочных работ проведено три сеанса его экспозиции в пучке нейт-

ронов, выведенных под нулевым углом относительно равновесной орбиты движения протонов в ускорителе. Спектрометр подготовлен к сдаче в эксплуатацию.

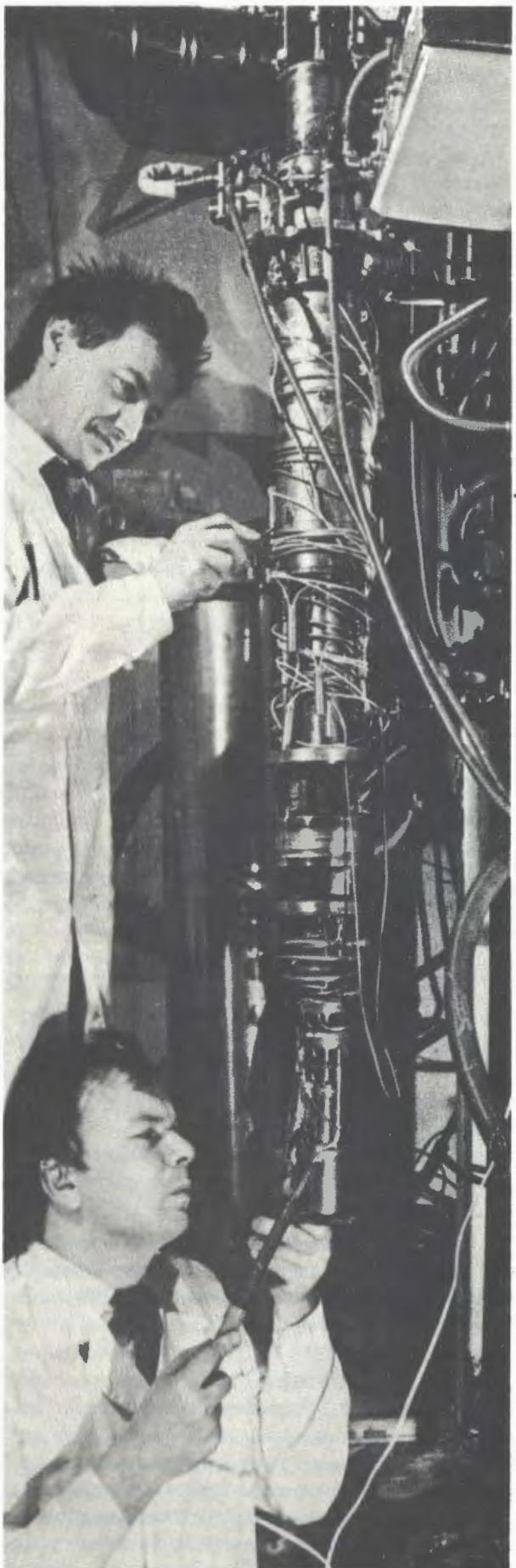
Продолжен физический анализ $67 \cdot 10^6$ нейтрон-водородных и нейтрон-ядерных взаимодействий, зарегистрированных в эксперименте БИС-2:

а) Получены более полные данные о существовании узких барионов $X(3100)$ и $X(3250)$. Наблюдано 14 конечных состояний, в том числе состояния с экзотическими квантовыми числами.

б) Впервые в одном эксперименте получен широкий набор данных по адронному рождению φ -мезонов на водороде и ядерных мишнях. Подтверждено правило Окубо — Цвейга — Изуки в процессах ассоциативного рождения φ -мезонов и странных частиц. Получено также указание на нарушение этого правила в процессах парного рождения φ -мезонов.

в) Впервые в рамках одного эксперимента наблюдано и исследовано адронное рождение широкого набора очарованных и странно-очарованных барионов: $\Lambda_c^+, \Sigma_c^0, \Sigma_c^{++}$ и Ξ_c^+ . При этом не только подтверждено существование странно-очарованного бариона Ξ_c^+ , указание на который было получено пока только в экспериментах E-400 (FNAL), WA62 (CERN) и CLEO (SLAC), но и обнаружены новые каналы его распада.

Согласованы условия участия сотрудников ЛСВЭ ОИЯИ в эксперименте NA-48 по точному измерению отношения параметра ϵ'/ϵ , характеризующего «прямое» СР-нарушение в распадах нейтральных каонов. Проведены организационные мероприятия по обеспечению этого эксперимента необходимыми материалами, производимыми в СНГ. Начаты методические разработки



жидкокриптонового калориметра высокого разрешения.

Продолжены работы по оптимизации исследования СР-несохранения в распадах В-мезонов.

По полученным результатам опубликованы работы [7—12].

Эксперимент МДС (установка МИС-2). Ранее при изучении когерентного образования бозонных систем пионами с импульсом 40 ГэВ/с на различных ядрах на установке МИС были обнаружены новые резонансные состояния пиона.

К настоящему времени получили экспериментальное подтверждение два радиально-возбужденных состояния пиона: с $M_{3\pi} = 1240 \pm 30$ МэВ и с $M_{3\pi} = 1770 \pm 30$ МэВ.

В 1991 году на ускорителе ИФВЭ было проведено два сеанса на установке МИС-2 по исследованию когерентного образования трехпионных систем с участием отрицательно заряженной лидирующей частицы и для анализа возможных гибридных состояний 1^{-+} , 2^{-+} , 1^{-+} .

Закончен набор данных для исследования когерентного образования трехпионных событий с эффективной массой меньше 1 ГэВ.

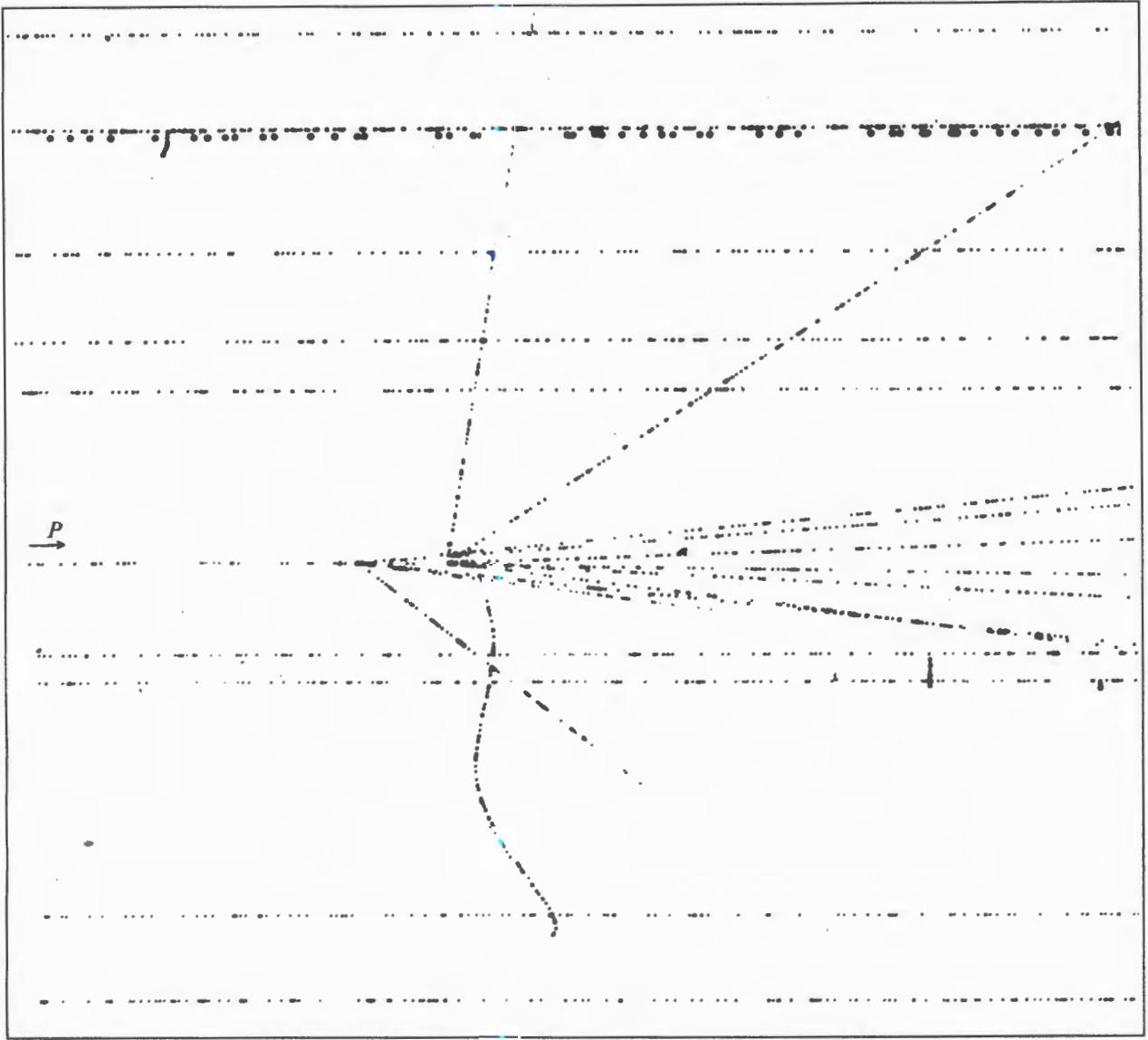
Продолжалась настройка триггера с использованием десятислойной кремниевой мишени и быстрого процессора с выделением переданного импульса в районе второго дифракционного максимума.

Обработано несколько тысяч событий дифракционной диссоциации пионов на ядрах углерода с положительной лидирующей частицей.

Результаты исследований опубликованы в работах [13—17].

Эксперимент «Комплекс мечевых нейтрино» (КМН). В эксперименте КМН создается пучок мечевых ν_e - и ν_μ -нейтрино на основе восстановления кинематики K_{e3}^\pm - и $K_{\mu 2}^\pm$ -распадов. Планируется широкая программа по нейтринной физике и поиск СР-нарушения в распадах заряженных каонов. В 1991 году достигнут заметный прогресс в создании и запуске КМН. В сеансах на У-70 зарегистрированы первые нейтринные события в жидкокарбоновом калориметре БАРС, набрана статистика, необходимая для развития установки и программного обеспечения эксперимента. В ОИЯИ выполнены работы по созданию мюонного спектрометра, широкоапертурного черенковского счетчика и адронного калориметра полного поглощения для станции мечения. Осуществлен монтаж и наладка детекторов (дрейфовых труб) мюонного спектрометра, изготовлены все оптиче-

Рефрижератор для исследования дейтерированных образцов поляризованной мишени (эксперимент NA-47)



Событие, зарегистрированное в быстроциклирующей жидкокислородной камере установки СВД (15-кратное увеличение). Вторичная звезда предположительно связана с распадом очарованной частицы, рожденной в первичном $p-p$ взаимодействии при энергии 70 ГэВ.

ские детали черенковского счетчика; смонтировано 250 модулей («сэндвичей» Fe-сцинтиляторы) адронного калориметра. Исследованы характеристики сборки модулей на пучке отрицательных пионов 40 ГэВ.

ЭКСПЕРИМЕНТ СМК В ЦЕРНЕ— ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОЗАВИСИМЫХ КВАРКОВЫХ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ ПРОТОНА И НЕЙТРОНА

В эксперименте СМК на мюонном пучке SPS в ЦЕРНе впервые исследуются спинозависимые кварковые структурные функции протона и нейт-

рона. Реализацию проекта осуществляет международное сотрудничество, в которое входят 25 научных центров.

В 1991 г. начался набор экспериментальных данных по глубоконеупругому рассеянию поляризованных мюонов на поляризованных дейтронах. В состав установки вошла первая очередь мюонного детектора ОИЯИ. В ОИЯИ осуществлен синтез опытных образцов рабочего вещества поляризованной мишени. Разработан новый метод вычисления поляризации по результатам измерений ЯМР-сигнала. Создан рефрижератор растворения для проведения измерения поляризации опытных образцов. Выполнены измерения поляризации водорода и дейтерийсодержащих образцов. Результаты будут использованы для развития техноло-

тии создания дейтерированных материалов для поляризованных мишней.

В соответствии с протоколом сотрудничества с ЦЕРНом по эксперименту СМК в Опытном производстве Объединенного института изготовлено 63 модуля дрейфовых труб для координатного детектора мюонов и комплект электроники. Необходимые для запуска первой очереди мюонного детектора 36 модулей перевезены в ЦЕРН, смон-

тированы на установке и приняты в эксплуатацию. Создана и отлажена в реальном режиме набора данных система on-line программ для мюонного детектора.

При энергии 100 ГэВ зарегистрировано $\sim 10^6$, при энергии 208 ГэВ — $0,4 \cdot 10^6$ событий глубоко-неупругого рассеяния мюонов.

Результаты работ опубликованы в работах [18—21].

МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПРОВОЛОЧНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Мини-дрейфовые камеры. Завершена разработка мини-дрейфовой камеры с внешними размерами 1300x1000 мм. Создан стенд для исследования пространственного разрешения камеры, состоящий из монитора на основе сцинтилляционных счетчиков и дрейфовых труб.

Микростриповый газовый счетчик (МСГС). Изготовлен опытный образец МСГС размером 50x50 мм. МСГС является одним из вероятных кандидатов на применение в качестве трекового детектора в составе будущих установок на суперколлайдерах. Структура МСГС изготовлена на стекле с помощью литографии с шагом сигнальных полос 200 мкм. Исследованы основные характеристики счетчика с помощью X-лучей с энергией 5,9 кэВ и 8 кэВ [22].

Лавсановые трубы (ЛТ). ЛТ относятся также к числу наиболее вероятных кандидатов на использование в составе будущих установок. В лаборатории разработана технология изготовления ЛТ из алюминизированного лавсана диаметром больше 6 мм и длиной до 3 м, выполняются методические исследования характеристик лавсановых трубок различных типов.

Метод определения второй координаты с дрейфовой трубой. Опыт создания дрейфовых труб в экспериментах «Меченные нейтрино» в ИФВЭ (Протвино) и SMC в ЦЕРНе был использован для разработки метода определения второй координаты вдоль сигнальной проволоки по разности времен распространения сигнала в трубе. Разработан соответствующий электронный блок, работающий в старт-стоповом режиме и позволяющий определять вторую координату. Продолжаются исследования пространственного разрешения по второй координате на реальном модуле с помощью радиоактивного источника ^{106}Ru .

РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ (ППД)

Для изучения возможности создания электромагнитных и адронных калориметров на основе полупроводниковых детекторов:

— разработана топология, технология имплантированных планарных детекторов высокоомного кремния и изготовлена партия из 450 детекторов (20x20x0,4 мм);

— детекторы испытаны на долговременную стабильность, измерены их электрофизические характеристики ($I-V$), ($C-V$); ΔE [23, 24].*

В результате двух циклов облучения детекторов быстрыми нейтронами на реакторе измерен коэффициент радиационных повреждений детекторов, изготовленных из разных материалов (Fz-n-Si-Wacker (ФРГ); Fz-n-Si-КАД76 (СССР)) и определен ресурс их работы в условиях радиационных полей. Детекторы облучены до флюенса $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$.

Для исследования возможности создания прецизионных трековых детекторов на основе кремниевой дрейфовой камеры:

— проведено математическое моделирование дрейфовых структур разной топологии [25];

— разработана топология нескольких вариантов Si-дрейфовой камеры, изготовлены фотшаблоны;

— ведутся методические работы по созданию стенда для испытаний образцов Si-дрейфовой камеры.

Для создания в ЛСВЭ технологической базы по разработке, изготовлению и исследованию опытных ППД:

— смонтирована система получения сверхчистой воды ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} \geq 18 \text{ МОм см}$);

— завершается монтаж гермозоны;

— идет монтаж технологического оборудования в гермозоне (технохимия, фотолитография, диффузионные установки);

— ведутся исследования параметров ионного пучка на новом ускорителе-имплантаторе «Везувий-1».

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СИСТЕМ УСКОРЕНИЯ

В соответствии с совместной ОИЯИ — ИФВЭ программой исследований велись разработки узлов и систем УНК.

Разработана и отлажена схема импульсного генератора системы подавления остаточных колебаний пучка I ступени УНК, допускающая работу как в режиме однооборотного подавления, так и в случае необходимости многооборотного подавления [26]. По результатам испытания пробного варианта подготовлена конструкторская документация и начато изготовление серии из 5 генераторов. Изготовлен макет широкополосного усилителя для системы подавления резистивной неустойчивости. Макет обеспечивает параметры, удовлетворяющие техническому заданию.

Проведен цикл расчетов по выбору типа фильтров, обеспечивающих устойчивую работу в

режиме обратной связи системы подавления поперечных колебаний пучка УНК-1 [27]. В результате этих исследований по предложению ЦЕРНа в ЛСВЭ разработаны способ подавления поперечных колебаний в LHC и возможная конструкция кикерной системы этого ускорителя [28].

Для получения необходимой амплитудно-временной диаграммы напряжения на ускоряющей структуре ускорителя У-70 исследовалась схема системы коммутации двух ВЧ-генераторов станции перегруппировки пучка (СПП) УНК на общую нагрузку. В основу схемного решения была положена схема антенного переключателя с пассивным зажиганием ВЧ-разряда. Предварительные эксперименты с ВЧ-генератором показали принципиальную работоспособность схемы переключателя. В соответствии с реальными усло-

Монтаж ступени окончательного охлаждения рефрижератора производительностью 20 Вт при 1,8 К



виями работы СПП У-70 исследовался макет системы коммутации в ИФВЭ на макете ВЧ-генератора. В результате сделан вывод, что наиболее приемлемым является вариант построения системы ВЧ-питания СПП без системы коммутации.

С целью совершенствования технологии создания сверхпроводящих резонаторов (СПР) с рабочим слоем в виде пленки сверхпроводника на несущей теплопроводящей поверхности были получены и исследованы пленки из ниобия на кремниевых подложках. Зона напыления была окружена криопанелью. Определены характерные критические параметры полученных пленок, измерена глубина проникновения магнитного поля в ниобиевые пленки методом отражения поляризованных нейтронов [29].

Разработан и создан стенд для исследования статических характеристик сверхпроводящих тонких пленок.

При создании линейных коллайдеров, в частности ВЛЭПП, основной проблемой, определяющей экономические и физические параметры системы, является создание оптимальных ускоряющих структур и источников высокочастотной мощности. В лаборатории велись работы по созданию варианта релятивистского клистрона, а также генератора на основе лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Выбрана схема и выполнен расчет ЛСЭ-усилителя (генератора). Проведена конструктивная проработка ЛСЭ, изготовлены и испытаны отдельные узлы установки, заканчивается изготовление систем питания. Выполнены теоретические исследования по ЛСЭ [30].

Криофизические исследования в лаборатории, связанные в основном с решением проблем

создания ускорительных систем, имеют в значительной степени фундаментальный характер. Ряд разработок может найти применение в прикладных областях.

В рамках темы «Исследование криофизических процессов в системах, криостатируемых сверхтекучим гелием» продолжались работы по проблеме генерации и коллапса нормальной зоны в сверхпроводниках. Изучалась динамика восстановления интенсивных мод теплопередачи к насыщенному сверхтекучему гелию после отключения источника теплового возмущения. Установлено, что длительность процесса релаксации обусловлена: на 2/3 степенью устойчивости режима пленочного кипения, достигнутого к моменту окончания импульса мощности; на 1/5 уровне температуры объема сверхтекучего гелия; на 1/6 величиной доступного гелию объема у поверхности теплопередачи. Обнаружено, что время релаксации может быть продолжительнее либо в нормальном, либо в сверхтекучем гелии в зависимости от комбинации экспериментальных параметров [31]. Сравнение динамики релаксационных процессов в Не-II и Не-I свидетельствует об их общности и вместе с тем о принципиальных различиях в целом ряде деталей [32].

Одна из принципиальных задач для систем, криостатируемых с помощью двухфазных потоков насыщенного сверхтекучего гелия, состоит в разработке средств контроля паросодержания потока и корректной калибровки датчиков измерительной аппаратуры. Разработана оригинальная методика калибровки высокочастотных датчиков паросодержания [33—35].

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В области прикладных криофизических исследований работа велась в двух направлениях, одно из которых — расширение области применения высокочастотных датчиков сплошности потока. Получены обнадеживающие результаты при работе на смесях нефти и воды [36], которые преобладают в нефтедобывающей промышленности и системах коммерческого отпуска нефтепродуктов. Испытания показали, что погрешность измерения доли δ воды в нефти может составлять 2,5% для сырой нефти, когда $2\% < \delta < 98\%$. Если система применяется для определения торговой нефти, у которой $\delta < 5\%$, погрешность измерений не превышает 0,5%.

Другое направление прикладных исследований связано с обеспечением теплового режима работы современных микросхем с субмикронной

технологией. Задача состоит в обеспечении отвода тепла с плотностью потока $q > 200 \text{ кВт}/\text{м}^2$ на азотном уровне (77 К). В работе [37] предложен простой способ отвода удельных тепловых потоков $\sim 700 \text{ кВт}/\text{м}^2$ и выше с помощью натекающей струи чистого жидкого азота, приведены рекомендации по выбору оптимальных геометрических размеров охлаждающей системы.

Электронно-кольцевой ионизатор (ERIS) для исследований в области физики многозарядных ионов. С целью создания установки ERIS проводилась реконструкция имеющейся установки КУГИ-20. Разработана схема питания импульсной магнитной системы для формирования двух циклов сжатия — удержания электронных колец. Проведены испытания, при которых достигнуты параметры импульсов тока катушек

магнитной системы, близкие к расчетным. Изменилось характеристическое рентгеновское излучение из электронного кольца. Получены K_{α} - и K_{β} -линии спектров ксенона и криптона. Определялся абсолютный выход излучения.

Выполнялись расчетно-теоретические работы в области физики многозарядных ионов и разработки теории источников многозарядных ионов. На основе теории удержания плазмы в открытых магнитных ловушках определены основные способы и условия получения многозарядных ионов в источниках на электронно-циклотронном резонансе (ECRIS). В совместных исследованиях с

ЛВЭ и Техническим университетом (Франкфурт, ФРГ) определены причины потерь высокозарядных ионов в электронно-лучевых источниках ионов и рассчитаны необходимые режимы ионного охлаждения для предотвращения этих потерь. Обосновано использование ионного охлаждения в импульсном режиме работы ECRIS для значительного (в десятки раз) увеличения выхода многозарядных ионов свинца с целью повышения эффективности ионного инжектора для сооружаемого в ЦЕРНе ионного накопителя на базе LHC. По результатам исследований опубликованы работы [38–42].

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдейчиков В.В. и др. — ЯФ, 1991, 54, вып. I, с.111.
2. Безногих Г.Г. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №4[50]-91, Дубна, 1991, с.5.
3. Граменицкий И.М. и др. — ОИЯИ, Б1-1-91-101, Дубна, 1991.
4. Граменицкий И.М. и др. — ОИЯИ, Б1-1-91-102, Дубна, 1991.
5. Gramenitsky I.M. — In: Proc. Conference on Nuclear & Particle Physics. University of Liverpool. April 1991.
6. Coca C. et al. — In: Proc. Conference NAN-91. Moscow, 1991.
7. Алеев А.Н. и др. — PHE-91-02. Berlin — Zeuthen, 1991.
8. Вецко М. и др. — Чехословацкий физ. журнал, 1991, 41, 4, с.297.
9. Иванченко И.М. и др. — ОИЯИ, Р11-91-537, Дубна, 1991.
10. Kekelidze V.D. — In: 25 International Conference on High Energy Physics, Singapore, 1991, p.575.
11. Kekelidze V.D. et al. — In: Proc. Conference NAN-91, Moscow, 1991.
12. Kekelidze V.D. — In: Proc. Conference HADRON-91. University of Maryland, USA, 1991.
13. Tyapkin A.A. — In: International Conference «Elastic and Diffractive Scattering», La Biadola, Italy, 22-25 May, 1991.
14. Tyapkin A.A. — In: International Conference «Bell's Theorem and the Foundation of Modern Physics». CEZENA, Italy, 7—10 October 1991.
15. Эфендиев А.А. и др. — In: Zeit. Physik C., 1991.
16. Займидорога О.А. и др. - In: Phys. Letters, 1991.
17. Tyapkin A.A. — In: Thermodynamics History and Phylosophy. World Scientific, Singapore, New Jersey, 1991.
18. Савин И.А., Смирнов Г.И. — ЭЧАЯ, 1991, т.22, вып.5, с.1005—1066.
19. Бушвили Л.Л. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 5[51]-91, Дубна, 1991, с.42.
20. Киселев Ю.Ф. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №5[51]-91, Дубна, 1991, с.58.
21. Neganov B.S. et al. — Cryogenics, 1991, vol.31, p.874—877.
22. Bychkov V.N. et al. — JINR, E1-91-390, Dubna, 1991.
23. Golutvin I.A. et al. — In: International Workshop on Radiation Damage in Silicon. Oak Ridge National Lab., USA, Feb. 19—21 1991.
24. Golutvin I.A. et al. — In: Radiation Damage and Large Scale Application of Silicon Detectors. Firenze, Italy, 1991.
25. Rashevsky A.W. et al. — In: Workshop on Large Scale Application of Silicon Detectors in High Energy Physics. Minsk, Byelorussia, 1—4 October 1991.
26. Ivanov I.N. et al. - In: Particle Accelerator Conference. San-Francisco, USA, 1991.
27. Zhabitsky V.M. — In: CERN Accelerator Schoool. Netherlands. September 1991.
28. Zhabitsky V.M. — CERN-SL/PFS/Note 91-14, 1991.
29. Chernenko L.P. et al. — JINR, E3-91-330, Dubna, 1991.
30. Saldin E.L., Schneidmiller E.A., Yurkov M.V. — NIM, 1991, A307, p.521; NIM, 1991, A307, p.526; Optics Communications, 1991, 85, p.117—131.
31. Filippov Yu.P., Sergeyev I.A.- In: Advances in Cryogenics Engineering, vol.37. Plenum Press. New York, 1991, pp.47—54.

32. Fillipov Yu.P., Sergeyev I.A. — In: 4th Symposium on Heat Transfer in Cryogenics, Karlsruhe, FRG, 1991.
33. Alexeyev A.I. et al. — Cryogenics, 1991, vol.37, No.5, p.330—337.
34. Filippov Yu.P. et al. — Advances in Cryogenic Engineering, vol.37. Plenum Press, New York, 1991.
35. Alexeyev A.I. et al. — Cryogenics, 1991, vol.37, No.12, p.1020—1029.
36. Данилов В.В. и др. — ПТЭ, 1991, 2, с.244.
37. Filippov Yu.P. — In: Advances in Cryogenic Engineering, vol.37. Plenum Press, New York, 1991, pp.189—196.
38. Shirkov G., Steinert I., Zschornack G. — In: Proc. 12 Arbeitsbericht Arbeitsgruppe Energieiche Atomare Stosse. Riezlern, Germany, 1991, p.125.
39. Shirkov G.D. — JINR, E9-91-382, Dubna, 1991; Proc. of IV Int. Conference on Ion Sources. Bensheim, Germany, 1991.
40. Becker R., Donets E., Shirkov G. — JINR, E9-91-383, Dubna, 1991; Proc. of IV Int. Conference on Ion Sources. Bensheim, Germany, 1991.
41. Steinert I., Shirkov G., Zschornack G. — NIM (to be published).
42. Shirkov G. et al. — NIM, 1991, A302, p.1.

ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ СВИРИДОВ
1931—1991

5 марта 1991 г. ушел из жизни выдающийся ученый — профессор Виктор Алексеевич Свиридов, автор двух научных открытий, лауреат Государственной премии СССР.

В.А.Свиридов после окончания Ленинградского политехнического института в 1954 г. был направлен в Дубну в лабораторию В.И.Векслера, впоследствии вошедшую в состав ОИЯИ. Он был из тех энтузиастов-первоходцев, с именами которых связано становление научных направлений, определивших лицо Института. Талант В.А.Свиридова как экспериментатора проявился с первых лет его работы. В.А.Свиридов предложил ряд идей, которые легли в основу нового метода исследования дифракционных процессов.

В начале 60-х годов под его руководством метод был реализован на синхрофазотроне ОИЯИ при исследовании упругого рассеяния протонов на протонах в недоступной ранее экспериментаторам области малых углов. Сопоставление результатов с расчетами по дисперсионным соотношениям позволило проверить выполнимость основополагающих принципов квантовой теории поля — лоренц-инвариантности, микропричинности, унитарности.

Тем же методом многократных прохождений тонкой мишени в 1968—1969 гг. на только что запущенном серпуховском ускорителе были получены первые достоверные данные о сужении конуса в упругом протон-протонном рассеянии на

малые углы. В.А.Свиридову с коллегами удалось определить важнейший параметр — наклон траектории полюса Померанчука.

В этих опытах впервые в практике физического эксперимента была разработана и задействована газовая (водородная и дейтериевая) мишень-струя. Сейчас использование тонких внутренних пленочных и газовых мишеней стало классической методикой, которая применяется на всех крупных циклических ускорителях мира.

Среди своих коллег В.А.Свиридов был авторитетом прежде всего как генератор идей. Он предложил принцип секционирования черенковского счетчика для идентификации быстрых многозарядных фрагментов ядра. Этот прибор был применен для поиска аномалонов — частиц с необычно высоким сечением взаимодействия. Многие технические и методические разработки по программе создания УНК инициированы при его непосредственном участии. Активная поддержка В.А.Свиридовым новых научных проектов, его стремление исходить при оценке из объективной значимости, а не из личностного видения были достойно оценены научной общественностью.

Интеллигентность В.А.Свиридова, научная добросовестность пронизывали весь стиль его жизни и деятельности. Он был неизменно уважителен к людям, неподдельно скромен, умел прощать слабости, не перекладывал тяжесть ответственности на других, был надежным другом.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Программа научных исследований лаборатории в 1991 году определялась следующими задачами: разработка проектов ускорительно-накопительного комплекса на встречных электрон-позитронных пучках (с-тау фабрика) и универсального детектора; разработка физической программы исследований на накопителях ионов, электронов и позитронов; проведение экспериментальных исследований на встречных пучках ЛЭП, ускорителе У-70; подготовка экспериментов по программе исследований на УНК; а также экспериментальные исследования в области физики низких и промежуточных энергий на фазotronе ОИЯИ и ускорителях других физических центров, проведение биологических и клинических исследований на медико-биологическом комплексе лаборатории.

Выполненный объем научно-исследовательских и методических работ дал возможность получить по каждому из направлений ряд значительных экспериментальных результатов.

Интенсивно велись работы по накопительно-му комплексу. Выполнены технико-экономические расчеты по проекту с-тау фабрики, определены основные характеристики линейного ускорителя. Рассчитан вариант магнитной структуры с-тау фабрики и проработан проект вакуумной системы. Определены первоочередные физические эксперименты на с-тау фабрике. Выбрана общая схема детектора и основных его узлов.

На установке ДЕЛФИ в 1991 г. получено около 300 тысяч нейтральных Z -бозонов. Это позволило определить с высокой точностью такие параметры стандартной модели, как число типов легких нейтрино, значение угла слабого смешивания $\sin^2 \theta_w$, константа сильного взаимодействия α_s на Z^0 -пике и т.д.

В экспериментах на ускорителе У-70 в ИФВЭ закончено детальное изучение кулоновского взаимодействия в системе положительных и отрицательных пионов на установке «Позитроний», изучено образование частиц с большим поперечным импульсом p_t в $\pi^- n$ -взаимодействиях при 38 ГэВ/с на установке СИГМА-АЯКС, завершена обработка данных в эксперименте на «Нейтри-

ном детекторе» по поиску «прямых» нейтрино от распадов очарованных частиц и поиску легких хигтсовских бозонов.

Введена в строй 4 π -установка ФАЗА, предназначенная для исследования процесса мультифрагментации в ядро-ядерных взаимодействиях на пучках синхрофазотрона ОИЯИ.

Продолжались исследования на фазotronе ОИЯИ. Проведена первая серия экспериментов по поиску конверсии мюоний-антимюоний, с помощью установки АРЕС получена оценка верхней границы вероятности распада $\pi^+ \rightarrow e^+ e^+ \mu^- \nu$ и закончено изучение распада $\pi^+ \rightarrow e^+ e^+ e^- \nu$.

В исследованиях по теме «Нейтрино-2» завершен методический этап экспериментов по измерению бета-нейтринных, спин-нейтринных и мюон-нейтринных угловых корреляций в β -распаде, поиску безнейтринного 2β -распада и «тяжелых» нейтрино.

По программе исследований мю-катализа завершена обработка эксперимента по измерению температурной зависимости скорости образования $p\bar{d}\mu$ -мезомолекул.

Проведены обработка и анализ данных по измерению μ SR-методом глубины проникновения магнитного поля и температурной зависимости для серии высокотемпературных сверхпроводников на базе Ви с различной концентрацией носителей заряда.

Широким фронтом велись работы по модернизации и совершенствованию существующих установок и созданию аппаратуры нового поколения.

Новые интересные результаты получены по научно-прикладной тематике в области использования пучков заряженных частиц в медико-биологических исследованиях.

Продолжают интенсивно расширяться международные контакты и сотрудничество специалистов лаборатории с ведущими западноевропейскими и американскими научными центрами. Проведены первые экспозиции и получены первые интересные результаты на установке ОБЕЛИКС на пучке антипротонов ускорителя LEAR в ЦЕРН. При участии физиков ЛЯП начат

набор статистики в совместном эксперименте У771 (ФНАЛ) по физике B -мезонов в pp -взаимодействиях при 800 ГэВ/с. Полностью завершена подготовка аппаратуры и начат набор статистики эксперимента WA91 на спектрометре ОМЕГА в ЦЕРН по поиску и исследованию экзотических «не $q\bar{q}$ -мезонов» в pp -рассеянии при энергии 450 ГэВ. Для проведения совместно с PSI эксперимента по поиску осцилляций мюоний-антимюо-

ний изготовлена и поставлена в PSI большая цилиндрическая пропорциональная камера. Произведен запуск установки по производству аэрогеля в Братиславе в совместной работе с Братиславским университетом. Несколько совместных экспериментов проводятся во Франции на ускорителе SATURNE (Сакле). Совместно с LAL (Орсе, Франция) ведется проектирование ускорительного комплекса.

РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ ПРОЕКТА НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОНОВ, ПОЗИТРОНОВ И ИОНОВ

По программе проектирования в ОИЯИ накопительного комплекса электронов, позитронов и ионов на завершающей стадии находятся концептуальные проекты основных объектов комплекса. Установлены связи с основными сотрудниками организациями, в том числе с ИЯФ СО РАН (Новосибирск) и ИТЭФ (Москва). Определена общая компоновка комплекса на территории ЛЯП, найдены общие строительные решения, получены предварительные стоимостные оценки.

В ЛЯП в сотрудничестве с ЛВТА и сторонними организациями ведется разработка проекта с-тау фабрики. В ускорительной части проекта изучен вариант фабрики, включающий в себя инжекторный комплекс и ускорительное кольцо. Определены структурная схема, параметры и принципиальные технические решения по основным узлам инжекторного комплекса в односгустковом режиме инжекции. Выбран и рассчитан вариант магнитной структуры основного кольца в схеме столкновения «плоских пучков». Проработана оптика места встречи, участка вертикальной разводки пучков, поворотных участков, мест инжекции и установки ВЧ-станций. Параметры выбранной магнитной структуры переданы в LAL (Орсе, Франция) для совместного сравнительного изучения. Ведется работа по формированию низкофоновых условий в месте встречи пучков. Вакуумная система и элементы магнитной структуры проработаны на уровне эскизного проекта. Составлено техническое задание на проектирование двух вариантов системы ВЧ-источников для запитки резонаторов. Выбраны основные параметры резонаторов. Проектные материалы обсуждались на рабочем совещании в Дубне (май 1991 г.) [1], на Американской национальной конференции (Сан-Франциско, май 1991 г.) [2] и в ускорительной лаборатории LAL (Орсе).

В ЛЯП выработан вариант первоочередных физических экспериментов на с-тау фабрике. Выбрана общая схема универсального детектора и его узлов. Созданы рабочие группы и разработаны

эскизные и технические проекты узлов детектора, включая электронику. Весь комплекс проблем, связанных с проектом с-тау фабрики ОИЯИ, подробно обсуждался в мае 1991 г. в Дубне на международном рабочем совещании. Заключены протоколы о выполнении совместных научно-методических работ с ИЯФ СО РАН (Новосибирск), Университетом им. Коменского (Братислава, ЧСФР), Корнельским университетом (Итака, США). В КБ объединения «Ижорский завод» завершено эскизное проектирование крупнейшей детали детектора — железного ярма пребежной системы. Создана первая очередь компьютерного комплекса, на котором адаптированы программы моделирования, машинной графики, выполнены пробные расчеты моделирования детектора с-тау фабрики.

Как известно, в 1993 г. в Исследовательском центре (Юлих, ФРГ) будет запущен накопитель ионов с энергией (по протонам) до 2,5 ГэВ и охлаждаемым пучком (COSY). Участие в подготовке физической программы исследования на этом ускорителе представляет для ОИЯИ особый интерес. Ускоритель является синхротроном нового поколения, и ожидаемое высокое качество его пучков позволит проводить на его внутреннем пучке ряд исследований на недоступном ранее уровне. Однако еще более важно, что работа наших физиков на этом ускорителе позволит сохранить научно-технический потенциал, накопленный в ОИЯИ в области физики промежуточных энергий, на мировом уровне, своевременно обеспечит эффективную работу на накопительном комплексе K4-K10.

С этой целью в 1991 г. физики лаборатории активно участвовали в разработке двух проектов исследований на COSY:

1) Предложена программа исследования высокомультипольной структуры дейtronов в реакции разрыва дейtronов протонами на внутреннем пучке накопителя. Новизна предложения определяется использованием не изученной ранее колли-

неарной кинематики (совпадение протонов, испускаемых под углами 0 и 180°), широкого интервала начальных энергий и поляризации обеих частиц (протона и дейтрона) в начальном состоянии [3].

2) Совместно с физиками ИЯИ (Юлих), ЛИЯФ (Гатчина), ЦИЯИ (Россендорф) подготовлена программа исследования подпорогового рождения заряженных K -мезонов в протон-ядерных соударениях [4]. Новизна предложения состоит в возможности измерения дифференциальных сечений генерации каонов и их корреляции с выходом протонов и дейтронов. (Ранее в подпороговой области были измерены лишь полные сечения.)

Указанные программы являются физическим обоснованием для создания ароматического маг-

нитного спектрометра на внутреннем пучке накопителя с охлаждаемым пучком [5]. Спектрометр такого рода необходим ввиду того, что он позволяет использовать новые возможности, предоставленные накопителем с охлаждаемым пучком.

Согласовано с ИЯФ (Юлих) изготовление и совместное испытание опытного модуля быстрых пропорциональных камер для экспериментов на внутреннем пучке накопителя. Подготовлен проект технологического участка «Аэрогель». Произведен физический запуск установки и отработана технология производства аэрогеля в Братиславе в совместной работе с Братиславским университетом. Получены первые образцы аэрогеля. Сконструирован и опробован на пучках мюонов и электронов фазotronа ЛЯП счетчик с аэрогельным радиатором.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ LEP, УСКОРИТЕЛЕ У-70. ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПРОГРАММЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УНК

Суммарная статистика полученных на установке ДЕЛФИ событий с образованием нейтральных Z -бозонов составляет более 400 тыс., что позволило получить новые результаты в области прецизионной проверки «минимальной» стандартной модели, в определении ее параметров [6], поиске новых частиц [7], анализе распределений по множественности в адронных распадах Z -бозонов [8], проверке предсказаний квантовой хромодинамики, включая определение константы сильного взаимодействия α_s и трехглюонной вершины [9], изучении распадов тяжелых кварков [10] и т.д.

С учетом особого интереса к теориям великого объединения электрослабых и сильных взаимодействий в коллaborации большое внимание уделялось независимым экспериментальным методам определения константы сильного взаимодействия α_s . В частности, определение этой величины производилось коллаборацией из анализа адронных распределений от распада нейтрального Z -бозона. Изучалась зависимость α_s от масштабного фактора μ^2/M_Z^2 , характеризующая чувствительность к высшим по α_s КХД поправкам в двух версиях учета эффектов адронизации партонов: JETSET7.2 PS и JETSET7.2 ME (рис.1). Окончательный результат $\alpha_s(M_Z) = 0,112 \pm 0,007$ находится в хорошем согласии с определениями этой константы другими методами в ДЕЛФИ и других коллаборациях LEP.

По теме «Исследование на пучках нейтрино и антинейтрино на ускорителе ИФВЭ» завершена обработка данных в эксперименте по поиску «прямых» нейтрино от распада очарованных частиц методом полного поглощения протонного пучка с энергией 70 ГэВ железом (beam dump). Сигнал от «прямых» электронных нейтрино и антинейтрино не обнаружен. Верхняя граница сечения рождения очарованных частиц в протон-нуклонных взаимодействиях при энергии 70 ГэВ равна $\sigma_{cc} \leq 2,4$ мкб/нуклон. Этот результат существенно ниже результата, полученного ранее на спектрометре БИС, и не противоречит предсказаниям квантовой хромодинамики [11].

Закончена обработка данных с целью поиска легких нейтральных бозонов Хиггса в протон-ядерных взаимодействиях при энергии 70 ГэВ. Поиск осуществлялся по двум каналам распада $H^0 \rightarrow e^+e^-$ и $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$ путем анализа изолированных электромагнитных ливней в нейтринном детекторе. В рамках минимальной версии стандартной модели эксперимент исключает существование бозонов Хиггса в интервале масс от 1 до 80 МэВ [12].

В минимальном суперсимметричном варианте расширения стандартной модели (MSSM) существуют два дублета бозонов Хиггса, которые образуют три нейтральные скалярные и псевдоскалярные частицы. Две из них — одна скалярная H и одна псевдоскалярная A — могут быть легкими. В результате анализа 21 события с электромагнитными ливнями, без мюона и с энергией ад-

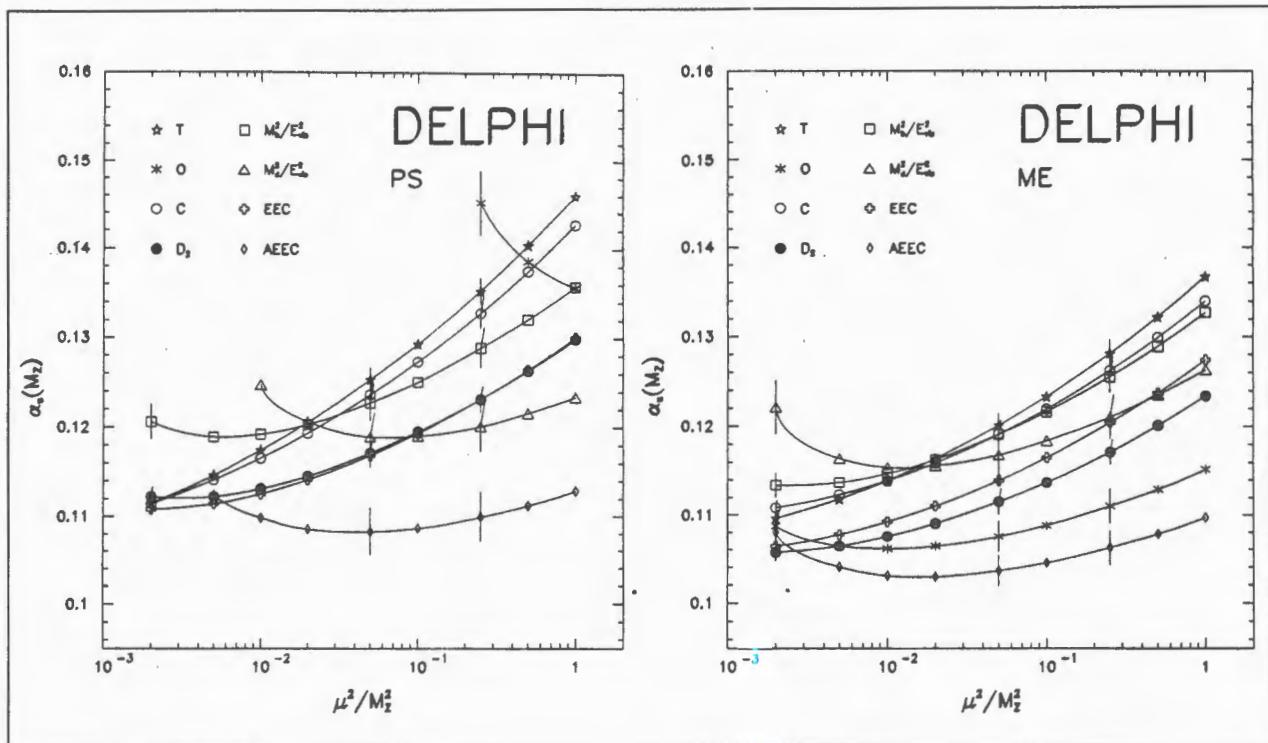


Рис. 1. Зависимость константы сильного взаимодействия от масштабного фактора μ^2/M_Z^2

ронов меньше 1,5 ГэВ сигнал от слабо взаимодействующих легких скалярных и псевдоскалярных частиц, распадающихся на e^+e^- - или $\gamma\gamma$ -пары, не был обнаружен.

Эксперимент дает следующие ограничения на массы легких скалярных и псевдоскалярных частиц (на 95% уровне достоверности): $m_s < 120$ МэВ для $\tau_s = 10^{-10}$ с, $m_{ps} < 80$ МэВ для $\tau_{ps} = 4 \cdot 10^{-11}$ с.

Получены ограничения на массы аксионов для двух интервалов параметра $X = v_2/v_1$, определяющего отношение величин вакуумного ожидания для двух дублетов Хиггса (в стандартной модели $X = 0$): для $X < 1$ $0,2 < m_A < 11,0$ МэВ; для $X > 1$ $0,2 < m_A < 3,2$ МэВ.

Выполнена серия работ по проблеме суперядер и обсуждены перспективы дальнейших исследований на действующих и проектируемых ускорителях [13].

Подготовлены предложения по поиску осцилляций нейтрино $\nu_e \rightleftarrows \nu_x$ на ускорителе У-70 ИФВЭ (Протвино) и осцилляций $\nu_\mu \rightleftarrows \nu_\tau$ и $\nu_e \rightleftarrows \nu_\tau$ на SPS-450 ЦЕРН (Женева) [14].

На установке «Гиперон» подготовлен и осуществляется новый цикл исследования распадов $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\pi^0$; $\pi^+\pi^0\gamma$; $\pi^0\pi^0e^+\nu$; $\pi^0e^+\gamma$; $\pi^+\pi^0\pi^0$;

$\pi^+\gamma\gamma\gamma$. В 1991 г. набрана большая (10^7 триггеров) статистика. В этой серии опытов существенно уточняется вклад структурного излучения, роль радиационных поправок, проверяется правило $\Delta T = 1/2$. В ряде случаев будет получена рекордная статистика, что кардинально уточнит известные величины. Предусмотрен поиск новых схем распада. Возможен поиск чрезвычайно редких распадов с μ -мезонами при обеспечении установки μ -идентификатором.

По проекту МЧС, включая международное сотрудничество (ЦЕРН, ИНФН, ФНАЛ, ССК), выполнено предварительное моделирование инклюзивного рождения B -мезонов в pp -столкновениях при 3 ТэВ [15] и получены оценки технических параметров спектрометра МЧС.

Для совместного ФНАЛ — ЛЯП эксперимента E771 по физике B -мезонов в пучке протонов с энергией 800 ГэВ выполнено моделирование выходов и условий регистрации B -мезонов. Аналитически и экспериментально исследована электрическая прозрачность проволочных сеток для газоразрядных детекторов частиц. Установлены оптимальные условия достижения максимальной (100%) прозрачности [16].

В совместном с ЦЕРН эксперименте WA91 по поиску и исследованию «не $q\bar{q}$ -мезонов» в центральных pp -взаимодействиях при 450 ГэВ сотрудники ЛЯП принимали участие в изготовлении ап-

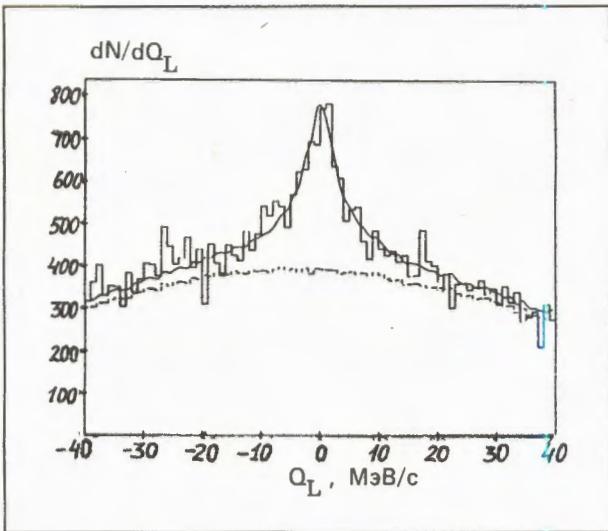


Рис. 2. Распределение пар $\pi^+ \pi^-$ по продольной составляющей Q_L относительного импульса Q . Гистограмма — экспериментальные данные, сплошная кривая — расчет с учетом кулоновского взаимодействия, пунктирная линия — распределение пар без учета кулоновского взаимодействия

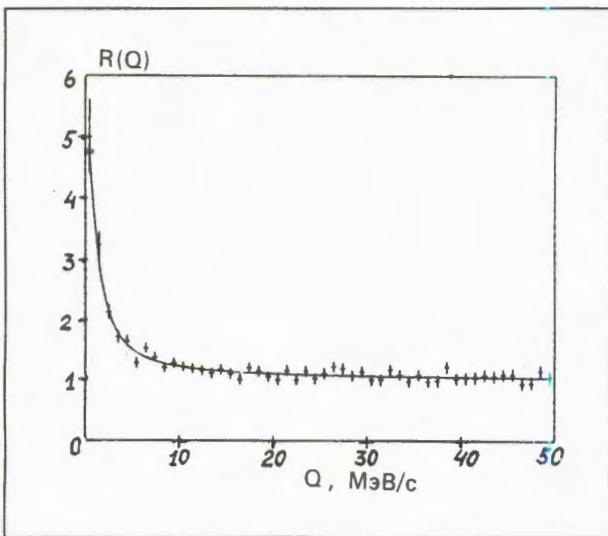


Рис. 3. Корреляционная функция $R(Q)$ образования пар $\pi^+ \pi^-$

паратуры в ЦЕРН, оснащении гамма-калориметра (ОЛЬГА) детекторами из ЛЯП, наборе статистики.

В 1991 г. в совместном ИФВЭ, ОИЯИ, ИФАН Грузии, ИНФН (Милан) эксперименте СИГМА-АЯКС завершена экспериментальная программа по исследованию редких процессов с образованием частиц с большими p_t и корреляций этих частиц во взаимодействиях адронов с ядрами [17—19]. Закончена обработка информации по

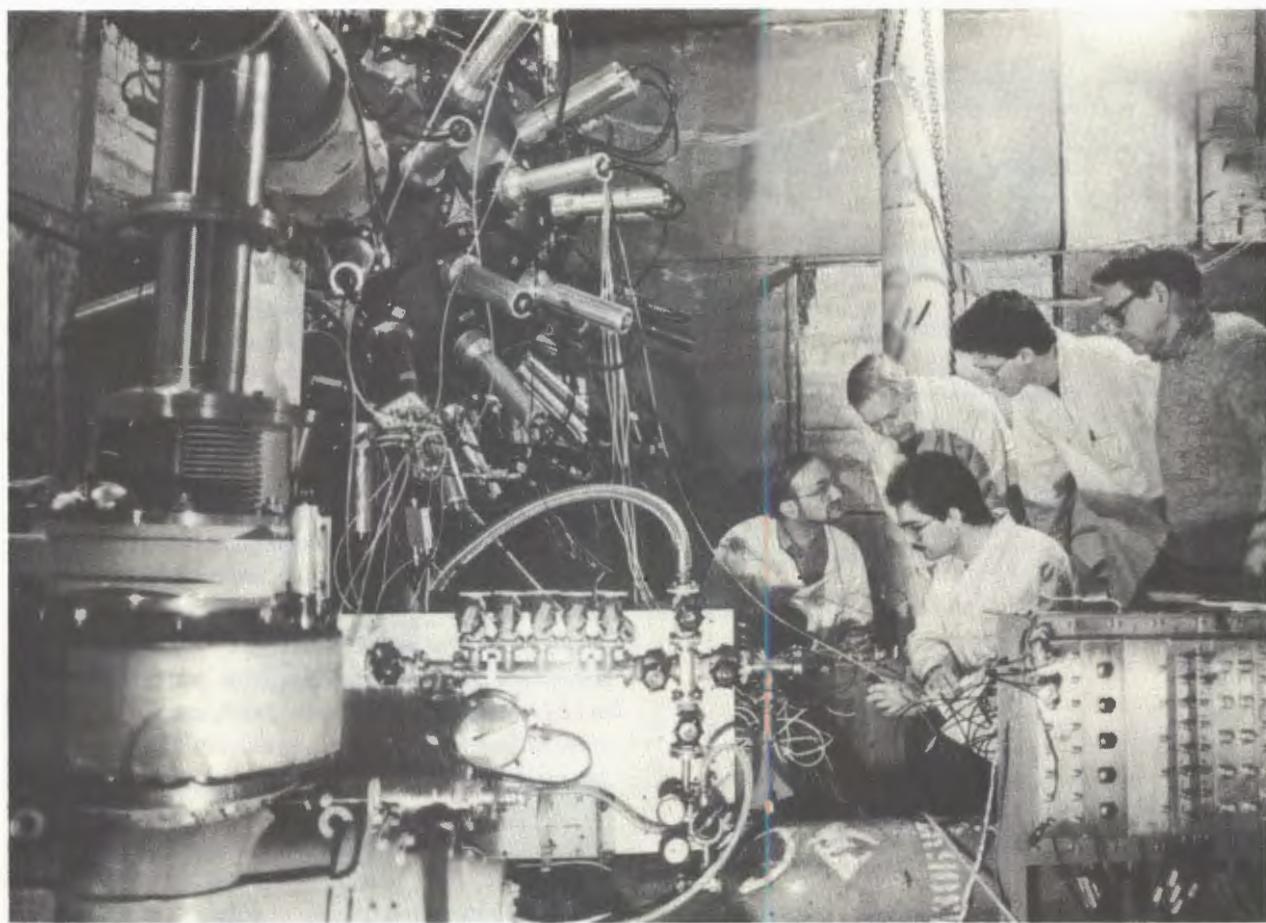
поиску дибарионных резонансов в области фрагментации мишени с испусканием симметричных пар частиц в π -Ве-взаимодействиях при импульсе 43 ГэВ/с [18]. Установлена верхняя граница на существование дибарионов в области масс $2,5+4,1$ ГэВ/с 2 в $\pi^\pm d$ -реакциях. Для π^- -Ве-взаимодействий она находится в диапазоне $0,4+24,2$ мкб в зависимости от моды распада, значения массы и ширины резонанса. Полученные данные по образованию дибарионных резонансов, изотропно распадающихся на два протона, позволяют оценить вклад этих процессов в полное неупругое сечение π^- -мезонов на ядре Be при импульсе 43 ГэВ/с: в диапазоне масс $2,5+4,1$ ГэВ/с 2 этот вклад не превышает $\sim(0,5+8,5) \cdot 10^{-5}$. Получены выходы заряженных π^- , K^- -мезонов, протонов и антiproтонов для $7 < p < 12,5$ ГэВ/с и $0,03 < p_t^2 < 0,3$ (ГэВ/с) 2 .

Изучены импульсные распределения протонов и антiproтонов и их отношения в указанных кинематических областях [19].

Завершено измерение филькового материала по эксперименту PSI (более 10 тыс. событий). Подготовлен материал и проводится анализ по изучению K_s^0 и Λ^0 сопровождения $\mu^+ \mu^-$ -пар и исследования механизмов рождения J/ψ частиц в π^- -C-взаимодействиях при 38 ГэВ/с [20].

В экспериментах по поиску и изучению связанных мезон-мезонных и глюон-глюонных состояний исследован эффект кулоновского взаимодействия между π^+ - и π^- -мезонами, рожденными в (p -Ta)-взаимодействиях при энергии протонов 70 ГэВ. Эффект кулоновского взаимодействия приводит к быстрому увеличению выхода $\pi^+ \pi^-$ -пар с уменьшением относительного импульса (в с.ц.и.) пары Q от 6 МэВ/с до нуля [21] (рис.2 и 3).

Получены первые результаты по поиску димезоатомов, образованных π^+ - и π^- -мезонами ($A_{2\pi}$). Атомы генерировались протонами с энергией 70 ГэВ, взаимодействовавшими с толстой ($d = 10$ мкм) и тонкой ($d = 1,4$ мкм) tantalовыми мишнями. Осуществлялся поиск пионаных пар, возникающих при развале атомов в толстой tantalовой мишени. Характерной чертой таких пар является малое значение относительного импульса Q в с.ц.и. пары ($Q \leq 2$ МэВ/с). Разрешающая способность установки по относительному импульсу равнялась $\delta Q \approx 1,6$ МэВ/с. На толстой мишени зарегистрировано избыточное число пионных пар с малыми относительными импульсами ($Q \leq 2$ МэВ/с): $N = 116 \pm 37$. Отсутствие избытка пар на тонкой мишени ($N = 16 \pm 36$) и расчеты ожидаемого числа атомов показывают, что наиболее вероятный механизм возникновения из-



Установка ФАЗА. На снимке: профессор Х.Ойшлер, доктора Ф.Липс и Р.Барт (ФРГ), профессор Э.Норбек (США) и профессор В.А.Карнаухов

быточных пар — генерация атомов в (*p-Ta*)-взаимодействиях с последующим развалом атомов в танталовой мишени.

На ускорителе ЛИЯФ (Гатчина) по программе «Дибарион» в процессе изучения поляризационных эффектов в адрон-адронных взаимодействиях проведены измерения анализирующей способности в реакции $\pi^+ d \rightarrow 2p$ при значениях энергии пионов 350, 400 и 450 МэВ. При энергиях 350 и 400 МэВ анализирующая способность не отличается от результатов, полученных при более низких энергиях на ускорителе PSI. Однако при переходе к энергии 450 МэВ наблюдается резкий рост анализирующей способности, практически до ее кинематического предела 2/3. Предполагается, что такой эффект может быть связан с образованием дибарионного резонанса в 1G_4 -состоянии *pp*-системы [22].

На ускорителе SATURNE-2 (Сакле) начато исследование упругого *pp*-рассеяния в интервале энергий 0,8+2,7 ГэВ для определения амплитуды *NN*-рассеяния и исследования особенностей энергетической зависимости поляризационных па-

метров в окрестности значения энергии 2,1 ГэВ, отвечающего дибарионному резонансу в *NN*-системе. Измерены поляризационные параметры A_{00n0} и A_{000n} , корреляция поляризаций A_{00nn} , параметры D_{0n0n} и K_{0nn0} при 0,88, 0,91 и 0,94 ГэВ [23]. Измерены поляризационные параметры в упругом *pp*-рассеянии при пяти значениях энергии (1960, 1980, 2000, 2020, 2040 МэВ) с целью поиска аномалий в энергетической зависимости этих параметров в области энергий 2,0+2,1 ГэВ, связанных с образованием дибарионного резонанса.

В коллаборации ФАЗА сотрудниками ЛЯП совместно с ИАЭ им. Курчатова, ИЯФ (Краков), ИЯФ ТУ (Дармштадт) и ЦИЯИ (Россendorf) создана 4 π -установка ФАЗА, предназначенная для исследования механизма множественной эмиссии фрагментов промежуточной массы спектатора мишени в ядро-ядерных соударениях при промежуточной и высокой энергии. Конечной целью работы является получение информации об уравнении состояния ядерного вещества при температурах вплоть до критической $T_c = 15-17$ МэВ и о

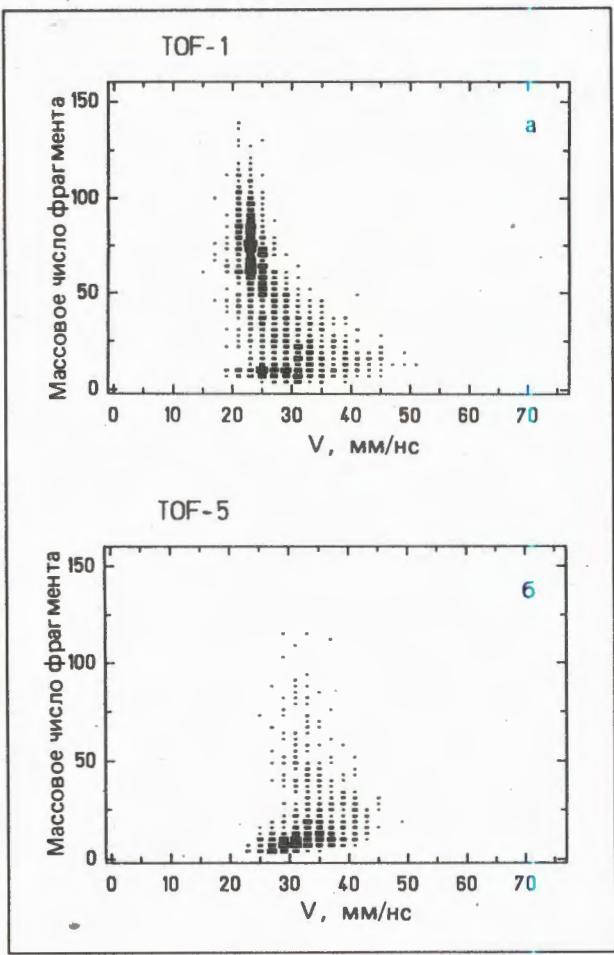


Рис. 4. Двумерная матрица для совпадений фрагментов во времяпролетном триггере (TOF) и позиционно-чувствительной камере установки ФАЗА. По оси ординат — массовое число триггерного фрагмента, по оси абсцисс — относительная скорость фрагментов. Для TOF-1 (а) четко разделяются два класса событий: деление ($A=50-100$) и фрагментация. Для TOF-5 (б) регистрация деления кинематически запрещена

возможных фазовых переходах типа «крэкинг» и «жидкость — газ». Установка состоит из детектора множественности фрагментов (64 сцинтилляционных счетчика с пленочными CsJ(Tl)), 5 времязадерживающих телескопов фрагментов и позиционно-чувствительной лавинной камеры. Первый рабочий сеанс с установкой ФАЗА на пучке синхрофазотрона ОИЯИ успешно проведен в сентябре 1991 г. При взаимодействии релятивистских ядер ^{4}He и Au зарегистрировано около 350 тыс. событий, каждое из которых описывается 135 параметрами. Получена информация об энергетических и массовых спектрах фрагментов, их множественности, о распределениях по относительным скоростям и угловых корреляциях. На рис.4 показан двухмерный плот. При использовании телескопа №1 (рис.4,а) четко выделяются два класса событий: деление (массовые числа 50—100) и фрагментация. При использовании телескопа №5 (рис.4,б) кинематические условия исключают регистрацию деления, большая часть событий отвечает фрагментации [24].

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

В течение 1991 г. на пучке «поверхностных» мюонов фазотрона ЛЯП объединенной группой ЛИЯФ — ОИЯИ разработана постановка эксперимента по поиску конверсии мюоний — антимюоний и проведена первая серия измерений вероятности этого процесса.

Экспериментальная установка (рис.5) состоит из тракта пучка «поверхностных» мюонов (1), мишленного устройства (2) с возможностью анализа μSR -сигнала мюония, магнитного спектрометра (3). Работа проводилась на пучке «поверхностных» мюонов фазотрона с импульсом 22 МэВ/с ($\Delta P/P \approx 6\%$, скважность пучка 75%). Падающий пучок мюонов замедлялся и останавливался в мелкодисперсном порошке SiO_2 с тормозной толщиной 10 мг/см², где образовывался мюоний, диффундирующий с тепловыми скоростями в вакуумную область (область $M-\bar{M}$ перехода: вид A—A). После прохождения вакуумного окна из Al толщиной 100 мкм позитроны или электро-

ны ($\mu-e$)-распада с энергией в интервале 30+52,8 МэВ наблюдались с помощью четырех пропорциональных камер. Широкоапертурный спектрометрический магнит с полем в центре магнита 2,23 кГс отклонял образовавшиеся от распада мюона электроны и позитроны в противоположные направления. Сцинтилляционный счетчик C_5 , расположенный за камерой ПК4, формировал временной сигнал регистрируемого события. Входящие мюоны регистрировались счетчиком C_1 с пластическим сцинтиллятором толщиной 60 мкм и останавливались в порошке SiO_2 . Для каждого события регистрировалась точка пространства вакуумной области вблизи мишени, куда продиффундировал мюоний до момента распада мюона, и интервал времени между моментом остановки мюона и моментом регистрации позитрона в спектрометре. Выход мюония в вакуум определялся из анализа временного распределения позитронов ($\mu-e$)-распада для различных частей вакуумной области.

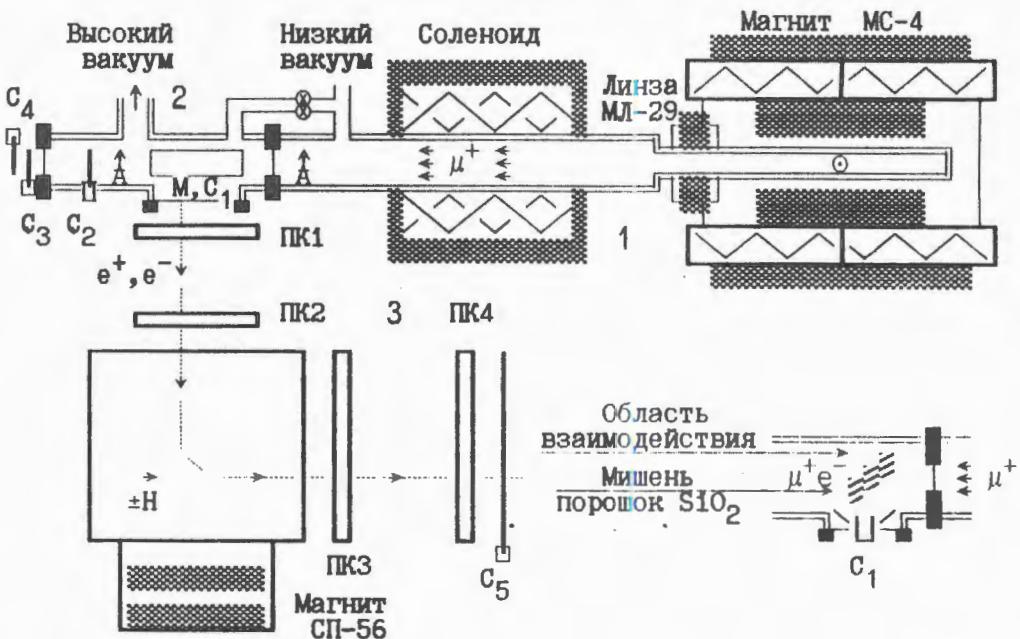


Рис. 5. Схема экспериментальной установки по поиску конверсии мюоний—антимюоний на фазotronе

В течение 1991 г. на пучке «поверхностных» мюонов фазотрона ЛЯП исследованы параметры пучка «поверхностных» мюонов, изучены фоновые условия в эксперименте, исследована вероятность выхода мюония из порошка SiO_2 в вакуум.

Предварительный анализ данных, полученных в первой серии измерений вероятности конверсии мюоний—антимюоний на фазotronе, для величины $W_{\bar{M}}$ дает значение $W_{\bar{M}} < 3,6 \cdot 10^{-6}$ ($G_{M\bar{M}} < 0,38 G_F$), что, как видно из приведенных выше данных, сравнимо с результатами, полученными ранее на мезонных фабриках.

В следующем году планируется провести вторую серию измерений вероятности конверсии $M-\bar{M}$. Для этого в настоящее время проводится модернизация тракта пучка «поверхностных» мюонов для увеличения интенсивности и плотности остановок мюонов в мишени.

В 1991 году в рамках проекта ИКС продолжались систематические исследования μ -атомных и μ -молекулярных процессов в чистом дейтерии. Целью работы было измерение температурной зависимости скорости образования мезомолекул $d\mu$ раздельно для каждого состояния СТС $d\mu$ -атома со спином $F = 3/2$ и $F = 1/2$ ($\lambda_{3/2}$ и $\lambda_{1/2}$). Всего было выполнено 8 основных экспозиций с

дейтерием в температурном диапазоне от 22 (жидкий дейтерий) до 205 К. Найденные в результате анализа значения величин $\lambda_{3/2}$ и $\lambda_{1/2}$ приведены на рис.6. Для зависимости $\lambda_{1/2}(T)$ имеет место хорошее согласие данных как с измерениями группы Вена-PSI [25], выполненными с дейтерием малой плотности ($\phi = 0,04$), так и с теоретическими расчетами [26]. В случае $\lambda_{3/2}(T)$ наблюдается некоторое расхождение полученных результатов как с расчетами на основе «традиционной» модели Весмана, так и с данными Вена-PSI. Полученные данные заметно ниже оптимальной зависимости $\lambda_{3/2}(T)$, установленной группой Вена-PSI. Оба набора экспериментальных данных при высокой ($\phi = 1$) и низкой ($\phi < 0,1$) плотности дейтерия удается согласовать между собой в рамках теории, учитывающей зависимость $\lambda_{3/2}$ от плотности за счет ударного уширения резонанса. Это позволяет сделать заключение о возможном существовании эффекта плотности в образовании мюонных молекул $d\mu$ из верхнего спинового состояния $d\mu$ -атома.

Полученные в результате анализа данных значения скорости переходов λ_d между состояниями СТС $d\mu$ -атомов $F = 3/2 \rightarrow F = 1/2$ приведены на рис.6. Результаты по λ_d хорошо согласуются с экспериментальными результатами, полученными другими группами при малой плотности,

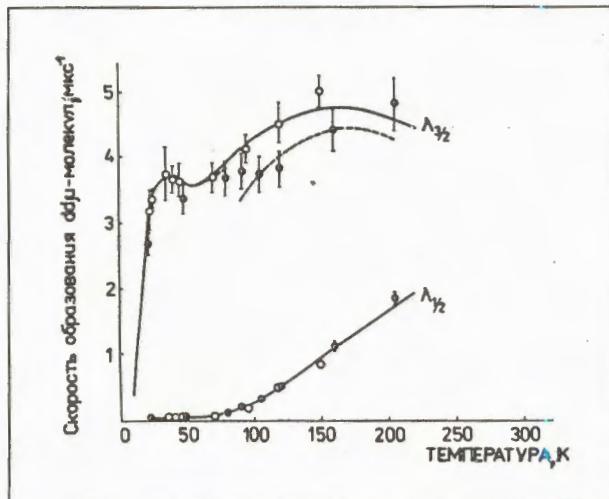


Рис. 6. Измеренные зависимости $\lambda_{3/2}(T)$ и $\lambda_{1/2}(T)$ (●). Сплошные кривые — расчеты на основе модели Вессмана, штриховые — вычисления с учетом уширения резонанса

и плохо согласуются с расчетами. Необходимо отметить, что особенности постановки данного эксперимента и характер зависимости $\lambda_{d\mu} = \lambda_{3/2} + \lambda_{1/2}$ от энергии $d\mu$ -атомов обуславливают уникальную возможность оценки скорости их термализации, исходя из времени задержки начала нейтронного временного спектра t_{no} относительно момента остановки мюона t_{mo} . Значение t_{mo} определялось из спектра «мгновенных» мезорентгеновских γ -квантов от атомного захвата мюонов в стенках мишени. Сравнение полученной разности ($t_{no} - t_{mo}$) с расчетным временем пролета нейтронов от мишени до детектора приводит к заключению, что время термализации $d\mu$ -атомов в дейтерии в наших условиях ($\phi = 1$) не превышает 2 нс. Это согласуется с расчетами сечения $d\mu + d$ [27].

В совместном ОИЯИ—ИНФН (Италия) эксперименте ОБЕЛИКС по исследованию взаимодействий антiproтонов с нуклонами и ядрами на LEAR (ЦЕРН) получены новые результаты по исследованию реакций Понтекорво — редких реакций аннигиляции, запрещенных на свободном нуклоне, но разрешенных при аннигиляции на нуклоне, связанном в ядре. Примером таких процессов могут служить реакции, где в конечном состоянии образуется только один мезон: $\bar{p} + d \rightarrow M + N$.

Впервые на существование таких процессов было указано Б.М.Понтекорво в 1956 г. В настоящее время интерес к изучению реакций Понтекорво обусловлен их высокой чувствительностью к поведению волновой функции ядра и виду

MNN -формфакторов при больших переданных импульсах.

В эксперименте ОБЕЛИКС получена рекордно большая статистика по реакции $\bar{p} + d \rightarrow \pi^- + p$ и определена ее вероятность для аннигиляции остановившихся антiproтонов: $W = (9,6 \pm 1,7) \cdot 10^{-6}$. Получены указания на наблюдение реакции $\bar{p} + d \rightarrow \rho^- + p$, которая тоже принадлежит к классу реакций Понтекорво. Последовательное изучение таких процессов представляется весьма интересным для получения новых сведений о поведении волновой функции ядра на малых расстояниях [28]. Примечательно то, что вся статистика по реакциям Понтекорво была обработана в Дубне с помощью кластера компьютеров VAX ЛВТА—ЛЯП.

В 1991 г., по предложению дубненской группы ОБЕЛИКС, был проведен сеанс по изучению рождения Ф-мезонов в аннигиляции на дейтерии для проверки данных о значительном нарушении правила Окубо — Цвейга — Изуки в этом процессе. Был разработан специальный триггер, позволяющий эффективно выделять реакции с образованием Ф-мезона. В результате сеанса, проведенного в ноябре, набрано 1,2 млн. событий аннигиляции, которые решением коллаборации отданы для обработки в ОИЯИ. Обработка даже небольшой части имеющихся данных позволила получить статистику Ф-мезонов, превышающую мировую.

В исследованиях по теме «Нейтрино-2» получены первые результаты экспериментов по измерению угловых корреляций в β -распаде, поиску безнейтринного 2β -распада и «тяжелых» нейтрино. Впервые проведены исследования ЭВК и ожеэлектронов ^{83}Kr , используемого для калибровки в экспериментах по измерению массы антинейтрино из β -спектра газообразного трития. Разработана методика получения тонких источников методом испарения — конденсации в вакууме. Модернизирована фокусирующая система ESA-50. Увеличена эффективность спектрометра в два раза. Разработана новая методика исследования спин-нейтринной корреляции. Измерен тесно связанный со спиральностью электронного нейтрино коэффициент спин-нейтринной корреляции B в распаде ^{56}Co ($B = -0,83 \pm 0,12$). Определен магнитный момент ядра ^{56}Co . Исследована β -нейтринная корреляция в распаде ^{24}Na . Получено ограничение на примесь фермиевского матричного элемента $|M_F|^2 / |M_{GT}|^2 \leq 0,25$ для этого β -распада.

Разработана оригинальная модель торможения ионов отдачи в кристаллической решетке. Разработана новая методика исследования спин-нейтринной корреляции в μ^- -захвате ^{28}Si .



Обработка первых экспериментальных результатов, полученных на установке ОБЕЛИКС в ЦЕРНе

Завершено создание спектрометра для поиска 2β -распада. Проведено исследование фоновых и спектрометрических характеристик телескопа из 16 HPGe-детекторов. Отобран материал для активной защиты. Измерения будут проводиться в Модане (Франция).

Разработана технология изготовления коаксиальных детекторов. Изготовлен полупроводниковый спектрометр мечения для эксперимента WASA (Celsius).

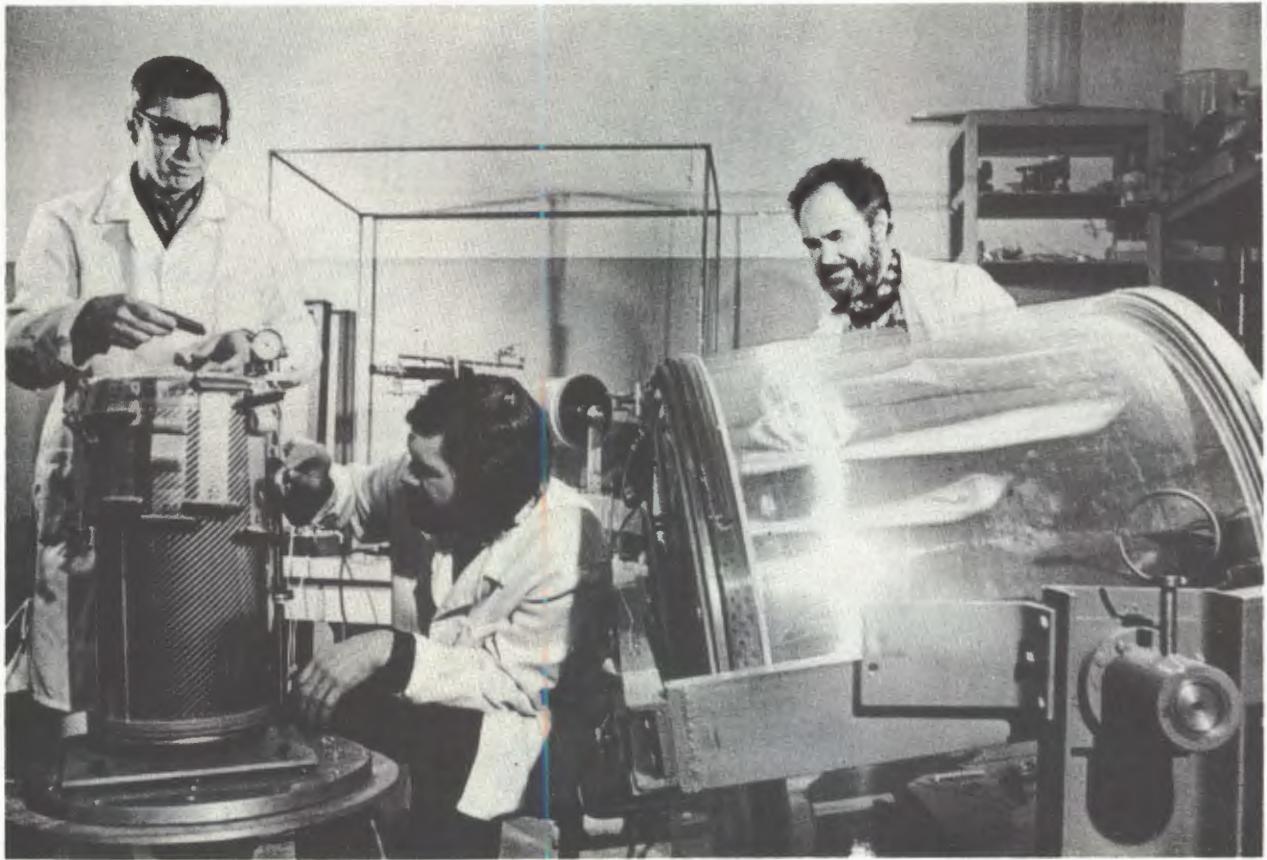
В 1991 г. продолжались исследования по теме «Мезон» процессов рождения пиона в протон-ядерных соударениях и поглощения пиона низких энергий ядрами. Результаты обработки измерений на ядрах меди и галлия подтверждают ранее обнаруженную резонансную особенность в энергетической зависимости дифференциальных сечений при энергии падающих протонов 350 МэВ. Это явление продолжает привлекать внимание и инициирует постановку новых опытов. В эксперименте с участием сотрудников ЛЯП в Лос-Аламосской национальной лаборатории в США проводится поиск узких структур при высоких энергетических возбуждениях ядра. В середине 1992 г. будет проведен основной 450-часовой сеанс измерений на установке BGO-ball.

Для изучения поглощения π^+ -мезонов проведен 300-часовой сеанс измерений процесса $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ при энергиях 25—40 МэВ на ускорителе в Гатчине. Предварительные данные на рис.7 свидетельствуют о наличии узкой аномалии в энергетической зависимости полного сечения процесса при энергии пионов 30 МэВ. Наблюденная аномалия не предсказывается существующими теоретическими моделями и поэтому вызывает большой интерес.

Совместно с МИФИ было проведено исследование реакции $p + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^8\text{He} + X$ при энергии протонов 1 ГэВ. Первые результаты этой работы указывают на проявление выбивания из ядра виртуальной изобары Δ^{++} [29].

В 1991 г. было подготовлено предложение по проведению совместного ЛЯП — ЛЯР эксперимента по рождению заряженных пионов в ядро-ядерных соударениях при околовороговых энергиях на ускорителе У-400М.

На установке АРЕС закончена обработка данных и найдено 8 событий редкого радиационного распада пиона $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu e^-$. Показано, что наблюденные события обусловлены в основном наличием структуры пиона. Определено



Установка АРЕС. Подготовка аппаратуры к проведению измерений процессов рождения в протон-ядерных соударениях

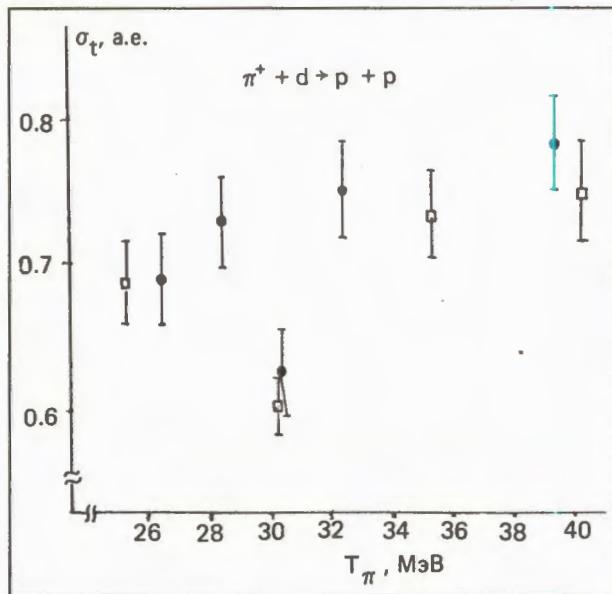


Рис. 7. Энергетическая зависимость полного сечения $\pi^+ d \rightarrow pp$: ○ — полученные результаты, □ — данные из работы B.Ritchie et al. Phys.Rev., 1981, C24, p.552

значение парциальной вероятности распада, обусловленное наличием структуры, $R = (4,6 \pm 1,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-10}$ [30]. На основе инфор-

мации, полученной в эксперименте по поиску распада $\mu \rightarrow 3e$, сделана оценка верхней границы относительной вероятности распада $\pi^+ \rightarrow \mu^- + 2e^+ + \nu$. Найденное значение $R < < 1,6 \cdot 10^{-6}$ в 5 раз улучшает сделанную ранее оценку [31]. Ведется моделирование процессов, которые предполагается изучать в ближайшее время ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ ve^+ e^-$, $\pi^+ \rightarrow \mu^- ve^+ e^+$, β -распад пиона) совместно с физиками Италии, Швейцарии, США, Польши, Грузии, Беларуси.

На ускорителе SATURNE (Сакле, Франция) с участием сотрудников ЛЯП на статистике 10^8 η -мезонов, образованных в реакции $p + d \rightarrow \rightarrow ^3\text{He} + \eta$, измерена относительная вероятность реакции $\eta \rightarrow 2\mu$. Она равна $(4,6 \pm 0,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$. Получена новая предварительная оценка вероятности распада $W(\eta \rightarrow 2\pi) < 10^{-4}$.

На комплексе ЯСНАПП исследован α -распад нескольких нуклидов, включая короткоживущие изомеры ^{156}Lu с $T_{1/2} = (179 \pm 13)$ и (730 ± 150) мс [32]. Обнаружен новый изомер ^{157}Lu ($T_{1/2} = (9,6 \pm 0,8)$ с) [33]. Наблюдалось опускание состояния $h_{11/2}$ в ядре ^{157}Lu , и этот факт связывается с увеличением энергии спаривания при

заполнении протонной оболочки $h_{11/2}$ по мере удаления от полосы β -стабильности. Наблюдалась в $(\alpha-\gamma)$ -совпадениях тонкая структура α -спектра ^{154}Tm ; поиск тонкой структуры проведен для α -распада ^{155}Tm . При распаде ^{147}Dy измерен спектр запаздывающих протонов. При помощи установок ЭЛГА, УМКС и МУК измерены спектры γ -лучей и $\gamma\gamma-t$ -совпадений при распаде $^{157,159}\text{Yb}$ и предложены их схемы распада [34].

Проведены эксперименты по поиску α -распада изотопов с $N = 88$, получено указание на

бледение малоинтенсивного распада ^{156}Er ($J_\alpha \cong 10^{-6} \%$ на распад) [35]. В off-line режиме на установке МУК изучались угловые корреляции γ -переходов при распаде ^{151}Tb и ^{165}Tm .

Выполнены исследования по радиохимии рутения и астата. Измерены функции возбуждения реакции протонов с образованием ^{97}Ru , $^{99m,96,95}\text{Tc}$ с энергией 100 МэВ и ниже с металлическим ^{99}Tc . Показано, что на фазotronе ЛЯП можно получать скорость образования ^{97}Ru до 6 мКи/мкА·ч [36].

СОЗДАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРУПНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В работах по созданию магнитных систем УНК исследовалось влияние систематических и случайных нелинейностей второго и третьего порядка поля диполей на динамические характеристики I ступени УНК. Проведенные расчеты подтверждают возможность компенсации существующей системой сектупольной коррекции полной хроматичности ускорителя. Разброс частот, вызванный квадратичной нелинейностью и системой коррекции хроматичности, согласно произведенным оценкам, не превысит 0,009, что меньше установленного допуска. Сдвиг частот для частиц с равновесным импульсом, вызванный кубической нелинейностью поля диполей, компенсируется с точностью до 0,004, что не превышает допуска. Для частиц с неравновесным импульсом остается нескомпенсированный разброс частот, не превышающий, однако, 0,009, что также в пределах установленного для кубической нелинейности допуска. Расчеты показывают, что динамическая и линейная апертуры ускорителя удовлетворительны, однако следует заметить, что в исследованиях не учитывалось искажение равновесной орбиты. Это может снизить значение линейной и динамической апертуры на максималь-

ную величину нескорректированного отклонения орбиты 4 мм. Кроме того, не учитывалось влияние нелинейностей более высоких порядков [37].

Изготовлен и передан ИФВЭ по договору автоматический широкодиапазонный ядерный магнитометр с верхним пределом измеряемого поля 6 Тл. Разработана принципиальная схема двухкомпонентного холловского магнитометра в соответствии с заданием ИФВЭ (погрешность не более 10^{-3} и т.д.). Разработана принципиальная схема широкодиапазонного ядерного магнитометра с быстрым поиском сигнала ЯМР. Проводится исследование схемы и оптимизация ее характеристик. Ожидаемые параметры: диапазон измеряемых полей 0,1+6 Тл, максимальное время поиска резонанса ~5 с. Разработаны принципиальные схемы электронной части устройства для измерения положения плоскости магнитометрического модуля относительно горизонта в соответствии с требованиями технического задания ИФВЭ и эталонного измерителя постоянного тока. В соответствии с техзаданием ИФВЭ диапазон измеряемых токов 0,3+6 кА, погрешность — $5 \cdot 10^{-5}$. Изготовлены основные узлы макета эталонного измерителя тока и осуществлена его сборка [38].

СОЗДАНИЕ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Для установки «Гиперон» создан стенд для тестирования и ремонта контроллеров типа 2700 системы считывания данных с пропорциональных камер Le Croy (PICOS 2), изготовлены 8 плат для блоков электроники «выделение 2 заряженных частиц» на 4 плоскостях метровых пропорциональных камер, 2 контроллера обработки прерываний для системы сбора данных и ряд служебных

блоков: разветвители сигналов, преобразователи уровней для системы сбора данных.

По проекту МЧС изготовлены узлы главного электромагнита. Разработана и освоена технология производства спагетти-калориметра нового поколения на основе склейки профилированных свинцовых пластин и сцинтилляционных волокон. Создан блок 10x10x35 см спагетти-калориметра



По проекту ФРЕД в ЛЯП создаются быстродействующие пропорциональные камеры. На снимке: момент сборки узкозазорной ПК

метра (свинец + 6000 сцинтилляционных волокон). Разрешение высокое: $\sigma/E = 9,3 \cdot E^{-0,5} + 1,25\%$). Завершены исследования затухания света в более чем 60 образцах сцинтилляционных волокон и отобраны лучшие для изготовления крупных модулей. На основании этого создан прототип спагетти-калориметра, который испытан в ИФВЭ и проходит испытания в ЦЕРН.

Ведется разработка альтернативных типов калориметров. Создана и исследована [39] на пучке модель газового ионизационного калориметра ($Pb-Xe$). При энергии 26 ГэВ/с разрешение по энергии электронов 3,15%. Достигнуто пространственное разрешение координаты оси ливня 0,8 мм. Полученные результаты будут использованы для калориметрии в пучках частиц ТэВ-диапазона в условиях особо высокого радиационного фона. Разработаны эскизные технические проекты конструкций электромагнитного и адронного калориметров МЧС.

В ИНФН (Пиза) сотрудниками ЛЯП разработана методика измерения ультрамалых количеств света от пластины — сэндвича «абсорбер-сцинтиллятор» калориметра (0,1 фотоэлектрона). Это открыло возможность, используя данные только с

одной пластины, избежать создания полномасштабных калориметров для оценки его параметров. Методика внедрена для исследования 6-метровых μ -счетчиков CDF (на коллайдере ФНАЛ). Детально изучено затухание света в длинных сцинтилляционных счетчиках из полистирола и PMMA и измерены световые выходы от частиц с минимальной ионизацией [40]. Изготовлены блоки 0,35x0,8 мм уникальных тонкостенных (100 мкм) дрейфовых трубок диаметром 10 мм из Al-лавсана для координатных детекторов (straw tubes). Ожидаемое разрешение — лучше 50 мкм. В результате испытаний на пучке прототипов straw tubes (10x15 см) было достигнуто разрешение лучше 100 мкм, обнаружено, что трубы держат 7 атм, дрейфовая характеристика линейна, имеется фотoeffект на поверхности Al-фотокатода в видимой области спектра и показано, что затемнение камер расширяет плато счетной характеристики до 1,5 кВ. Предполагается создать плоские и цилиндрические «ковры» из трубок длиной 4—6 м. Предложена и исследована возможность использования РИЧ-детекторов в триггере. Завершено исследование нового типа ФЭУ-2МКП-100. Получена добротность $N = 15$, выработаны рекомен-

дации по программе продолжения разработок РИЧ-детекторов для опытов в пучках ТэВ-диапазона [41]. Завершено исследование параметров время-проекционной камеры с помощью лазера [42].

В совместном с физиками Швейцарии, ФРГ, США, Польши и Грузии эксперименте по поиску конверсии мюоний-антимюоний (на уровне относительной вероятности $R < 10^{-11}$) изготовлен и поставлен в PSI полный комплект электроники пропорциональных камер на 3000 каналов, включая блоки управления и вывода, для установки SINDRUM; испытана большая цилиндрическая пропорциональная камера (диаметр 640 мм, длина 800 мм, число проволочек 1024, число стрипов 636); наложен, испытан и смонтирован на рабочем месте весь комплекс поставленной аппаратуры; проведен первый наладочный сеанс на пучке мюонов мезонной фабрики PSI.

По проекту ФРЕД для охранной системы установки ИСТРА-М изготовлено 64 черенковских спектрометра полного поглощения размерами 200x200x400 мм. Спектрометры укомплектованы электроникой. Начат монтаж детекторов на канале 4А ускорителя У-70. Завершена разработка основных компонент математического обеспечения

установки ИСТРА-М. Дополнительно к плану изготовлено 16 пропорциональных камер размерами 500x500 мм и 700x700 мм. Для эксперимента на ускорителе SATURNE (Сакле) собраны 12 быстродействующих пропорциональных камер. Для камер изготовлено 256 каналов специализированной камерной электроники. Камеры и камерная электроника прошли успешные стендовые испытания в Сакле и PSI.

Проведена работа по улучшению коэффициента проводки ионов в масс-сепараторе ЯСНАПП-2 и ионных трактах. Усовершенствована диагностика пучков. Совместно с УМКС (Люблин) создан плазменный источник нового типа и на нем проведены методические исследования. Его использование совместно с мишенью из карбида урана открывает новые возможности в получении и исследовании ряда короткоживущих нуклидов [43].

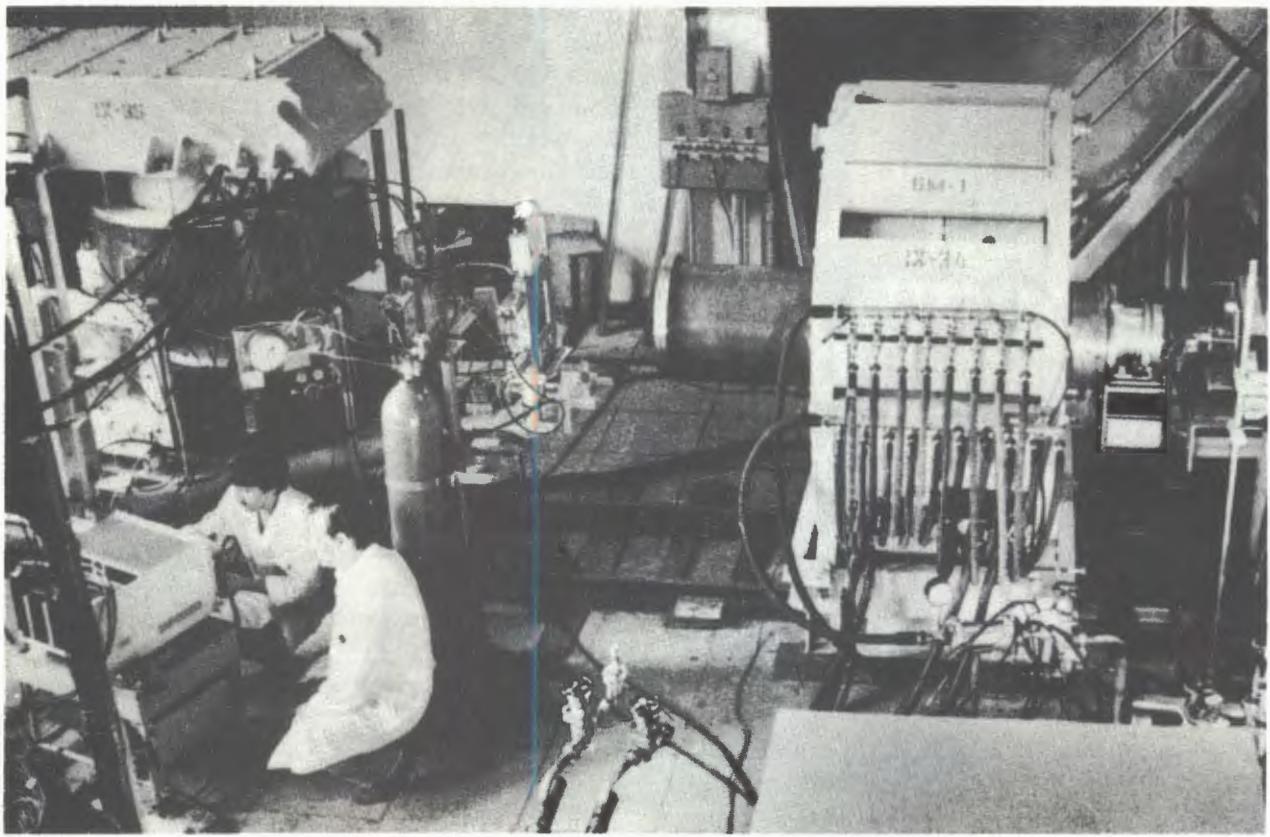
Собран лазерный спектрометр с одним из 8 каналов регистрации фотонов. Совместно с ИСАН создан и отлажен электронный блок перестройки длины волн. Проведены методические работы по настройке лазеров и проводке лазерного излучения в спектрометре. По оптическим спектрам $^{151,153}\text{Eu}$ измерены характеристики лазера ЛЖИ-504 [44].

РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА ФАЗОТРОНА. РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ЦИКЛОТРОННОГО ТИПА

На фазotronе ОИЯИ введена в эксплуатацию автоматизированная система контроля и установки токов магнитных элементов трактов пучков [45]. Запущен опытный образец диодного выпрямителя на 12,5 кА/12 В для питания основной обмотки железно-токового канала [46]. Отлажена и введена в эксплуатацию в режиме on-line система измерения профиля пучка в районе выводного окна фазотрона. Проведен эксперимент по изучению влияния вакуума на начальном участке транспортировки выведенного протонного пучка. Дополнительный вакуумопровод от ускорителя до 4-метровой стены (длиной ~8,5 м) увеличивает коэффициент прохождения пучка с 92 до 98% по каналу IX и с 84 до 94% по XII каналу, что уменьшает потери в главном зале в 2-3 раза. Разработаны и проверены экспериментально два новых способа определения равновесной фазы в фазотроне [47]. Проведены первые исследования и начато использование метода фазового смещения для растяжки пучка. Получен стабильный растянутый пучок интенсивностью 2 мкА, заметно уменьшена неоднородность выведенного растянутого

пучка [48]. Реализована и введена в эксплуатацию схема «укороченной» (до 60% от времени цикла) растяжки пучка специально для эксперимента МАКС.

Улучшены характеристики пучков фазотрона. С помощью дополнительной магнитной системы расширены возможности получения сепарированных мезонных пучков. Для эксперимента МАКС получен сепарированный пучок «поверхностных» мюонов с импульсом 29 МэВ/с, интенсивностью 10^5 /с и отношением $e^+/\mu^+ \sim 1$; удвоена интенсивность пучка мюонов с импульсом 125 МэВ/с и улучшена геометрия пучка на мишени для исследования реакций мю-катализа; на установку «Мю-спин» осуществлена транспортировка пучков положительных мюонов с импульсом 125 МэВ/с и интенсивностью $1,5 \cdot 10^5$ с⁻¹ на 1 мкА протонного пучка; в низкофоновой лаборатории с помощью тракта II получены электронные и позитронные пучки в диапазоне импульсов 30—350 МэВ/с с интенсивностью (10^5 — 10^6) с⁻¹ на 1 мкА пучка протонов.



Магнитная система для получения сепарированного пучка «поверхностных» мезонов и установка МАКС для поиска перехода мюоний—антимюоний

В области разработки и моделирования ускорителей циклотронного типа проведены исследования по уточнению параметров магнитной системы, системы защиты СП-обмотки и криогенного обеспечения магнита ДЦ-1 [49]. Создан стенд и проведены испытания системы измерения и регистрации параметров двухфазного гелия (система КРИОПОТОК). Проведен монтаж и вакуумные испытания горизонтальных линий азотных

коммуникаций. Изготовлено оборудование для технологического участка по намотке и пропитке секций сверхпроводящих обмоток. Закончена разработка азотного экрана сверхпроводящего секторного магнита [50]. Чертежи направлены в ОП ОИЯИ. Исследованы характеристики дельта-электрода, изготовлен и наложен высокочастотный генератор. Закончены рабочие чертежи для магнита ускорителя У-120К (Куба).

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коллаборацией ОИЯИ — ИАЭ (Москва) — PSI (Виллинген, Швейцария) — ФИ ЧСАН (Прага, ЧСФР) — КФА (Юлих, Германия) на фазотроне ЛЯП μ SR-методом проведено измерение глубин проникновения магнитного поля $\lambda_{ab}(0)$ и их температурных зависимостей $\lambda_{ab}(T)$ для серии высокотемпературных сверхпроводников на основе Bi с различной концентрацией носителей заряда [51]: $(Bi_{2-x}Pb_x)Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ ($x = 0,00; 0,15; 0,30; 0,67$), $Bi_2Sr_2(Ca_{1-z}Y_z)Cu_2O_{8+\delta}$ ($z = 0,00; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,45$). Изменение концент-

рации носителей заряда в образцах достигалось путем замещения двухвалентного кальция (Ca^{2+}) трехвалентным иттрием (Y^{3+}) или трехвалентного висмута (Bi^{3+}) двухвалентным свинцом (Pb^{2+}).

Лэндоновская глубина проникновения $\lambda(0)$ является одним из наиболее важных параметров, характеризующих сверхпроводник, так как она определяется эффективной массой m^* и концентрацией n_s носителей заряда, принимающих участие в образовании куперовских пар ($\lambda^2 \sim m^*/n_s$).

Температурная зависимость $\lambda(T)$ позволяет сделать выбор между теоретическими моделями, учитывающими различные механизмы образования куперовских пар. Имеются и другие возможности проверки теоретических моделей. Так, в работе [52] в результате анализа экспериментальных данных для ряда высокотемпературных сверхпроводников было предложено следующее соотношение между $\lambda_{ab}(0)$ и температурой сверхпроводящего перехода: $T_c \sim 1/\lambda_{ab}^2(0) \sim n_s/m^*$. Такое соотношение может ожидаться в теоретических моделях, отличных от теории БКШ в приближении слабой связи.

Анализ экспериментальных данных, полученных μSR -методом для указанных выше соединений на основе Bi, показал, что температурные зависимости $\lambda_{ab}(T)$ во всех исследованных образцах наилучшим образом описываются в рамках обычной теории БКШ в приближении слабой связи. Результаты сопоставления $\lambda_{ab}(0)$ и T_c показывают значительное отклонение от соотношения $T_c \sim 1/\lambda_{ab}^2(0)$. Было также найдено, что плотность n_s сверхпроводящих носителей заряда не пропорциональна, вопреки ожиданиям, эффективной валентности атомов меди для образцов с большим содержанием свинца. Такое поведение

может быть объяснено тем, что носители заряда становятся более локализованными с увеличением концентрации свинца и не могут принять участия в формировании куперовских пар.

По проекту МУТАНТ изучено влияние N -оксида ТАН на индукцию SOS-системы прокариот при γ -облучении и действии ионов гелия [53]. Изучено образование спонтанных мутаций у дрожжей и индуцированных тяжелыми ионами мутаций у клеток млекопитающих [54]. В сотрудничестве с отделом биофизики GSI (Дармштадт, ФРГ) изучены закономерности образования структурных мутаций у клеток млекопитающих при действии ионов аргона, ксенона и криптона [55]. Спроектирована и изготовлена установка для исследования выхода двунитевых разрывов ДНК методом пульс-электрофореза при γ -облучении. Приготовлены γ -облученные образцы для анализа.

Завершен курс облучения двух онкологических больных. Общее число онкологических больных, прошедших курс лучевой терапии на медицинских протонных пучках реконструированного фазотрона, составило 15 человек. Подготовлена методика лучевого лечения больных раком пищевода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Proceeding of the Workshop on JINR c-tau Factory. JINR, E1, 9, 13-92-98, Dubna, 1992.
2. Alexandrov V.S. et al. — Preprint JINR E9-91-178, Dubna, 1991.
3. Dshemuchadze S.V. et al. — IKP, Julich, September, 1991.
4. Borgs W. et al. — Letter of Intent «Subthreshold Production of K^- -mesons». IKP, Julich, September, 1991.
5. Borgs W. et al. — In: Proc. of the Topical Conference «Particle Production near Threshold». USA, Nashville, October, 1990; Abaev V. et al. — In: Proc. of the Workshop «Meson Production, Interaction, Decay». Krakow, 1991.
6. DELPHI col. — Preprint CERN-PPE/91-95.
7. DELPHI col. — Preprint CERN PPE/91-193; Phys. Lett., 1991, 268B, p.296.
8. DELPHI col. — Preprint CERN-PPE/91-78.
9. DELPHI col. — DELPHI note 91-54 PHYS 109. DELPHI note 91-52 PHYS 107.
10. DELPHI col. — DELPHI note 91-49 PHYS 104.
11. Col. Berlin — Budapest — Dubna — Serpuchov. — Sub. to Phys. Lett.
12. Col. Berlin — Budapest — Dubna — Serpuchov. — Zeitschrift fur Physik, 1991, v.51, p.341.
13. Бүнятов С.А. и др. — Направлено в ЭЧАЯ, 1992, т.23, вып.3; Binyatov S.A. et al. — Nuovo Cim., 1991, A6. Binyatov S.A. — Preprint JINR E1-91-404, Dubna, 1991.
14. Col. CERN — USA — France — JINR. — Preprint CERN-SPSLC/91-21, 1991.
15. Будагов Ю.А. и др. — Препринт ОИЯИ Р1-91-65, Дубна, 1991.
16. Хазинс Д.М., Курицын А.А. — Краткие сообщения ОИЯИ №2[48]-91, Дубна, 1991.
17. Атапов Ю.М. и др. — ЯФ, 1991, т.53, в.2, с.439.
18. Атапов Ю.М. и др. — ЯФ, 1991, т.53, в.5, с.1324.
19. Атапов Ю.М. и др. — ПТЭ, 1991, 1, с.45.
20. Башников А.В. et al. — Zeitschrift fur Physik, 1991, C49, p.245—249.
21. Асанасьев Л.Г. et al. — Phys. Lett., 1991, v.255B, p.146.

- Komarov V.I. et al. — In: Workshop on Correlations and Multiparticle Production, Marburg, FRG, May 14—16 1990, p.76, World Scientific Pub. Comp., 1991.*
22. Бажанов Н.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1991, т.54, вып.10, с.549.
23. Balea J. et al. — SATURNE Report 3.3 CESa Saclay, 1991, 1.
24. Аедеев С.П. и др. — ОИЯИ, Р13-92-57, Р13-92-62, Е13-92-60, Дубна, 1992. Направлено в ПТЭ.
25. Naegel N. et al. — Nucl. Phys., 1989, A439, p.397.
26. Меньшиков Л.И. и др. — ЖЭТФ, 1987, т.92, с.1173.
27. Dzhelepov V.P. et al. — Preprint JINR, E15-91-181, Dubna, 1991; Письма в ЖЭТФ, 1991, т.53, вып.12, с.586. ЖЭТФ (в печати).
Зинов В.Г. и др. — Препринт ОИЯИ, Р13-91-182, Дубна, 1991. ПТЭ (в печати).
28. Adamo A. et al. — OBELIX Collaboration, Proc. of 4th Conf. on the Intersections between Particle and Nuclear Physics, Tucson, 1991.
29. Амелин А.И. и др. — Препринт ПИЯФ 1748, 1991.
30. Баранов В.А. и др. — ЯФ, 1991, т.53, вып.5, с.1302.
31. Баранов В.А. и др. — ЯФ, 1991, т.54, вып.5(11), с.1298.
32. Бонч-Осмоловская Н.А. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1991, т.55, №5.
33. Lewandowski M. et al. — Z.Phys. (in press).
34. Tlusty P. et al. — Z.Phys. A (in press).
35. Калинников В.Г. и др. — Тезисы доклада. Нагр. на 41 Сов. по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Алма-Ата, 1992.
36. Zaitseva N.G. et al. — Report at Int. Conf. «Nuclear Data for Science and Technology», 13—17 May, 1991, Julich, FRG. Book of Abstracts p.258; Radiochimica Acta (in press).
37. Казакова Г.Г., Ивашкевич С.А. — Сообщение ОИЯИ Р13-91-283, Дубна, 1991.
38. Калиниченко В.В. — Измеритель постоянного тока. Заявка 4754254/21 от 27.10.89. Положительное решение от 28.06.91.
39. Khazins D.M. et al. — NIM, 1991, A300, p.281—285.
40. Будагов Ю.А. и др. — ОИЯИ Р10-91-311, Дубна, 1991;
Budagov Yu.A. et al. — NIM (in press).
41. Butenko V.B. et al. — JINR, E1-91-412, Dubna, 1991.
42. Budagov Yu.A. et al. — Sub. to NIM.
43. Gromov K.Ya. et al. — In: The 12th Intern. Conf. on Electromagnetic Isotope Separators, 2—6 Sept., 1991, Japan. Abstract, p.6.
Latuszynski A. et al. — Ibid, p.50. Sub. to Nucl. Instr. and Meth.
44. Блащак З. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р13-91-337, Дубна, 1991.
Шуманн Д., Новгородов А.Ф., Халкин В.А. — В сб.: Труды 2-й Международной конференции по исследованию и применению редких земель, Пекин, КНР, май 1991 г., т.1, с.134.
45. Беляев А.Л. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р9-91-61, Дубна, 1991.
46. Ахманов В.В. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р9-91-255, Дубна, 1991.
Батманова Э.К. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р13-91-282, Дубна, 1991.
Батманова Э.К. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р13-91-295, Дубна, 1991.
47. Онищенко Л.М. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р9-91-226, Дубна, 1991.
48. Онищенко Л.М. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №4(50)-91, Дубна, 1991.
49. Аленицкий Ю.Г. и др. — В сб.: Труды Межд. конференции по магнитной технологии МТ-12, С.-Петербург, 1991.
Беляев А.Л. и др. — В сб.: Труды Межд. научно-практической конференции «Криогеника-91», Москва, 1991.
50. Glazov A.A. et al. — In: Proc. of PAC, San Francisco, May, 1991.
51. Weber M. et al. — In: Proc. of the LT-19 Satellite Conference (Adam Hilger, Bristol, 1990) p.403—405.
Weber M. et al. — In: Proc. of M^2S -HTSC III, to be published in Physica C (1991).
Weber M. et al. — In: Proc. of M^2S -HTSC III, to be published in Physica C (1991).
Kapusta S. et al. — In: Proc. of M^2S -HTSC III, to be published in Physica C (1991).
52. Uemura Y.J. et al. — Phys. Rev. Lett., 1989, 62, p.2317.
53. Basha S.G., Krasavin E.A., Kozubek S. — Mutat. Res., 1991 (in press).
54. Красавин Е.А., Козубек С. — Мутагенное действие излучений с разной ЛПЭ., М.: Энергоатомиздат, 1991.
Korogodin V.I. et al. — YEAST, 1991, v.7, p.105.
55. Ritter S. et al. — Preprint GS1, Darmstadt, 1991.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В 1991 году принят в эксплуатацию ускоритель МЦ-400, получены пучки ионов гелия, углерода и кислорода с энергией от 5 до 40 МэВ/н. В ЦОП ОИЯИ и ИАЭ (Бухарест) ведется изготовление элементов каналов пучков для ускорителя МЦ-400.

Улучшены монохроматичность и повышена интенсивность пучка частиц ускорителя У-400. На ускорителе У-200 получен пучок ионов ^4He на внешнюю мишень с интенсивностью $3 \cdot 10^{14}$ ион/с, ускоритель отработал на эксперимент по накоплению ядер ^{178m}Hf 1500 часов, накоплено $2 \cdot 10^{14}$ ядер изомера гафния.

Завершен технический проект накопительного комплекса К4—К10.

Проведен цикл работ по синтезу и изучению свойств радиоактивного распада новых изотопов тяжелых элементов, по исследованию механизма

ядерных реакций, синтезу и исследованию свойств нейтронизбыточных изотопов легких элементов. Активно велись работы по прикладной тематике. Проведены совместные эксперименты в Национальной лаборатории ГАНИЛ и Институте Гана — Майтнер (ФРГ) по синтезу и исследованию свойств новых нейтронизбыточных изотопов легких элементов. Завершаются работы по созданию газового 4π -спектрометра множественных событий ФОБОС (совместно с учеными из ЦИЯИ, Россендорф, ФРГ, и Базы развития БАН, София, Болгария).

В 1991 году научно-экспериментальные и методические работы лаборатории отмечены четырьмя премиями Объединенного института. По основным направлениям исследований лабораторией было проведено три международных симпозиума.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗОТОПОВ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. На кинематическом сепараторе ВАСИЛИСА [1] на выведенных пучках циклотрона У-400 ЛЯР исследовано восемнадцать реакций, приводящих к компаунд-ядрам с $83 < Z < 94$ [2]. Исследовалась ступенчатая зависимость жидкокапельных барьеров деления для ядер отдачи в области Th-Pu [2—6]. Данные, полученные в экспериментах для максимумов сечений образования (HI, xn)-реакций, представлены на рис.1.

В 1991 г. для проведения экспериментов потребовалось 620 часов работы ускорителя У-400. Исследования проводились с пучками ускоренных тяжелых ионов ^{20}Ne , ^{22}Ne , ^{24}Mg , ^{26}Mg , ^{27}Al , ^{40}Ar и ^{40}Ca . Получены следующие результаты:

а) Получены функции возбуждения для образования изотопов 102 элемента с $A = 252 \div 254$ в реакциях слияния $^{22}\text{Ne} + ^{236}\text{U}$ и $^{26}\text{Mg} + ^{232}\text{Th}$ [2,3]. Проведено сравнение экспериментальных

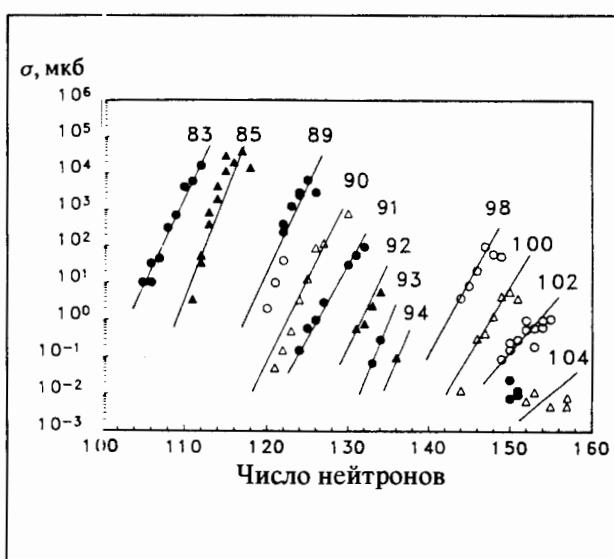


Рис. 1. Систематика максимумов сечений образования xp -реакций. Кружки и треугольники использованы для представления данных, полученных для компаунд-ядер с различными атомными номерами.

данных с расчетами по статистической модели. Обнаружено значительное подавление канала испарения 4 нейтронов. Проведено сравнение с экспериментальными данными для более асимметричных реакций. Полученные данные позволяют сделать оптимистические оценки для сечения образования элементов с $Z \geq 105$ в реакциях с ионами ^{22}Ne и ^{26}Mg .

б) Разработана методика определения барьера деления для ядер — продуктов испарения с сильным нейтронным дефицитом. Исследовалась отличающаяся от теоретического предсказания, обнаруженная ранее зависимость от Z жидкосперельных барьеров деления для ядер отдачи в области Th-Pu. В процессе экспериментов синтезировано 3 новых изотопа U [4—6].

2. Продолжались исследования распада ядер с испусканием кластеров. Исследовалось испускание ядра ^{34}Si из ^{242}Cm . Изотоп ^{242}Cm был получен при облучении ^{241}Am нейtronами на реакторе в ИАЭ им. И.В.Курчатова. После химического разделения из 2,26 мг ^{242}Cm был приготовлен источник площадью $\sim 300 \text{ см}^2$.

Расчетная вероятность кластерного распада ^{242}Cm соответствует испусканию на один кластер $\sim 10^{15}$ α -частиц и $\sim 10^8$ осколков деления на 1 см^2 . В качестве трекового детектора было выбрано фосфатное стекло, с помощью которого можно было зарегистрировать кластеры ^{34}Si на фоне α -частиц с суммарным потоком до $\sim 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

К настоящему времени получен верхний предел отношения вероятности кластерного распада ^{242}Cm к α -распаду $\sim 8 \cdot 10^{-17}$ [7,8].

3. Совместно с ИЯФ (Алма-Ата), ФЭИ (Обнинск), РИ (Санкт-Петербург), ЦИАИ (Россендорф) получены новые данные по динамике деления возбужденных ядер в диапазоне атомных номеров $Z = 50\div 104$. Исследовано влияние углового момента и энергии возбуждения на массовые и энергетические распределения осколков при делении возбужденных составных ядер $^{204,206}\text{Po}$ и ^{260}Ku , каждое из которых получено в 6(4) различных по входной асимметрии реакциях, в широком диапазоне энергий ионов. Экспериментальные зависимости кинетической энергии осколков деления, энергетической и массовой дисперсий от энергии возбуждения и углового момента проанализированы в рамках статистической и динамической теорий деления. Работа получила первую премию ОИЯИ за 1991 год в разделу научно-исследовательских экспериментальных работ.

4. С помощью ранее разработанного метода непрерывного экспрессного химического выделе-

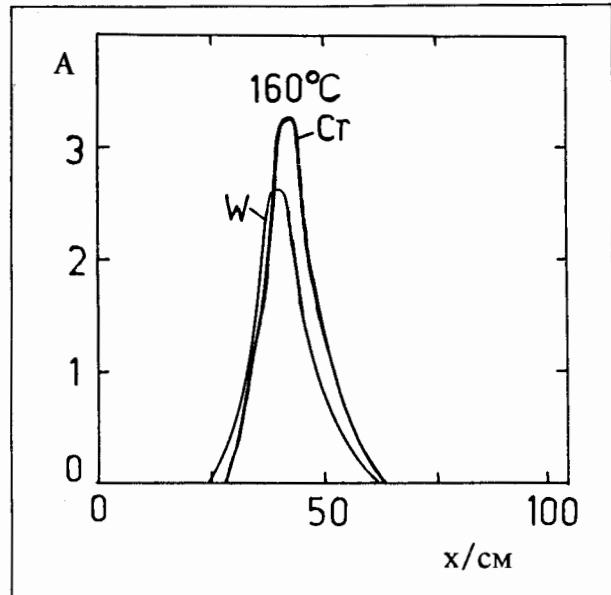


Рис. 2. Термохроматограмма оксихлоридов вольфрама и хрома в потоке газа, содержащем пары тионилхлорида. Гаммаспектроскопические измерения; $^{174,176}\text{W}$ и ^{49}Cr

ния 104-го элемента из продуктов ядерных реакций в водных растворах [9] (см. отчет за 1989 год) изучено поведение 104-го элемента в растворе фосфорной кислоты. Подтверждено его химическое сходство с гафнием. Метод был успешно опробован и для гомологов 105-го и 106-го элемента — тантала и вольфрама, его быстродействие увеличено. В системах с плавиковой, фосфорной и щавелевой кислотами, где эти элементы образуют анионные комплексы, удалось выделить и идентифицировать короткоживущие изотопы $^{151\div 161}\text{Hf}$, $^{166\div 169}\text{Ta}$ и $^{163\div 167}\text{W}$. Некоторые из них имеют периоды полураспада всего несколько секунд. Изучался ряд других химических разделительных сред с целью подбора наиболее перспективных систем для обнаружения тонких различий в свойствах Hf и Ku.

5. В процессе методической подготовки к химической идентификации элемента 106 методом газовой термохроматографии галогенидов проведен цикл экспериментов на пучке У-400 с короткоживущими изотопами вольфрама, молибдена и хрома — химическими гомологами элемента 106. Впервые вместо KCl как материала частиц при аэрозольном транспорте продуктов ядерных реакций успешно использовались хлорид и нитрат аммония, выход продуктов при транспортировке на расстояние ~ 5 м достигал 90 %. В химической системе, способствующей образованию оксихлоридов, изотопы W и Cr образуют один термохроматографический пик при температуре 160°C, что является отчетливой характеристикой элементов

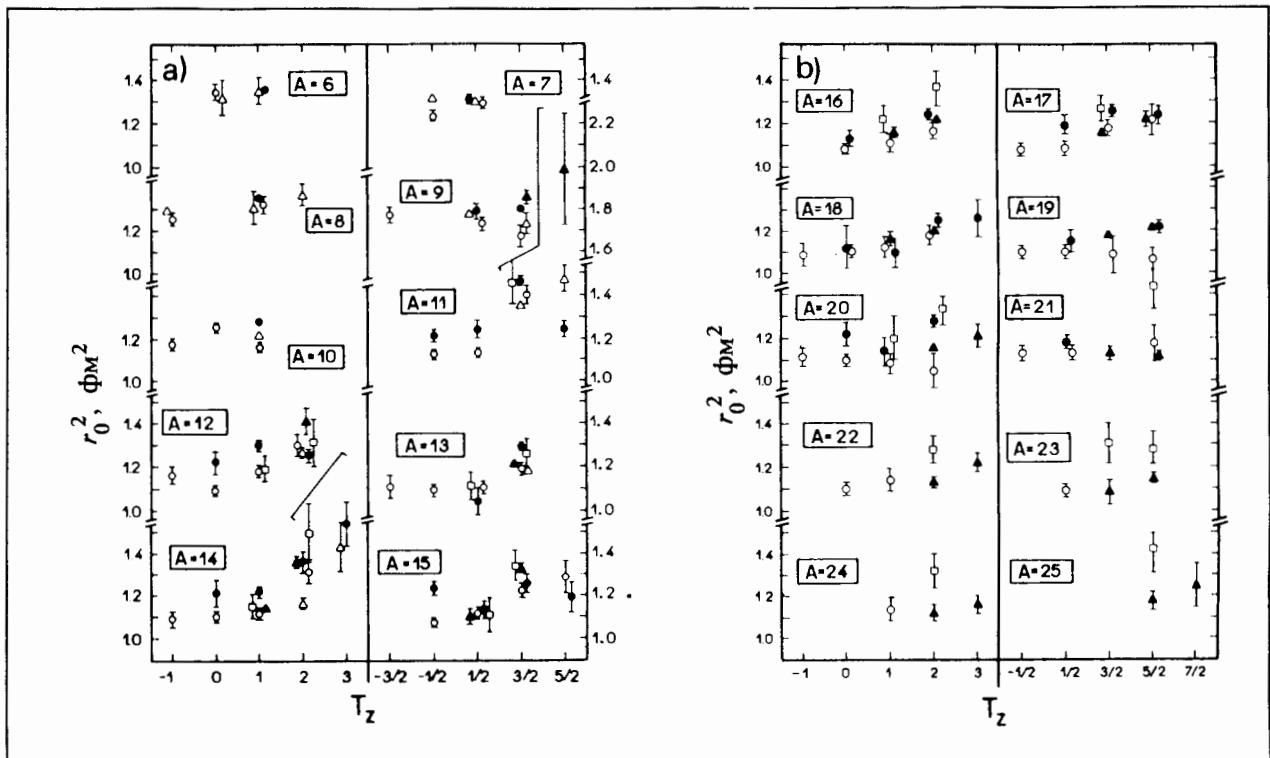


Рис. 3. Величина среднеквадратичного радиуса различных ядер в зависимости от значения изоспина (черные треугольники — результаты работы [11])

VI группы периодической системы, см. рис. 2. Отработаны условия отделения элементов III, VI и V групп [10].

6. Закончена работа, и утвержден отчет международной комиссии IUPAP (Международный союз чистой и прикладной физики) и IUPAC (Международный союз чистой и прикладной химии) под председательством проф. Д. Вилкинсона (Великобритания). Комиссия рассмотрела работы различных исследовательских лабораторий, претендующих на приоритет в открытии новых элементов. Комиссией были установлены критерии, которыми она руководствовалась при рассмотрении исследований по открытию элементов 101—109.

В некоторых случаях комиссия посчитала, что открытие явилось совместным достижением двух лабораторий, результатом некоторого процесса накопления данных о существовании элемента и его характеристиках, а не единовременным актом. В других случаях признано, что открытие элемента сделано и надежно доказано независимо в двух лабораториях практически одновременно, поэтому заслуга открытия должна быть разделена между этими лабораториями.

Открытие элемента 102 признано комиссией целиком и исключительно за Дубной.

Элемент 103 был открыт совместно Дубной и Беркли.

Элемент 104 был открыт одновременно и независимо в Дубне (химическая изоляция) и в Беркли (физические эксперименты).

Элемент 105 был открыт одновременно и независимо в Дубне и в Беркли.

Элемент 106 был открыт группой из Беркли в сотрудничестве с ЛНЛ (Ливермор).

Элемент 107 был открыт в Дармштадте (GSI).

Элемент 108 был открыт Дармштадтом и Дубной, несколько большая заслуга признана за GSI.

Элемент 109 открыт в Дармштадте.

Таким образом, комиссия Вилкинсона признала за Дубной независимое открытие элементов 102, 104 и 105 и вклад в открытие элементов 103 и 108, то есть приоритет в открытии пяти из восьми элементов (102—109), полученных за 30 лет на ускорителях тяжелых ионов, и специально отметила важность метода «холодного синтеза» ядер, разработанного в Дубне для синтеза элементов 106 и выше.

За группой из Беркли признаны заслуги в открытии четырех элементов, за группой в Дармштадте — в трех.

IUPAP и IUPAC утвердили отчет комиссии. Комиссия убедилась в том, что исследования не сводились только к открытию элементов. Они представляют целую плодотворную область

Таблица 1

ядерной физики, в которой был получен экспериментальный материал исключительной значимости.

СВОЙСТВА ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР И ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1. Проводились исследования свойств ядра ^{11}Li , в котором обнаружено гало из двух нейтронов. Исследование этого ядра проводилось по программе изучения свойств экзотических ядер совместно с Национальным центром ГАНИЛ (Франция) и Институтом Гана — Майтнер в Берлине (ФРГ). В экспериментах, проведенных на пучках тяжелых ионов в ГАНИЛ, были изучены полные сечения реакции поглощения экзотических ядер для изобаров с $A = 10$ до $A = 18$. Из этих данных получено значение среднеквадратичного радиуса поглощения различных ядер r_0^2 (рис.3) [11]. Эти данные указывают, что такие сильнонейтронизбыточные ядра лития, бериллия, бора имеют аномально высокое значение r_0^2 . Для получения более детальной информации о таких ядрах, в частности определения их потен-

Ядро	$T_{1/2}$ эксп. (мс)	W_n, P_n эксп. (%)
^8He	$124,5 \pm 0,2$	$P_0 = 87,0 \pm 1,1$
		$P_1 = 12,7 \pm 2,6$
^9Li	$181,8 \pm 0,4$	$P_0 = 86,6 \pm 0,9$
		$P_1 = 13,3 \pm 3,4$
^{11}Li	$8,0 \pm 1,0$	$P_0 = 45,9 \pm 4,6$
		$P_1 = 29,4 \pm 2,6$
		$P_2 = 15,2 \pm 3,0$
		$P_3 = 5,1 \pm 3,0$
^{12}Be	$13,1 \pm 0,5$	$W_n < 0,08\%$
		^{13}B
^{13}B	$17,0 \pm 0,4$	$W_n < 0,03\%$

циалов, распределения нуклонов, диффузности, проводилось исследование их упругого рассеяния в Дубне и ГАНИЛ [12]. На рис. 4 показаны предварительные результаты по изучению сечения упругого рассеяния ядер ^{11}Li на кремнии. Полученные результаты были обработаны с использованием оптической модели. Эксперименты по упругому рассеянию экзотических ядер и их обработка продолжаются для больших углов.

На ускорителе У-400 ЛЯР получен монохроматический пучок тяжелых ионов с разрешением $\Delta E \sim 200$ кэВ, рис. 5, и с его помощью начаты исследования мягкой моды гигантского резонанса для ядра ^{11}Li в реакции $^{14}\text{C}({}^{11}\text{B}, {}^{14}\text{O}){}^{11}\text{Li}$. Полученный первый результат свидетельствует о существовании в ядре ^{11}Li нескольких гигантских резонансов. В настоящее время идет дальнейший набор статистики в этой реакции, а также начат эксперимент в Институте Гана — Майтнер по возбуждению гигантских резонансов в ядре ^{11}Li в реакции двойной перезарядки ${}^{11}\text{B}({}^{14}\text{C}, {}^{14}\text{O}){}^{11}\text{Li}$. Проведены эксперименты по изучению вероятности нейтронного распада ядер гелия, лития и бериллия с использованием 4π -нейтронного детектора (установка ТЕТРА). Были измерены периоды полураспада и вероятности β -задержанной нейтронной эмиссии изотопов ^8He , ^9Li , ^{11}Li , ^{12}Be и ^{13}B [13].

Полученные значения $T_{1/2}$ и вероятности β -задержанной нейтронной эмиссии приведены в таблице 1, где W_n — полная вероятность испускания нейтронов, а P_n — вероятность испускания β -задержанных нейтронов.

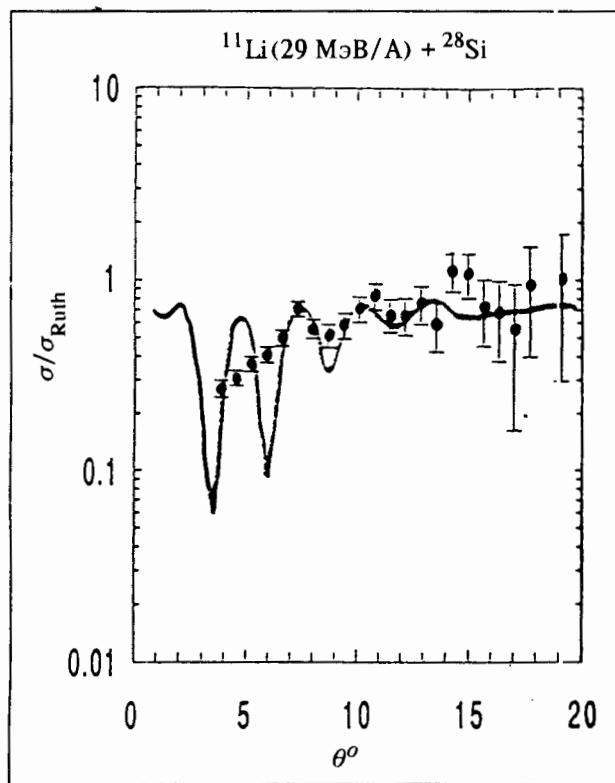


Рис. 4. Предварительные результаты измерения сечений упругого рассеяния ядер ^{11}Li на кремнии (сплошная кривая — результат расчета по статистической модели с параметром $V_R = 0,82 V_{\text{fold}}$ и V_{im} — потенциал Вудса — Саксона)

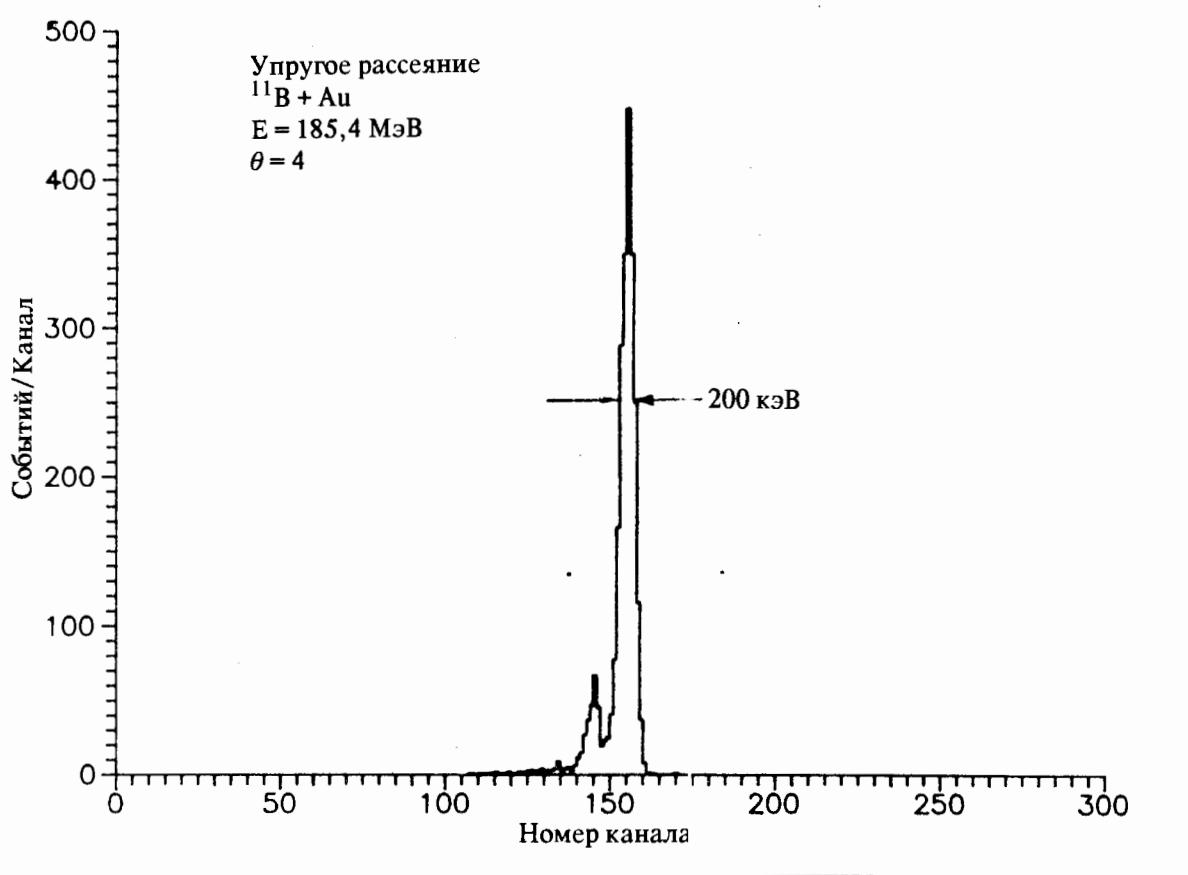


Рис. 5. Спектр рассеянных частиц, полученный с использованием спектрометра МСП-144

2. Методом резонансной лазерной флуоресценции измерены изотопические сдвиги в оптических спектрах атомов Hf. Пучок атомов Hf был получен при воздействии на исследуемый образец мощным импульсным лазерным излучением.

Измеряя изотопические сдвиги, определяли разности зарядовых радиусов соседних изотопов Hf в диапазоне массовых чисел 174–180. В этой области ядер параметр квадрупольной деформации достигает максимума при $A = 176$, а затем уменьшается, рис. 6а. Это может влиять на изменение зарядовых радиусов с ростом A , рис. 6б (вблизи A изотопа с максимальной деформацией). Однако проведенные измерения показали, что разности зарядовых радиусов остаются практически одинаковыми во всем исследуемом диапазоне ядер (рис. 6в) [14]. По-видимому, имеются факторы, стабилизирующие зарядовые радиусы ядер при изменении их деформации.

3. Проведены работы по созданию высокоспиновой ядерной мишени из долгоживущего изомера ^{178m}Hf , $I^\pi = 16^+$, $T_{1/2} = 31$ год. Эксперименты по данной теме проводятся совместно с Орсэ (Франция) и Дармштадтом (ФРГ). В Дубне вы-

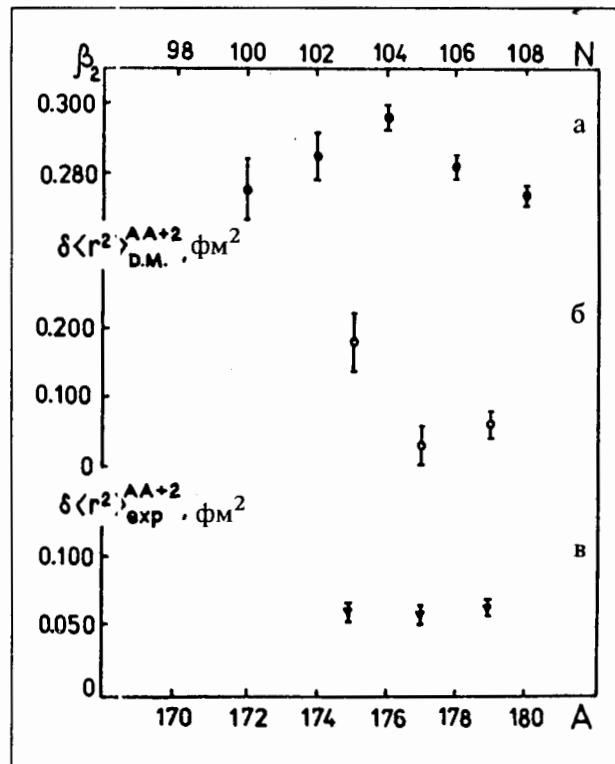
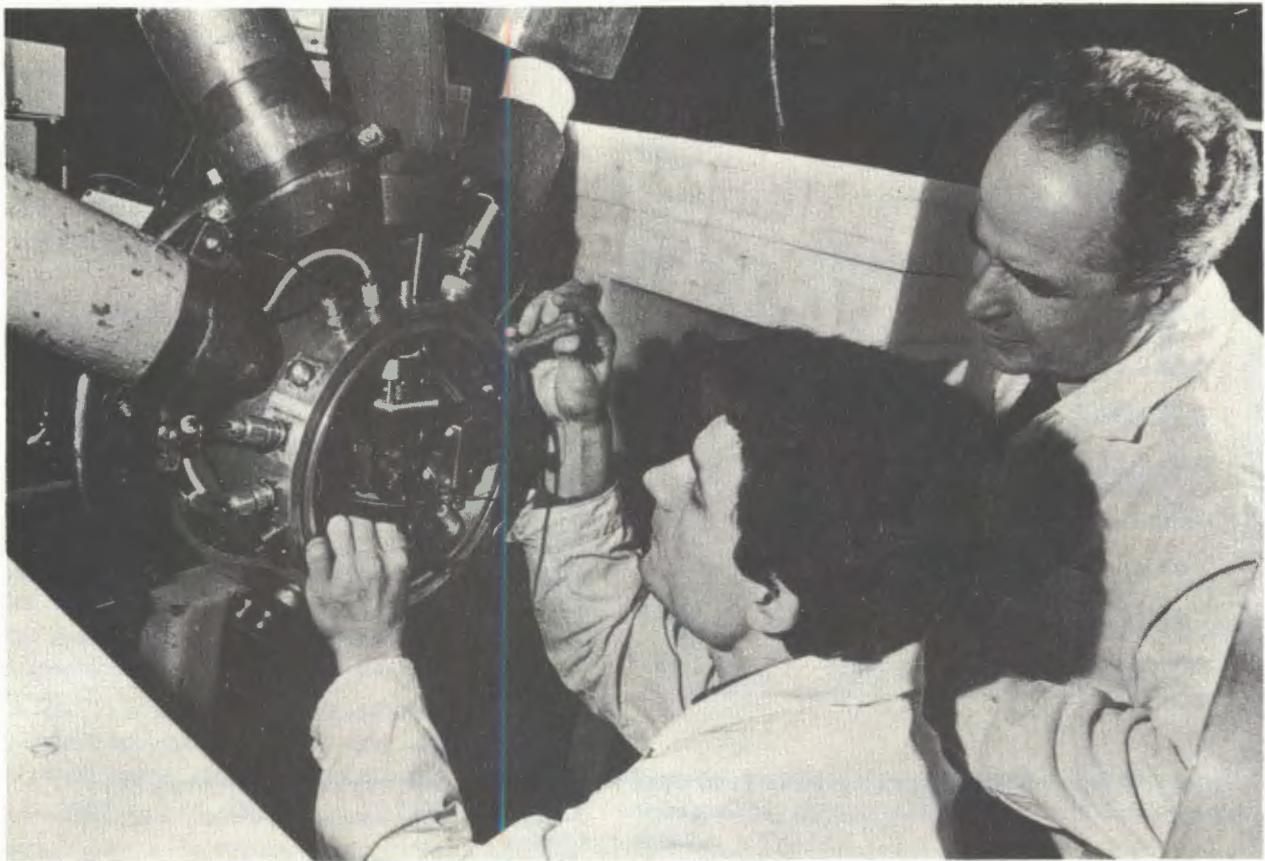


Рис. 6. Зависимость от числа нейтронов параметра деформации ядра (1) и разности зарядовых радиусов (б), рассчитанных по капельной модели и измеренных на опыте (в)



Установка ДЭМАС-Н, настройка спектрометра распада высоковозбужденных ядерных систем

полнены измерения функций возбуждения радиоактивных изотопов гафния в нескольких реакциях [15, 16]. На рис. 7 и 8 в качестве примеров показаны функции возбуждения для реакций ${}^4\text{He} + {}^{176}\text{Yb}$ и ${}^{12}\text{C} + {}^{170}\text{Er}$. Первая из реакций выбрана как оптимальная для получения изомера ${}^{178m_2}\text{Hf}$ по величинам абсолютного выхода и изомерного отношения.

Для уменьшения выхода легких изотопов гафния использовался обогащенный изотоп ${}^{176}\text{Yb}$, полученный в количестве 1 г на масс-сепараторе «Paris» в Орсэ. Примесь других изотопов иттерия, кроме ${}^{176}\text{Yb}$, оценивается на уровне $5 \cdot 10^{-6}$ г/г. Из обогащенного ${}^{176}\text{Yb}$ изготовленна циклотронная мишень, проведено ее длительное облучение на циклотроне У-200 ионами ${}^4\text{He}$ с интенсивностью ~ 100 мкА. В результате накоплено $3 \cdot 10^{14}$ ядер ${}^{178m_2}\text{Hf}$, причем без примесей легких изотопов гафния с $A \leq 176$.

Разработана методика и проведено химическое выделение гафния из мишени, основанное на селективной экстракционной хроматографии из растворов азотной кислоты на колонке с окисью три-н-октилфосфина (ТОФО) на Wofatite EP-60. Коэффициент очистки гафния от редкоземельных элементов превышал 10^7 при выходе

80—90 %. Разработан способ изготовления мишеней путем нанесения гафния на угольные подложки методом электрокапиллярного напыления [17].

Совместно с группой, работающей в GSI (Дармштадт), велась подготовка к исследованию изомера ${}^{178m_2}\text{Hf}$ методом кулоновского возбуждения на пучке ионов ${}^{208}\text{Pb}$ при использовании многодетекторных гамма-спектрометрических установок.

Проводился анализ [18] возможностей исследования ядерных реакций с легкими частицами на высокоспиновой мишени ${}^{178m_2}\text{Hf}$. На рис. 9 для примера показана схема одной из таких реакций — неупругого рассеяния тепловых нейтронов. Видно, что при захвате нейтрона ядром ${}^{178m_2}\text{Hf}$ могут заселяться экзотические нейтронные резонансы со спинами $31/2$ и $33/2$. При распаде этих резонансов должен образовываться высокоспиновый изомер ${}^{179m_2}\text{Hf}$, $I^\pi = 25/2^-$, $T_{1/2} = 25,1$ дня. Возможно также испускание нейтронов с энергией большей, чем исходная, то есть «ускорение нейтронов» в эксперименте с тепловыми нейтронами. Таким образом, впервые могут быть получены сведения о плотности высоко-

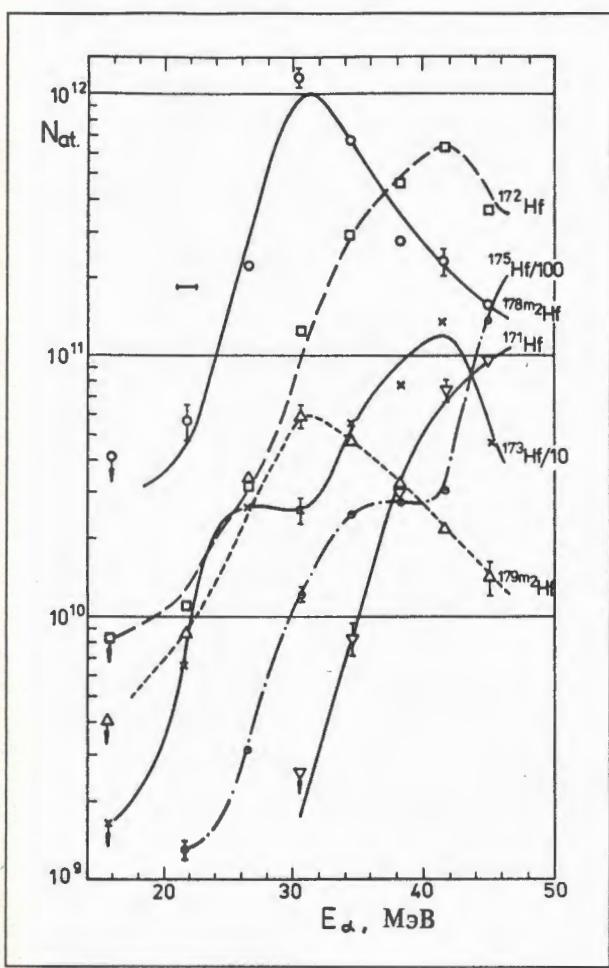


Рис. 7. Число ядер радиоактивных изотопов гафния в зависимости от энергии ионов ${}^4\text{He}$ при облучении мишени из ${}^{176}\text{Yb}$ (96% обогащения)

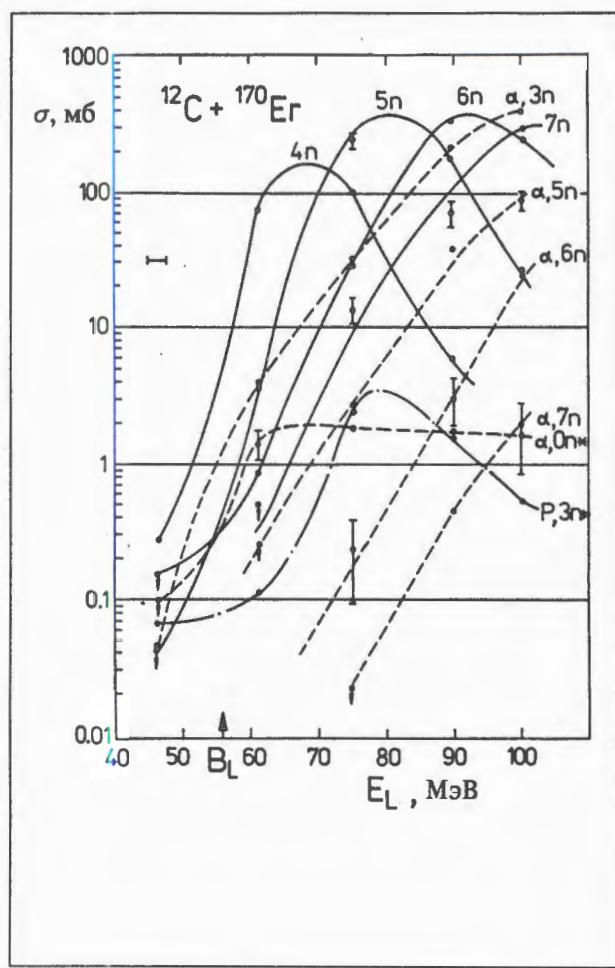


Рис. 8. Функции возбуждения радиоактивных продуктов в реакции ${}^{12}\text{C} + {}^{170}\text{Er}$. Реакция (α, On) соответствует выходу изомера ${}^{178m_2}\text{Hf}$

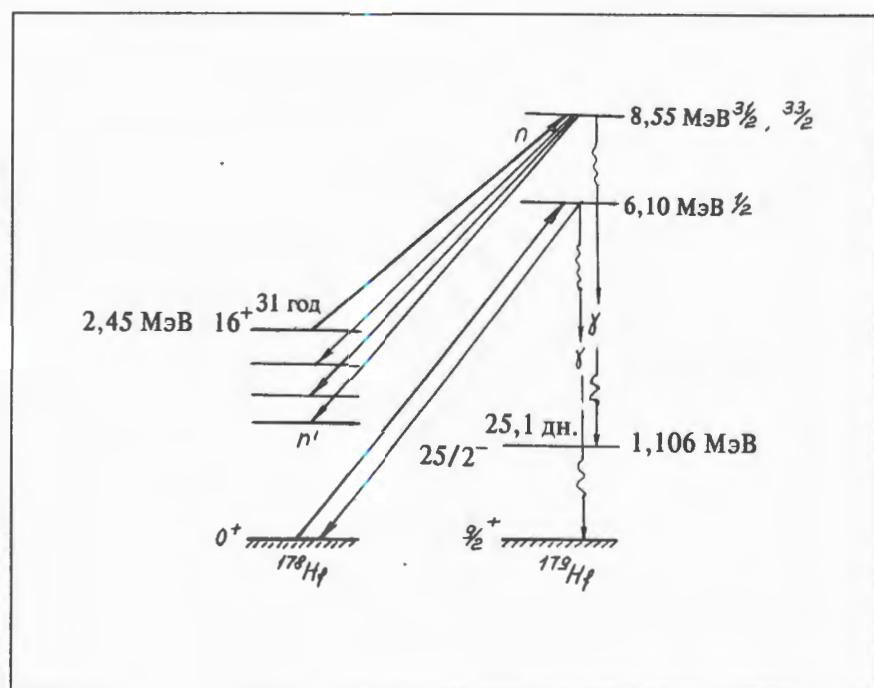


Рис. 9. Схема неупругого рассеяния и радиационного захвата тепловых нейтронов на высокоспиновом изомере ${}^{178m_2}\text{Hf}$

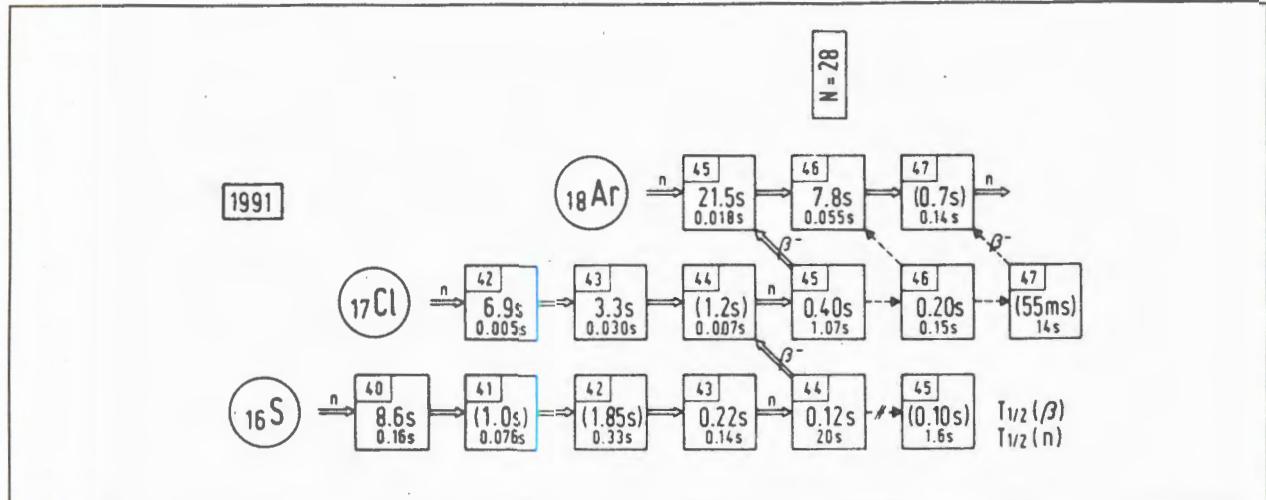


Рис. 10. Измеренные вероятности и периоды нейтронного распада для ядер ^{44}S и ^{47}Cl позволяют воспроизвести схему нуклеосинтеза во Ещеленной и наблюдать аномальные отношения содержания $^{48}\text{Ca}/^{46}\text{Ca}$ в метеорите Алленде (период полураспада $T_{1/2}(\beta)$ — эксперимент или предсказание QRPA-модели; $T_{1/2}(n)$ для плотности нейтронов $5 \cdot 10^{-5}$ моль/см 3)

спиновых нейтронных резонансов и о роли запрета по квантовому числу К в ядерных реакциях.

4. С использованием спектрометра LIZE и GANIL, в совместном эксперименте институтов Kernchemie (Mains) — GANIL (Caen) — CEN (Bordeaux) — IEA (Bucharest) — IPN (Orsay) — LPS (Caen) — MPI (Garching) — JINR (Ереван) — University (Lund) — Astrophysics (Karvard) про-

ведено исследование времени жизни для β -распада и вероятности β -запаздывающей нейтронной эмиссии для экзотических ядер ^{44}S и $^{45-47}\text{Cl}$ [19]. Эти изотопы имеют особый интерес для астрофизических исследований и изучения природы коррелированных изотопических аномалий Ca-Ti-Cr во включениях в метеорит Алленде (рис. 10).

РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

1. На циклотроне У-400 начаты работы по переводу его в режим инжектора циклotronного комплекса тяжелых ионов У-400 + МЦ-400. Проведена реконструкция центральной ионно-оптической системы циклотрона У-400 для ускорения на 6-й гармонике пучков ионов с энергией 0,5—2,6 МэВ/нуклон, которые затем будут выводиться и транспортироваться до циклотрона МЦ-400. В результате пусконаладочных работ с новой центральной оптикой на циклотроне У-400 ускорены следующие ионы:

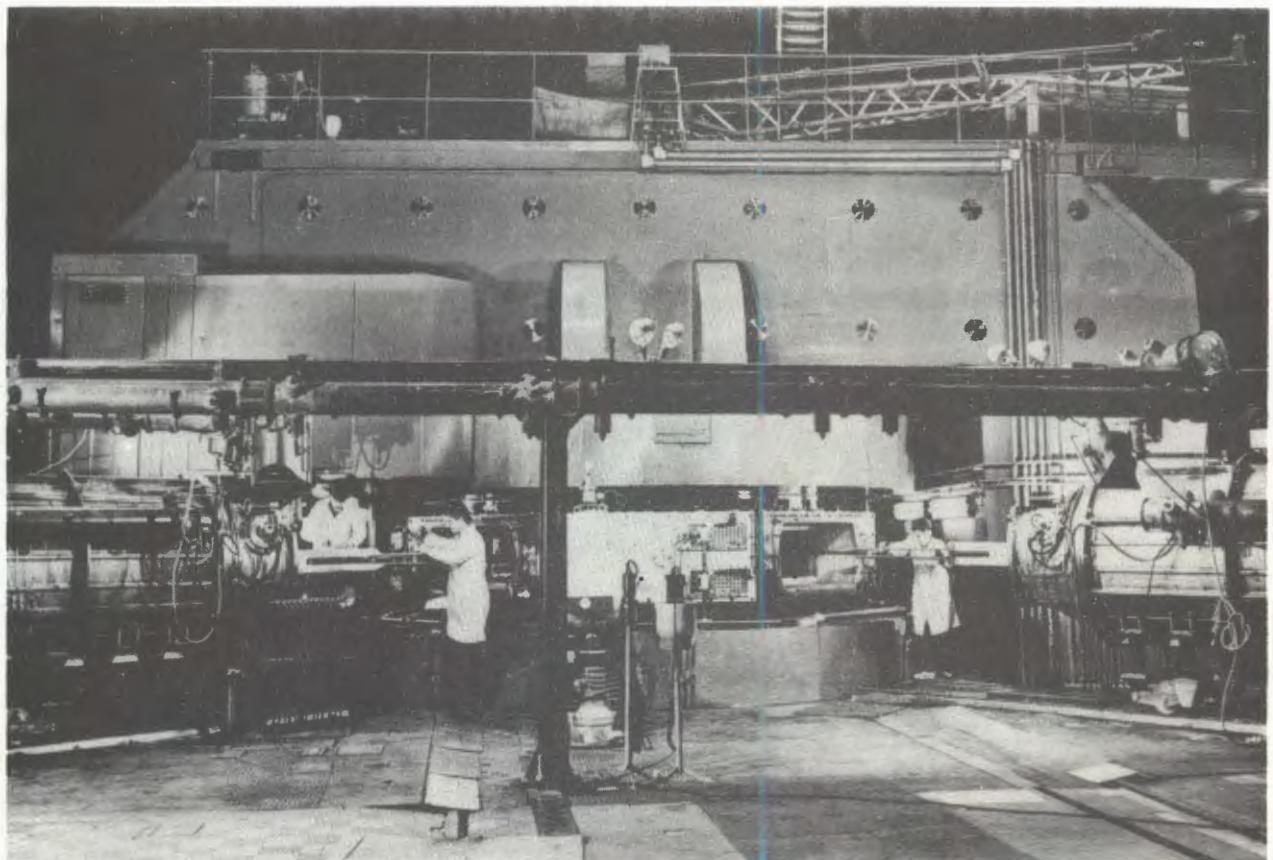
Тип иона	Энергия, МэВ/нуклон
$^{20}\text{Ne}^{1+}$	1,6
$^{40}\text{Ar}^{2+}$	1,6
$^{84}\text{Kr}^{4+,5+}$	1,5—2,4
$^{129,131,132}\text{Xe}^{4+,5+,6+,7+,8+}$	0,6—2,5
$^{209}\text{Bi}^{7+}$	0,7

Для вывода этих ускоренных ионов разработана конструкция системы вывода и начато ее изготовление.

Проведены исследования и разработки по повышению эффективности использования рабочих веществ при получении и ускорении на циклотроне У-400 пучков ионов редких изотопов. С целью повышения интенсивности пучка разработана технология и проведены эксперименты по совершенствованию распыляемых электродов из оболоченных элементов на образцах титана и хромаза счет восстановления окиси металлов этих элементов кальцием.

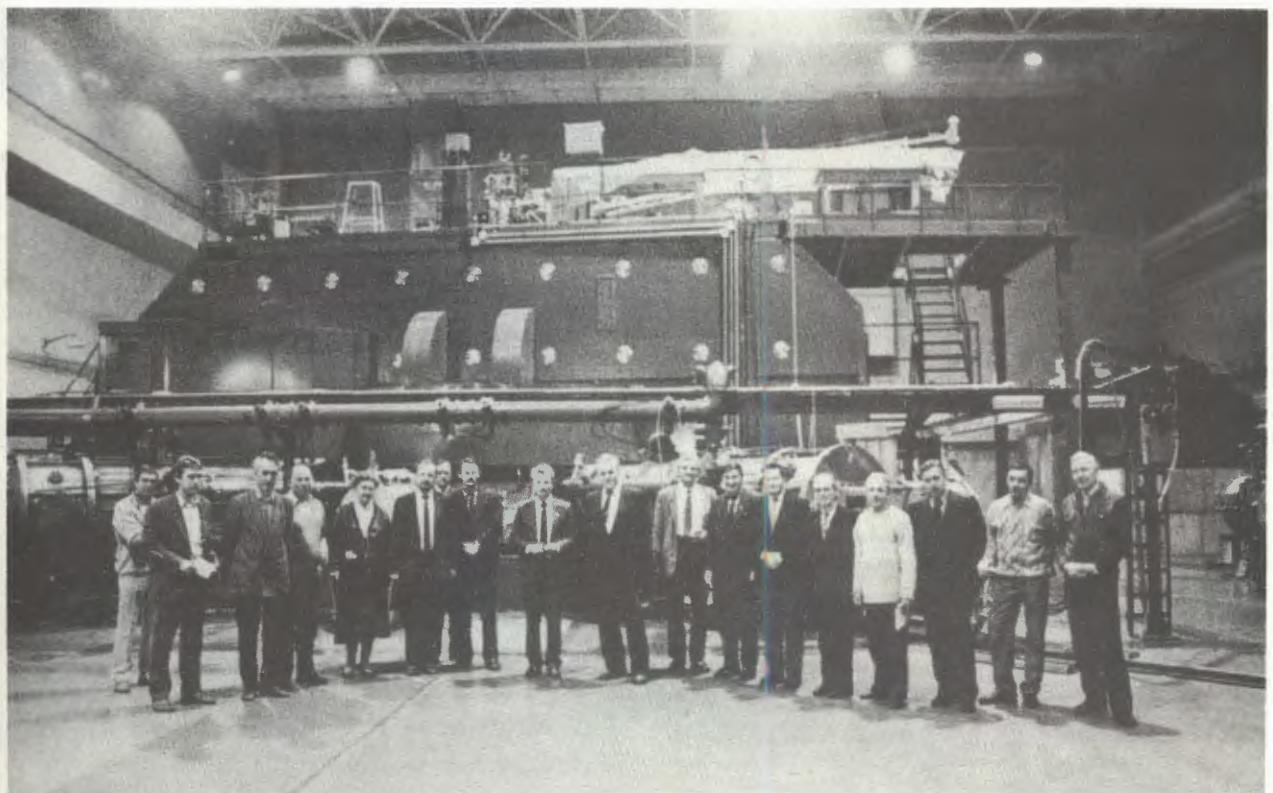
2. На циклотроне У-200 продолжались работы по получению изомера ^{178m}Hf в реакции $^{176}\text{Yb}(\alpha, 2n)^{178m}\text{Hf}$ и изотопа ^{237}Ru в реакции $^{235}\text{U}(\alpha, 2n)^{237}\text{Ru}$.

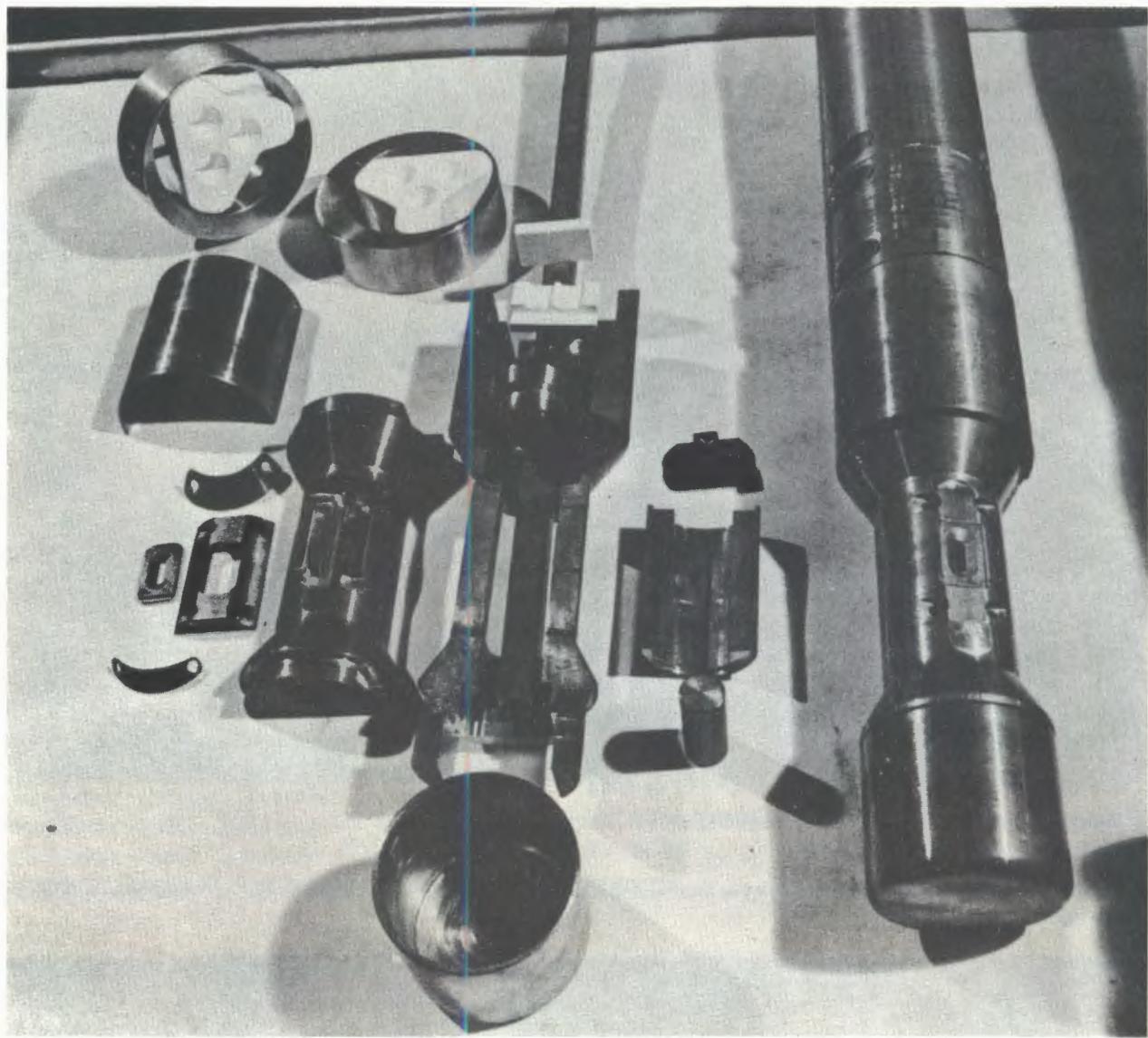
Для наработки необходимых количеств указанных изотопов потребовалось увеличить интен-



Завершен монтаж циклотрона тяжелых ионов МЦ-400

Участники подписания Акта приемочной государственной комиссии о приемке в эксплуатацию изохронного циклотрона тяжелых ионов МЦ-400





Источник многозарядных ионов МЦ-400

сивность ионного пучка на физической мишени до 100 мкА ($3 \cdot 10^{14}$ частиц в секунду). Для получения таких пучков проведено усовершенствование газоразрядного источника с катодом прямого накала, работающего в импульсном режиме. Срок службы ионного источника определяется временем жизни прямонакального катода и составляет в среднем 16 часов. В настоящее время ведутся работы по увеличению срока службы источника. Совместно с ЛЯП разработан опытный вариант источника ионов с полым катодом для циклотрона У-200.

3. В начале 1991 года завершен монтаж узлов и систем нового изохронного циклотрона МЦ-400 и начата их наладка. В результате наладки отдельных систем ускорителя и проведения комплексных пусконаладочных работ в мае

1991 года был получен внутренний пучок уско-ренных однозарядных ионов гелия с энергией 31 МэВ/нуклон. Во второй половине года проводилась отработка режимов ускорения следующих ионов:

Тип иона	A/Z	Энергия, МэВ/нуклон
$^4\text{He}^{1+}$	4	31
$^{12}\text{C}^{3+}$	4	31
$^{14}\text{N}^{3+}$	4,67	26
$^{20}\text{Ne}^{2+}$	10	5,4
$^{14}\text{N}^{4+}$	3,5	40

На циклотроне МЦ-400 используется верти-кальный дуговой источник ионов, который усо-вершенствован с целью снижения расхода газа и увеличения срока его службы. Полученные пара-

метры пучков ускоренных ионов соответствуют проекту и свидетельствуют о правильности выбранных решений, удовлетворяющих техническим условиям.

В конце 1991 года государственная комиссия приняла циклотрон МЦ-400 в эксплуатацию.

В 1992 году на циклотроне МЦ-400 будут проводиться следующие работы:

- отработка режимов ускорения различных ионов;
- вывод пучка ускоренных ионов из циклотрона (выполнен расчет и проект системы вывода и начато ее изготовление);
- увеличение мощности высокочастотного генератора;
- перевод системы электропитания основной и корректирующих обмоток электромагнита на источники питания повышенной стабильности;
- создание биологической защиты;
- создание каналов внешних пучков (оборудование каналов изготавливается в Румынии и в Опытном производстве ОИЯИ);
- создание автоматизированной системы управления (проект разработан в 1991 году).

4. Для ЭЦР-источника на частоте 14,5 ГГц разработан и создан гексаполь оригиналной кон-

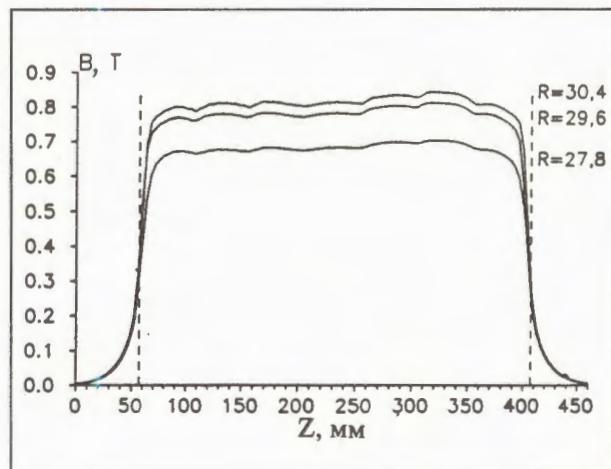
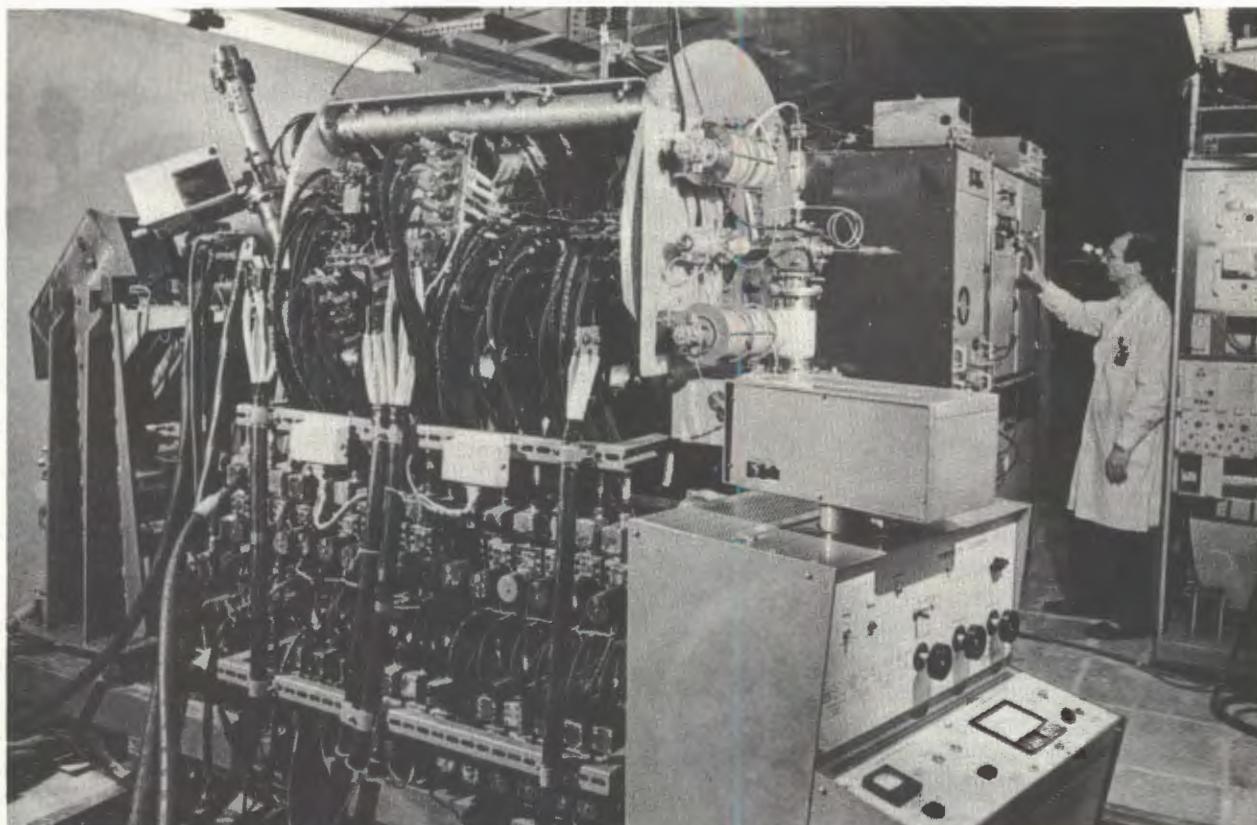


Рис. 11. Распределение магнитного поля вдоль оси гексаполя на различных радиусах

струкции [20]. В результате проведенных магнитных измерений получено, что величина магнитной индукции на поверхности магнита превышает 1 Т, а неоднородность модуля магнитного поля в зависимости от азимутального угла не превышает 3%. На рис. 11 показано распределение радиальной компоненты магнитного поля вдоль оси гексаполя на различных радиусах.

Стенд модели ЭЦР-источников ионов



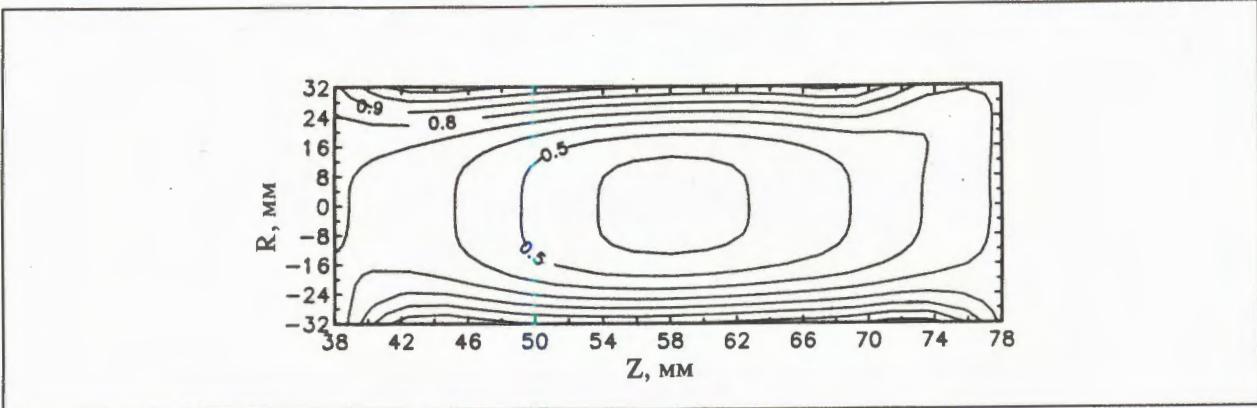


Рис. 12. Топография магнитного поля в продольном сечении источника

Таблица 2. Основные параметры колец K4 и K10

Кольцо	K4	K10
$B\rho_{\max}$, Т·м	4	10
Периметр, м	86	146
Аксептанс		
$\epsilon, \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	50	25
$\Delta p/p, \%$	1,0	2,0
Электронное охлаждение		
$E_{\max}, \text{кэВ}$	100	250
длина, м	3	3
$\beta_{\text{гор}}/\beta_{\text{верт}}, \text{м}$	5,6/5,8	10,6/6,9
диаметр катода	3	3
I_{\max}, A	1	3
Ускоряющее ВЧ-напряжение		
частота, МГц	0,5—3,4	0,3—2,1
$U_{\text{вч}}, \text{кэВ}$	14	56
число ВЧ-станций	1	4
Вакуум, Па	10^{-8}	10^{-8}
Установленная мощность, МВА	2,7	3,2

С использованием метода объемных интегральных уравнений [21] проведены расчеты трехметровой конфигурации магнитного поля, которые позволяют определить положение резонансной зоны в любом из сечений ионизационной камеры (рис. 12), а также построить трехмерную картину распределения модуля магнитного поля в рабочей области, наглядно отражающую особенности магнитной системы ионного источника. Проведено Рабочее совещание по источнику ионов с электронно-циклotronным резонансом

(ЭЦР) [22], на котором были представлены результаты разработок в ЛЯР различных систем источника.

5. Выполнена работа над техническим предложением накопительного комплекса К4-К10, вошедшая в состав строительного технического проекта этого сооружения. Техническое предложение содержит 12 разделов. Комплекс (рис. 13) включает два накопительных кольца К4

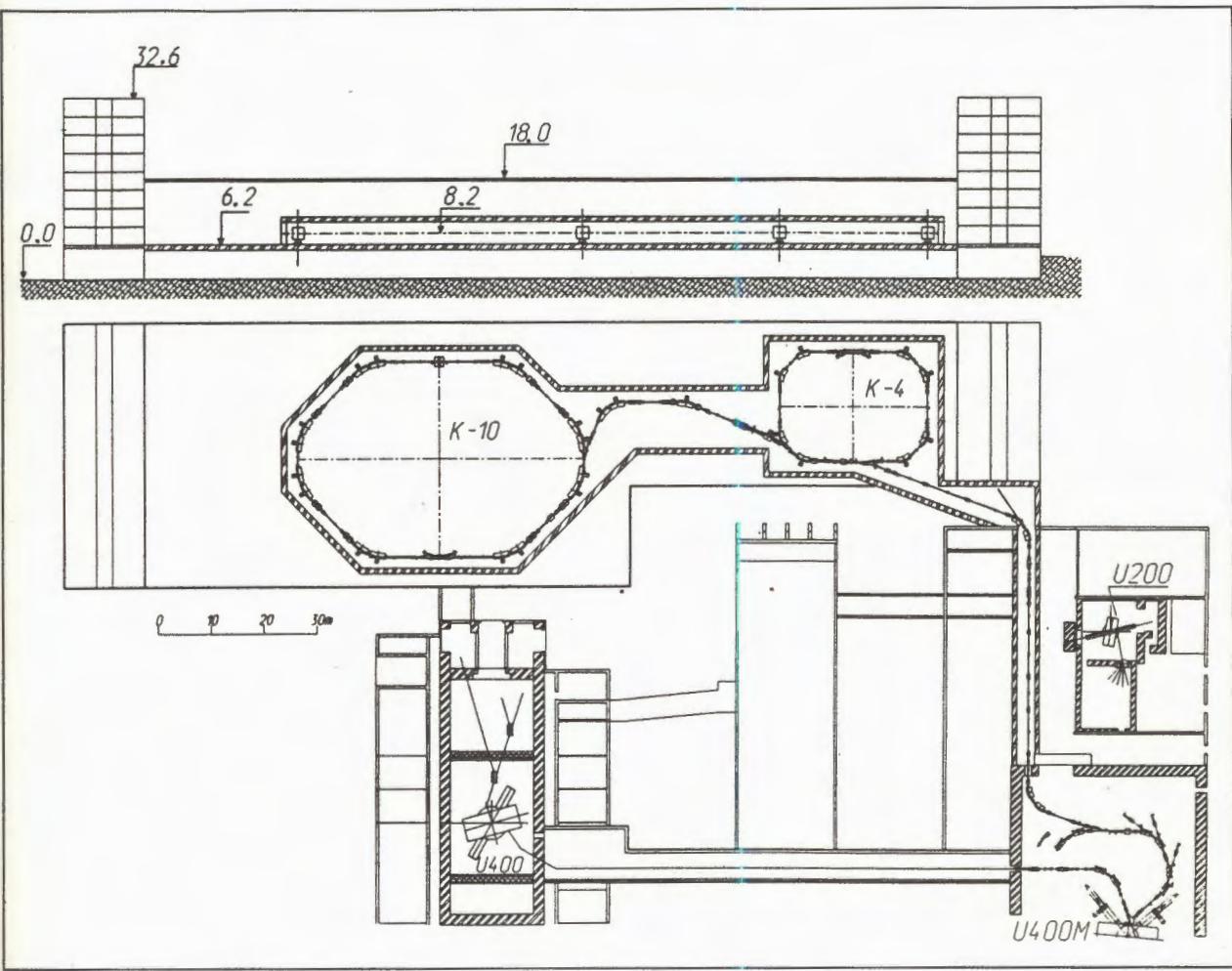


Рис. 13. Схема накопительного комплекса К4—К10. План и вертикальный разрез здания комплекса

Таблица 3. Ключевые характеристики пучков накопительного комплекса К4—К10

Пучки	E_{\max} МэВ/нукл	$\Delta E/E$	Светимость $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$
Радиоактивные ионы:			
Нейтронно-избыточные ${}^8\text{He}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^{16}\text{C}$, ${}^{46}\text{Ar}$ и др.	600	$10^{-5}—10^{-6}$	$10^{23}—10^{30}$
Нейтронно-дефицитные ${}^7\text{Be}$, ${}^{11}\text{C}$, ${}^{22}\text{Na}$, ${}^{56}\text{Ni}$, ${}^{62}\text{Zn}$ и др.	1000	$10^{-5}—10^{-6}$	$10^{24}—10^{30}$
Стабильные ионы:			
${}^7\text{Li}—{}^{86}\text{Kr}$	850	$10^{-4}—10^{-5}$	$10^{29}—10^{31}$
${}^{136}\text{Xe}—{}^{238}\text{U}$	600	10^{-5}	$10^{28}—10^{29}$
Протоны			
	2200	10^{-5}	10^{32}

($B\rho_{\max} = 4$ Тм) и К10 ($B\rho_{\max} = 14$ Тм), канал инъекции пучка циклотрона МЦ-400 в кольцо К4 и сепарирующий канал, предназначенный для выделения вторичных радиоактивных пучков и инъекции вторичных и первичных пучков в кольцо К10. Основные параметры накопительных колец

даны в таблице 2. Параметры пучков представлены в таблице 3. До десяти физических установок могут использовать ионы накопительного комплекса с применением как внутренних мишеней, так и мишеней на каналах выведенных пучков.

Рассмотрены методы генерации, накопления и охлаждения пучков радиоактивных ядер. Рас-

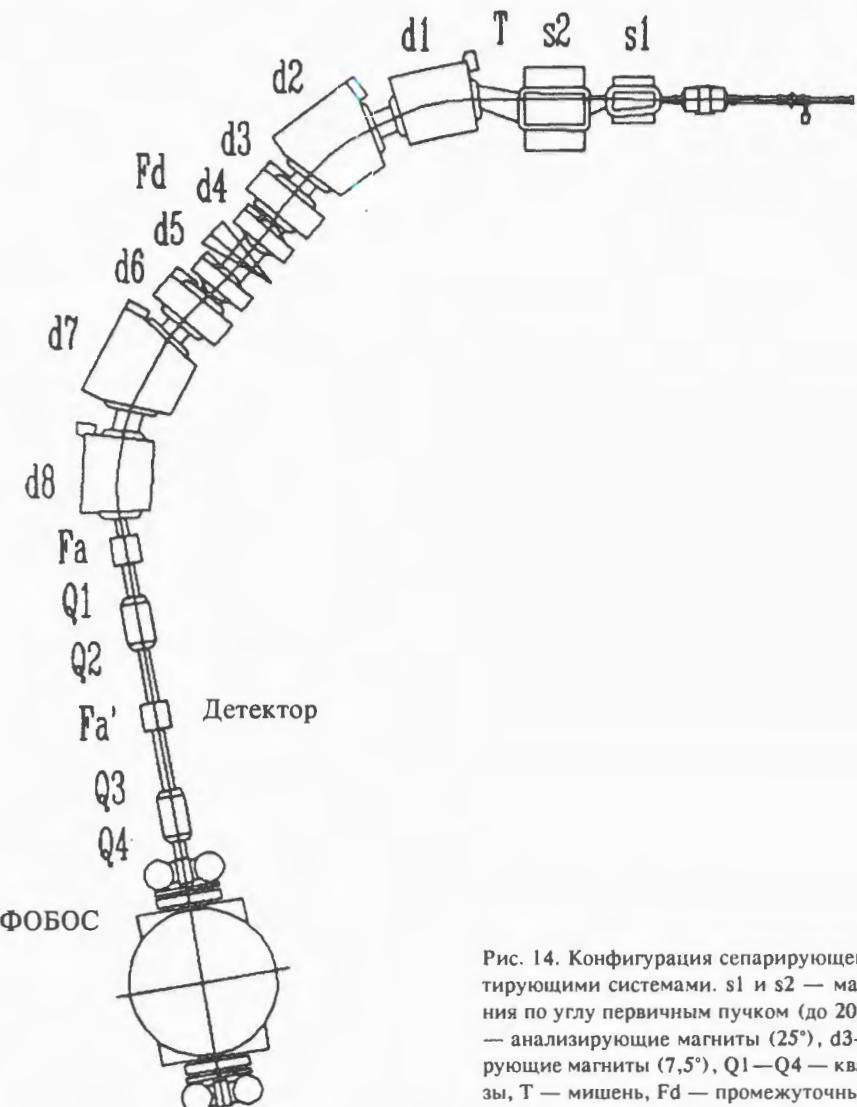


Рис. 14. Конфигурация сепарирующего канала с детектирующими системами. s_1 и s_2 — магниты сканирования по углу первичным пучком (до 20°). d_1 , d_2 , d_7 и d_8 — анализирующие магниты (25°), d_3 — d_6 — корректирующие магниты ($7,5^\circ$), Q_1 — Q_4 — квадрупольные линзы, T — мишень, F_d — промежуточный дисперсионный фокус, F_a и $F_{a'}$ — ахроматические фокусы

считаны схемы колец и каналов вакуумной системы и системы диагностики. Разработаны общие схемы питания ВЧ-системы, системы электронного охлаждения, вакуума, диагностики, системы управления комплекса и радиационного контроля. По всем системам определен состав оборудования и проведены предварительные переговоры с потенциальными изготовителями (включая строительство здания). Даны оценки стоимости проекта и предложения по расписанию работ по его сооружению, а также исследовательских работ, связанных с предварительной проработкой наиболее ответственных узлов.

Основная цель проекта — получение прецизионных пучков радиоактивных ионов с массовыми числами $A < 100$ в диапазоне энергии от кулоновского барьера до нескольких сотен МэВ/нуклон.

Техническое предложение издано в ОИЯИ в виде отчета [23], который разослан в страны-участницы ОИЯИ, а также представлен на рассмотрение международной группы экспертов. Основные положения проекта публиковались [24] и были доложены на пяти международных конференциях.

6. Проведены работы по проектированию и разработке технической документации по созданию светосильного высокоразрешающего сепарирующего канала для получения вторичных пучков радиоактивных ядер на циклотроне МЦ-400 [25]. Конфигурация сепаратора показана на рис. 14. Начато изготовление электромагнитного оборудования для сепаратора и монтаж высокостабильных, с программным управлением, источников питания магнитов. Ведется разработка вакуумных камер магнитов приемного устройства и

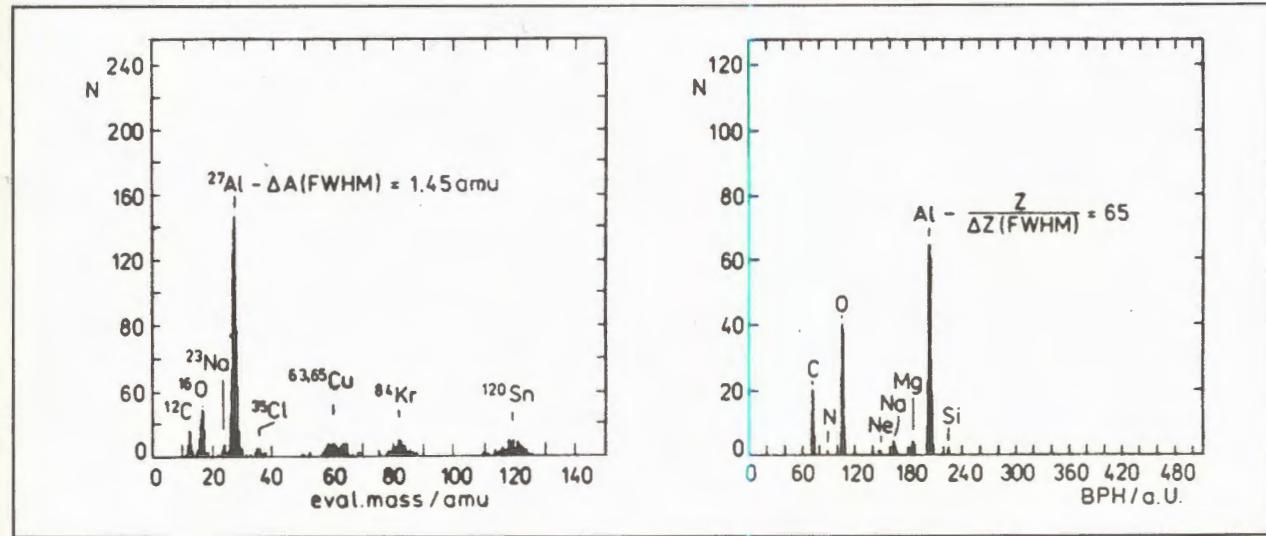
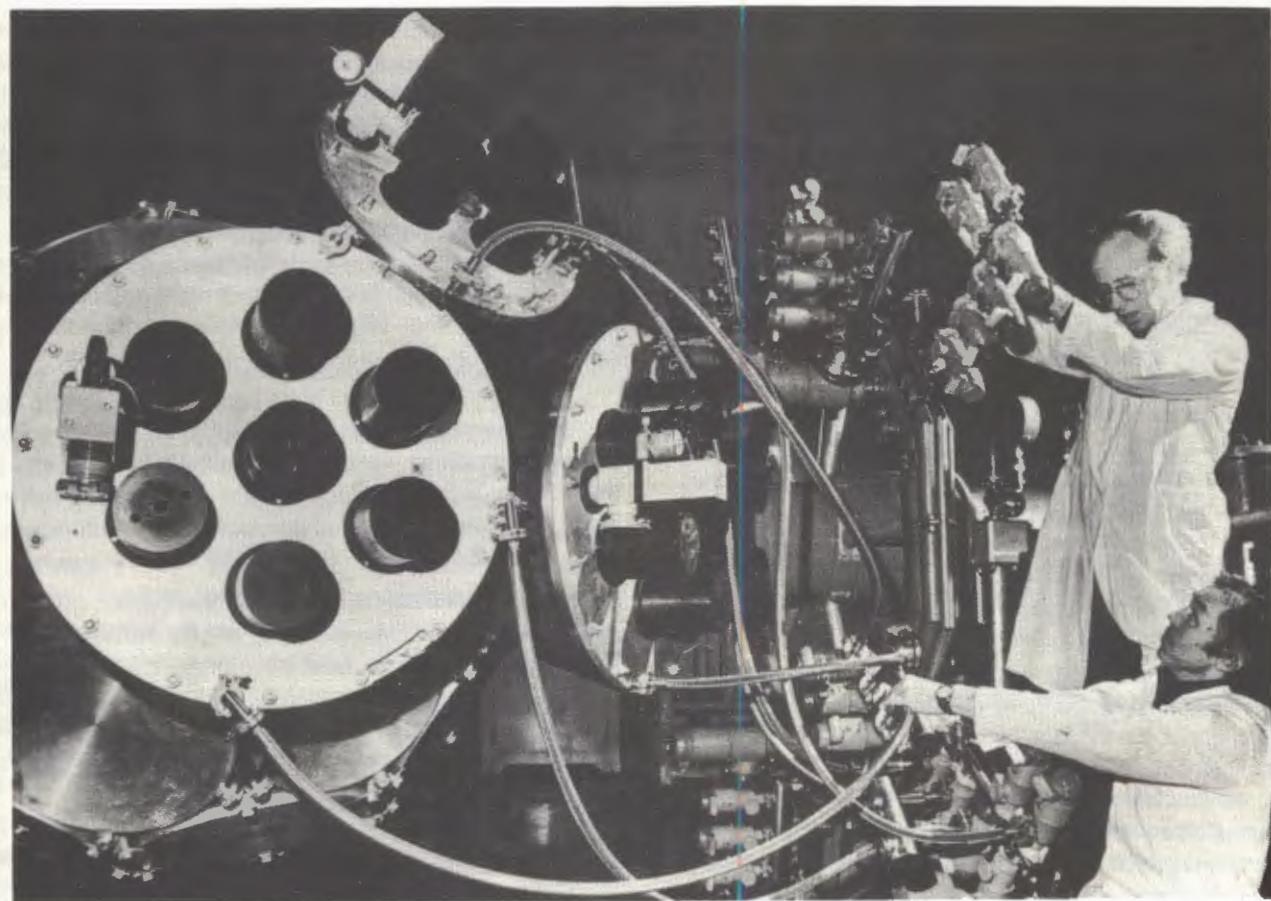


Рис. 15. Массовые и энергетические спектры, полученные на измерительном модуле установки ФОБОС

системы диагностики пучка радиоактивных ядер. Сепаратор имеет следующие расчетные параметры: магнитная жесткость 4,5 Т.м, телесный угол 6,4 мср, аксептанс по импульсу $\pm 6\%$ и разрешающая способность ~ 4000 .

7. Продолжалось создание установки ФОБОС. Изготовлены опытные экземпляры детекторов. Собраны две комбинации «лавинный счетчик + ионизационная камера», которые испытаны с использованием пучка ионов ускорите-

Монтаж газового спектрометра множественных событий установки ФОБОС



ля У-400. Испытаны блоки детекторной электроники, полученные из Исследовательского центра (Россendorf), модельная газовакуумная система и созданные в лаборатории электронные блоки, включая триггер первого уровня. Достигнуты проектные параметры детекторов [26] и начато их серийное изготовление. Полученные на стенде данные (рис. 15) использовались при разработке программ симуляции и обработки данных. В качестве основы программного обеспечения сбора и обработки данных поставлены на ЭВМ микро-VAX пакеты HOOPSY и OLYMP, полученные из Института Гана — Майтнер (Берлин). Для детектирования легких заряженных частиц на пучке

ионов ускорителя У-200 испытывались различные комбинации сцинтиллятор + фотоумножитель. На механической части установки ФОБОС в экспериментальном зале циклотрона МЦ-400 начата сборка газовых и вакуумных коммуникаций. Монтаж электрической части управления газовакуумной системой проводится в электротехническом отделе лаборатории. Было создано основное программное обеспечение для аппаратуры в стандарте ВМЕ и проведены испытательные работы на пучке ускорителя VIKSI (HMI, Берлин). В апреле 1991 года проведено Рабочее совещание по предложениюм совместных экспериментов на установке ФОБОС [27].

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

1. Проводились исследования по влиянию воздействия тяжелых ионов с энергиями от 1 МэВ/а.е.м. до 5 МэВ/а.е.м. на металлы, сплавы [28], диэлектрические и полупроводниковые монокристаллы [29], высокотемпературные сверхпроводники, а также на полупроводниковые приборы [30].

Были созданы автоматизированные установки для облучения образцов полупроводниковых монокристаллов и высокотемпературных сверхпроводников с измерением их основных характеристик непосредственно в процессе облучения тяжелыми ионами. С использованием этого оборудования получены дозовые зависимости изменения величины электросопротивления образцов и температуры сверхпроводящего перехода ВТСП для ионов с различными массами (от ^{11}B до ^{84}Kr).

Для изучения распределения дефектов радиационного происхождения вдоль пробега тяжелых ионов создана эффективная методика, представляющая собой аналог метода «Cross-section», которая дает возможность наблюдать всю дефектную область в облученных образцах при электронно-микроскопических исследованиях на пропавшем облученных образцов [28].

Проведены работы по изучению степени радиационного упрочнения меди и стали Х18Н10Т с применением метода измерения микротвердости и рентгеноструктурного анализа. Получены дозовые зависимости прироста микротвердости и изменения параметров решетки, на основе которых сделаны оценки «радиуса трека» ионов от ^{11}B до ^{40}Ar .

Существующие теоретико-расчетные методы вычисления величин как упругих, так и неупругих потерь энергии тяжелых заряженных частиц в конденсированных средах дают лишь приближен-

ные значения, что приводит к отклонениям от экспериментально определенных величин. В то же время для проведения ионного легирования с целью создания глубинных ионно-легированных слоев (в особенности в полупроводниковых монокристаллах) требуется значение этой величины с высокой степенью точности. Поэтому были определены экспериментально пробеги ряда тяжелых ионов с различными зарядами ядер и энергиями в LiF , GaAs , Si , Ge и ряде других [29]. Проведено сравнение экспериментально определенных величин проектного пробега с расчетным. Показано, что наибольшие различия имеют место при облучении материалов с малыми Z ядрами ионами тяжелее ^{40}Ar .

Для моделирования воздействия космического излучения на полупроводниковые приборы (большие интегральные микросхемы и т.д.) создана автоматизированная установка, позволяющая производить опрос состояния микросхемы при ее облучении тяжелыми ионами [30].

2. Совместно с Harwell Laboratory (Оксфорд, Великобритания) проведены работы по получению особо чистого изотопа ^{237}Pu , который благодаря своим ядерно-физическими свойствам ($T_{1/2} = 45,3$ суток, E_c (99%), α (0,0033%)) является единственным из изотопов плутония, удовлетворяющим медицинским требованиям для изучения его метаболизма в организме человека.

Радионуклид ^{237}Pu получали в реакции $^{235}\text{U}(^{4}\text{He}, 2n)^{237}\text{Pu}$ на ускорителе У-200 ЛЯР (энергия α -частиц 24,5 МэВ, $I = 75-100 \text{ мА}$). В качестве мишени использовали обогащенный изотоп ^{235}U с чистотой 99,99 %. Выделенный из облученной мишени радионуклид ^{237}Pu был дополнительно радиохимически и изотопно очи-

щен на электромагнитном масс-сепараторе ЯСНАПП ЛЯП. Получен препарат с отношением активностей Bq/Bq изотопов $^{236,237,238}\text{Pu}$ $2 \cdot 10^{-7}:1:(\leq 5 \cdot 10^{-7})$, что существенно превышает чистоту препаратов, ранее используемых в работах по изучению метаболизма Pu. Препарат прошел контрольную проверку в Лаборатории АЕА Enviroment Energy (Англия) и получил положительную оценку специалистов как наиболее чистый из препаратов ^{237}Pu , полученных на сегодня в различных ядерно-физических центрах.

3. Продолжены работы по изучению поведения платиновых металлов в экстракционных системах с твердыми экстрагентами на основе фосфороганических соединений и четвертичных аммониевых оснований. Установлены условия количественного и селективного выделения Au и Pt из растворов сложного состава [31]. На основании полученных результатов предложены методики анализа образцов сложного состава на содержание Au и Pt, включающие их плазмохимическое разложение [32,33], экстракционное выделение исследуемых элементов и их определение нейтронно-активационным и рентгенофлуоресцентным методами [34].

4. Изучено экстракционное концентрирование Pt и Au из хлоридных растворов и пульп вскрытия твердыми экстрагентами на основе иодида тетраоктиламмония, ТОФО и ТБФ. Определены оптимальные условия селективного и количественного выделения Pt и Au. Предложены методики, основанные на концентрировании Pt и Au ТВЭКСами с последующим анализом нейтронно-активационным методом [35].

Цикл работ, посвященный анализу золота и платиносодержащих образцов, отмечен поощрительной премией ОИЯИ за 1991 год.

5. Измерены радиационно-химические выходы при облучении ионами ^{11}B , ^{20}Ne , ^{40}Ca , ^{52}Cr и других водных растворов сульфата железа (II) и (впервые) этанольного раствора красителя малахитовый зеленый [36]. Опыты проводились на специально созданной для этих целей установке на пучке У-400, обеспечивающей точную дозиметрию. Таким образом, впервые стала доступной для изучения область столь больших ливневых потерь энергии, когда частицы образуют в жидкости плотные треки. Сравнение количественных данных с расчетом явится серьезной проверкой существующих теорий радиолиза. На основании полученных результатов раствор красителя представляется перспективным химическим дозиметром для пучков тяжелых ионов (рис. 16). Начаты опыты по определению выходов радикалов в по-

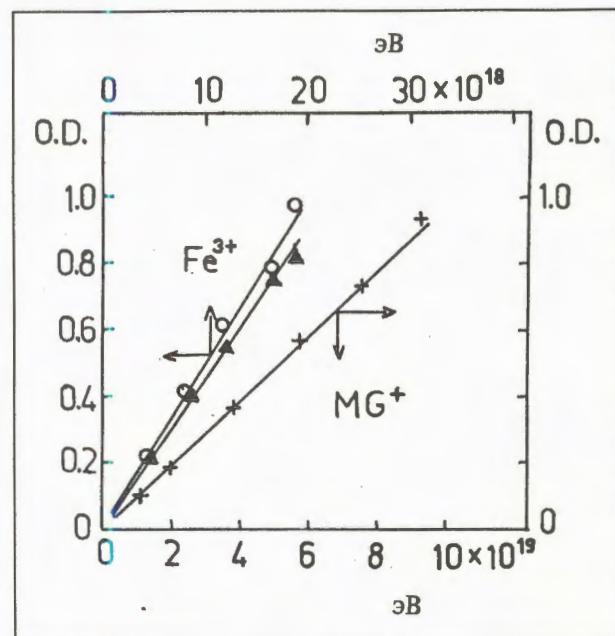


Рис. 16. Относительные радиационные выходы (оптическая плотность растворов) Fe^{3+} и MG^+ в зависимости от интегральной дозы облучения растворов ионами ^{11}B с энергией 96 МэВ

лимерных пленках при облучении на той же установке.

6. Проведены эксперименты по использованию трековой методики измерения содержания тория в природных образцах. При определении содержания тория в образцах и калиброванных стандартах использовались λ -кванты с энергией 18 и 20 МэВ. Для энергий λ -квантов в интервале от 6 до 23,5 МэВ определены отношения плотностей треков осколков деления $N_{\text{U}}/N_{\text{Th}}$, генерируемых в толстых металлических пластинах этих элементов, а также их солях. Величина отношения изменялась от 1,7 до 3,2, достигая максимума в области гигантского резонанса (14–16 МэВ). Содержание тория в калиброванных стандартах и образцах конкреций, определенное в элементах, в пределах ошибок согласуется с известными данными. Вклад от микропримесей урана определялся с помощью тепловых нейтронов.

Проведены измерения содержания тория в почвах и материалах конструкций на уровне чувствительности $10^{-5} - 10^{-7}$ г/г [37,38].

7. Предложена и испытана методика определения содержания и пространственного распределения элемента Ві в образцах. Методика состоит в облучении образцов, содержащих висмут, ускоренными ядрами гелия или изотопов водорода и последующей регистрации наведенной α -активности короткоживущих изотопов ядер At-Po с по-

мошью α -чувствительных полимеров (нитрат или ацетат целлюлозы, CR-39), приложенных к облученным образцам на несколько часов (или суток). Чувствительность метода — 10^{-6} г/г Bi, пространственное разрешение — 10—15 мкм.

8. Проводились исследования в области технологии получения трековых мембран из новых материалов, изучались механизмы процессов формирования и травления треков тяжелых ионов в полимерах.

Исследован процесс травления пор в изотактическом полипропилене в субмикронном диапазоне размеров. Для изучения радиальной структуры трека использованы кондуктометрический метод и электронная микроскопия. Проведенные параллельно эксперименты по определению гель-фракции в полипропилене, облученном тяжелыми ионами, позволили сделать вывод о неоднородном распределении актов разрывов и сшивок макроцепей полимера в треках [39].

Проведена серия работ с целью выяснения механизма сенсибилизации треков в полиэтилене-

рефталате при обработке растворителями. Обнаружено, что сенсибилизация треков связана с экстракцией продуктов радиолиза из поврежденных тяжелыми ионами областей полимера. Исследована кинетика вымывания низкомолекулярных продуктов из облученных ионами полиэтилен-рефталатных пленок [40].

Обработка сенсибилизирующим растворителем слабо влияет на степень кристалличности полимера, и поэтому процесс увеличения свободного объема в треках и рост скорости травления треков, по-видимому, не связаны непосредственно с кристаллизацией полиэтилентерефталата, индуцируемой растворителем [41]. Установлено, что сенсибилизированные растворителем треки подвержены сильной регрессии при последующем хранении полимерных пленок в обычных условиях [42].

В лаборатории исследованы эффекты воздействия атомарного водорода на ряд полимерных пленок, используемых в качестве трековых детекторов и в качестве основы трековых мембран [43].

ЛИТЕРАТУРА

1. Yeremin A.V. et al. — *Nucl.Instr.& Meth.*, 1989, A274, p.528.
2. Andreyev A.N. et al. — *JINR Preprint E15-91-411, Dubna*, 1991.
3. Andreyev A.N. et al. — *JINR Preprint D7-91-481, Dubna*, 1991.
4. Andreyev A.N. et al. — *Z.Phys.*, 1991, A338, p.353.
5. Андреев А.Н. и др. — ЯФ, 1991, т.53, вып.4, с.865.
6. Андреев А.Н. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ № 4[50]-91, Дубна, 1991, с.12.
7. Tretyakova S.P., Mikheev V.L., Ogloblin A.A. — In: *Proceedings of the International Conference on Nucl. and Clusters. 1—6 June, 1991, Turku*.
8. Mikheev V.L., Tretyakova S.P., Ogloblin A.A. — In: *Cluster Radio-Activity, of the Intern. Conf. on the Exotic Nuclei. 1—6 October 1991, Foros (in press)*.
9. Щегловски З. и др. — Радиохимия, 1991, т.33, с.70.
10. Zvara I. et al. — *JINR, E7-91-75, Dubna*, 1991, p.36.
11. Vilari A.C.C. et al. — *Phys.Lett.*, 1991, B286, p.345—350.
12. Skobelev N.K. et al. — *JINR Preprint E7-91-365, Dubna*, 1991.
13. Лукьянов С.М. и др. — Сообщение ОИЯИ Р7-91-224, Дубна, 1991.
14. Гангрский Ю.П. и др. — Международная конференция по экзотическим ядрам. Форос, 1991 (в печати).
15. Oganessian Yu.Ts. et al. — *JINR Rapid Communications*, No.3[49]-91, Dubna, 1991, p.44—53.
16. Oganessian Yu.Ts. et al. — *Proc. Intern. Conf. on Exotic Nuclei, Foros*, 1991 (in press).
17. Щегловски З., Короткин Ю.С. — ПТЭ, 1991, 1, с.206.
18. Oganessian Yu.Ts. et al. — *Workshop on Application of Lasers in Atomic Nuclei Research. JINR, D15-91-410, Dubna*, 1991, p.55—59.
19. Krats K.L. et al. — *Preprint IKMZ 91-3, 1991*.
20. Ефремов А.А. и др. — В сб.: X Всесоюзная конференция по постоянным магнитам. Тезисы докладов. Москва, 1991, с.198.
21. Акишин П.Г. и др. — ОИЯИ, Р9-91-555, Дубна, 1991.
22. Кутнер В.Б., Ефремов А.А. — В сб.: Рабочее совещание по источникам ионов с электронно-циклotronным резонансом (ЭЦР). Сборник аннотаций. ОИЯИ, Р9-91-263, Дубна, 1991.
23. Ter-Akopian G.M. et al. — *JINR, E9-92-15, Dubna*, 1992.

24. Oganessian Yu.Ts. et al. — *Nuclear and Atomic Physic with the Accelerators of the Ninetieon*. Alain Hilger. Bristol, Philadelphia and New York, 1991, p.137.
25. Artukh A.G. et al. — *Nucl.Instr. Meth.*, 1991, A306, p.123.
26. Ortlepp H.-G. et al. — *Proc. Int. Conf. on New Nuclear Physics with Advanced Techniques*. Jerapetra, Greece, June 23—29, 1991.
27. Sodan H. — *Preprint Zfk-751*, Rossendorf, 1991.
28. Bermudes A. et al. — *JINR Rapid Communications No.4[50]-91*, 1991, p.1—4.
29. Didyk A. et al. — In: *Heavy Ion Physics*. JINR, E7-91-75, 1991, p.256.
30. Големинов Н.Г. и др. — Сообщение ОИЯИ Р13-91-201, Дубна, 1991.
31. Dmitriev S.N. et al. — In: *Proc. Intern. Congress on Analytical Science*, 1991, ICAS'91, Japan, 1991, Abstract, p.50.
32. Dmitriev S.N. et al. — *Analyt. Chimica Acta*, 1991, 248, p.579—582.
33. Dmitriev S.N. et al. — In: *Proc. 5th Meeting on Nuclear Analytical Methods*, Dresden, BDR, May 1991, p.66.
34. Dmitriev S.N. — *Analyt. Chimica Acta*, 1991, 243, p.81—87.
35. Dmitriev S.N. et al. — *Sciences, Volume 7, Supplement ISSUE*, 1991.
36. Struglik Z. et al. — 7th «Tihany» Symp. on Radiat. Chem., 1991.
37. Отонсурэн О. и др. — Препринт ОИЯИ Р14-91-502, Дубна, 1991.
38. Perelegin V.P., Enchgin L., Abdullaev I.Cr. — *Proc. II Workshop on Radon Monitoring and Radioprotection, Environmental and Earth Sciences*, Trieste, 1991.
39. Apel P.Yu., Orelovich O.L. — *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 1991, 19, N.1—4, p.25—28.
40. Апель П.Ю., Кравец Л.И. — Препринт ОИЯИ 18-91-429, Дубна, 1991.
41. Samoilova L.I., Apel P.Yu., Kuznetsov V.I. — In: *Scientific Report 1989—1990 «Heavy Ion Physics»*, Dubna, JINR, E7-91-75, 1991, p.226.
42. Апель П.Ю. — Препринт ОИЯИ 13-91-423, Дубна, 1991.
43. Апель П.Ю. и др. — Препринт ОИЯИ Р12-91-433, Дубна, 1991.

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Лаборатория проводит научные исследования в основном по трем направлениям: физика конденсированных сред на ядерных реакторах, нейтронная ядерная физика и прикладные исследования. Базовыми установками для этих работ являются импульсный реактор на быстрых нейтронах ИБР-2 и бустер ИБР-30 с линейным ускорителем электронов ЛУЭ-40.

Исследования по физике конденсированных сред на ИБР-2 были начаты в 1983 г. Импульсный нейтронный источник превосходит по яркости стационарные реакторы и обеспечивает существенно более эффективное использование нейтронов путем применения времепролетной методики, что позволяет значительно сократить продолжительность экспериментов по изучению закона рассеяния. Рассеяние нейтронов в конденсированных средах позволяет изучать большинство разделов физики твердого тела, магнетизм, физику жидкостей, стекол, полимеров, физико-химические свойства коллоидных систем, растворов, молекулярной биологии, минералогии и др. Междисциплинарный характер исследований требует широкой кооперации ученых разных специальностей, владеющих сложными методами подготовки образцов, их изучения и интерпретации результатов.

Реактор ИБР-2 предоставляет исследователям рекордно большие потоки нейтронов в широком диапазоне длин волн при умеренном разрешении, что позволяет развивать те исследования, для которых решающую роль играют большие интенсивности. К ним относятся материалы, доступные в миллиграммовых количествах (биологические образцы), растворы с низкой концентрацией растворенного компонента, системы с малым отношением эффект/фон. Выбор научной программы определяется спецификой развивающихся в ЛНФ методов, таких как малоугловое и неупругое рассеяние, рефлектометрия, исследования в реальном масштабе времени, дифракция высокого разрешения.

Используемые методики нацелены на применение в следующих направлениях:

— микроскопические свойства высокотемпературных сверхпроводников;

- микроскопические свойства реальных кристаллов;
- структура, динамика и фазовые превращения в разупорядоченных системах;
- динамика квантовых жидкостей;
- свойства вещества в экстремальных условиях;
- структура и динамика сложных веществ и соединений;
- кинетика фазовых превращений, твердотельных реакций, релаксационных процессов;
- физика поверхностей, фрактальных характеристик межфазных границ, свойств адсорбентов, поверхностного магнетизма;
- текстура, элементный состав, радиационная стойкость и другие свойства практически важных материалов.

На ИБР-30 + ЛУЭ-40 традиционно проводятся исследования ядер с помощью нейтронов, направленные на детальное изучение высоковозбудженных компаунд- и предкомпаунд-состояний и получение их новых, не известных ранее характеристик. Это — измерение магнитных моментов и среднеквадратических радиусов компаунд-ядер, изучение распада резонансных состояний с вылетом γ -частиц, протонов и α -частиц, несохранения четности в p -волновых нейтронных резонансах. Во всех этих направлениях лаборатория явилась пионером и продолжает удерживать ведущее положение в мире.

В лаборатории широко исследуются характеристики радиационного распада и деления в отдельных резонансах, дважды дифференциальные сечения рассеяния нейтронов. Все это позволило получить оригинальную информацию о компаунд- и предкомпаунд-состояниях ядер и закономерностях их распада (поведение силовых функций для γ -частиц, влияние температуры ядра на форму гигантского резонанса, расщепление нейтронных p -волновых силовых функций и т.д.).

Большинство этих направлений вошло в программу исследований на новом спектрометре резонансных нейтронов в Лос-Аламосе, который начал функционировать в 1988 г. Установка в Лос-Аламосе обладает светосилой на порядок выше, чем ИБР-30. Однако наличие в ЛНФ широкого

круга высококвалифицированных специалистов, разработавших оригинальные методы исследований, и планируемая реконструкция бустера (длительность импульса 0,4 мкс и выход 10^{15} н/с) позволяют рассчитывать на успешную конкуренцию с Лос-аламосской и другими нейтронными лабораториями в области светосильной нейтронной спектроскопии ядер.

Прикладные исследования связаны главным образом с созданием и внедрением в практику приборов на основе сверхпроводящих квантовых интерферометров (сквидов). В последние годы удалось создать сквид из высокотемпературного сверхпроводника с рекордными параметрами по чувствительности. В области прикладных иссле-

дований также активно развиваются методы нейтронного и рентген-флюоресцентного анализа для решения экологических, технологических и других задач.

Научные исследования лаборатория ведет в широкой кооперации с институтами стран-участниц ОИЯИ, а также Лабораторией Резерфорда — Эпплтона (Великобритания), Институтом Лауэ — Ланжевена и Лабораторией Леона Бриллюэна (Франция), Лос-аламосской лабораторией (США), Реакторной лабораторией в Гархинге (ФРГ) и другими центрами стран-участниц.

Ниже приведены основные результаты работ, выполненных в лаборатории в 1991 г.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД МЕТОДОМ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ

Работы по этой тематике проводились в основном на шести пучках реактора ИБР-2, оснащенных 8 спектрометрами. В зависимости от метода анализа рассеяния нейтронов можно выделить следующие направления:

- дифракционные исследования на спектрометрах ДН-2, НСВР и СНИМ-2;
- малоугловое рассеяние нейтронов — МУРН;
- отражение поляризованных нейтронов — СПН;
- нейtronная спектроскопия на спектрометрах ДИН, КДСОГ-М и НЕРА-ПР для исследований неупругого рассеяния нейтронов.

Дифракционные исследования кристаллов на реакторе ИБР-2 ведутся по некоторым направлениям: структурные эксперименты на моно- и поликристаллах, фазовые переходы в сегнетоэлектриках и супериониках, фазовые переходы в сильных импульсных магнитных полях, структура липидных мембран, переходные процессы в кристаллах. В основном это традиционные для ЛНФ темы, по которым сложилось прочное сотрудничество с другими кристаллографическими и твердотельными лабораториями.

Подробные исследования структурных эффектов, связанных с замещением меди на железо и никель, проведены на $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Для увеличения эффекта замещения и, соответственно, надежности извлекаемой из дифракционных данных информации, применялось изотопное контрастирование структуры с помощью ^{57}Fe и ^{58}Ni [1]. Характерный дифракционный спектр показан на рис. 1. Данные этих работ подтвердили уже появившиеся сомнения в том, что замещение меди на другие 3d-металлы приводит к быстрой деградации сверхпроводящих свойств, если оно

идет в плоскостях CuO_2 . Было показано, что как никель, так и железо (при концентрациях $\geq 10\%$) активно внедряются в плоскость CuO_2 , однако уменьшение T_c при этом менее резкое, чем, например, в случае замещения меди на кобальт, который появляется только в цепочках CuO . Это означает, что, помимо места внедрения примесных атомов, важную роль играют другие, чисто структурные аспекты, в частности, величины длин связей.

Для керамики Y123 проведена серия экспериментов по диффузии кислорода при различных режимах обработки образцов: охлаждении с разной скоростью, отжиге при постоянной температуре, медленном нагреве [2,3]. Оказалось, что одномерная модель диффузии достаточно хорошо описывает поведение кислорода. Получены оценки величины коэффициентов диффузии для этих режимов.

Сравнительно новой темой дифракционных исследований на реакторе ИБР-2 являются эксперименты в реальном времени [4]. С помощью этого метода получен целый ряд интересных результатов. Из экспериментов, выполненных в последнее время, отметим исследования фазовых переходов в различных соединениях: гидриде титана [5], шпинели $\text{CuLi}_{0.2}\text{V}_{0.2}\text{Fe}_{1.6}\text{O}_4$ (рис.2), закаленном при высоком давлении тяжелом льде D_2O [6]. Развитая в ЛНФ методика позволяет вести эксперимент с временным разрешением, пока не доступным на других источниках нейтронов. В перечисленных выше исследованиях дифракционные спектры измерялись за время от 30 с до 5 мин. Эти работы были проведены на дифрактометре ДН-2, который в настоящее время является самым светосильным и эффективным спектрометром на реакторе ИБР-2.

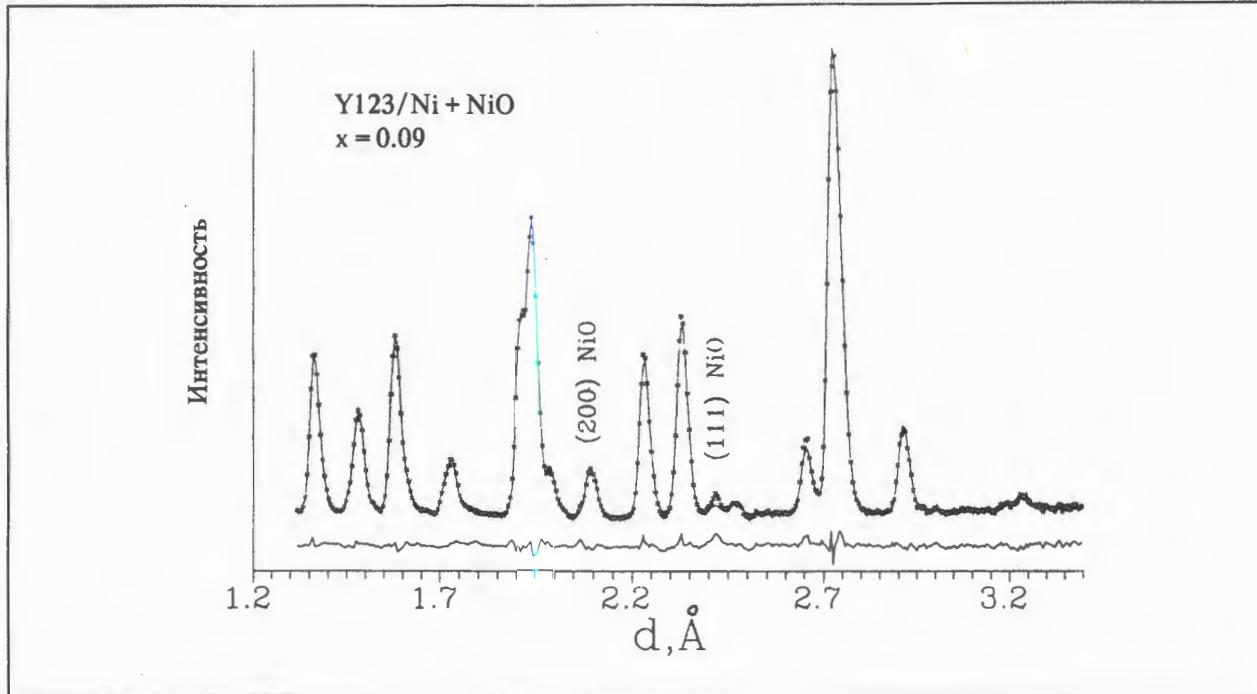


Рис. 1. Экспериментальный (*) и расчетный (линия) нейтронные дифракционные профили для $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{(1-x)}\text{Ni}_x)_3\text{O}_7$ с $x=0.09$

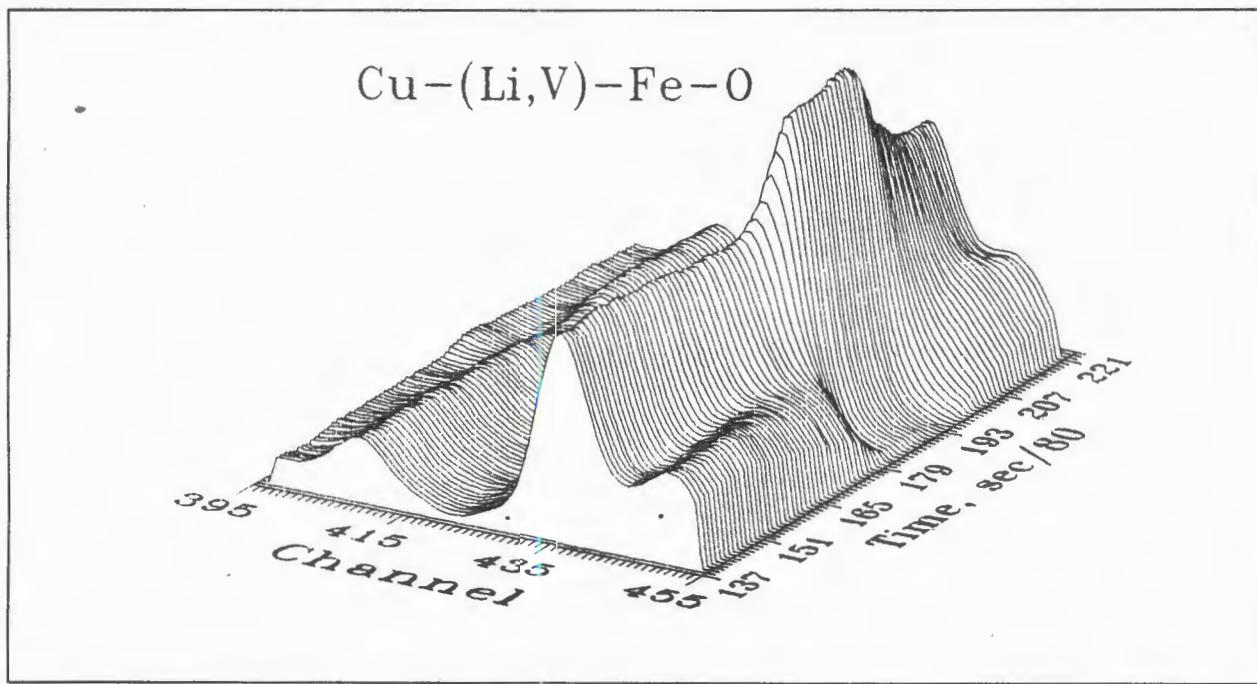


Рис. 2. Нейтронные дифракционные профили в области пика (311) кубической фазы $\text{CuLi}_{0.2}\text{V}_{0.2}\text{Fe}_{1.6}\text{O}_4$, измеренные при нагреве образца от 120°C (соответствует началу временной шкалы) до 510°C и последующего охлаждения до первоначальной температуры. Время измерения одного спектра 80 с. В интервале номеров спектров от 180 до 200 происходит переход из тетрагональной фазы в кубическую и обратно

Текстурный дифрактометр НСВР, расположенный на 100 м пролетной базе, по светосиле на порядок уступает ДН-2, но благодаря лучшему разрешению (в 3 раза) позволяет очень эффе-

тивно исследовать текстуры сложных материалов с низкой кристаллической симметрией. На дифрактометре были проведены исследования текстур для различных геологических образцов [7,8].

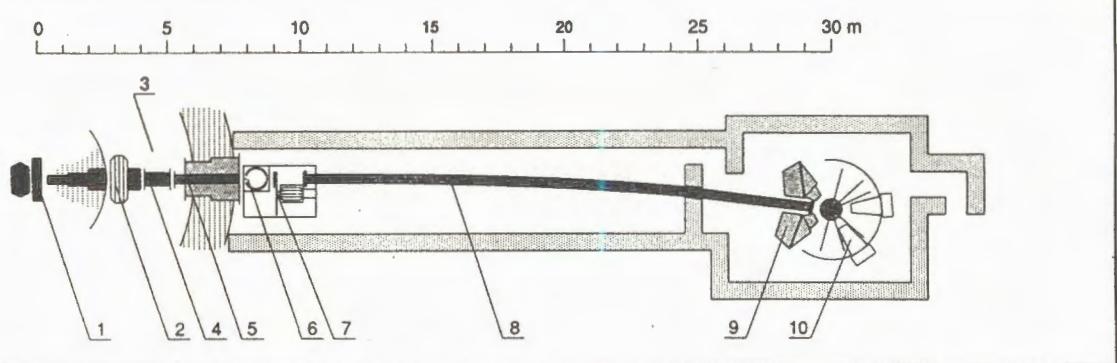


Рис. 3. Схема фурье-дифрактометра высокого разрешения, создаваемого на ИБР-2: 1 — замедлитель, 2 — механический фильтр нейтронов, 3 — кольцевой коридор ИБР-2, 4 — вспомогательный нейtronовод, 5 — коллиматор, 6 — второй механический фильтр, 7 — фурье-прерыватель, 8 — изогнутый нейtronовод, 9 — детекторы высокого разрешения, 10 — детекторы низкого разрешения

В публикациях прошедшего года отражены также усилия сотрудников лаборатории по совершенствованию действующих и созданию новых дифрактометров. Так, в работах [9,10] рассматриваются вопросы, связанные с вводом в действие нового нейтронного фурье-дифрактометра с разрешающей способностью на уровне 0,05% (рис.3).

Спектрометр малоуглового рассеяния нейтронов МУРН является весьма светосильным инструментом, позволяющим исследовать малые сечения рассеяния в изотропных рассеивателях. Основная активность была направлена на поиски новых применений этой хорошо известной техники. В тройных мицеллярных системах АОТ-вода-бензол и АОТ-вода-декан были исследованы возможности применения так называемой внутренней вариации контраста, а также были продолжены исследования феномена «рыхлости» обращенных мицелл при малом содержании воды [11].

Исследования водных растворов триблок-сополимерных мицелл, выполненные в широком диапазоне концентраций и температур, позволили экспериментально определить целый ряд характеристик этой системы, в том числе размеры и степень набухания гидрофобного ядра мицеллы (рис.4). Все полученные результаты являются во многом новыми и требуют определенных усилий для их анализа с точки зрения представлений о физической химии растворов.

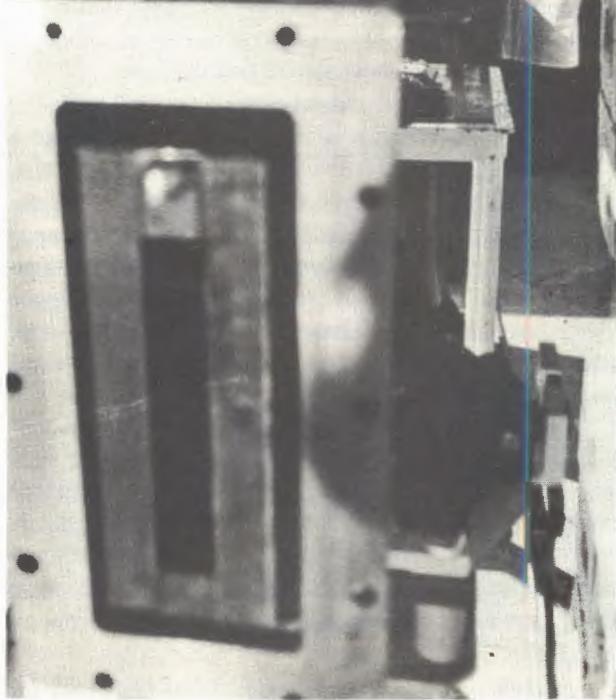
Времяпролетный спектрометр с поляризованными нейтронами СПН оказался весьма эффективным инструментом для исследований свойств поверхностей тонких пленок с помощью методов рефлектометрии. Из полученных результатов наибольший интерес представляет зависимость глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводящем ниобии от толщины ниобиевой плен-

ки (рис.5). Обнаруженная зависимость — весьма сильная (43, 90 и 145 нм для массивного образца и пленок толщиной 700 и 255 нм соответственно) и пока не имеют удовлетворительного теоретического объяснения.

В методическом отношении большой интерес представляют поиски «неотражающего зеркала» — элемента, важного для построения поляризатора тепловых нейтронов с высокой степенью поляризации отраженных нейтронов в широком диапазоне длин волн. Первые опыты с поглощающими слоями на основе тонких пленок боридов титана и ванадия показывают, что на этом пути возможно существенное улучшение качества поляризующих зеркал [12,13].

Самостоятельный интерес представляют возможности исследования процессов старения тонких пленок, продемонстрированные на примере тонкой (163 нм) пленки титана. Авторам удалось определить, что на поверхности титана за 2 недели образуется окисная пленка толщиной всего 9 нм, которая спустя два года увеличивается до 12 нм [14].

Два спектрометра «прямой геометрии» ДИН-2ПИ и ДИН-2ПР с двойным анализом энергии нейтронов по времени пролета совмещены на одном канале ИБР-2 на расстояниях 20 и 95 м от реактора. На более светосильном спектрометре ДИН-2ПИ продолжались эксперименты по неупругому и квазиупругому рассеянию нейтронов на жидком гелии, жидких металлах и адсорбированной воде. Измерения фононных спектров V—O, V—N, TaV_xN_4 продолжают исследования динамики решетки твердых растворов азота и кислорода в металлах. Исследована температурная зависимость плотности фононных состояний для ThO_2 , UO_2 и $ZrH_xU_{0,32}$ ($x = 1,6$ и $1,84$) при температурах от комнатных до ~ 1300 К. На спектрометре ДИН-2ПР проведена первая серия измере-



Система формирования нейтронного пучка первой очереди фурье-дифрактометра высокого разрешения

ний по рассеянию нейтронов с падающей энергией $E_0 = 200$ мэВ на жидком гелии при $T = 4,2$ и $1,4$ К. Эти измерения продолжают исследования бозе-конденсата и спектра элементарных возбуждений в жидком гелии при больших передачах момента и хорошем энергетическом разрешении.

Введен в эксплуатацию новый спектрометр для неупругого и квазиупругого рассеяния нейтронов НЕРА-ПР, расположенный на расстоянии

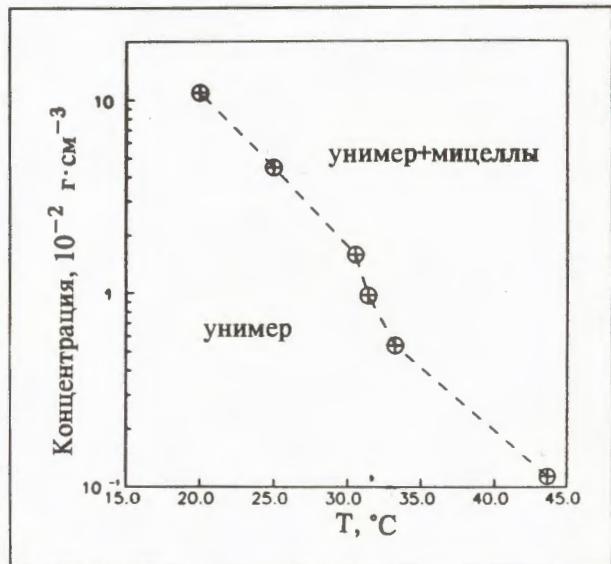


Рис. 4. Критическая концентрация образования мицелл в зависимости от температуры для водного раствора Pluronic L64

109 м от реактора и работающий по принципу обратной геометрии. Анализ энергии рассеянных нейтронов с помощью отражения на угол 175° от монокристаллов Cu(111) позволяет исследовать квазиупругое рассеяние с разрешением $E_0 = 50$ мкэВ в довольно широком диапазоне передачи импульса $(0,5-5) \text{ \AA}^{-1}$. Проведены первые эксперименты по исследованию стохастических реориентаций молекул в жидких кристаллах. Применение бериллиевого фильтра для анализа энергии обладает большой светосилой и хорошим разрешением для больших передач энергий $50 \leq E \leq 500$ мэВ. Этим способом определены парциальные плотности колебаний атомов меди и кислорода в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ ($x = 0,95$ и $0,25$) на основе измерения спектров неупругого рассеяния нейтронов для разных изотопов меди (^{65}Cu и ^{63}Cu), обладающих различными сечениями рассеяния нейтронов. Измерения спектров NH_4Cl и H_2O для $T = 290$ и 80 К при давлениях до 10 кбар показали, что метод бериллиевого фильтра на спектрометре НЕРА-ПР обладает достаточной светосилой и разрешением для исследования фоновых спектров в зависимости от давления.

На спектрометре КДСОГ-М, работающем также по принципу обратной геометрии, анализ рассеянных нейтронов проводится с помощью пиролитического графита, установленного за бериллиевыми фильтрами. Пролетная база 29 м от реактора и анализ рассеянных нейтронов с разрешением $E = 0,6$ мэВ позволяют эффективно исследовать неупругое рассеяние в диапазоне передачи энергии 0-200 мэВ для образцов, не содержащих водород или содержащих его в небольших

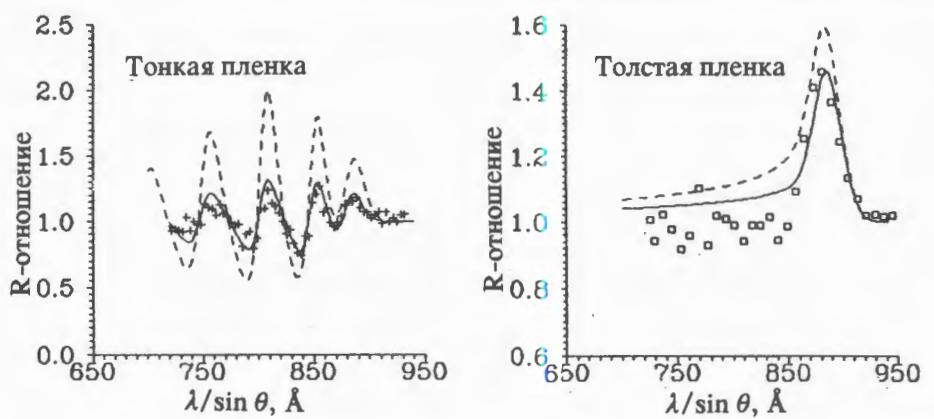


Рис. 5. Отношение отражающей способности ниобиевой пленки для нейтронов с противоположными поляризациями (R-отношение) в зависимости от нормальной компоненты длины волны нейтрона: (+) — пленка толщиной 255 нм; (□) — пленка толщиной 700 нм; (—) — теоретический расчет с учетом степени поляризации пучка и разрешения спектрометра; (---) — расчет для глубины проникновения магнитного поля в пленку, равной 50 нм

количествах, что имеет место в случае спектроскопии адсорбированных молекул. Проведено сравнительное изучение колебательных спектров для набора дисперсных кремнеземов (силикагель, аэрогель, аэросиль и силохром), содержащих адсорбированную воду. В результате анализа данных выделены спектры адсорбированной, или удержанной, воды в исследуемых образцах. Эти спектры сильно различаются, указывая на разные конфигурации адсорбированных центров в исследуемых кремнеземах. Экспериментальные результаты сравниваются с квантово-химическими расчетами в самосогласованном кластерном приближении, что позволяет делать выводы о полиморфизме дисперсных кремнеземов в зависимости от технологии их изготовления [15, 16].

В последние годы основной задачей на спектрометре КДСОГ-М являются исследования возбуждений кристаллического поля в сплавах и соединениях, содержащих редкоземельные элементы. За отчетный период продолжены исследования магнитных возбуждений в системах с тяжелыми фермионами CeCu_4Al , CeCu_4Ga и CeCu_2Si_2 . Серьезной задачей при этом является правильный учет фононных спектров, которые для этих систем вносят существенный вклад в спектры неупругого рассеяния нейтронов. Для этого одновременно измеряются спектры стехиометрических лантановых образцов LaCu_4Al , LaCu_4Ga , LaCu_2Si_2 , которые не имеют магнитного рассеяния. Характерной чертой магнитного рассеяния для тяжелофермионных соединений, содержащих церий, является только один переход кристаллического поля, имеющий форму лоренциана с довольно широким энергетическим распределени-

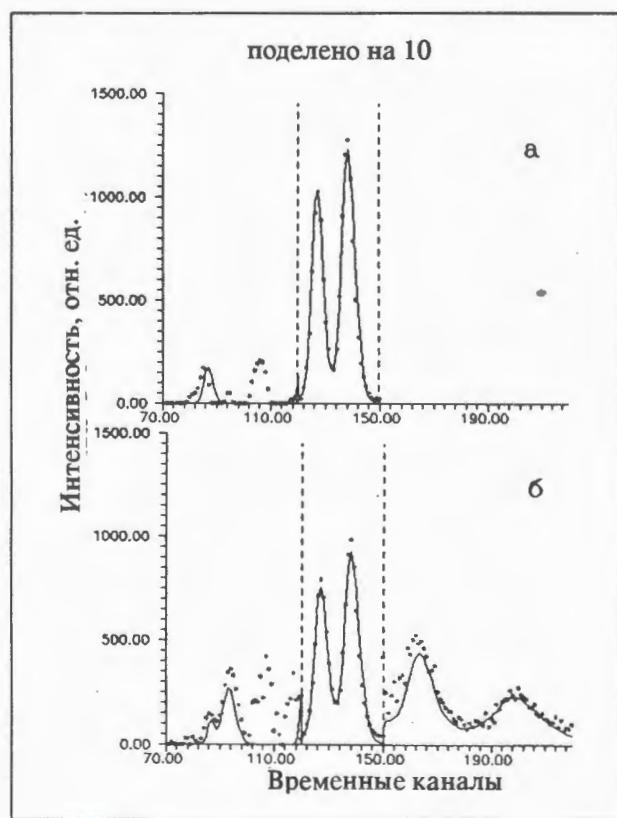


Рис. 6. Времяпролетный спектр магнитного вклада в неупругое рассеяние нейтронов на Nd_2CuO_4 : точки — эксперимент; линии — результат расчета на основании найденных параметров кристаллического электрического поля; а — $T = 10 \text{ K}$; б — $T = 80 \text{ K}$

ем, и интенсивный вклад квазиупругого магнитного рассеяния с также широким распределением в виде функции Лоренца.

Изучение параметров кристаллического электрического поля (КЭП) в металлических соединениях редкоземельных элементов было продолжено для семейства изоструктурных соединений $\text{Re}_{0,05}\text{Y}_{0,95}\text{Ni}_2$ ($\text{Re} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Tb}, \text{Tm}, \text{Er}, \text{Dy}, \text{Ho}$). В этом случае магнитные РЗМ сильно разбавлены немагнитными атомами иттрия, и взаимодействие $4f$ -электронной оболочки с КЭП можно изучать в более чистом виде.

Исследование переходов КЭП в Nd_2CuO_4 в зависимости от температуры в диапазоне 10–300 К позволило выделить переходы с возбужденных уровней (рис.6). Интерпретация результатов проводилась с учетом смешивания основного и первого возбужденного мультиплетов, что впервые позволило наряду с хорошим описанием экспериментальных данных по неупругому рассеянию нейтронов получить количественные описания результатов измерений магнитной восприимчивости.

Сотрудники ЛНФ участвовали также в совместных исследованиях, проводимых на импульсном источнике нейтронов ISIS в Лаборатории Резерфорда — Эпплтона (RAL) в Англии.

На спектрометрах неупрого рассеяния (НЕТ и MARI) исследовалась температурная зависимость ширины переходов КЭП в соединении $\text{Y}_{0,9}\text{Tm}_{0,1}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ ($x = 0,1$ и $0,9$). Полученные результаты указывают на формирование щели в спектре спиновых возбуждений при температуре примерно на 20 К выше T_c . Используя рекордное разрешение спектрометра НЕТ при высоких передачах энергии, исследованы межмультиплетные переходы в системе с тяжелыми фермионами CeAl_3 . Расщепление первого возбужденного мультиплета в КЭП оказалось в три раза больше расщепления основного мультиплета, что свидетельствует о значительном вкладе электронов проводимости в потенциал кристаллического поля. На спектрометре квазиупрого рассеяния IRIS исследовалась реориентационная динамика группы NH_4 при формировании дипольного стекла в системе $\text{K}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ ($x = 0,4$ и $0,9$). Формирование доменной структуры при фазовых переходах в сегнетоэлектрическом кристалле $\text{LiKS}O_4$ исследовано на дифрактометре SXD.

НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

В рамках этой тематики в лаборатории продолжались исследования физики нейтрона как элементарной частицы, нарушения пространственной четности при взаимодействии медленных нейтронов с ядрами, различных каналов распада нейтронных резонансов, механизма взаимодействия нейтронов с ядрами. Эти работы проводились как на светосильном нейтронном спектрометре по времени пролета на основе бустера ИБР-30, так и в совместных исследованиях на источниках нейтронов других институтов (ЛИЯФ, Гатчина; ИЯИ, Киев; Лос-Аламос, США).

Проведен анализ современного состояния оценок амплитуды рассеяния нейtron-электрон, а также нейтронной поляризуемости при взаимодействии с тяжелыми ядрами (свинца и висмута) [17]. Авторы приходят к выводу, что различие амплитуд n, e -рассеяния, полученных группами Дубны и Юлиха, которые приводят к различающимся оценкам среднеквадратичного зарядового радиуса нейтрона ($+0,12(2)$ фм и $-0,11(2)$ фм), обусловлено различной математической обработкой экспериментальных данных. В частности, существенными оказываются поправки на минимую часть длины рассеяния при извлечении коэффициента поляризуемости нейтрона из экспериментальных данных по полным нейтронным сечениям.

После окончания реконструкции установки поляризации резонансных нейтронов ПОЛЯНА ее светосила возросла в 10 раз. На ней продолжались поиски нарушений пространственной четности в p -волновых нейтронных резонансах. Были обследованы резонансы $E_0 = 9,6$ эВ (Rb) и $E_0 = 7,0$ и $21,9$ эВ (^{113}Cd) [18]. Эффект нарушения четности обнаружен только в резонансе 7 эВ ^{113}Cd : $p = (-9,8 \pm 3,0) \cdot 10^{-3}$. Интересен знак эффекта. Подтверждается закономерность эффективности современных представлений о механизме нарушения пространственной четности.

Сотрудники ЛНФ участвовали в подготовке аппаратуры и проведении эксперимента по изучению нарушения пространственной четности в радиационном захвате резонансных поляризованных нейтронов на нейтронном спектрометре LANSCE в Лос-Аламосе (США). Подтверждено последнее значение величины нарушения пространственной четности в лантане и получен новый результат в резонансе $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)$: $E_0 = 1,33$ эВ: $(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$. Для резонансов с $E_0 = 26,4$ и $34,0$ эВ получены только верхние оценки.

Использование ранее разработанных процедур обработки данных о $(\gamma-\gamma)$ -совпадениях в слу-

чае ^{158}Gd позволило установить [19] наличие значительного усиления не менее чем в 5 раз (относительно общепринятого модельного расчета) интенсивностей каскадов, энергия первичного перехода которых лежит в интервале 2+3 МэВ (рис.7). Отклонение такого масштаба экспериментальных интенсивностей от предсказаний статистической теории в деформированном ядре при энергии его возбуждения выше 5 МэВ ранее никем не наблюдалось.

С помощью многосекционного 4π -детектора γ -квантов на базе сцинтилляторов NaJ(Tl) были исследованы флуктуации множественности γ -квантов в отдельных резонансах ^{147}Sm в области энергий от 15 до 900 эВ. Показана четкая корреляция спектра множественности резонанса с его спином, что позволило определить спины 90 резонансов (рис.8).

Исследования рассеяния нейтронов с энергиами 1+300 кэВ на газообразных образцах криптона и ксенона позволили получить данные о нейтронных силовых функциях $S_{1/2}^1$ и $S_{3/2}^1$ и вкладах далеких уровней R_0^∞ и R_1^∞ . Измерениями на криptonе уточняется ход кривой $R_1(A)$ при $A = 70 - 90$, где наблюдается аномальный знак сдвига фазы нейтронной p -волны [20].

Продолжались исследования реакций (n, p) и (n, α) на стабильных и радиоактивных ядрах. Совместно с физиками ИЯИ АН Украины измерены тепловые сечения на редких изотопах ^{36}Ar (n, α) ^{33}S и ^{50}V (n, p) ^{50}Ti [21].

Совместно с сотрудниками нескольких университетов в Пекине разработана методика и про-

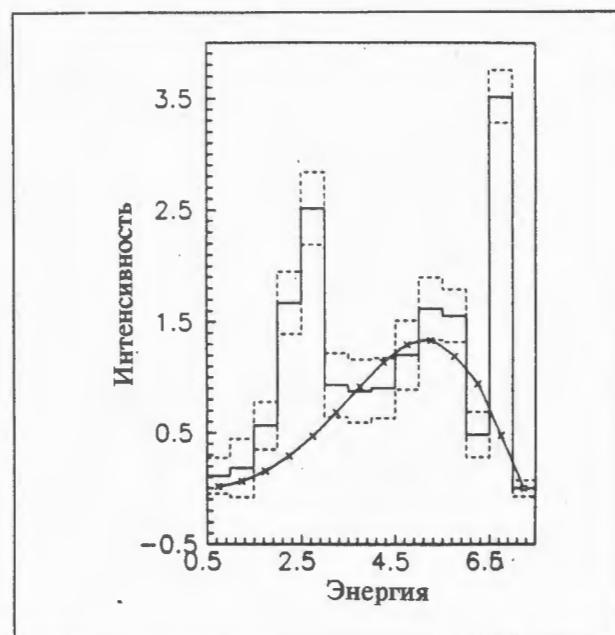


Рис. 7. Экспериментальные значения интенсивности каскадов (гистограммы) и их модельный статистический расчет (линия с крестиками) для ^{158}Gd в зависимости от энергий первичного перехода каскада

ведены пробные исследования спектров заряженных частиц в реакциях с быстрыми нейтронами. Полученные результаты позволили усовершенствовать двухсекционную ионизационную камеру с целью анализа частиц по энергии и пробегу.

С помощью регистрации характерных γ -линий в осколках деления исследован выход осколков деления в ряде нейтронных резонансов ^{239}Pu

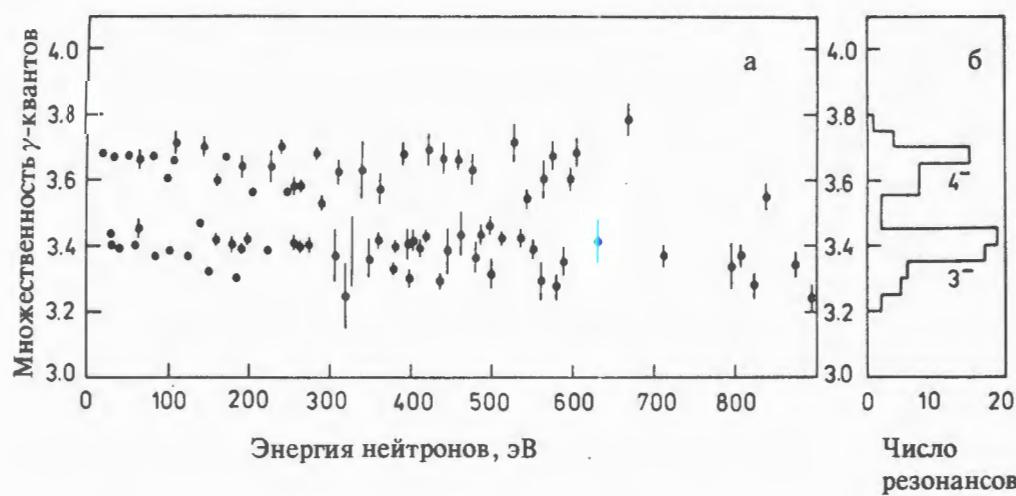


Рис. 8. Экспериментальные средние значения для множественности γ -квантов для ^{147}Sm : а) в зависимости от энергии нейтронов; б) распределение резонансов по множественности с шагом 0,05

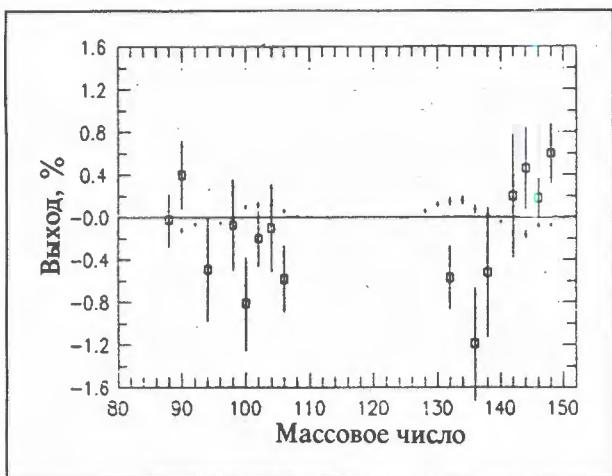


Рис. 9. Сравнение массовой зависимости относительного выхода осколков в делении ^{239}Ru резонансными нейтронами (квадратики) с данными по делению ^{235}U (точки)

от 0,2 до 230 эВ. Наблюдена особенность в массовой зависимости относительного выхода осколков в резонансах, идущая в противофазе с данными Хамбша и др. для аналогичной зависимости в ^{235}U [22] (рис.9). Методом взвешивания получены средние параметры множественности γ -квантов деления $N_\gamma = 7,26 \pm 0,19$, $E_{tot} = (6,68 \pm 0,12)$ МэВ и средняя энергия $\epsilon_\gamma = (0,92 \pm 0,03)$ МэВ.

Проведены модельные оценки характеристик деления ^{235}U и ^{239}Ru в области низких энергий [22]. Для средних характеристик $(n, \gamma f)$ -процесса получены следующие значения: 1) для резонан-

сов ^{235}U с $J^\pi = 4^-$ $\Gamma_{\gamma f} \bar{N}_{\gamma f} = (0,42 \pm 0,10)$ мэВ, $\Gamma_{\gamma f} \bar{E}_{\gamma f} = (410 \pm 120)$ эВ 2 ; 2) для резонансов ^{239}Ru с $J^\pi = 1^{+-}$ $\Gamma_{\gamma f} \bar{N}_{\gamma f} = (1,5 \pm 0,5)$ мэВ, $\Gamma_{\gamma f} \bar{E}_{\gamma f} = (2150 \pm 650)$ эВ 2 . Показано, что наблюдаемые в эксперименте флуктуации в характеристиках полного деления в резонансах ^{235}U с $J^\pi = 4^-$ могут быть объяснены моделью многомодального (multimode) деления с учетом $(n, \gamma f)$ -процесса.

В лаборатории ведутся работы по сооружению новой экспериментальной установки (УГРА), предназначенной для определения коэффициента поляризуемости α_n нейтрона путем прецизионных измерений угловых распределений нейтронов, рассеиваемых тяжелыми ядрами. Погрешность измерения относительной асимметрии рассеяния вперед—назад не должна превышать $(2-3) \cdot 10^{-4}$, что позволит снизить погрешность $\Delta \alpha_n$ до $\approx 3 \cdot 10^{-43}$ см 3 . Кроме измерения α_n , установка может использоваться для поиска легких скалярных частиц — переносчиков взаимодействия; поиска и изучения смешанных $(s + d)$ -резонансов; определения смесей спиновых каналов в p -резонансах; неразрушающего анализа образцов на присутствие в них водорода.

Рассмотрен и предложен вариант прерывателя-монохроматора для холодных нейтронов на основе изменения малоуглового рассеяния намагниченной и размагниченной фольги из ферромагнетика [24].

Рассчитан вариант «неупругого» адиабатического спин-флиппера для холодных нейтронов [25].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретические исследования конденсированных сред в Лаборатории нейтронной физики велись главным образом в трех направлениях: механизмы ВТСП, стеклоподобное поведение во внешних магнитных полях и вихревая структура и джозефсоновские структуры на основе ВТСП.

В рамках модели сверхпроводящего стекла удалось получить хорошее описание как равновесных (магнитная фазовая диаграмма), так и неравновесных (долговременная релаксация захваченного магнитного потока) свойств высокотемпературных сверхпроводников [26,27].

В рамках этой же модели [28] рассчитаны вольт-амперные характеристики. Показано, что нелинейная степенная ВАХ в ВТСП является следствием образования 3D-стеклоподобного состояния. Кроме того, такое состояние может при-

водить к логарифмической ВАХ и эффектам памяти [29].

Исследование новых вихревых фаз в ВТСП с помощью обобщенного приближения Бете проводилось в работе [30]. Показано, что вклад в статистическую сумму от столкновения вихрей преобладает над вкладом от «перепутанных» вихрей. Об этом свидетельствует тот факт, что при увеличении толщины образца теплоемкость изменяется незначительно.

Известно, что флуктуации фазы волновой функции куперовских пар могут вызывать добавочное электростатическое взаимодействие малых сверхпроводящих гранул. Это взаимодействие может восстановить нормальное состояние при понижении температуры, когда его энергия сравнима с энергией джозефсоновской связи между гранулами. В работе [31] показано, что кван-

товый характер джозефсоновских осцилляторов в периодическом потенциале приводит к восстановлению нормального состояния.

Теоретические исследования в отделе ядерной физики лаборатории развивались в трех направлениях: свойства ядра, анализ процессов деления в нейтронных резонансах, свойства ультрахолодных нейtronов.

Для анализа процессов деления, индуцированных резонансными нейтронами, предложена модель, в которой деление во всех резонансах происходит по одним и тем же каналам, число которых определяется спином и характеризуется проекцией спина на ось компаунд-ядра. Вклад же этих каналов от резонанса к резонансу меняется случайным образом [32]. Показано, что амплитуды флуктуаций угловой анизотропии полной ки-

нетической энергии и выхода осколков хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Для прецизионного определения времени жизни нейтрона необходимо оценить величину гравитационной погрешности, связанную с потерями при соударении ультрахолодных нейтронов со стенками. Численный анализ показывает [33], что погрешность за счет гравитационных эффектов может быть определяющей в эксперименте.

Для учета вероятности потерь при соударении УХН со стенками разработан общий метод описания явлений транспортировки волн и частиц в произвольных средах [34], согласно которому любая среда может быть расщеплена в любой точке на отдельные слои. Этот метод позволил найти замкнутые выражения для амплитуд отражения и пропускания.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Центр тяжести прикладных исследований лаборатории в 1991 г. лежал в области изучения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП),

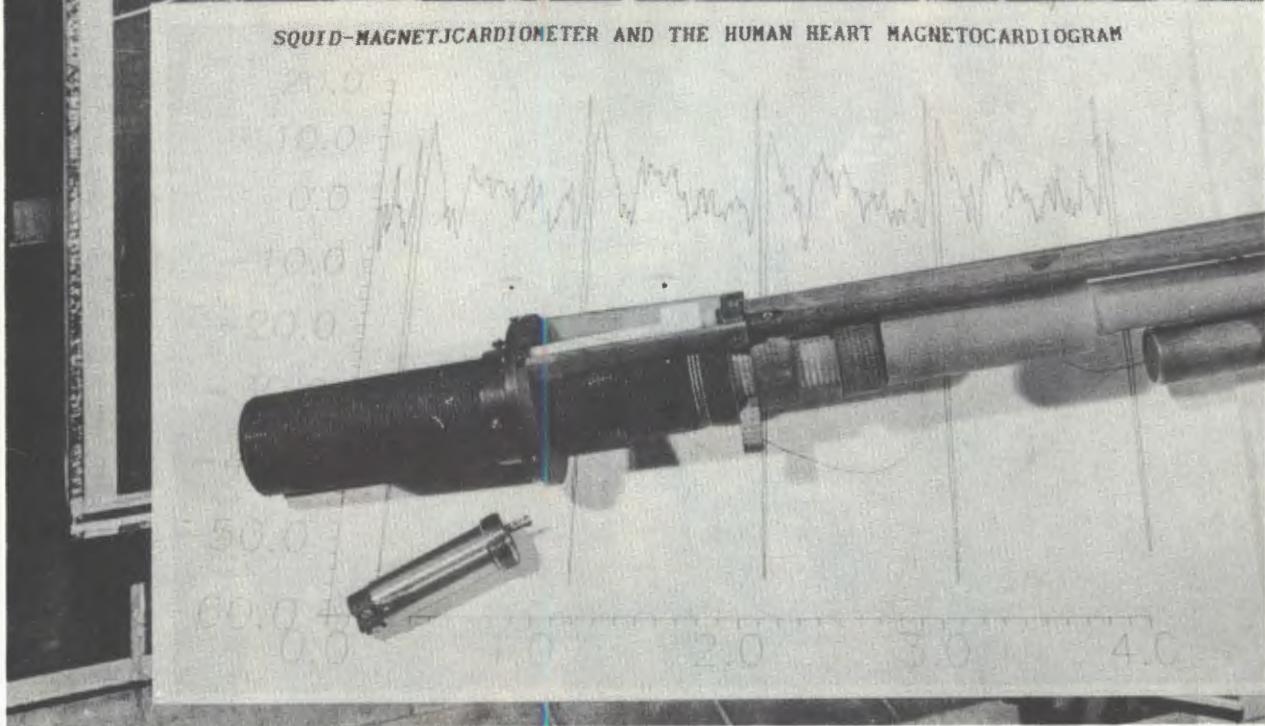
создания сквидов, работающих при азотных температурах, и разработках на их основе высокочувствительных измерительных систем. При этом

Установка для исследования местоположения примесей в кристаллических образцах путем канализации ионов низких энергий





SQUID-MAGNETOCARDIOMETER AND THE HUMAN HEART MAGNETOCARDIOGRAM



Экранированная комната для экранировки высокочувствительных датчиков магнитного поля—сквидов при проведении тонких биомагнитных измерений

для исследований ВТСП использовались широкие экспериментальные возможности лаборатории и Объединенного института в целом — нейтронная и рентгеновская дифрактометрия, методики ERD (Elastic Recoil Detection), PIXE (Particle Induced X-Ray Emission) и RBS (Rutherford Back Scattering), в том числе, в условиях канализования, на электростатическом генераторе ЭГ-5, облучение тяжелыми ионами и высокоэнергетическими частицами. Была разработана времязаписная методика измерения фотоэлектронных спектров ВТСП при облучении лазерными импульсами наносекундного диапазона.

Плодотворная идея использования керамических контактов для ВТСП-сквидов позволила перейти к созданию чувствительных гальванометров и магнетометров. На основе проведенных исследований сделан вывод о возможности применения ВТСП-экранов, работающих при температуре жидкого азота. Изготовлен опытный образец экрана из керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [35].

С использованием традиционного низкотемпературного сквида создан измеритель магнитной восприимчивости с разрешением по магнитному моменту $10^{-12} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ [36].

С помощью методик, разработанных на электростатическом ускорителе ЭГ-5, проводились исследования приповерхностных слоев металли-

ческих стекол, суперрешеток, элементов микроэлектроники, имплантированных образцов, полупроводников и т.д., согласно контрактам, заключенным с институтами стран-участниц [37,38].

Большой объем работ выполнен в отчетном году с помощью нейтронного активационного анализа. Сюда вошли вопросы охраны окружающей среды, в частности, изучение влияния минеральных удобрений на загрязнение среды [39] и распределения основных и следовых элементов, включая токсические, в зерновых культурах ряда сельскохозяйственных районов страны [40].

Проведен анализ содержания урана и тория в ряде материалов и узлов разрабатываемого с участием ОИЯИ большого нейтринного детектора. Анализ показал, что эти элементы содержатся в количествах, превышающих допустимые для низкофоновых детекторов на 3-4 порядка.

Закончен цикл работ по изучению распределения ряда элементов в геологических структурах нефтяных районов Кубы [41,42]. Поскольку, как показал анализ, за 500—700 м до появления нефтяных пластов значительно повышается содержание редкоземельных элементов (РЗЭ), предлагается использовать мгновенные γ -кванты радиационного захвата нейтронов в РЗЭ при анализе результатов нейтронного каротажа.

БАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

ИБР-2

Современные параметры реактора ИБР-2 и его экспериментальные базы описаны в [43]. За 1991 г. на физический эксперимент реактор отработал 2550 часов в 10 плановых циклах. В работе в течение сезона было занято 11 экспериментальных каналов. В табл.1 приведены параметры реактора ИБР-2 в отчетном периоде.

С октября 1987 г. на реакторе работает второй подвижный отражатель ПО-2, который заменил на штатном месте первый подвижный отражатель ПО-1, отработавший 13211 часов с момента пуска реактора. Разрешенный ресурс работы ПО-2 — 18000 часов. К 1 июля 1991 г. наработка ПО-2 составила 12166 часов. Разрешенный флюенс по центру лопасти ПО-2 — $6,7 \cdot 10^{25} \text{ н/м}^2$. Наработанный флюенс составил $4,38 \cdot 10^{25} \text{ н/м}^2$.

На реакторе продолжали регулярно проводить диагностику текущего состояния по шумам его параметров, а также была выполнена ежегодная «Программа измерений мощностного эффекта реактивности реактора ИБР-2».

Таблица 1. Параметры реактора ИБР-2 в отчетном периоде

1. Средняя мощность, МВт	2
2. Пиковая мощность, МВт	1500
3. Полуширина импульса быстрых нейтронов, мкс	215
4. Плотность потока тепловых нейтронов, н/ $\text{см}^2 \cdot \text{с}$	$5 \cdot 10^{12}$
— средняя на поверхности плоского замедлителя	
— пиковая там же	$4 \cdot 10^{15}$
— пиковая на поверхности гребенчатого замедлителя	10^{16}
5. Частота импульсов, с^{-1}	5

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ НА ИБР-2

Автоматизированная система измерений и управления (АСИУ) ИБР-2. Продолжались работы по совершенствованию систем контроля и управления реактора ИБР-2. Цель работы — повышение надежности контроля за состоянием реактора и систем его инженерного обеспечения, а

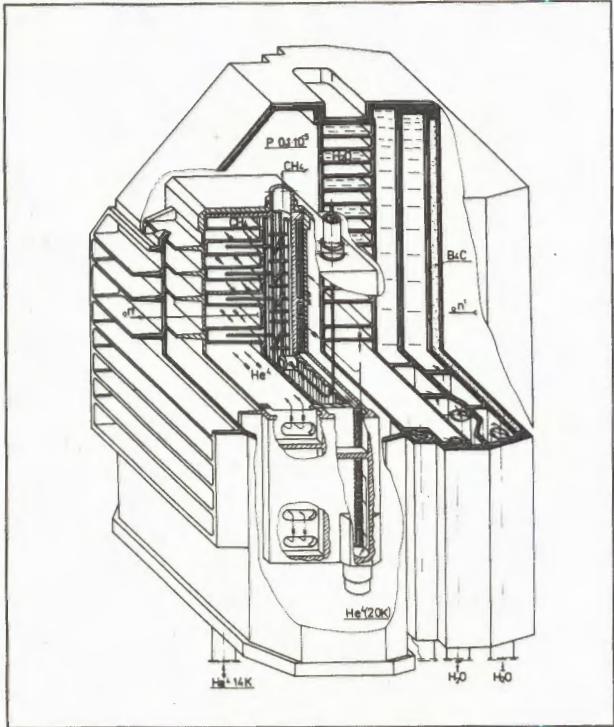


Рис. 10. Схема создаваемого на ИБР-2 криогенного твердометанового замедлителя нейтронов

также повышение информационных возможностей системы при использовании современных технических средств. В 1990 г. в Центральном институте физических исследований (Венгерская Республика, Будапешт) был разработан «Системный план АСИУ ИБР-2» (техническое предложение по созданию автоматизированной системы измерений для реактора ИБР-2). После проведения в СССР экспертизы, «Системного плана» и согласования основных технических решений в июне 1990 г. между ОИЯИ и в/п «Метримпекс» был заключен контракт на поставку первой части оборудования АСИУ ИБР-2 — системы контроля технологических параметров.

Поставки этого оборудования были закончены в мае 1991 г. К концу года закончен монтаж оборудования и начата его опытная эксплуатация — проведение измерений параллельно со штатным оборудованием.

Опытная эксплуатация обеспечивает возможность адаптации персонала к новым техническим средствам, а также разработку программ, обеспечивающих представление информации в наиболее удобном виде. В полный объем АСИУ ИБР-2 наряду с поставленным оборудованием для контроля технологических параметров входит оборудование для контроля состояния реактора и оборудование, обеспечивающее выполнение необходимых логических операций в системе управления и защиты реактора.

Криогенный замедлитель. В завершающую стадию вступили работы по криогенному замедлителю (КЗ) для трех пучков реактора ИБР-2 (пучки 4, 5 и 6). Конструкция КЗ показана на рис. 10. Замедляющей средой для нейтронов является метан в твердом состоянии при температуре около 20 K, его охлаждение осуществляется газообразным гелием при $T = 10-15$ K. Ожидаемый эффект — увеличение в 10 раз потока холодных нейтронов в направлении трех пучков реактора. За отчетный период полностью завершены проектные и конструкторские работы, изготовленна метаногелиевая камера — основной узел КЗ. Проведены ее вакуумные испытания. Исследовано напряженно-деформированное состояние метановой камеры в широком интервале температур вплоть до рабочих (20 K) методами тензометрии. Завершено изготовление стенда для холодных испытаний КЗ, налажена новая криогеногелиевая установка с возможностью получения жидкого гелия. Начато производство жидкого гелия для физических экспериментов, проводимых в ЛНФ. Ведутся подготовительные работы по «холодному» пуску КЗ на стенде.

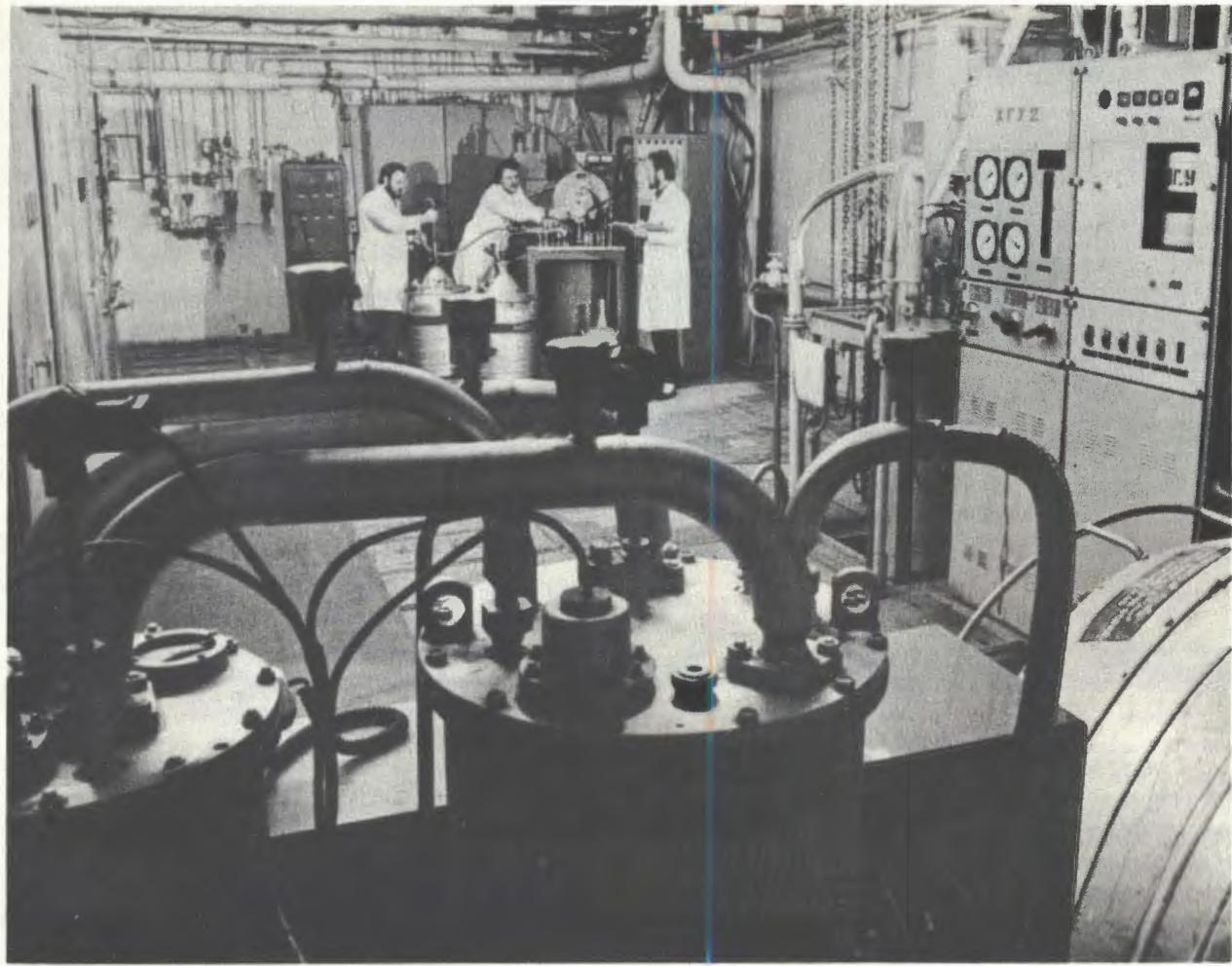
Подвижный отражатель ПО-2РМ. Продолжались работы по созданию подвижного отражателя ПО-2РМ, в котором реализуются гетерогенные структуры роторов из никеля со встречным движением основного и вспомогательного подвижных отражателей. Изготовлено значительное количество узлов новой машины: в 1990—1991 гг. было уделено большое внимание обоснованию прочности никелевых роторов.

ИБР-30 + ЛУЭ-40

Установка ИБР-30 + ЛУЭ-40 после ремонта была введена в эксплуатацию 21 июня 1990 г. За отчетный период отработано 9 циклов. Информация о параметрах установки приведена в табл. 2.

В 1991 г. в КБ ЛНФ выполнена разработка новой мишени из тантала для ИБР-30. Это позволит более эффективно использовать фотонейтроны мишени в активной зоне и равномерно распределить тепловыделения в тепловыделяющих элементах, расположенных вокруг канала мишени. Новая мишень изготовлена и проходит испытания.

Проект ИРЕН. Источник резонансных нейтронов ИРЕН, предлагаемый взамен действующего в ЛНФ ОИЯИ уран-плутониевого бустера ИБР-30, является подкритической размножающей мишенью из высокообогащенного урана на базе мощного линейного ускорителя электронов ЛУЭ-100. Проектируемый источник с интенсив-



Стенд для испытаний криогенного замедлителя ИБР-2, настройка систем инженерного обеспечения

Таблица 2. Параметры установки ИБР-30

Энергия электронов, МэВ	32
Длительность импульса, мкс	1,6
Частота, с^{-1}	100
Пиковый ток, А	0,4
Средний ток, мкА	64
Средняя мощность эл.пучка, кВт	2
Материал мишени	вольфрам
Умножение	200
Длительность импульса нейтронов, мкс	4,2
Средняя тепловая мощность, кВт	10
Средняя интенсивность, н/с	$3,6 \cdot 10^{14}$

ностью нейтронов до $2 \cdot 10^{15}$ нейтр./с, длительностью нейтронной вспышки менее 1 мкс и частотой повторения вспышек не более 200 Гц предназначается для ядерно-физических исследований методом пролета и по своему качеству на

два порядка превосходит ИБР-30. Проект ИРЕН ведется по двум параллельным направлениям: разработка нового ускорителя ЛУЭ-100 и разработка урановой размножающей мишени.

1. Ускоритель электронов ЛУЭ-100

Проведены концептуальные разработки ускорителя электронов на бегущей волне с параметрами: мощность пучка 10 кВт, энергия электронов 150 МэВ, длительность электронного импульса 0,3 мкс, частота повторения импульсов 200 Гц. Показана возможность практической реализации требуемых параметров, оценена стоимость ускорителя, намечены разработчики технического проекта и изготовители.

2. Размножающая мишень ИРЕН

Проведены концептуальные разработки 10 вариантов конструкции урановой размножающей мишени с нейтронно-физическими и теплогидравлическими обоснованиями, на основании которых выбран вариант конструкции для эскизного проектирования установки ИРЕН.

Разработан эскизный проект установки ИРЕН с ускорителем электронов на энергию 150 МэВ и мощностью пучка 10 кВт. В качестве делящегося материала выбран уран-молибденовый сплав 90%-го обогащения по урану-235. Конвертором служат естественный уран и ртуть. Активная зона охлаждается принудительным потоком воздуха, конвертор — за счет естественной циркуляции ртути. Рабочее значение коэффициента размножения — 14.

В режиме стационарного бустера мощность активной зоны около 20 кВт, интенсивность 10^{15} нейтр./с, длительность вспышки быстрых нейтронов 0,4 мкс, постоянный во времени фон запаздывающих нейтронов равен 10%.

Конструкция размножающей мишени допускает модификацию на режим с модуляцией реактивности: модулятором служит подвижный

четырехлопастный отражатель нейtronов, врашающийся со скоростью 3000 об./мин. В этом режиме мощность активной зоны составляет 50 кВт при размножении 36; интенсивность испускания нейтронов $2 \cdot 10^{15}$ нейтр./с при частоте 200 Гц и длительности вспышки 0,9 мкс. Фон запаздывающих нейтронов, усредненный по времени, равен 11,8%.

Эскизный проект включает нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты активной зоны и конвертора, конструкцию тепловыделяющих элементов и сборок активной зоны, принципиальную конструкцию уран-ртутного конвертора с автономным контуром естественной циркуляции ртути, конструкцию отражателей и замедлителей нейтронов, конструкцию раздвижной радиационной защиты.

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Сети ЭВМ. В течение 1991 г. проводилось изучение возможности использования промышленных блоков электроники, оптических кабелей отечественного производства в составе сети Ethernet фирмы DEC. В результате было отобрано три типа электронных блоков и три типа оптических кабелей. Эти компоненты были включены в локальную сеть для испытания, проработали в составе сети один месяц. Их параметры оказались не хуже аналогичных западных устройств.

Продолжались работы по развитию ЛВС SONET, в том числе и программного обеспечения на базе ПК:

- создано программное обеспечение для интерактивного доступа к директориям и файлам сервиса с абонентского ПК;
- создана библиотека процедур для языка Си, обеспечивающая удаленный доступ к файлам (эта библиотека является основой для реализации распределенных систем автоматизации на базе аппаратных средств сети SONET-2).

ЭВМ центрального процессора. Центральный процессор в составе ЭВМ PDP-11/70 и двух ЭВМ μ VAX-II работал удовлетворительно в течение сезона работ реакторов ЛНФ. Продолжалось развитие терминальной сети ЭВМ PDP-11/70, μ VAX-II. В 1991 году более широко стала использоваться институтская сеть JINET в связи с вводом в эксплуатацию математического обеспечения «Электронная почта».

Физические установки. В 1990—1991 гг. продолжался процесс перевода измерительных моду-

лей физических установок ЛНФ на персональные компьютеры PC/XT, AT, а также модернизации аппаратуры и программного обеспечения физических установок, уже работающих с ПК. На нейтронных пучках реактора ИБР-2 запущена первая очередь установки ТЕКСТ, установлены персональные компьютеры PC/AT-286 на установках ДИФРАН, СПН-1; завершается модификация физических установок НЕРА-ПР, СНИМ-2, ДН-2 [44], ДПП, НСВР, КДСОГ; полностью завершены работы на установке для экспериментов с УХН [45]; ведутся подготовительные работы к монтажу установок ФДВР на пятом пучке.

Для улучшения качества нейтронных пучков на реакторе ИБР-2 в дополнение к уже существующим запущены в эксплуатацию системы фазировки прерывания нейтронного пучка на пятом (установка ФДВР) и седьмом (установка НЕРА-ПР) пучках ИБР-2.

На нейтронных пучках реактора ИБР-30 завершены работы по модификации и переводу на персональные компьютеры измерительных модулей установок ПОЛЯНА, ПОИСК; введен в эксплуатацию измерительный модуль дифрактометра ДН-3; запущен комплекс аппаратуры КАМАК + PC/AT-386 установки КАНАР для изучения реакций ($n, 2\gamma$).

Электронные системы и блоки. Для управления терmostатами создан комплекс электронных устройств и их программное обеспечение: микропроцессорный контроллер в стандарте КАМАК; программируемый регулятор температуры с клавишным управлением; коммутатор связи терми-

нала с автоматизированными микропроцессорными системами. Данные устройства используются на установках ДН-2 и ДПП, а также на установке для изготовления образцов ВТСП в НЭОФТИ ЛНФ ОИЯИ.

Создан комплекс быстрой электроники для микросекционной плутониевой камеры для экспериментов по изучению реакций (n, γ, f).

Разработан ряд новых блоков в стандарте КАМАК: блок кодирования временных спектров на 16 входов с дополнительными функциональными возможностями; блок автоматизации пуска и остановки измерительного модуля; устройство кодирования номера детектора [46]; спектрометрические АЦП на 1К и 8К каналов с частотой 200 МГц.

Программное обеспечение. Разработана программа для анализа и обработки одномерных спектров на ПК с использованием графического режима. Программа ориентирована в первую очередь на обработку данных экспериментов по физике деления и пропускания (показательного и по группам). Программа включает элементарные функции сложения, вычитания, умножения и т.п. одномерных спектров, функции генерации фона по различным моделям, функции, специфические для указанного типа экспериментов.



Регистрирующая электроника с PC/AT-386 для спектрометра γ - γ совпадений установки КАНАР

В 1991 г. для измерительных систем на базе ПК завершено ПО для автоматизации экспериментов на спектрометрах СНИМ-2, ДИФРАН, ПОИСК, ПОЛЯНА; разработана первая очередь ПО для спектрометров ТЕКСТ и СПН-1; продолжалось развитие ПО дифрактометров ДН-2 и ДН-3 (включены дополнения, связанные с управлением механическими устройствами); начаты работы по созданию ПО для спектрометров НЕРА-ПР и КДСОГ-М.

ЛИТЕРАТУРА

1. Balagurov A.M., Piechota J., Pajaczkowska A. — *Solid State Comm.*, 1991, 78, p.407.
2. Балагуров А.М. и др. — ОИЯИ, Р17-91-340, Дубна, 1991.
3. Балагуров А.М. и др. — ОИЯИ, Р17-91-378, Дубна, 1991.
4. Балагуров А.М., Миронова Г.М. — *Кристаллография*, 1991, 36, с.314.
5. Балагуров А.М. и др. — *ФТТ*, 1991, 33, с.1256.
6. Балагуров А.М. и др. — *Письма в ЖЭТФ*, 1991, 53, с.30.
7. Helming K. — *Textures and Microstructures*, 1991, 13, p.6.
8. Helming K., Vitus W., Walther K. — In: Proc. ICNS'91, Oxford, UK, 27—31 August 1991.
9. Аксенов В.Л. и др. — ОИЯИ, Р17-91-172, Дубна, 1991.
10. Balagurov A.M. — *Physica B*, 1991, 174, p.542.
11. Gorski N., Ostanevich Yu.M. — *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.*, 1991, 95, p.871.
12. Korneev D.A. et al. — JINR, E3-91-197, Dubna, 1991.
13. Pas'yuk V.V. et al. — JINR, E3-91-276, Dubna, 1991.
14. Pas'yuk V.V. et al. — JINR, E3-91-275, Dubna, 1991.
15. Sheka E.F. et al. — *Physica B*, 1991, 174, p.182.
16. Sheka E.F. et al. — *Physica B*, 1991, 174, p.187.
17. Nikolenko V.G., Popov A.B. — JINR, E4-91-106, Dubna, 1991.
18. Алфименков В.П. и др. — ОИЯИ, 3-91-297, Дубна, 1991.
19. Ali M.A. et al. — JINR, E3-91-428, Dubna, 1991.
20. Говоров А.М., Мицына Л.В., Самосват Г.С. — ЯФ, 1991, 54, с.1192.
21. Анджеевски Ю. и др. — ОИЯИ, Р3-91-244, Дубна, 1991.
22. Bogdzel A.N. et al. — In: Proc. Int. Workshop on Dynamical Aspects of Nuclear Fission, Smolenice, CSFR, 17—21 June, 1991.
23. Gohs U. — In: Proc. Conf. on Nucl. Data for Science and Technology, Julich, FRG, 13—17 May, 1991.

24. Pokotilovskij Yu.N. — JINR, E3-91-413, Dubna, 1991.
25. Покотиловский Ю.Н., Шелкова И.Г., Элер Г. — ОИЯИ, Р3-91-202, Дубна, 1991.
26. Aksenov V.L. — In: *Ordering Phenomena in Condensed Matter Physics* (Eds. Z.M.Gałasiewicz and A.Pekalski). World Scientific, 1991, p.2—23.
27. Aksenov V.L. — In: *Int. Symp. on Nature of High- T_c Superconductors*, World Scientific, 1991.
28. Sergeenkov S.A. — *Physica C*, 1991, 174, p.519.
29. Sergeenkov S.A. — In: *Proceedings of the SQUID'91 Conference*, Berlin, FRG, June 17, 1991.
30. Kornilov E.I. — In: *Proc. Int. Conf. M2S-HTSC*, Kanazawa, Japan, 22—26 July 1991.
31. Simkin M.V. — *Phys. Rev. B*, 1991, 44, p.7074.
32. Furman W.I., Kliman J. — In: *Proceedings International Workshop on Dynamical Aspects of Nuclear Fission*, Smolenice, CSFR, 17—21 June, 1991.
33. Игнатович В.К. — ЯФ, 1991, 53, с.1297.
34. Игнатович В.К. — ДАН СССР, 1991, 318, с.332.
35. Буев А.П. и др. — ОИЯИ, Р13-91-294, Дубна, 1991.
36. Обухов Ю.В. и др. — ПТЭ, 1991, 5, с.166.
37. Кобзев А.П. и др. — ОИЯИ, Р14-91-94, Дубна, 1991.
38. Блохин С.М. и др. — ОИЯИ, Р14-91-458, Дубна, 1991.
39. Frontasyeva M.V. et al. — JINR, E14-91-400, Dubna, 1991; In: Proc. MTA8, Vienna, 16—20 September, 1991.
40. Gorbunov A.V. et al. — *The Science of the Total Environment*, 1991, 111, p.28.
41. Herrera H. et al. — JINR, E14-91-397, Dubna, 1991.
42. Herrera H. et al. — JINR, E14-91-399, Dubna, 1991. In: Proc. MTA8, Vienna, 16—20 September, 1991.
43. Aksenov V.L. — *Physica B*, 1991, 174, p.438.
44. Барабаш И.П. и др. — ОИЯИ, Р10-91-155, Дубна, 1991.
45. Барабаш И.П. и др. — ОИЯИ, 13-91-274, Дубна, 1991.
46. Новожилов В.Е. — ОИЯИ, Р10-91-147, Дубна, 1991.

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

В 1991 году в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации получили развитие средства внешней связи информационно-вычислительной инфраструктуры Института. Созданы новые и модернизированы имевшиеся пакеты системных и прикладных программ базовых и персональных ЭВМ. Выполнены работы по развитию и эффективному использованию систем обра-

ботки камерных снимков. Исследованы методы и созданы комплексы программ для решения задач, возникающих в математических моделях физики в связи с разработками, проводимыми в Объединенном институте. Разработаны и внедрены комплексы программ для моделирования физических установок и анализа экспериментальных данных.

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНСТИТУТА

СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Создана общепринятая система электронной почты на базе центрального почтового сервера (PC-386 с операционной системой типа UNIX), доступного пользователям с рабочих мест и связанного коммутируемой линией с международными сетями RELCOM/EUNET. Объединены локальные сети ОИЯИ и ИЯФ (Новосибирск) через выделенные каналы связи с глобальной сетью IASNET на основе использования протокола высокого уровня DECNET on top of X.25.

Разработана плата связи ПЭВМ с каналом ЕС ЭВМ, на ее основе создана программа пересылки информации между ЕС ЭВМ и ПЭВМ со скоростью 100 К байт/с [1].

СИСТЕМНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ ЦВК

Введена в эксплуатацию новая версия СВМ 4.4 на многомашинном комплексе ЕС ЭВМ. Создана программа-диспетчер для одновременного использования матричных процессоров несколькими пользователями. Внедрена на центральном VAX-клUSTERе новая версия библиотеки стандартных программ ЦЕРН.

Модернизированы и задействованы на центральных ЭВМ VAX графические интерактивные пакеты PAW, MAD, GARFIELD и др., на ЭВМ

μ VAX — пакеты типа GKS и CGI для работы с операционной системой ULTRIX, для персональных ЭВМ типа PC-386/486 адаптирована библиотека ЦЕРН. Создана программная система сопровождения библиотеки физических программ CPC на комплексе VAX- μ VAX-PC [2—4].

КОМПЛЕКС РАБОЧИХ И ГРАФИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Создана первая очередь комплекса рабочих и графических станций на базе персональных компьютеров PC-386/486 КОНТРАСТ/СИНС. Осуществлена связь элементов комплекса с ЕС ЭВМ и VAX-клUSTERом ЦВК. На комплексе внедрены сетевое программное обеспечение, многооконные системы X-Windows, библиотеки программ общего назначения, системы управления структурами данных. На PC-386/486 комплекса под управлением операционных систем MS DOS и UNIX адаптированы и поставлены последние версии пакетов статистического анализа экспериментальных данных и графического представления результатов, системы проектирования экспериментальных установок и моделирования физических процессов (JEANT, HBOOK, GKS, PAW, MAD, HIGZ, HPLOT, JETSET 6.3, LEPTO и др.).

Разработан графический интерфейс задания начальных приближений для итерационного процесса решения радиального уравнения Шредингера.

*Эксплуатация базовых электронно-вычислительных машин
и просмотрово-измерительной аппаратуры.
Эксплуатация базовых ЭВМ*

ЭВМ	Общее полезное время счета за год, ч	Коммерческое время, ч	Средний процент загрузки цент. процессора	Среднее время между перезагрузками ОС, ч
EC-1037 (A)	7856	2028	31	72
EC-1037 (B)*	6916	870	19	28
EC-1066 (A)	7388	6841	65	42
EC-1066 (B)	7249	5790	61	40
CDC-6500	7857	4489	—	—
VAX-8350	7679	15662**	—	—

*EC-1037 (B) работает на линии с HPD в монопольном режиме

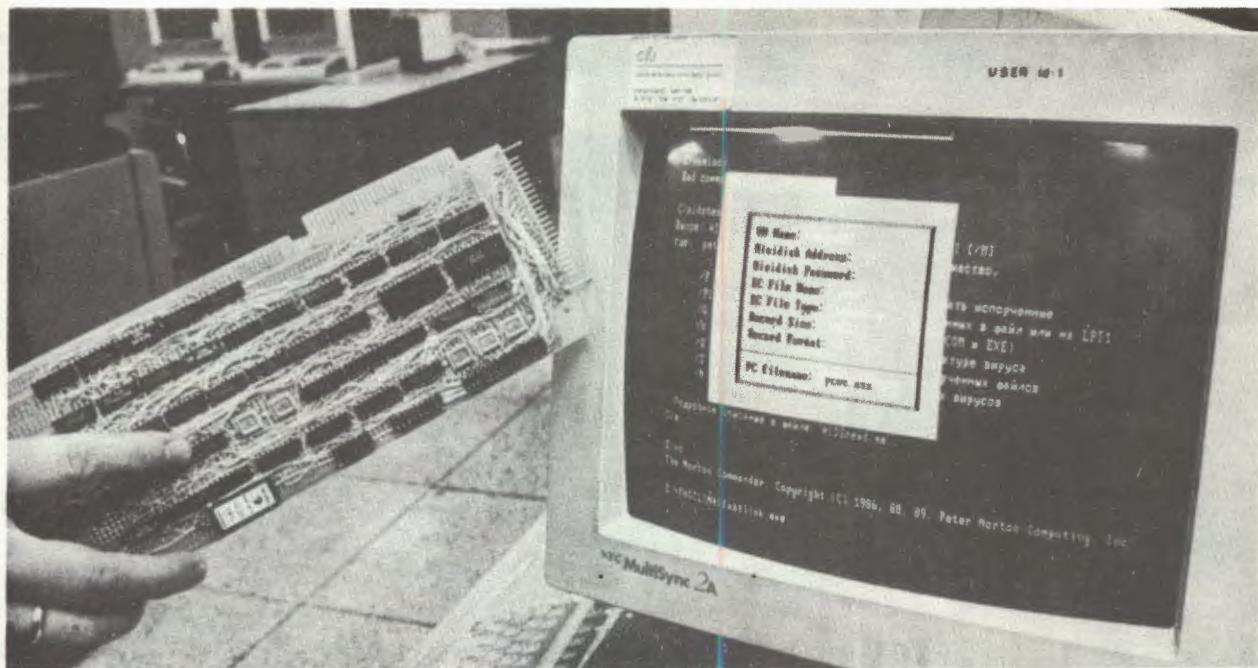
**По ЭВМ VAX-8350 указано суммарное время двух процессоров

Использование коммерческого времени лабораториями Института

ЭВМ	Лаборатория	ЛВЭ	ЛЯП	ЛТФ	ЛВТА	ЛСВЭ	ЛЯР	ЛНФ
EC ЭВМ		2360	4518	633	3936	2535	1453	72
CDC-6500		1546	569	532	458	616	109	195
VAX-8350		2853	5800	147	2785	880	94	208

Общеинститутская система электронной почты на базе центрального почтового сервиса JINR связана коммутируемой линией с международными сетями RELCOM/EUNET





Плата связи, на основе которой создана программа пересылки информации между ЕС ЭВМ и ПЭВМ

Выполненные работы дают возможность использовать ПЭВМ в качестве относительно недорогих графических рабочих станций, а также позволили обеспечить доступ от ПЭВМ к ресурсам центральных машин и расположенным в их внешней памяти библиотекам, документации и архивам текстов программных продуктов.

В 1991 году было измерено 368 тысяч треков на системе ПУОС-САМЕТ-ЕС-1033 и 13,3 тысяч событий на установке HPD на линии с ЭВМ CDC-1604A и ЕС-1037. Обеспечен просмотр снимков СВД на столах ХЕВАС, подготовлены каналы на столе БПС-75 для просмотра снимков ГИНЕС (СКАТ).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ

Подготовлена система математического обеспечения оперативного контроля экспериментов на базе ПЭВМ IBM PC-386. Созданная система программ применена в реальных условиях проведения пусконаладочных сеансов на установке ЭКСЧАРМ. Совместно с сотрудниками ЛСВЭ разработана и поставлена на VAX-8350, ЕС-1066, IBM PC-386/486 программа GEATORS — программа моделирования глубоконеупругого рассеяния мюонов на сверхпроводящем тороидальном спектрометре STORS.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Созданные адаптивные графические средства системы моделирования используются как уни-

фицированный графический базис систем ИРИС и PAW. Модернизирована система UNICOM для эмуляции графического дисплея. Новая распределенная графическая система позволяет реализовать потенциальные возможности имеющихся элементов компьютерно-коммуникационной инфраструктуры Объединенного института: центральные ЭВМ, сеть связи LINET, персональные ЭВМ разных типов.

Создана программа KMESON — программа моделирования эксперимента по подпороговому рождению K^+ -мезонов на ускорителе COSY (Германия).

НОВЫЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

Разработаны статистические методы анализа экспериментальных данных на основе новой непараметрической статистики $W(n,3)$ [47]. Пред-



Комплекс научно-технических рабочих станций и скоростных интерактивных систем графического диалога КОНТРАСТ/СИНС на основе персональных компьютеров

ложена математическая модель, построен единый функционал, из условия минимума которого определяются параметры многолучевого и многовершинного события. Метод обладает повышенной точностью и эффективностью обработки событий сложной топологии. С применением разработанного алгоритма проведено моделирование эксперимента по исследованию СР-несохранения [5—7]. Разработаны модель автоматизированного рабочего места в распределенной системе обработки экспериментальных данных, назначение и структура программного обеспечения, и начата его реализация на базе ПЭВМ типа IBM AT-286. Создан ряд программных помощников исследователя, позволяющих оценивать вычислительные ресурсы, необходимые для обработки данных крупномасштабных электронных экспериментов, а также моделировать процесс в режиме оффлайн обработки данных и формулировать требования к производительности ЭВМ, носителям информации и сетям передачи данных. На основе разработанной методики реализована процедура организации массовой обработки данных с помощью АРМ, основанная на использовании концепции базы данных [8—11].

Подготовлен обзор по использованию систем баз данных в экспериментальной физике высоких энергий [48], подготовлена среда для применения такого подхода при разработке программ моделирования современных электронных экспериментов в области физики высоких энергий.

Завершена работа по созданию алгоритмов и программ обработки данных с вершинного детектора экспериментальной установки МЧС-МАРС с фиксированной мишенью. По измеренным следам многотрековых событий требовалось восстановить по прямолинейным трекам координаты вершин редких распадов с образованием короткоживущих частиц (типа B - и D -мезонов). Благодаря оригинальному подходу был разработан надежный алгоритм, успешно проверенный на модельных событиях. В процессе этой работы было выяснено, что дискретная природа трековых данных, поступающих с электронных детекторов, не позволяет использовать одно из важнейших положений о физических измерениях, лежащее в основе применения наиболее часто используемого в обработке метода наименьших квадратов. Речь идет о предположении, что все измерения независимы и нормально распределены. Однако данные,

получаемые в дискретных детекторах, зависят и распределены равномерно. Специальное исследование, проведенное в этой связи, позволило разработать новый алгоритм реконструкции как прямых, так и круговых треков в дискретных детекторах. Численный анализ на основе параметров установки APEC подтвердил теоретические

оценки. Круговой характер треков цилиндрического спектрометра APEC потребовал также провести сравнительное исследование различных методов подгонки окружности или ее дуги. Результаты позволили, в частности, найти серьезные изъяны в весьма популярном среди физиков методе Крауфорда [12–15].

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД КОНТИНУАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Разработан новый метод численного решения краевой задачи для дифференциальных уравнений типа Шредингера в R^n . Метод основан на представлении многомерной функции Грина в виде кратного континуального интеграла и на использовании предложенных приближенных формул для таких интегралов. Доказана сходимость приближений к точному значению, оценен остаточный член формул. Данный метод сводит исходную дифференциальную задачу к квадратурам, позволяет избежать наличия сингулярности в нуле, не требует предварительной дискретизации пространства и времени [16].

МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С помощью численного эксперимента найден аналог традиционных представлений адиабатической теории движения захваченных частиц большой энергии [17]. При этом использовались понятия ведущей линии, магнитного момента и конуса потерь.

Построена модель одноэлектронного солитона, описывающая коррелированный перенос электрического заряда в двумерных массивах сверхмалых туннельных переходов. Получены асимптотические формулы для вычисления порога кулоновской блокады, параметров нелинейного участка вольт-амперной характеристики, энергии одноэлектронного солитона и др. Асимптотические формулы хорошо согласуются с результатами численных экспериментов. Численно исследованы условия существования коррелированного одноэлектронного туннелирования в двумерных системах [18].

Показано, что в отличие от классической и квантовой частиц, скатывающихся с потенциального склона, квантовые волны на решетке запираются в связанных состояниях на потенциальном холме. Построена точно решаемая модель, кото-

рая проясняет некоторые специфические свойства межканального движения [19].

Впервые доказаны необходимые и достаточные условия устойчивости в пространстве С полубесконечных разностных краевых задач общего вида. Получены точные по порядку оценки неустойчивости. Ключевым моментом доказательства является построение нормальной формы резольвенты. По сравнению со случаем гиперболических систем квазижорданова нормальная форма резольвентной матрицы имеет более сложную структуру. Имеется полная аналогия построенной аналитической квазижордановой нормальной формы с известной нормальной жордановой формой для постоянных матриц. Доказательство содержит алгоритм проверки устойчивости, который может быть реализован на ЭВМ с применением систем аналитических вычислений [20].

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Разработан метод и создан комплекс программ расчета трехмерных магнитостатических полей в гибридной постановке. Выполнены расчеты и оптимизация параметров магнитных элементов бустера нуклotronа, расчет магнитной системы ECR-источника [50].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

На основе квантовых эволюционных уравнений для открытых систем разработан метод моделирования адрон-адронных взаимодействий при сверхвысоких энергиях. Уточнены фрагментации для дуальной партонной модели адрон-адронных взаимодействий. Путем учета взаимодействий пар каскадных частиц усовершенствована программа, моделирующая взаимодействия ионов с

ядрами. В рамках реджевского подхода учтены эффекты неупругой экранировки. На основе каскадно-испарительной модели с учетом прекомпаундных процессов и высокозергетического деления изучено образование ядерных фрагментов [21—23]. Для экспериментов с арсенид-галлиевыми детекторами выполнены сравнительные расчеты образования радиационных дефектов в слоях кремния и арсенида галлия под действием протонов и ионов. Проведены расчеты процессов ВТСП. Выполнено математическое моделирование наведенного гамма-излучения в конструкционных материалах космических аппаратов. Исследовано влияние легкоделящихся ядер плутония на характеристики электроядерного реактора с натриевым теплоносителем [24]. С помощью матричного процессора исследованы топологические свойства полевой SU(2)-калибровочной модели на решетках. Были рассмотрены возможности использования параллельного программирования и матричного процессора для моделирования адрон- и ион-ядерных взаимодействий [25].

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Исследованы условия сходимости итерационных схем решения нелинейных уравнений в базаховом пространстве, полученных на основе модификаций непрерывного аналога метода Ньютона. Построены разностные схемы и схемы сплайн-коллокации повышенного порядка точности на квазивременных сетках в многоканальной задаче рассеяния. Дано обоснование алгоритма определения итерационного параметра, обеспечивающего устойчивую сходимость итераций [26, 27].

На базе выполненных теоретических исследований разработаны пакеты прикладных программ для решения задачи рассеяния системы радиальных уравнений Шредингера, а также для решения задачи на собственные значения интегро-дифференциального уравнения. Разработан пакет программ решения квантово-механической задачи двух центров, включая дискретный и непрерывный спектры. Пакеты адаптированы на ЭВМ РС АТ-386/486 и ЭВМ ЦВК [28, 29].

В двухуровневом приближении выполнены расчеты сечений рассеяния мезоатомов на ядрах дейтерия и трития. Проведено моделирование перехода квазистационарного состояния в слабосвязанное состояние мезомолекулы $d\mu$ ($L = 1$, $v = 1$). Совместно с ЛЯП подготовлен атлас сечений рассеяния мезоатомов. Проведены расчеты

резонансных состояний ($e^- - H$)-рассеяния методом экстраполяции по константе связи [30]. Разработанные вычислительные схемы и алгоритмы реализованы в виде специальных пакетов программ на РС-386 для решения уравнений Шредингера — Дайсона и Бете — Солпитера. Проведены расчеты характеристик π -, K -, D -мезонов в рамках модели квантовой хромодинамики с потенциалом, включающим осцилляторный и кулоновский члены [31—33].

Созданы новые вычислительные схемы и программы решения уравнений теории полярона. Проведены расчеты параметров самосогласованной модели полярона и модели сольватированного электрона [34—36].

Разработаны алгоритмы решения полиномиальных и билинейных систем уравнений [49] в рамках расширения пространства комплексных чисел в квантовой механике [51].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЭВМ

Алгоритмы проверки интегрируемости квазилинейных эволюционных систем и построения их высших симметрий Ли — Беклунда были обобщены на случай вырожденной главной матрицы и реализованы в виде программного пакета, написанного на языке аналитических вычислений REDUCE. Это позволило значительно расширить область применения ранее разработанных компьютерных методов автоматического анализа симметрий свойств и интегрируемости нелинейных эволюционных уравнений. При наличии произвольных числовых параметров в исходной системе условия интегрируемости с помощью вышеуказанного пакета преобразуются в эквивалентную систему нелинейных алгебраических уравнений на эти параметры. Для исследования и решения получаемых алгебраических уравнений разработан другой пакет, опирающийся на технику базисов Гребнера, имеющий самостоятельное значение и применимый к нелинейным алгебраическим системам общего вида. Оба указанных пакета образуют комплекс программ для исследования интегрируемости и построения симметрий Ли — Беклуида для квазилинейных эволюционных уравнений [37—39]. В классе алгебр Ли получено полное решение системы коммутационных соотношений уравнения Уолквиста — Эstabрука. Такие решения в виде алгебр Ли представляют большой интерес для анализа общих свойств и решения нелинейных дифференциальных уравнений. Полный набор решений получен с помощью ранее созданной программы на языке REDUCE, реализующей оригинальные алгоритмы.

На языке REDUCE создана программа представления различных ветвей алгебраических функций в окрестности заданной точки ветвления в виде обобщенных степенных рядов, так называемых рядов Пьюизо [40, 41].

Разработан алгоритм вывода усредненных уравнений для отклонения частицы от равновесной траектории в циклическом ускорителе в окрестности резонансов. Проведено исследование уравнений [52].

РАЗВИТИЕ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ «НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА»

Развит метод построения многосолитонных решений $(1+1)$ -мерных нелинейных уравнений типа уравнений Шредингера и Дирака. На его основе построен новый класс двухсолитонных решений бионного типа, обладающих внутренней осцилляторной степенью свободы. Такие решения представляют интерес, например, для описания распространения лазерного луча в двухмо-

довом световоде и возбуждений в сверхтекучей жидкости.

Предложена общая методика построения интегрируемых версий уравнений типа уравнений Ландау — Лифшица, включая суперсимметричные версии изотронной модели Гейзенберга с квадратичной и кубической связью. Калибровочно-эквивалентные версии этих моделей, помимо известных, содержат многокомпонентные версии модели Хироты и НУШ — КдФ.

Построены N^2 -солитонные решения уравнений Деви — Стюартсона. Описана аналитически и в виде компьютерного фильма динамика $(2+1)$ -мерных солитонов, включающая процессы их неупругого соударения, слияния и распада, рождения и уничтожения, а также ускорения отдельных солитонов.

Получено новое точное решение уравнений динамики релятивистской струны с массами на концах в терминах эллиптических функций. Решение содержит поперечные моды струны и дает возможность вычислять поправки к линейному потенциалу в струнной модели адронов [42—44].

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

С целью сохранения программного обеспечения, накопленного за длительный период работы, создана универсальная 64-разрядная ЭВМ сшинной организацией, эмулирующая систему команд БЭСМ-6 и ЭЛЬБРУС-Б.

Система команд дополнена списком новых команд и реализована с помощью микропрограмм. В архитектуру процессора введен тег, что

позволяет осуществлять пословную защиту памяти от несанкционированного доступа и организовать удобную отладку программ пользователем. Предусмотрена также возможность работы в многопроцессорном и мультипрограммном режимах, введены средства для работы в режиме реального времени [45, 46].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шириков В.П. — Программирование, 1991, в.3, с. 15—28.
2. Каданцев С.Г. и др. — ОИЯИ, Р11-91-143, Дубна, 1991.
3. Балашов В.К. — ОИЯИ, Р10-91-308, Дубна, 1991.
4. Кореньков В.В. и др. — ОИЯИ, Р11-91-287, Дубна, 1991.
5. Бонюшкина А.Ю. и др. — ОИЯИ, Б2-10-91-231, Дубна, 1991.
6. Евсиков И.И. и др. — ОИЯИ, Б1-10-91-377, Дубна, 1991.
7. Иванченко И.М. и др. — ОИЯИ, Р11-91-357, Дубна, 1991.
8. Глаголев В.В. и др. — ОИЯИ, Р10-91-80, Дубна, 1991.
9. Буздавина Н.А., Эрдэнэдэлгэр Т. — ОИЯИ, Р10-91-81, Дубна, 1991.
10. Шокиров И.Э., Эрдэнэдэлгэр Т. — ОИЯИ, Р10-91-86, Дубна, 1991.
11. Иванов В.Г. и др. — ОИЯИ, Р10-91-302, Дубна, 1991.
12. Еудагов Ю.А. и др. — ОИЯИ, Р10-91-311, Дубна, 1991.
13. Chernov N.I. et al. — JINR, E10-91-361, Dubna, 1991.
14. Осоксов Г.А., Пospelов А.С. — ОИЯИ, Р10-91-444, Дубна, 1991.

15. Кисель И.В. и др. — ОИЯИ, Р5-91-189, Дубна, 1991.
16. Жидков Е.П. и др. — ОИЯИ, Е11-91-353, Дубна, 1991.
17. Амирханов И.В. и др. — Космические исследования, 1991, т.29, №2, с.282—288.
18. Bakhvalov N.S. et al. — Physika B, 1991, 173, p.319—328.
19. Serdukova S.I., Zakhariev B.N. — JINR, E4-91-237, Dubna, 1991.
20. Сердюкова С.И. — ДАН, 1991, т.319, №6, с.1328—1332.
21. Ужинский В.В., Шмаков С.Ю. — ОИЯИ, Б1-2-91-57, Дубна, 1991.
22. Ужинский В.В., Шмаков С.Ю. — ЯФ, 1991, 53, с.1688.
23. Барашенков В.С. и др. — ОИЯИ, Е2-91-137, Дубна, 1991.
24. Барашенков В.С. и др. — ОИЯИ, Р2-91-333, Р2-91-242, Дубна, 1991.
25. Zadorozhny A.M. et al. — Phys. Lett., 1991, 261, p.116.
26. Жанлав Т., Пузынин И.В. — ОИЯИ, Р11-91-100, Р11-91-259, Р11-91-351, Р5-91-559, Дубна, 1991.
27. Виницкий С.И. и др. — ОИЯИ, Р11-91-141, Р11-91-327, Дубна, 1991.
28. Амирханов И.В. — ОИЯИ, Р11-91-87, Дубна, 1991.
29. Жанлав Т. и др. — ОИЯИ, Р11-91-138, Дубна, 1991.
30. Abrashkevich A.G. et al. — J.Phys.B, 1991, 24, p.2807—2816.
31. Amirkhanov I.V. et al. — JINR, Е11-91-108, Dubna, 1991.
32. Амирханов И.В. и др. — ОИЯИ, Р11-91-111, Дубна, 1991.
33. Sarikov N.A. et al. — JINR, Е2-91-262, Dubna, 1991.
34. Амирханов И.В. и др. — ОИЯИ, Р11-91-139, Р11-91-454, Дубна, 1991.
35. Amirkhanov I.V. et al. — In: Excited Polaron States in Condensed Media. Manchester Univ. Press, Manchester and New York, 1991, p.85—104.
36. Amirkhanov I.V. et al. — In: Nonlinear Evolution Equations and Dynamical Systems.
- Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg, 1991, p.175—180.
37. Gerdt V.P. — In: Nonlinear Evolution Equations and Dynamical Systems, Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg, 1991, p.121—123.
38. Гердт В.П., Жарков А.Ю. — ОИЯИ, Р5-91-225, Дубна, 1991.
39. Gerdt V.P. — JINR, Е5-91-402, Dubna, 1991.
40. Gerdt V.P. et al. — In: Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy Physics'91. Tsukuba, March 11—15, 1991. Universal Academy Press, Inc., Tokyo, p.373—383.
41. Gerdt V.P., Tiller P. — JINR, Е5-91-401, Dubna, 1991.
42. Hronek G., Makhankov V.G. — In: Nonlinear Evolution Equations and Dynamical Systems, Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg, 1991, p.16—21.
43. Barbashov B.M., Chervyakov A.M. — J. Phys. A, 1991, 24, No.11, p.2443—2460.
44. Барбашов Б.М., Червяков А.М. — ТМФ, 1991, т.80, №1, с.102—120.
45. Емелин И.А. и др. — ОИЯИ, Р11-91-43, Дубна, 1991.
46. Левчановский Ф.В. и др. — ОИЯИ, Р11-91-44, Дубна, 1991.
47. Zrelov P.V., Ivanov V.V. — Nuclear Instruments and Methods, 1991, A310, p.623—630; In: CHEP'91 Reports, p.503—505.
48. Иванов В.В., Столлярский Ю.В. — ОИЯИ, Р10-91-152, Дубна, 1991.
49. Fleury N., Rausch M., Yamaleev R. — CRN-PHTH/91-10, Strasbourg, 1991; Kostova Z.T., Yamaleev R.M. — In: Proceedings IV Intern. Conference on Computer Algebra in Physical Research.
50. Fleury N., Rausch M., Yamaleev R. — CRN-PHTH/91-07, Strasbourg, 1991; Ямалеев Р.М. — ОИЯИ, Р2-91-460, Дубна, 1991.
51. Акишин П.Г. — ОИЯИ, Р9-91-555, Р11-91-577, Дубна, 1991.
52. Amirkhanov I.V. et al. — In: Proceedings of International Conference on Computer Algebra. Bonn, 1991.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Международное научно-техническое сотрудничество Объединенного института ядерных исследований имеет важное значение при выполнении научно-исследовательских работ, предусмотренных Проблемно-тематическим планом ОИЯИ.

Основные итоги 1991 года по международному научно-техническому сотрудничеству характеризуют следующие данные:

— проведены совместные исследования с научными центрами стран-участниц, а также международными и национальными организациями других стран по 34 научным проблемам, включая 105 тем;

— для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 1195 специалистов;

— для совместных работ, консультаций и совещаний в ОИЯИ было принято 1219 специалистов;

— организовано и проведено 10 крупных международных конференций, 25 рабочих и 11 научно-организационных совещаний.

Дирекция ОИЯИ активно реагировала на изменения, происходящие в странах-участницах Института, пыталась найти наиболее оптимальные условия научных контактов и достойного представительства специалистов ОИЯИ в мировом содружестве физиков.

В течение года были продолжены усилия в установлении постоянных научных контактов на взаимовыгодной основе с МАГАТЭ, ИКФА, Европейским физическим обществом, ЦЕРНом, Триестом. К важному достижению ОИЯИ следует отнести заключение Соглашения с Федеральным министерством исследований и технологий ФРГ, где в специальном Приложении оговорено, что «интерес немецкой стороны существует к следующим направлениям исследований в ОИЯИ: теоретическая физика, при расширении взаимного обмена учеными; использование нейтронного источника ИБР-2 ориентировано до 2000 года; физика тяжелых ионов, в особенности проектируемые накопительные кольца для тяжелых ионов К4-К10, при условии, что они в планируемые сроки, через 6 лет, будут готовы к проведению экспериментов».

В марте Дубну посетила делегация венгерских ученых во главе с Полномочным Представителем Венгерской Республики в ОИЯИ академиком И.Лангом. На снимке: встреча дирекции ОИЯИ с венгерскими физиками



Справка о развитии международного сотрудничества ОИЯИ в 1991 году по лабораториям

	Прием в ОИЯИ на срок более 3 месяцев	Прием в ОИЯИ на срок до 3 месяцев*	Командирование в страны-участницы и другие страны
ЛВЭ	14	101	171
ЛЯП	33	136	236
ЛТФ	9	143	177
ЛНФ	21	165	177
ЛЯР	19	154	176
ЛВТА	11	54	75
ЛСВЭ	6	42	117
ОРБ и РИ	—	10	3
Управление и производственные подразделения	3	78	63
Итого	116	883	1195

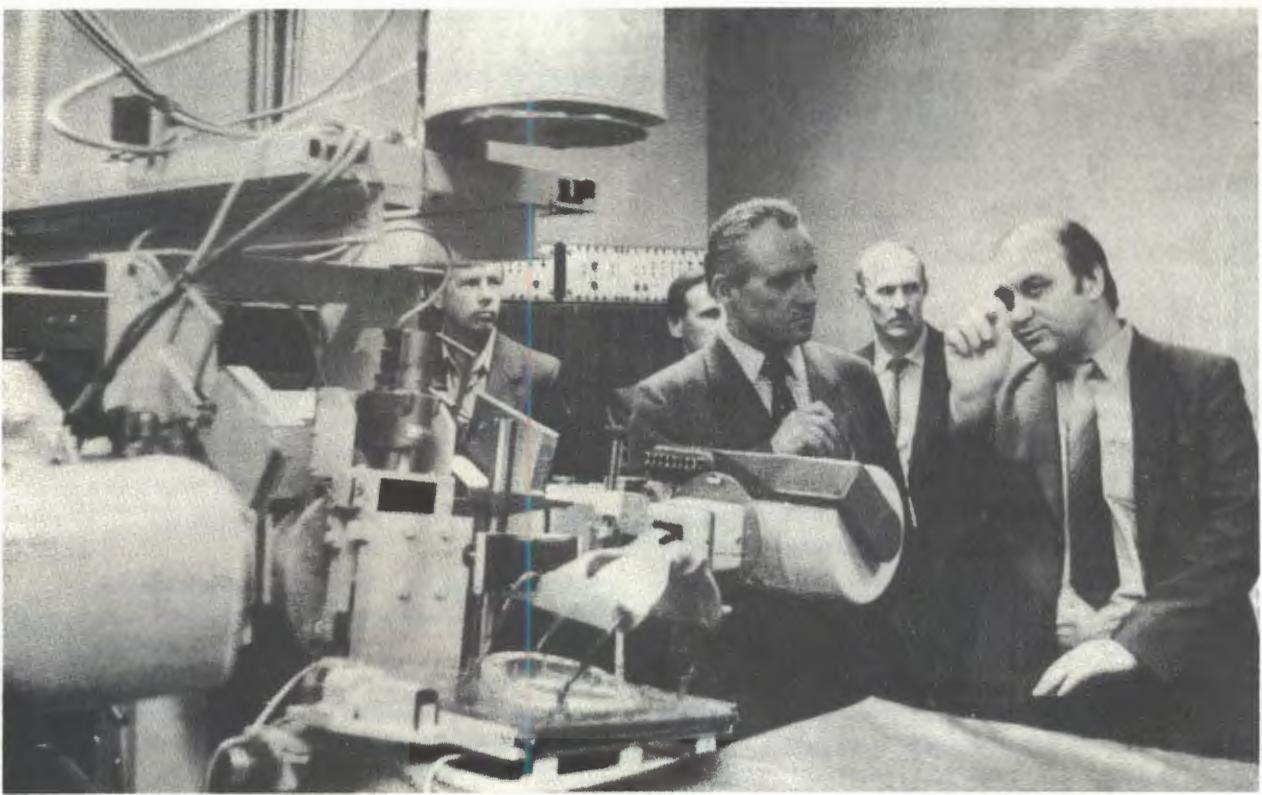
* Без учета специалистов, принимавших участие в совещаниях ОИЯИ

Развивалось сотрудничество с научными центрами Китая, чему в немалой степени способствовало подписание летом прошлого года протокола о сотрудничестве между Объединенным институтом и Институтом современной физики Академии наук КНР.

С целью установления непосредственных контактов и дальнейшего развития сотрудничества, а также содействия возможному вступлению республик бывшего Советского Союза в члены ОИЯИ дирекция посетила ряд независимых государств СНГ.

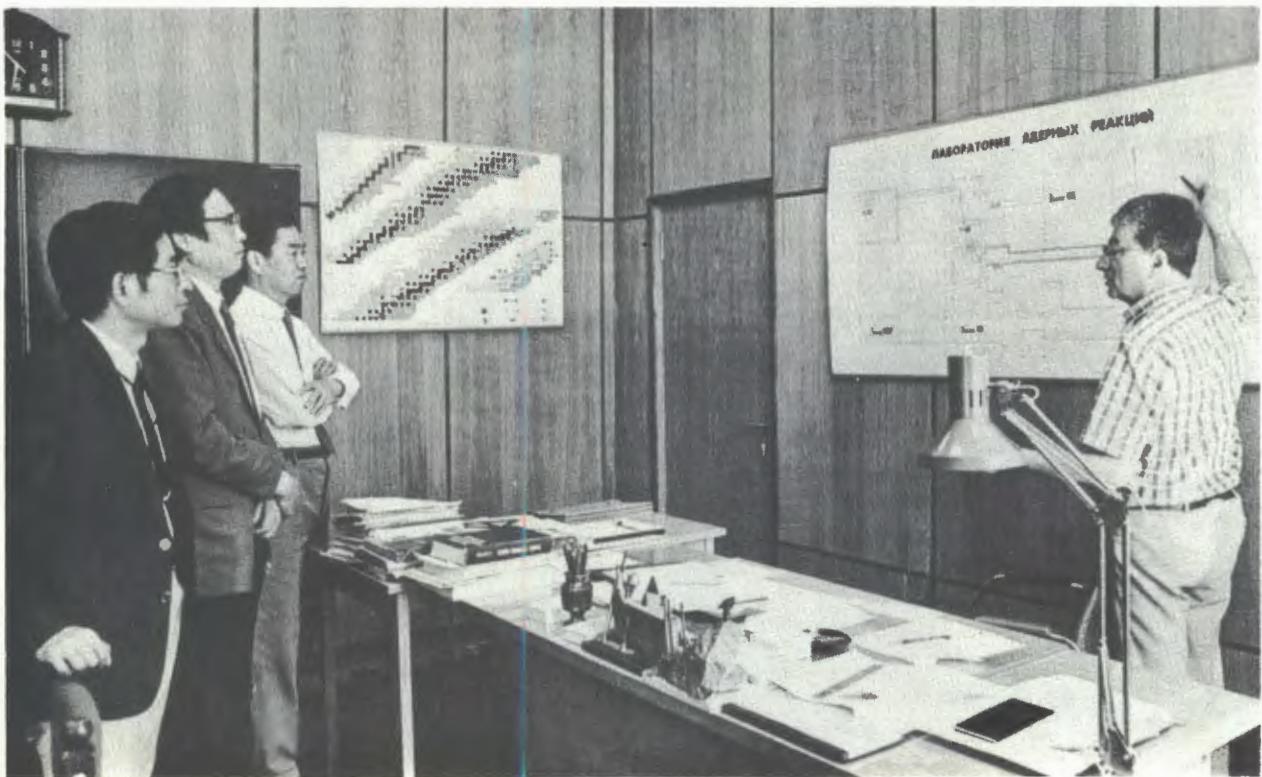
Проводимые в ОИЯИ исследования вызывают большой интерес у мировой общественности. На снимке: с корреспондентом французского журнала «Экспресс» беседует директор ЛВЭ академик А.М.Балдин





29 июля Президиум Верховного Совета РСФСР принял постановление о создании в Дубне Международного центра развития науки и технологий «Дубна». В Дубне побывали представители Верховного Совета РСФСР, Совета Министров России. На снимке: директор ЛЯП профессор Ц.Вылов знакомит делегацию Совета Министров РСФСР с лабораторией

С 21 по 26 июля в ОИЯИ находилась делегация китайских ученых из Института современной физики АН КНР (Ланчжоу) во главе с директором Института профессором Вей Баовеном. Гости посетили ЛЯП, ЛНФ, подробно ознакомились с научной программой ЛЯР. На снимке: директор ЛЯР профессор Ю.Ц.Оганесян обсуждает вопросы возможного сотрудничества с коллегами из КНР





25—28 июня в Дубне проходило Международное совещание по перспективным источникам нейтронов. На снимке: участники совещания Д.М.Карпентер (США), Ю.А.Стависский (СССР), В.Л.Аксенов (ОИЯИ) беседуют с президентом Американского ядерного общества Р.Лонгом (второй справа)

В июне в Дубне сотрудники ЛТФ провели цикл рабочих совещаний с учеными из ФРГ: по теории элементарных частиц, по теоретической ядерной физике, по теории конденсированных сред. На снимке: директор ЛТФ проф. В.Г.Кадышевский беседует с группой физиков — участников совещаний



Сотрудничество ОИЯИ со странами-участницами и странами-неучастницами велось с учетом приоритетности различных направлений научной деятельности.

Как всегда, наиболее активными партнерами ОИЯИ в проведении совместных научных исследований и в организации международного сотрудничества были научные центры государств, входивших в состав Советского Союза. Это, прежде всего, ИФВЭ (Протвино), на ускорителе которого ведутся исследования фундаментальных свойств элементарных частиц, работы по релятивистской ядерной физике с помощью аппаратуры ОИЯИ, совместные методические исследования.

В 1991 году ИФВЭ участвовал в совместных исследованиях по 57 темам из 105, предусмотренных Проблемно-тематическим планом. Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (Москва) и ЛИЯФ (Гатчина) проводили совместные с ОИЯИ исследования по 42 темам, ИТЭФ (Москва) — по 39, ИЯИ (Троицк) — по 32, ФИАН (Москва) — по 30. Следует отметить сотрудничество с ФЭИ (Обнинск) в исследованиях по нейтронной физике, НИИЯФ МГУ в работах по ядерной физике, сотрудничество с МИФИ, МГУ, другими российскими университетами. Сохранились хорошие связи с научными центрами Украины (ИТФ, ИЯИ (Киев), ФТИ (Харьков)) и Беларуси.

НАУЧНЫЕ СОВЕЩАНИЯ

В 1991 году ОИЯИ организовал и провел десять крупных международных совещаний.

С 5 по 8 мая в Алуште (Крым) проходила традиционная Международная школа ОИЯИ — ЦЕРН по физике. Это двенадцатая в серии совместных школ, организуемых поочередно Объединенным институтом ядерных исследований и Европейской организацией ядерных исследова-

ний. Цель школы — ознакомление молодых ученых из стран-участниц ОИЯИ и ЦЕРН с различными аспектами современного состояния физики высоких энергий. В работе школы приняли участие более 100 физиков из 15 стран. В качестве лекторов и руководителей дискуссий были приглашены ведущие специалисты стран-участниц ОИЯИ и ЦЕРН. Специальная стеновая секция

Участники совещания по исследованиям на установке «Нейтринный детектор», которая проходила в Дубне 15—17 января





Более 100 физиков из 15 стран приняли участие в традиционной Школе ОИЯИ — ЦЕРН, состоявшейся в мае в Алуште (Крым)





27—28 мая в Дубне проходило международное совещание «Накопительный комплекс ОИЯИ — с-тау фабрика»



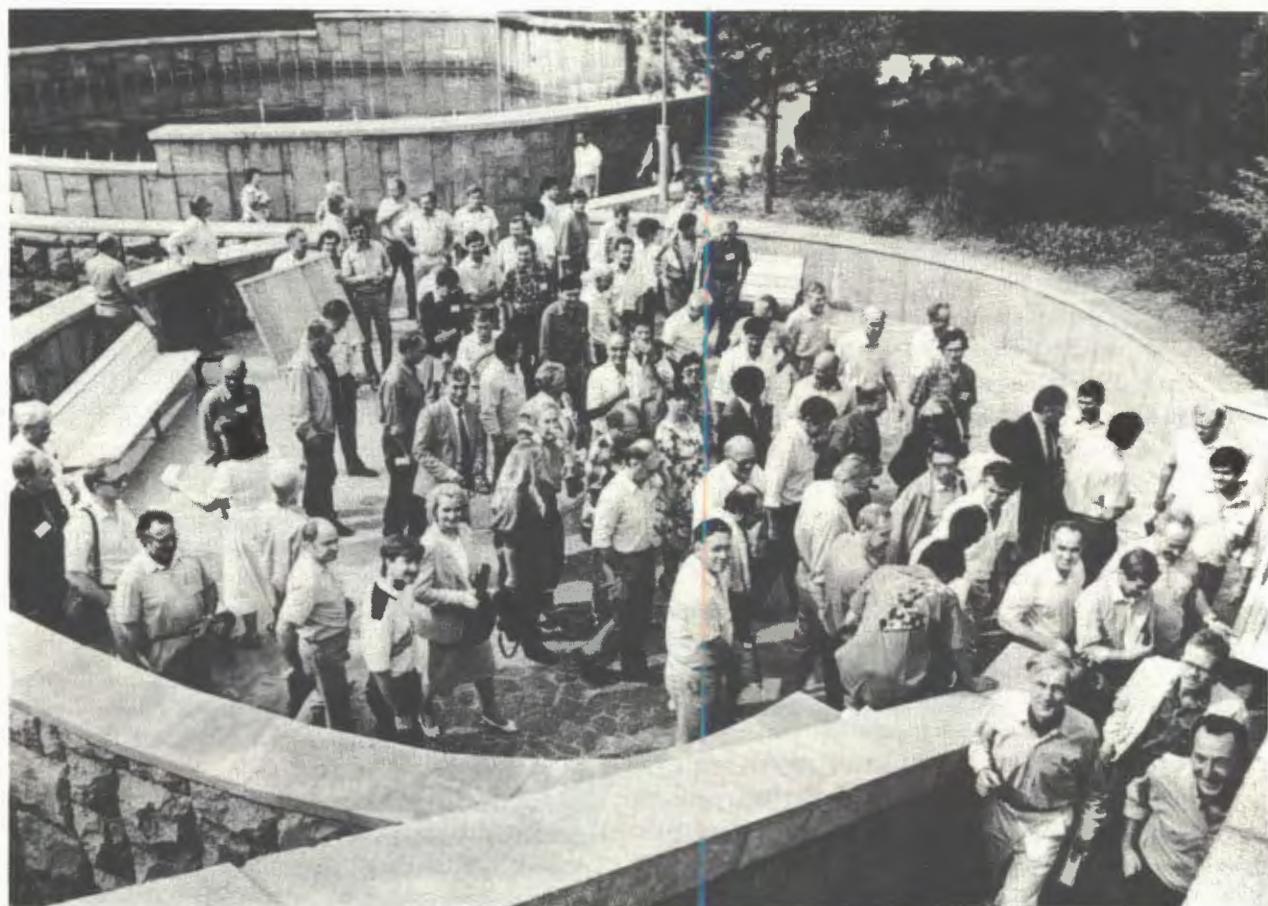
позволила молодым физикам рассказать о своей исследовательской работе. Анкетирование, проведенное среди слушателей, показало, что основной результат школы достигнут: пополнился багаж знаний, окрепли старые научные связи, появились новые знакомые — коллеги.

Объединенный институт ядерных исследований при поддержке Института радиоэлектроники АН СССР (Москва), Института автоматизации и электрометрии СО АН СССР (Новосибирск), Института физики высоких энергий (Протвино), Научно-производственного отделения АН СССР (Ленинград) и Завода научного приборостроения (Черноголовка) провел в Дубне с 14 по 17 мая симпозиум «Электронная аппаратура в физике». Программа симпозиума была направлена на организацию дискуссий и широкий обмен мнениями по следующим аспектам теоретических и экспериментальных исследований: применение новых технологий для создания электронной аппаратуры регистрации и обработки данных (полузаказные СБИС, средства оптоэлектроники и т.д.); новые стандарты электроники; электронная аппаратура для спектрометров элементарных частиц на

крупнейших коллайдерах мира. В работе симпозиума приняли участие около 120 ученых из различных стран.

Для обсуждения проблем, связанных с проектом сооружения в ОИЯИ с-тау фабрики, 28—31 мая в Дубне было проведено Международное совещание «Накопительный комплекс ОИЯИ — с-тау фабрика». Это не первое совещание в мире, посвященное проблемам фабрик вообще, с-тау фабрик, в частности. Но это, по-видимому, первое совещание, на котором одновременно рассматривались программы исследований, проекты ускорителей и детекторов всех трех фабрик совместно. Совещание открыло директор ОИЯИ академик Д.Киш. В своем выступлении он отметил, что научная целесообразность сооружения установки в Дубне была рассмотрена и одобрена на заседании совета международных экспертов ОИЯИ. Запуск такой современной машины в Дубне позволил бы существенно повысить научный и технологический уровень всего Института, привлечь к ОИЯИ внимание мирового сообщества ученых и, в первую очередь, молодежи. Выступивший с обзорным докладом вице-директор ОИЯИ про-

С 1 по 5 октября в Крыму проходила Международная конференция по экзотическим ядрам, организованная Лабораторией ядерных реакций. На снимке: участники конференции





15—17 октября в Дубне проходило Совещание по совместному ОИЯИ — Университет Уппсала (Швеция) — ИТЭФ (Москва) эксперименту «WASA». На снимке: руководители коллаборации С.Куландер, И.В.Чувило, Б.А.Морозов

фессор А.Н.Сисакян рассказал о планах сооружения в ОИЯИ нового комплекса базовых установок, который должен обеспечить перспективу исследований в традиционных для Института направлениях: физике элементарных частиц, ядерной физике, физике конденсированных сред, а также возможность развития прикладных исследований.

Совещание было очень информативным, способствовало установлению контактов между различными научными центрами, дало возможность провести экспертную оценку различных деталей проекта.

Международное совещание «Ренормгруппа-91» проходило в Лаборатории теоретической физики с 3 по 6 сентября. В нем приняли участие около 100 ученых и специалистов из ОИЯИ и ЦЕРНа, а также из научных центров Франции, Великобритании, Дании, ФРГ, Израиля, Индии, Италии, Польши, Финляндии и СССР. Повестка дня включала следующие проблемы: квантовая теория поля, критические явления, турбулентность, плазма, полимеры, динамические системы, хаос, перколяция, астрофизика и ряд других.

В Дубне 9—14 сентября проходил Международный симпозиум по проблемам модульных ИВС и сетей. В работе симпозиума приняли участие ведущие специалисты научных центров

Европы, США, крупные зарубежные фирмы. В программу симпозиума входили следующие вопросы: применение компьютеров в процессе измерения и управления научными и технологическими объектами, сбор и редукция потоков данных, многопроцессорные системы и распределенная обработка данных.

V Международный симпозиум по электронно-лучевым источникам и их применению проходил в Дубне 24—27 сентября. В его работе приняли участие ученые из стран-участниц ОИЯИ.

В Дубне с 30 сентября по 4 октября проходил Международный семинар «Проблемы квантовой оптики». На семинаре обсуждались источники неклассического света, спектроскопия конденсированных состояний вещества с помощью неклассического света, методы обработки и передачи информации с помощью неклассического света, электродинамика в резонаторе, перспективы квантовой оптики и смежные проблемы физики.

Международная конференция по экзотическим ядрам, организованная ЛЯР ОИЯИ, проходила в Крыму с 1 по 5 октября. В конференции принимало участие около 130 ученых, в том числе более 30 — из стран-участниц ОИЯИ: Бельгии, Греции, Италии, Финляндии, Франции, ФРГ, Японии. Они обсудили актуальные проблемы



С 2 по 15 января в Дубне проходила Международная школа юных исследователей «Диалог», в работе которой принимали участие ученики старших классов Болгарии, Польши, Венгрии и СНГ

ядерной физики — исследования свойств ядер у границ ядерной стабильности. На конференции физики доложили последние результаты экспериментов, проведенных совместно учеными ЛЯР и ряда ведущих научных центров. Были обсуждены новые перспективные проекты получения пучков радиоактивных ядер, в том числе и проект накопительного комплекса тяжелых ионов. В заключение научной программы состоялось обсуждение конкретных совместных экспериментов по изуче-

нию свойств ядер у границ стабильности с представителями ведущих центров мира: ГАНИЛ, САРА (Франция), РИКЕН (Япония), ГСИ (ФРГ) и другими.

12—14 ноября в Дубне проходил Симпозиум по исследованию конденсированных сред ядерными методами. Этот симпозиум проводится ежегодно, он привлекает внимание ведущих специалистов многих научных центров.

УЧАСТИЕ ОИЯИ В МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

В 1991 году ученые и специалисты Объединенного института ядерных исследований участвовали в 197 международных и национальных конференциях.

Наиболее крупные делегации представляли Институт на Международной конференции по компьютерам в физике высоких энергий (Япония, Цукуба), XXIX Весенней школе по ядерной

физике (Германия, Хольцхау), Совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Беларусь, Минск), Национальной конференции по ускорителям частиц (США, Сан-Франциско), Международной конференции по ядро-ядерным столкновениям (Япония, Канадзава), V Семинаре по исследованию процессов фрагментации релятивистских ядер с медными мишенья-

ми (Германия, Лейпциг), XIV Семинаре по физике высоких энергий и теории поля (Россия, Протвино), Международном семинаре по нуклон-антинуклонным взаимодействиям (Россия, Москва), Международном лептон-фотонном симпозиуме и Европейской конференции по физике высоких энергий (Швейцария, Женева), Международной конференции по рассеянию нейтронов (Великобритания, Оксфорд), III Школе-

семинаре по автографии и твердотельным трековым детекторам и их применению (Украина, Одесса), Международной школе-семинаре «Релятивистская ядерная динамика» (Россия, Владивосток), II Рабочем совещании по использованию рассеяния нейtronов в физике твердого тела (Россия, Гатчина), Семинаре по исследованию конденсированных сред ядерными методами (Франция, Сакле).

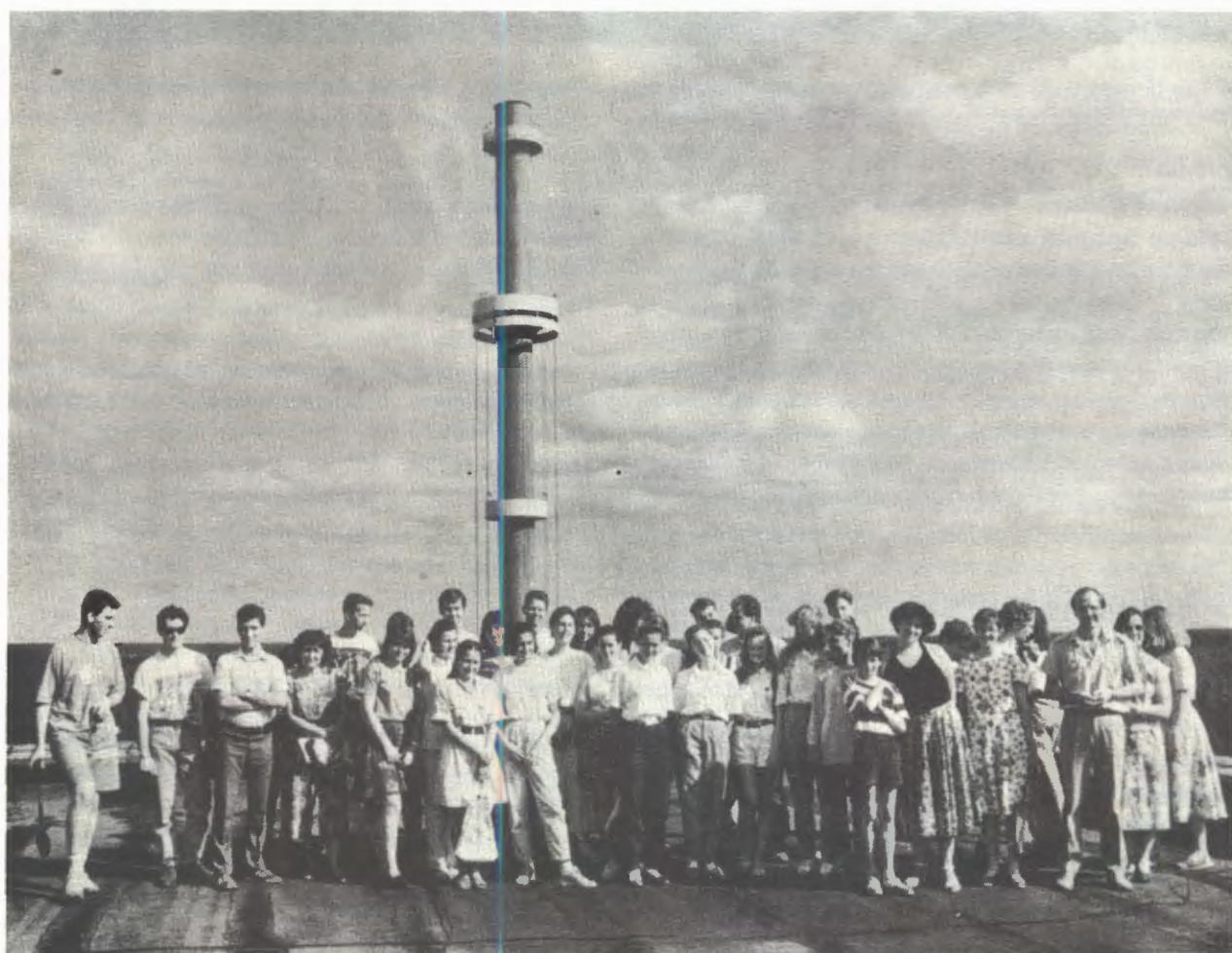
ЭКСКУРСИИ В ОИЯИ

В 1991 г. в ОИЯИ было принято 23 экскурсионные группы общей численностью 448 человек.

С деятельностью лабораторий и их планами на будущее ознакомились делегации Министерства науки и технологии Южной Кореи, сотрудники

Госкомитета по науке и технике КНР, Директората атомного исследовательского центра в Бомбее (Индия), студенты из Германии, ученые из Франции и Швейцарии, Великобритании и США, из многих других стран мира.

Студенты из Реакторного центра Империаль-колледжа (Великобритания) провели часть своих летних каникул в Дубне. На снимке: экскурсия в ОИЯИ, на крыше здания ИБР-2 ЛНФ



**Перечень научных и научно-организационных совещаний,
проведенных Объединенным институтом ядерных исследований в 1991 году**

№ п/п	Наименование совещания	Время проведения	Место проведения	Количество участников
I. Совещания, школы и симпозиумы				
1.	XII Школа ОИЯИ — ЦЕРН по физике	5—18 мая	Алушта	150
2.	Международный симпозиум по электронной аппаратуре в физике	14—17 мая	Дубна	120
3.	Международное совещание «Накопительный комплекс ОИЯИ — с-тай фабрика»	29 мая — 1 июня	Дубна	100
4.	Международное совещание «Ренормгруппа-91»	3—6 сентября	Дубна	120
5.	Международный симпозиум по проблемам модульных ЦВС и сетей	9—14 сентября	Дубна	120
6.	V Международный симпозиум по электронно-лучевым источникам и их применению	24—28 сентября	Дубна	60
7.	Научно-техническое совещание «Проблема радиационной безопасности при пилотируемом полете к Марсу»	30 сентября — 3 октября	Дубна	70
8.	Международный семинар «Проблемы квантовой оптики»	30 сентября — 3 октября	Дубна	70
9.	Международное совещание по малонуклонным системам	1—5 октября	Севастополь	100
10.	V Международный симпозиум по современным аппаратурным методам исследований кинетики электронных процессов	21—26 октября	Дубна	160
11.	Симпозиум по исследованиям конденсированных сред ядерными методами	12—14 ноября	Дубна	150
II. Рабочие совещания				
1.	Совещание по исследованиям на установке «Нейтринный детектор»	15—17 января	Дубна	50
2.	Совещание по реакциям слияния сложных ядер и синтезу тяжелых нуклидов	15—17 января	Дубна	50
3.	Совещание по экспериментам на спектрометре ГИПЕРОН	22—24 января	Дубна	50
4.	Совещание по источнику ионов с электронно-циклонным резонансом	29—31 января	Дубна	50
5.	Совещание по программе исследований столкновений релятивистских ядер с помощью фотоэмульсий на установке СЛОН	26—28 февраля	Дубна	40
6.	Совещание по исследованию ядер с помощью нейтронов	12—14 марта	Дубна	50
7.	Совещание по экспериментам на установке БИС-2М	26—28 марта	Дубна	50
8.	Симпозиум-выставка фирмы СИМЕНС	13—17 апреля	Дубна	40
9.	Совещание по установке СЦД	14—16 мая	Дубна	40
10.	Заседание международного комитета по накопительному комплексу ОИЯИ (включая с-тай фабрику)	27—28 мая	Дубна	30
11.	Рабочее совещание по теории элементарных частиц (ЛТФ ОИЯИ — ФРГ)	10—12 июня	Дубна	40
12.	Совещание по программе исследования структуры дейтрана при высоких энергиях	11—13 июня	Дубна	50

№№ п/п	Наименование совещания	Время проведения	Место проведения	Количество участников
13.	Рабочее совещание по теоретической ядерной физике (ЛТФ ОИЯИ — ФРГ)	13—15 июня	Дубна	40
14.	Рабочее совещание по теории конденсированных сред (ЛТФ ОИЯИ — ФРГ)	18—20 июня	Дубна	40
15.	Совещание по физике деления	15—21 июня	Смоленице	60
16.	Совещание по перспективным источникам нейтронов	25—28 июня	Дубна	50
17.	Совещание по сотрудничеству с ЦЕРНом	18—19 июля	Дубна	20
18.	Совещание по физическим экспериментам на комплексе «Меченные нейтрино»	17—19 сентября	Дубна	50
19.	Совещание сотрудничества РИСК — СИГМА — АЯКС	1—3 октября	Алма-Ата	50
20.	Совещание по совместному ОИЯИ — Уппсала — ИТЭФ эксперименту «WASA»	15—17 октября	Дубна	45
21.	Совещание по проблеме глубоководной регистрации нейтрино (коллaborация «Байкал»)	2—7 декабря	Дубна	50
22.	Совещание по исследованиям на установке СФЕРА	17—19 декабря	Дубна	50

III. Научно-организационные совещания

1.	69 сессия Ученого совета ОИЯИ	8—10 января	Дубна	100
2.	II Совещание рабочей группы КПП	29—31 января	Дубна	50
3.	Комитет Полномочных Представителей стран-участниц ОИЯИ	5—7 марта	Дубна	80
4.	Заседание Финансового комитета	23—25 апреля	Дубна	20
5.	Заседание комиссии по правовым актам	22—24 мая	Дубна	50
6.	70 сессия Ученого совета ОИЯИ	4—6 июня	Дубна	100
7.	Заседание контрольной комиссии Финансового комитета	10—11 июня	Дубна	20
8.	Заседание Финансового комитета	12—14 июня	Дубна	20
9.	Комитет Полномочных Представителей правительства государств — членов ОИЯИ	10—14 декабря	Дубна	120
10.	Заседание Финансового комитета	10—12 декабря	Дубна	20

Перечень конференций, симпозиумов, совещаний и школ, в которых принимали участие специалисты Объединенного института ядерных исследований в 1991 году

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	Совещание по свойствам ядер и ядерных возбуждений	Австрия, Хиршегг	21—25 января	4
2.	Международная конференция по рассеянию нейтронов	Индия, Бомбей	21—25 января	3
3.	II Школа по физике и технологии лазеров и оптических волокон	Италия, Триест	21 января — 15 февраля	1
4.	Совещание коллаборации ЭМПАКТ/ТЕХАС	США, Даллас	24—26 января	1
5.	Международная школа по рассеянию нейтронов	Германия, Тюрмсдорф	4—8 февраля	3

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
6.	Рабочее совещание по полупроводниковым кремниевым детекторам	США, Ок-Ридж	15—25 февраля	5
7.	XXVII Зимняя школа по теоретической физике	Польша, Карпач	18 февраля — 1 марта	2
8.	Зимняя школа по сверхбыстрым явлениям в физике	Италия, Триест	18 февраля — 8 марта	1
9.	III Международное совещание по нейтринным телескопам	Италия, Венеция	26—28 февраля	1
10.	Международное совещание «Будущие направления в ядерной физике с 4π-детектирующими системами нового поколения»	Франция, Страсбург	4—16 марта	1
11.	Совещание по кристаллографии	Германия, Мюнхен	10—13 марта	2
12.	Международная конференция по компьютерам в физике высоких энергий	Япония, Цукуба	11—15 марта	7
13.	XXI Симпозиум по электронной структуре твердого тела	Германия, Гауссиг	11—15 марта	1
14.	I Европейская конференция по порошковой дифракции	Германия, Мюнхен	14—16 марта	2
15.	Совещание Европейского совета по ядерной физике	Великобритания, Даресбери	17—21 марта	1
16.	XXVI Международная конференция по взаимодействию адронов при высоких энергиях	Франция, Лез-Арк	17—23 марта	1
17.	Совещание коллaborаций по сотрудничеству в области спиновой физики	Швейцария, Женева	24—27 марта	1
18.	XXIX Весенняя школа по ядерной физике	Германия, Хольцхау	7—12 апреля	7
19.	XI Генеральная конференция по физике конденсированных сред	Великобритания, Эксетер	7—12 апреля	2
20.	XXIII Международный симпозиум по физике радиационной защиты	Германия, Гауссиг	8—12 апреля	1
21.	Конференция по физике ядра и частиц	Великобритания, Ливерпуль	8—12 апреля	3
22.	Рабочее совещание по физике и детекторам Ф-фабрики	Италия, Фраскати	9—12 апреля	4
23.	XXVI Закопанская школа по физике	Польша, Закопане	13—21 апреля	1
24.	Весенняя школа и Рабочее совещание по теории струн	Италия, Триест	15—26 апреля	3
25.	Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра	Беларусь, Минск	16—19 апреля	24
26.	Церемония и симпозиум в честь 33-летия научных исследований на ускорителе ЦЕРН	Швейцария, Женева	22—23 апреля	1
27.	Школа «Динамические системы и турбулентность»	Украина, Кацивели	29 апреля — 10 мая	3
28.	Международный симпозиум по аналогиям в оптике и микроэлектронике	Нидерланды, Эйндховен	1—4 мая	1
29.	Симпозиум по квантовой физике	Швейцария, Женева	2—3 мая	1
30.	Рабочее совещание «Адроны-91»	Украина, Новый Свет	5—12 мая	2
31.	Национальная конференция по ускорителям частиц	США, Сан-Франциско	6—9 мая	5

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
32.	V Конференция по ядерным аналитическим методам	Германия, Дрезден	10—17 мая	2
33.	Международная конференция «Ядерные данные для науки и технологии»	Германия, Юлих	11—18 мая	5
34.	Совещание разработчиков и пользователей программных средств в области ускорителей и техники	Россия, Протвино	14—17 мая	4
35.	Конференция «Современные проблемы статистической физики»	Украина, Харьков	14—17 мая	2
36.	Симпозиум по контролю и диагностике ядерных реакторов	США, Гатлинбург	19—24 мая	1
37.	Международный симпозиум по слабой сверхпроводимости	Чехо-Словакия, Смоленице	20—24 мая	2
38.	Международное совещание по радиационным эффектам в металлах	Венгрия, Шиофок	20—24 мая	3
39.	IV Международная школа по аппаратуре в физике элементарных частиц	Италия, Триест	20—31 мая	3
40.	Консультативное совещание сотрудников по связи с ИНИС МАГАТЭ	Австрия, Вена	21—24 мая	2
41.	Международная школа «Программирование-91»	Болгария, София	21—28 мая	2
42.	Заседание Комитета по ядерной физике ЕФО	Германия, Дармштадт	22—24 мая	1
43.	Международная конференция по упругому и дифракционному рассеянию	Италия, о.Эльба	22—25 мая	2
44.	Научно-практическая конференция	Россия (Татарстан), Казань	22—24 мая	
45.	Конференция по общим вопросам физики частиц и ядерной физики	США, Тусон	24—29 мая	1
46.	Симпозиум по физике элементарных частиц	Италия, о.Капри	26—31 мая	1
47.	Европейский симпозиум «Восток — Запад» по новым технологиям	Финляндия, Хельсинки	26—31 мая	1
48.	II Международная конференция по исследованиям и применению редкоземельных элементов	Китай, Пекин	27—31 мая	1
49.	XXI Совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами	Россия, Москва	27—29 мая	3
50.	Школа-семинар по биомолекулярному компьютерингу	Россия, Москва	27—31 мая	1
51.	I Международная конференция, посвященная А.Д.Сахарову	Россия, Москва	27—31 мая	18
52.	Совещание по фотоядерным реакциям	Болгария, Пловдив	28—30 мая	2
53.	Школа по теоретической ядерной физике	Россия, Тверь (б/о «Волга»)	28 мая — 6 июня	3
54.	III Международная конференция по электронно-лучевым технологиям	Болгария, Варна	30 мая — 4 июня	1
55.	Симпозиум по чистым технологиям	Финляндия, Рованиеми	31 мая — 5 июня	2
56.	Международная конференция по атомным и ядерным кластерам	Финляндия, Турку	3—7 июня	1
57.	Международное совещание «Ядерная форма и ядерная структура при низких энергиях возбуждения»	Франция, Каржез	3—7 июня	2

№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
58.	Международное совещание по пионам в ядрах	Испания, Пеньисcola	3—8 июня	1
59.	Заседание Европейского комитета по будущим ускорителям	Швейцария, Женева	5—12 июня	1
60.	Международная конференция по ядро-ядерным столкновениям	Япония, Канадзава	10—14 июня	9
61.	Международная конференция по механизмам ядерных реакций	Италия, Варенна	10—15 июня	3
62.	Конференция «Dynamical Days»	Германия, Берлин	10—17 июня	1
63.	Международная конференция по криогенике и криогенным материалам, выставка «Криогеника-91»	США, Хантсвилл	11—14 июня	2
64.	III Радиохимическое совещание	Россия, Томск	11—15 июня	1
65.	Международный симпозиум «Кластеры в адронах и ядрах»	Германия, Тюбинген	15—17 июня	1
66.	Международная школа по атомной и молекулярной спектроскопии	Италия, Эриче	1—30 июня	1
67.	Международная школа по ядерной физике пограничных областей	Испания, Ла Рабира	17—29 июня	2
68.	Международная конференция по высокотемпературной сверхпроводимости	Германия, Зап.Берлин	17—26 июня	1
69.	Международный семинар по магнитным измерениям	Германия, Дармштадт	18—21 июня	1
70.	Рабочее совещание по рассеянию нейтронов	США, Брукхейвен	18—21 июня	4
71.	Международное совещание по нелинейным эволюционным уравнениям	Италия, Галлиполи	19—29 июня	2
72.	Международная конференция «Физика столкновений»	Франция, Колмар	20—22 июня	1
73.	Заседание редколлегии журнала «Физика в медицине»	Италия, Генуя	24—26 июня	1
74.	12 Международная конференция по магнитной технологии	Россия, Санкт-Петербург	24—28 июня	6
75.	Международная конференция «Радиационные эффекты в изоляторах»	Германия, Веймар	24—28 июня	1
76.	Международная конференция «Реальное время-91»	Германия, Юлих	24—28 июня	3
77.	Заседание ученого совета ГАНИЛ, заседание комиссии по названиям трансурановых элементов	Франция, Кан	24 июня — 15 июля	1
78.	II Семинар по сегнетоэлектричеству	Россия, Красноярск	27 июня — 1 июля	1
79.	VII Адриатическая конференция по ядерной физике	Югославия, о.Бриони	27 июня — 2 июля	2
80.	Международная школа «Частицы в 90-х годах»	Франция, Лезуш	1—26 июля	1
81.	V Семинар по исследованию процессов фрагментации релятивистских ядер с медными мишениями	Германия, Лейпциг	2—5 июля	5
82.	Международный симпозиум по гидромеханике и тепломассопереносу	Россия, Пермь	6—14 июля	1
83.	Международный конгресс по радиационным исследованиям	Канада, Торонто	7—12 июля	1

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
84.	Международная конференция «Изучение поверхности и коллоидов»	Франция, Компьен	7—13 июля	1
85.	XIV Семинар по физике высоких энергий и теории поля	Россия, Протвино	8—12 июля	17
86.	Рабочее совещание по слабым взаимодействиям	Италия, Лаквилла	8—12 июля	1
87.	Международный семинар по нуклон-антинуклонным взаимодействиям	Россия, Москва	8—13 июля	8
88.	Международный симпозиум по символическим и аналитическим вычислениям	Германия, Бонн	14—18 июля	1
89.	Международный симпозиум «Кластеры в адронах и ядрах»	Германия, Тюбинген	15—17 июля	2
90.	2 Международный Вигнеровский симпозиум	Германия, Гослар	15—20 июля	4
91.	Международная конференция по высокотемпературным сверхпроводникам	Япония, Канадзава	22—26 июля	4
92.	Гордоновская конференция по ядерной физике	США, Тилтон	22—26 июля	2
93.	Рабочее совещание по проблемам полупроводниковых детекторов	Италия, Флоренция	23—24 июля	7
94.	Заседание ИКФА	Швейцария, Женева	25—27 июля	1
95.	Международный лептон-фотонный симпозиум и Европейская конференция по физике высоких энергий	Швейцария, Женева	25 июля — 1 августа	8
96.	Рабочее совещание по структуре нуклона	США, Сиэтл	27 июля — 15 сентября	1
97.	Конференция «Символическая динамика и ее применение»	США, Нью-Хейвен	29 июля — 2 августа	1
98.	X Международный конгресс по математической физике	Германия, Лейпциг	30 июля — 9 августа	4
99.	Рабочее совещание по проекту «Соленоидальный детектор»	США, Беркли	2—16 августа	1
100.	Европейская конференция по структуре адронов и электрослабым взаимодействиям	Нидерланды, Амстердам	5—10 августа	1
101.	Школа по ядерной физике	Швеция, Фальстербу	12—23 августа	1
102.	Международные курсы и Школа по континуальному интегрированию	Италия, Триест	16 августа — 6 сентября	4
103.	Международная школа «Физика и материаловедение высокотемпературных сверхпроводников»	Греция, Порто Каракас	18—31 августа	1
104.	Международная конференция по пучкам радиоактивных ядер	Бельгия, Лувен-ля-Нев	19—21 августа	4
105.	Международная конференция «Модификация материалов импульсами энергии и пучками частиц»	Германия, Дрезден	19—23 августа	1
106.	Международный коллоквиум «Дифференциальные уравнения и приложения»	Венгрия, Будапешт	21—24 августа	3
107.	Совещание «Эффективные теории поля в стандартной модели»	Венгрия, Добогоке	22—26 августа	1
108.	Международная конференция по механизмам ядро-ядерных столкновений	США, Нью-Йорк	25—31 августа	1
109.	Международный конгресс по аналитическим наукам	Япония, Маку-хари-Мессе	25—31 августа	1

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
110.	Международная конференция по теории вероятности и математической статистике	Чехо-Словакия, Братислава	26—30 августа	2
111.	Международная конференция по дифференциальным уравнениям	Испания, Барселона	26—31 августа	1
112.	XXII Международная школа по ядерной физике	Польша, Пяски	26 августа — 5 сентября	2
113.	Международная школа «Новые направления в теоретической и экспериментальной ядерной физике»	Румыния, Предеал	26 августа — 7 сентября	2
114.	Международная конференция по рассеянию нейтронов	Великобритания, Оксфорд	27—30 августа	5
115.	V Международный симпозиум «Мезоны и легкие ядра»	Чехо-Словакия, Прага	1—6 сентября	2
116.	Международная конференция по магнетизму	Великобритания, Эдинбург	1—7 сентября	1
117.	Международная школа «Физика высоких энергий и стандартная модель»	Россия, Санкт-Петербург	1—15 сентября	2
118.	Международная конференция по методам декомпозиции областей	Германия, Ламбрехт	2—7 сентября	1
119.	XII Конференция ЕФО по ядерным формам	Венгрия, Балатонфюред	2—7 сентября	3
120.	Международная конференция по электромагнитным сепараторам; Симпозиум по лазерам в ядерной физике	Япония, Сендай, Вакоши	2—13 сентября	4
121.	IV Семинар по спиновым явлениям в физике высоких энергий	Россия, Протвино	2—6 сентября	4
122.	III Школа-семинар по автографии и твердотельным трековым детекторам ядер и их применению	Украина, Одесса	5—11 сентября	6
123.	Международная осенняя школа по ядерной физике	Чехо-Словакия, Сазава	8—13 сентября	2
124.	Международная конференция «Адронная материя в экстремальных условиях»	Чехо-Словакия, Бехине	9—13 сентября	1
125.	Международный симпозиум по физике высоких энергий (ГЕКСАМ-91)	Чехо-Словакия, Бехине	9—13 сентября	1
126.	Семинар «Проблемы создания полупроводниковых приборов, ИС и радиоэлектронной аппаратуры на их основе»	Россия, Петрозаводск	9—13 сентября	1
127.	Европейская конференция по малочастичным системам	Италия, о.Эльба	9—14 сентября	1
128.	Международная школа по динамическим системам	Италия, Триест	9—27 сентября	1
129.	Международная конференция по ядерной физике на накопительных кольцах	Швеция, Лунд	10—12 сентября	1
130.	Международное совещание по критическим токам	Польша, Заборув	10—13 сентября	1
131.	IX Летняя школа по вычислительным методам в физике	Чехо-Словакия, Скальски Двур	10—20 сентября	2
132.	Международное совещание по теоретической физике	Армения, Нор-Амберд	12—25 сентября	3
133.	Школа по ускорительной технике	Нидерланды, Нордвикер-Хоуд	15—27 сентября	1

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
134.	Международная конференция по современным направлениям в активационном анализе	Австрия, Вена	16—20 сентября	2
135.	V Школа-семинар по физике сегнетоэластиков	Украина, Ужгород	16—22 сентября	1
136.	Международная школа-семинар «Релятивистская ядерная динамика»	Россия, Владивосток	16—25 сентября	11
137.	Международная конференция «Структура адронов-91»	Чехо-Словакия, Стара Лесна	16—20 сентября	4
138.	Европейская конференция по $(e, 2e)$ -реакциям	Франция, Брест	18—21 сентября	1
139.	Международная школа по ядерной физике	Италия, Эриче	20—29 сентября	2
140.	Международная конференция «Криогеника-91»	Россия, Балашиха	21—28 сентября	3
141.	IV Совещание по использованию тяжелых заряженных частиц в биологии и медицине	Германия, Дармштадт	23—25 сентября	2
142.	XXV Международный симпозиум по теории элементарных частиц	Германия, Газен	23—26 сентября	2
143.	Совещание экспертов по поляризованным газовым мишениям на накопительных кольцах	Германия, Гейдельберг	23—26 сентября	1
144.	Конференция по компьютерному обеспечению крупномасштабных научных исследований	Германия, Карлсруэ	23—27 сентября	1
145.	XXI Международный симпозиум по многочастичной динамике	Китай, Ухань	23—27 сентября	1
146.	Конференция по феноменологии частиц	Италия, Триест	23—27 сентября	2
147.	III Европейская вакуумная конференция	Австрия, Вена	23—27 сентября	1
148.	Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии	Германия, Майнц	25—28 сентября	1
149.	3 Семинар-совещание «Теория нелинейных волн»	Россия, Калининград	24—28 сентября	1
150.	Международная конференция по когерентной и нелинейной оптике	Россия, Санкт-Петербург	24—27 сентября	1
151.	V Европейская конференция по коллоидным и межфазным наукам	Германия, Майнц	25—28 сентября	1
152.	8 Межотраслевая школа по физике радиационных повреждений твердого тела	Украина, Харьков	29 сентября — 6 октября	1
153.	IV Международная конференция по источникам ионов	Германия, Бенсхайн	30 сентября — 4 октября	3
154.	Международное совещание «Широкомасштабное применение полупроводниковых детекторов в физике высоких энергий»	Беларусь, Минск	30 сентября — 4 октября	15
155.	Конференция по рентгеновским детекторам	Франция, Оссуа	30 сентября — 4 октября	1
156.	Рабочее совещание по сотрудничеству	Казахстан, Алма-Ата	1—3 октября	8
157.	VII Семинар по высокочастотной электронике	Россия, Томск	1—3 октября	1
158.	Школа-семинар «Нелинейные задачи математической физики и их приложения»	Узбекистан, Самарканд	2—9 октября	1
159.	IV Симпозиум по теплопередаче в криогенных системах	Германия, Карлсруэ	5—12 октября	1
160.	Школа молодых ученых «Квантовая теория поля и физика высоких энергий»	Россия, Лазаревское	5—13 октября	2

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
161.	Международное совещание по использованию систем мониторинга и диагностики реакторов	Австрия, Вена	7—9 октября	1
162.	Международная конференция по теории Белла	Италия, Чезена	7—10 октября	1
163.	Конференция «Транспьютерные системы и их применение»	Россия, Звенигород	8—12 октября	2
164.	Конференция «Современные направления в физике тяжелых ионов»	США, Ок-Ридж	14—15 октября	1
165.	Международная конференция по калориметрии в физике высоких энергий	Италия, о. Капри	14—18 октября	2
166.	Научно-техническая конференция «Холод — народному хозяйству»	Россия, Санкт-Петербург	14—18 октября	1
167.	IV Европейская конференция по применению анализа поверхности и границ раздела	Венгрия, Будапешт	14—18 октября	2
168.	X Конференция по постоянным магнитам	Россия, Сузdalь	14—18 октября	4
169.	X Международная школа по ядерной физике, нейтронной физике и ядерной энергетике	Болгария, Варна	14—19 октября	2
170.	Школа молодых ученых «Экспериментальная физика высоких энергий»	Россия, Лазаревское	14—22 октября	5
171.	Симпозиум «Физика и техника ММ- и СУБММ-радиоволн»	Украина, Старый Салтов	15—18 октября	1
172.	Конференция по он-лайн ядерной ориентации	США, Ок-Ридж	16—19 октября	1
173.	Научный семинар, посвященный 60-летию проф.П.Кинле	Германия, Дармштадт	22—24 октября	1
174.	II Рабочее совещание по использованию рассеяния нейтронов в физике твердого тела	Россия, Гатчина	22—24 октября	13
175.	Совещание по стандарту «Фьючербас»	Швейцария, Женева	27 октября — 1 ноября	1
176.	Школа-семинар «Полупроводниковые детекторы в ионизирующих излучениях»	Латвия, Юрмала	2—6 ноября	2
177.	XXI Международный симпозиум по ядерной физике	Германия, Гауссиг	4—8 ноября	2
178.	Заседание Комитета по ядерной физике ЕФО	Германия, Дармштадт	4—11 ноября	1
179.	Научно-техническая конференция «Измерительные информационные системы»	Россия, Санкт-Петербург	11—13 ноября	1
180.	Международная конференция «Кварковая материя-91»	США, Гатлинбург	11—15 ноября	2
181.	IX Конференция по экстракции	Россия, Адлер	12—15 ноября	4
182.	Международное совещание коллaborации «Соленоидальный детектор»	США, Даллас	20 ноября — 5 декабря	2
183.	Конференция по радон-мониторингу	Италия, Триест	25 ноября — 6 декабря	2
184.	IV Совещание по использованию ядерно-физических методов в охране окружающей среды	Казахстан, Алма-Ата	26—28 ноября	6
185.	X Совещание по электростатическим ускорителям	Россия, Обнинск	26—28 ноября	2
186.	Международное совещание по обратным задачам	Франция, Монпелье	28 ноября — 3 декабря	1

№№ п/п	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
187.	Международный семинар «Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях»	Россия, Москва	2—5 декабря	3
188.	II Совещание по трековым мембранам и их применению	Польша, Бельско-Бяла	2—6 декабря	1
189.	Школа «Автоматизация исследований конструирования и производства»	Россия, Обнинск	2—7 декабря	1
190.	XXIV Международное совещание по математической физике	Польша, Торунь	3—6 декабря	1
191.	Конференция памяти В.Гейзенберга	Германия, Лейпциг	9—12 декабря	1
192.	Международный симпозиум по гиперядерной физике	Япония, Шимора	9—12 декабря	2
193.	Семинар по исследованию конденсированных сред ядерными методами	Франция, Сакле	9—14 декабря	7
194.	Европейский конгресс «Женщина и математика»	Франция, Марсель	9—13 декабря	1
195.	Заседание Ученого совета ЦЕРН; совещание по организации школ по физике	Швейцария, Женева	14—21 декабря	3
196.	Рабочее совещание по совместному эксперименту СМК	Швейцария, Женева	16—18 декабря	3
197.	Конференция по физике конденсированных сред и материалов	Великобритания, Бирмингем	16—19 декабря	1

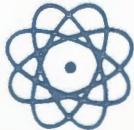
**Справка о развитии международного сотрудничества и связей
Объединенного института ядерных исследований в период 1965—1991 гг.**

	1965	1970	1975	1980	1985	1989	1990	1991
1. Количество командировок специалистов из стран-участниц в ОИЯИ (без учета приездов на совещания ОИЯИ)	203	446	1026	1216	1469	1519	1058	580*
2. Количество командировок специалистов ОИЯИ в страны-участницы	171	287	474	558	600	798**	778**	669**
3. Количество научных, методических и научно-организационных совещаний ОИЯИ	19	28	42	40	49	43	44	37
4. Количество командировок на международные конференции и в научные центры стран-неучастниц	69	166	131	109	119	244	437	526
5. Количество приездов специалистов из стран-неучастниц	27	176	226	93	144	305	563	479
6. Количество стипендиатов ОИЯИ	—	8	11	7	3	13	16	14

* — показано общее количество командировок (до 3 мес.) специалистов из стран-участниц и ФРГ

** — без учета выездов по вызовам Полномочных Представителей стран-участниц ОИЯИ. В 1991 году показано общее количество командировок в страны-участницы и ФРГ

ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ



ОТДЕЛ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сотрудники отдела в 1991 году контролировали уровни ионизирующих излучений, содержание радионуклидов в окружающей среде, нормы и правила работы с источниками ионизирующих излучений, а также выполнили ряд научно-методических работ.

Радиационный контроль осуществлялся на следующих ядерно-физических установках ОИЯИ:

- импульсном реакторе ИБР-30 при средней тепловой мощности 10 кВт;
- импульсном реакторе ИБР-2 со средней тепловой мощностью до 2 МВт;
- синхрофазotronе в режиме ускорения протонов и релятивистских ядер с энергией до нескольких ГэВ/нуклон;
- фазotronе в режиме ускорения и вывода пучка протонов с энергией до 660 МэВ;
- циклотронах У-200 и У-400 в режимах ускорения и вывода ионов с энергиями до 20 МэВ/нуклон;
- микротроне МТ-25 на энергию электронов 25 МэВ;
- сильноточных ускорителях электронов на энергии от нескольких кэВ до 16 МэВ;
- при проведении работ с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

Проведены первые измерения радиационной обстановки вокруг нового циклотрона МЦ-400 в режиме ускорения ядер гелия до энергии 30 МэВ/нуклон.

Итоги контроля радиационной обстановки и индивидуальных доз внешнего облучения персонала в зонах радиационного воздействия показали, что годовой уровень облучения персонала и населения не превысил ни предельно допустимых доз, ни пределов доз. К концу 1991 года на индивидуальном дозиметрическом контроле в ОИЯИ состояло 2479 человек, из них 170 сотрудников, прикомандированных к ОИЯИ из сторонних организаций. Годовая доза облучения у 100% сотрудников, работающих в радиационно-вредных условиях труда, не превысила 15 мЗв (1,5 бэр), что ниже регламентированной величины. Средняя эффективная доза облучения в окружающей среде от ядерно-физических установок Института составляет около 0,02 мЗв в год на одного жителя

города, что не превышает двух процентов от природной дозы радиации; радиоактивность внешней среды в районе расположения ОИЯИ по результатам контроля почвы, растительности и воды 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 радиоактивного контроля модернизирована автоматизированная система радиационного контроля (ACPK) синхрофазотрона с заменой части каналов регистрации нейтронов на современные. Сдан в опытную эксплуатацию пусковой минимум АСРК на циклотроне МЦ-400.

В области радиационных исследований проведены комплексные измерения характеристик опорных полей гамма-нейтронного излучения совместно с сотрудниками ИФВЭ и ИЯ (Сверк, ПР). Получили дальнейшее развитие методы спектрометрии нейтронов широкого энергетического диапазона [1]. Выполнен анализ двойных дифференциальных сечений образования нейтронов и протонов в ядро-ядерных взаимодействиях, которые описаны в аналитической форме с целью прогнозирования радиационной обстановки и защиты на ускорителях тяжелых ионов [2]. Систематизированы результаты многолетних измерений радиационной обстановки в Дубне; выявлен вклад различных источников в суммарный ущерб здоровью жителей. Источники ионизирующих излучений ОИЯИ вносят около четырех процентов от суммарной эффективной дозы природных и медицинских источников излучений; вред от них много меньше вреда от курения сигарет [3].

ЛИТЕРАТУРА

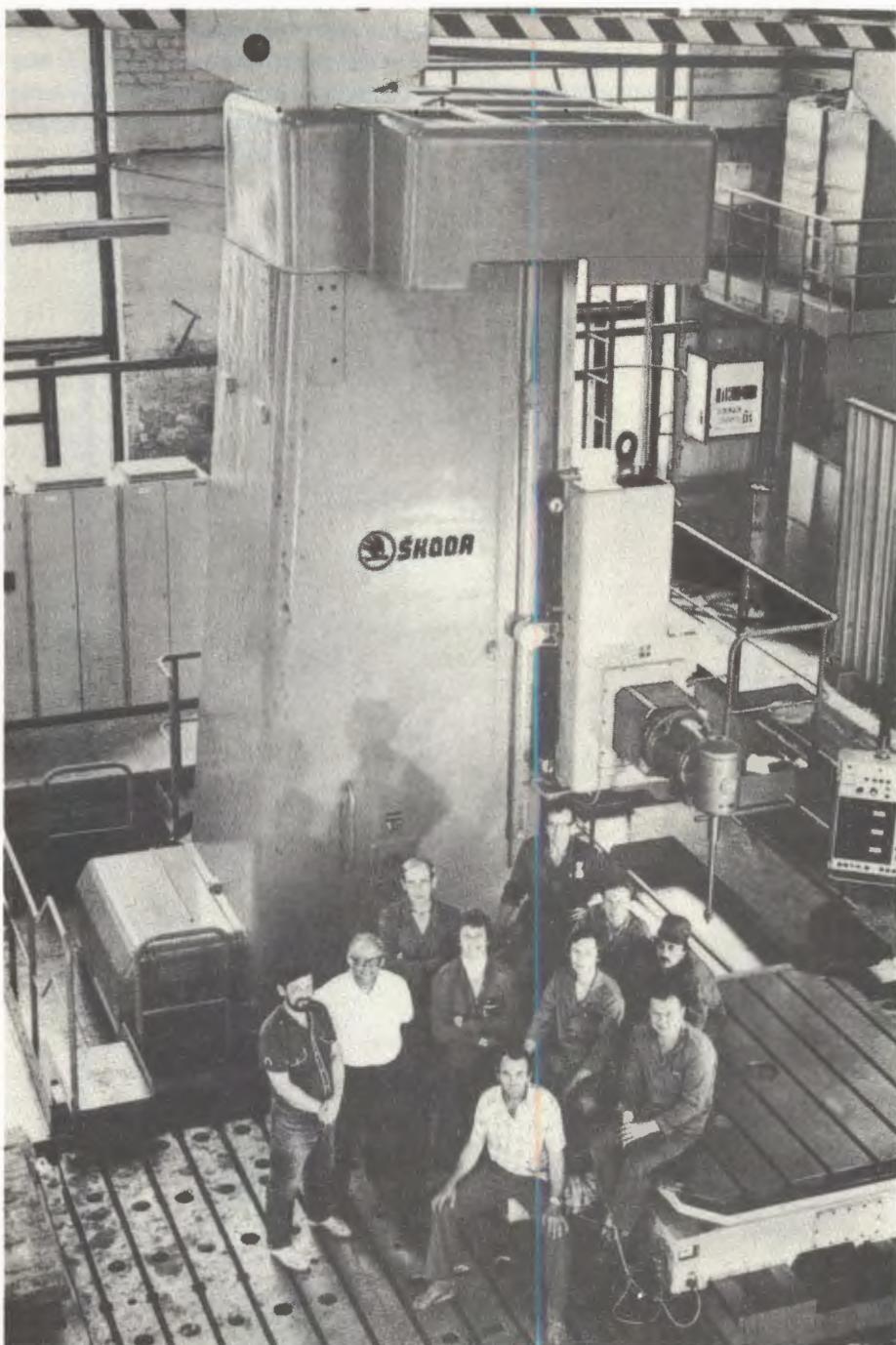
1. Алеников В.Е. и др. — ОИЯИ, Р16-91-177, Дубна, 1991.
2. Комочкиев М.М. — ОИЯИ, Р16-91-107, Дубна, 1991.
3. Комочкиев М.М. — ОИЯИ, Р16-91-459, Дубна, 1991.

ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Трудности с финансированием деятельности Института привели в 1991 году к резкому сокращению количества заказов в Опытное производство от лабораторий и других подразделений ОИЯИ.

По заказам Лаборатории высоких энергий было изготовлено 2 участка вывода пучка, по 3 участка линз «Ф» и «Д» и подставка для линз. Тем самым завершены работы по изготовлению узлов нуклонного.

В цехе опытного производства ОИЯИ начал работать горизонтально-расточной станок повышенной точности «W-160» (ЧСФР). На снимке: сотрудники ЦОП — участники сборки станка



Продолжались работы по выпуску узлов для ускорителя У-400М (ЛЯР). Было изготовлено 4 комплекта мощных оконечных каскадов ВЧ-генератора, детали водоохлаждения, 2 магнитопровода и 6 катушек для магнитов Д-35. Для установки ФОБОС, создаваемой в этой же лаборатории, изготовлены малый позиционно-чувствительный счетчик, газово-вакуумная система, кольцо с сеткой Фриша, держатель, решетка и др.

По заказам Отдела прикладной ядерной физики наложено производство узлов различных фильтрующих установок. Выпущено 12 однопатронных и 7 трехпатронных установок для фильтрации жидкости, 20 фильтродержателей и 150 установок с фильтрующей поверхностью 100 см².

Для Лаборатории нейтронной физики были изготовлены 6 модулей домика экспериментатора; защита разборная, тележка, платформа и два трансмиссионных вала для подвижного от-

ражателя. Завершены работы по узлам нейтроновода.

По заказу ЛСВЭ было изготовлено 63 модуля дрейфовых трубок, а для ЛВЭ — 4 пропорциональные камеры.

В несколько раз сократился выпуск блоков РЭА и конструктивов для них. Было изготовлено около 1150 шт. плат печатного монтажа, 570 ячеек КАМАК, 32 стойки под крейты КАМАК, 23 крейта с источником питания и вентблоком, 316 блоков КАМАК и 24 прибора понижения напряжения.

В области развития технологических и производственных возможностей Опытного производства значительным фактом является монтаж и ввод в эксплуатацию большого расточного станка «W-160» производства ЧСФР. Примечательно то, что впервые все работы были выполнены специалистами Опытного производства без привлечения специалистов из ЧСФР.

НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 1991 году издательский отдел ОИЯИ выпустил в свет 602 наименования сообщений и препринтов ОИЯИ. Издано 219 служебных материалов.

Вышли из печати 14 сборников трудов различных конференций, школ и совещаний, организованных ОИЯИ, буклетов об ОИЯИ. Среди них: двухтомник трудов VI Международной школы по нейтронной физике; Труды III семинара «Гравитационная энергия и гравитационные волны»; международной школы «Физика слабых взаимодействий при низких энергиях»; IX Международного совещания по проблемам квантовой теории поля.

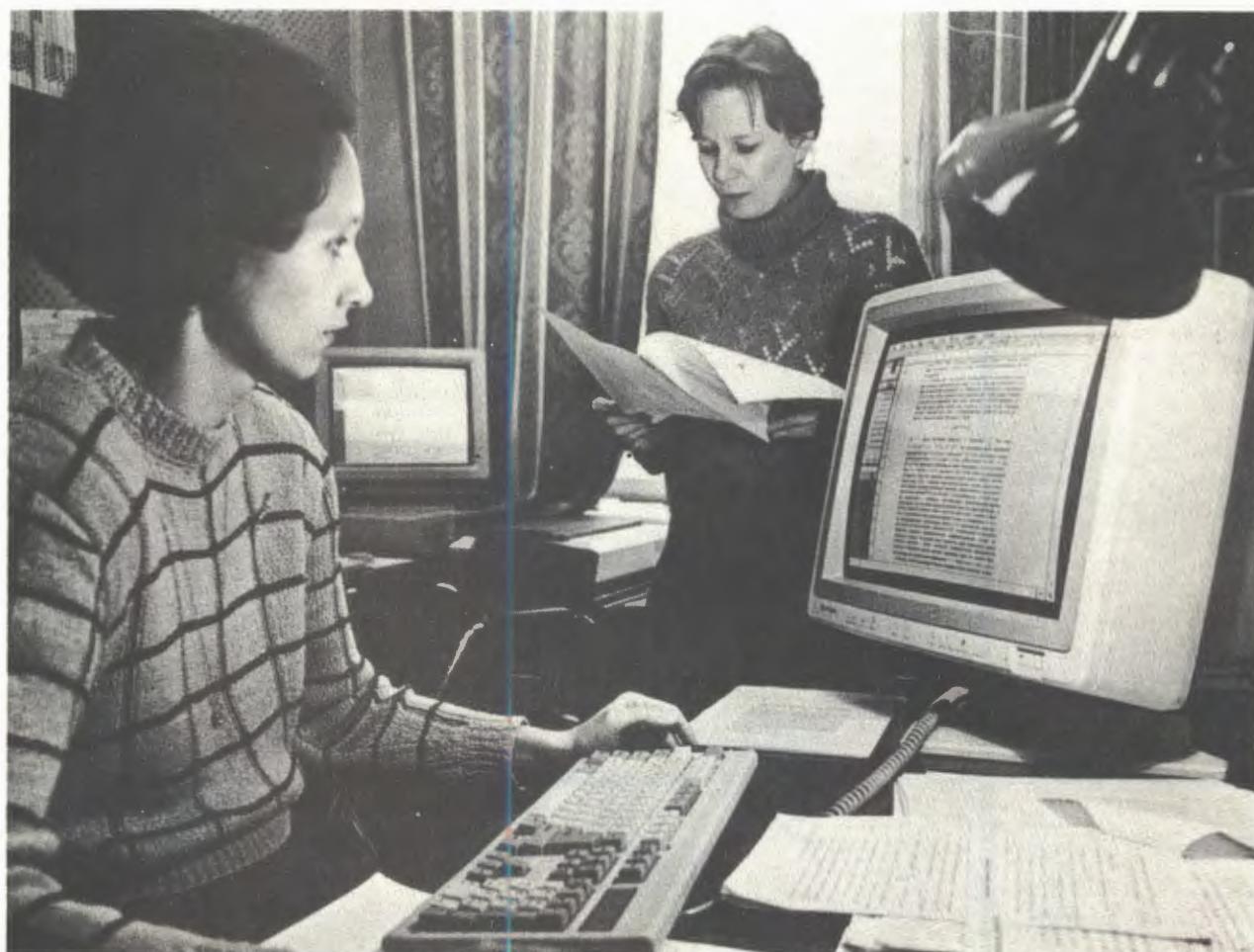
В 1991 году издано 5 сборников «Кратких сообщений ОИЯИ», в которых опубликовано 30 статей, содержащих оригинальные научные, на-

учно-технические, методические и прикладные результаты.

Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ», который приобретает все большую популярность в кругах научной общественности. Вышел в свет специальный выпуск бюллетеня, посвященный сотрудничеству ученых Лаборатории теоретической физики с физиками из ФРГ.

В редакции журналов, на различные конференции, симпозиумы, совещания и школы, проводившиеся как в странах-участницах, так и в других странах, издательским отделом было направлено более 700 статей и докладов, содержащих результаты работ ученых Дубны. Статьи сотрудников ОИЯИ публиковались в таких журналах, как «Журнал экспериментальной и теоретиче-

В 1991 году в издательском отделе был освоен компьютерный набор, и ряд изданий — «Отчет о деятельности ОИЯИ за 1990 год», «Краткие сообщения ОИЯИ», бюллетени «Новости», буклет об ОИЯИ — был набран на компьютере в программе Вентура. На снимке: в наборном отделении издательского отдела



ской физики", "Теоретическая и математическая физика", "Приборы и техника эксперимента", "Ядерная физика", "Физика элементарных частиц и атомного ядра", "Сверхпроводимость: физика, химия, техника", "Journal of Physics", "Physics Letters", "Zeitschrift für Physik", "Nuclear Physics", "Nuclear Instruments and Methods", "Europhysics Letters" и др.

В 44 страны мира рассыпались публикации Объединенного института. В 1991 году в списке рассылки публикаций появилось 4 новых адреса.

В научно-техническую библиотеку Объединенного института в 1991 г. поступило в порядке обмена 11986 публикаций из 44 стран, в том числе 2801 — из ЦЕРН. В порядке обмена же в НТБ бес-

платно поступает 130 наименований научных журналов из 38 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 1990 г." и "Отчет о деятельности ОИЯИ за 1990 г."

Издательским отделом выполнялись многочисленные заказы лабораторий на ксерокопирование. Для обработки экспериментальной информации и других целей отпечатано около 260 тысяч различных бланков. Выполнено около 3 тысяч заказов на переплетные работы.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 1991 году число читателей научно-технической библиотеки и ее филиалов составило 4573 человека. Количество выданной за год литературы и просмотренной на выставках новых поступлений составило более 210 тыс. экз. По заявкам читателей получено по межбиблиотечному абонементу (МБА) 1545 наименований. Выполнено более 250 читательских заявок, поступивших из библиотек других городов.

По всем источникам комплектования (покупка, подписка, книгообмен) в 1991 году поступило около 15 тысяч экземпляров книг, препринтов, периодических изданий, в том числе 9 тысяч на иностранных языках. Продолжалась работа по очистке фонда от устаревшей литературы.

На 1 января 1991 года библиотечный фонд составил около 410 тысяч экземпляров, из них более 160 тысяч — на иностранных языках.

Все поступившие издания своевременно обрабатывались и отражались в центральном каталоге и в каталогах филиалов. Каталоги пополнились 14375 карточками на новые поступления, изъято более 16 тысяч карточек.

Пополнились новыми публикациями тематические картотеки, добавлено 19310 карточек. Картотека публикаций сотрудников Института пополнилась 3110 карточками.

Подготовлен с применением персональной ЭВМ и издан "Указатель работ сотрудников ОИЯИ за 1990 год".

Еженедельно выпускались экспресс-бюллетени "Книги", "Статьи", "Препринты". Выпущено

156 номеров, включивших информацию о 21023 названиях.

Еженедельно обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, на которых представлено 12047 наименований.

Было организовано пять тематических выставок.

ОБМЕН ИЗДАНИЯМИ

Всего за 1991 год в научно-техническую библиотеку ОИЯИ поступило в порядке обмена 11986 публикаций из 44 стран, в том числе из ЦЕРН — 2801. В порядке обмена в НТБ бесплатно поступают научные журналы из 38 стран (130 названий).

Конкретное количество поступлений показывает следующая таблица:

Наименование стран-участниц	Препринты	Журналы	Книги	стран
<i>Страны-участницы</i>				
Болгария	—	3	—	
Венгрия	37	4	1	
Польша	90	1	2	
Румыния	22	3	—	
СНГ	3054	19	31	
Чехо-Словакия	7	9	—	
Всего:	3282	42	34	

Наименование стран	Препринты	Журналы	Книги
<i>Другие страны и международные организации</i>			
Австралия	52	—	—
Австрия	38	—	—
Аргентина	2	—	—
Бельгия	22	—	—
Бразилия	72	—	—
Великобритания	202	—	—
Германия	949	7	13
Греция	6	—	—
Дания	8	—	—
Израиль	19	—	—
Индия	56	5	—
Ирландия	18	—	—
Исландия	1	—	—
Испания	107	—	—
Италия	489	1	5
Канада	126	—	—
Китай	40	1	1
Колумбия	12	—	—
Корея	2	1	—
МАГАТЭ	—	1	27
Мексика	7	—	—
Нидерланды	49	1	—
Норвегия	12	—	—
Португалия	5	—	—
США	2165	7	26
Турция	2	—	—
Финляндия	61	—	—
Франция	525	3	2
Швейцария	155	—	—
ЦЕРН	2801	6	19
Швеция	68	—	—
Югославия	—	2	—
ЮАР	6	1	—
Япония	699	3	18
Всего:	8704	38	111
Общее количество:	11986		

ПАТЕНТНЫЙ ОТДЕЛ

ЗАЩИТА

РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

	1991 г.	1958—1991 гг.
Получено положительных решений по заявкам на изобретения	34	1320
Использовано изобретений в установках ОИЯИ	9	592

И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЙ

	1991 г.	1958—1991 гг.
Использовано в ОИЯИ рационализаторских предложений	150	14714
Экономический эффект от использования изобретений и рационализаторских предложений (тыс. руб)	9,0	3450,4

АДМИНИСТРАТИВНО- ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ



КАДРЫ

Численность сотрудников Объединенного института ядерных исследований на 31 декабря 1991 года составила 6865 человек.

Распределение по категориям показано в таблице.

В Объединенном институте ядерных исследований работают 3 академика: А.М.Балдин, Д.Киш, Б.М.Понтекорво; 7 членов-корреспондентов академий наук: В.П.Джелепов, И.Звара, В.Г.Кадышевский, М.Г.Мещеряков, Р.М.А.Мир-Касимов, Ю.Ц.Оганесян, Д.В.Ширков; 3 доцента; 191 доктор наук; 618 кандидатов наук.

В 1991 году в ОИЯИ принято 580 человек:
научных работников — 151
специалистов — 102

рабочих	— 302
учеников	— 12
служащих	— 6
младшего	
обслуживающего	
персонала	— 7

Уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 907 человек. В течение года присвоены ученые звания члена-корреспондента академии наук одному сотруднику, профессора — 11, старшего научного сотрудника — 6, младшего научного сотрудника — 6.

Защищили кандидатские диссертации 8 сотрудников, докторские — 11.

Категория работников	Численность		
	в лабораториях и управлении	в производственных подразделениях	всего
Научные работники	1330	4	1334
Специалисты	1846	450	2296
Рабочие	1704	1370	3074
Ученики	3	5	8
Служащие	27	79	106
Младший обслуживающий персонал	2	45	47
Итого	4912	1953	6865



ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Комитет Полномочных Представителей правительств государств — членов ОИЯИ для проведения научно-исследовательских работ, сооружения базовых установок и других затрат, связанных с деятельностью Института, на 1991 год утвердил бюджет в сумме 29173,0 тыс. долл. США. Фактические расходы за год составили 29173,0 тыс. долл. США, или 100% по отношению к годовым ассигнованиям.

Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ Объединенного института ядерных исследований за 1991 год выполнен в полном объеме как в сметной стоимости, так и по номенклатуре. Распределение бюджета по разделам приведено в таблице.

Количество выполняемых тем в 1991 году было 126 против 113 в 1990 году.

Наименование раздела	Ассигнования на год, млн. долл. США	Фактические расходы за год, млн. долл. США	% к плану
I. Административно-управленческие расходы	0,9	0,9	100%
II. Научно-производственная деятельность	23,9	23,9	100%
Итого по основной деятельности	24,8	24,8	100%
III. Сооружение базовых установок	4,3	4,3	100%
Всего	29,1	29,1	100%

Новостройки Дубны



СООРУЖЕНИЕ БАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Затраты по строительству базовых установок характеризуются следующими данными:

Структура капитальных вложений	Годовой план, тыс. долл. США	Фактическое выполнение, тыс. долл. США	% к плану
I. Всего капитальных вложений	4298,6	4316,4	100,4%
в том числе:			
1. Строительно-монтажные работы	1204,1	597,2	49,6%
2. Оборудование	2406,4	2568,7	106,7%
3. Прочие работы и затраты	688,1	1150,5	167,2%
II. Введено в действие основных фондов	6432,5	4937,9	76,7%

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В состав Объединенного института ядерных исследований входят производственные, вспомогательные и обслуживающие подразделения. Деятельность этих подразделений характеризуется основными показателями, приведенными в таблице:

Показатели	Годовой план	Фактическое выполнение	% выполнения
1. Объем готовой продукции, выполненных работ и оказанных услуг, млн.долл. США	16,6	17,2	104,8%
2. Результат финансово-хозяйственной деятельности, млн. долл. США	0,4	1,9	475,0%
3. Затраты на один доллар выполненных работ и оказанных услуг (центы)	0—98,6	0—93,3	
4. Численность работающих	2161	1983	