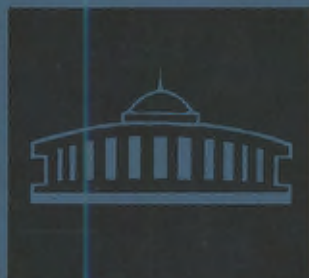


# ДУБНА·1973

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

# 1973 · DUBNA

Экз. чит. зала

G3M

0-292

9578 Sp.

# ОТЧЕТ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЕЖЕГОДНОЕ ИЗДАНИЕ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

# Оглавление

Цели и задачи Объединенного института ядерных исследований	4
Лаборатории и основные установки ОИЯИ	5
Введение	6
Проблемный план ОИЯИ на 1973 год	14
Научно-исследовательские работы, выполненные лабораториями ОИЯИ в 1973 году	
Лаборатория теоретической физики	18
Лаборатория высоких энергий	32
Лаборатория ядерных проблем	48
Лаборатория ядерных реакций	70
Лаборатория нейтронной физики	88
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации	104
Отдел новых методов ускорения	114
Руководящие и консультативные органы. Международные связи	
Деятельность руководящих и консультативных органов	122
Премии ОИЯИ за 1972 год	126
Международные связи и научное сотрудничество	132
Научная информация	
Издательский отдел	148
Научно-техническая библиотека	150
Изобретательство, рационализация и патентная служба	152
Общеинститутские службы. Административно-хозяйственная деятельность	
Отдел радиационной безопасности	156
Совет по радиоэлектронике	158
Административно-хозяйственная деятельность	160

# Цели и задачи Объединенного института ядерных исследований

Объединенный институт ядерных исследований имеет своей целью:

обеспечение совместного проведения теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики учеными государств - членом Института;

содействие развитию ядерной физики в государствах - членах Института путем обмена опытом и достижениями в проведении теоретических и экспериментальных исследований;

поддержание связи с заинтересованными национальными и международными научно-исследовательскими и другими организациями в деле развития ядерной физики и изыскания новых возможностей мирного применения атомной энергии;

содействие всестороннему развитию творческих способностей научно-исследовательских кадров государств - членом Института.

Всей своей деятельностью Институт будет содействовать использованию ядерной энергии только для мирных целей на благо всего человечества.

# Лаборатории и основные установки ОИЯИ

Лаборатория теоретической физики

Лаборатория высоких энергий  
Синхрофазотрон для ускорения протонов до энергии 10 ГэВ

Лаборатория ядерных проблем  
Синхроциклотрон для ускорения протонов до энергии 680 МэВ

Лаборатория ядерных реакций  
Циклотроны для ускорения многозарядных ионов

Лаборатория нейтронной физики  
Импульсный реактор на быстрых нейтронах

Лаборатория вычислительной техники  
и автоматизации  
11 электронных вычислительных машин

Отдел новых методов ускорения

## Введение

В 1973 году коллектив сотрудников Объединенного института ядерных исследований успешно выполнил намеченную программу научно-исследовательских работ. Получены новые важные научные результаты в области физики элементарных частиц, ядерной физики, а также новых методов исследований.

Интенсивно развивались исследования автомодельных асимптотик в рамках общих принципов квантовой теории поля. Они ведутся как в теоретическом направлении, так и в применении к анализу экспериментов. Проведен асимптотический анализ ряда квантовополевых моделей, свободных от трудностей "нуль-заряда". Прогресс достигнут в развитии квази-потенциальной теории рассеяния при высоких энергиях. Успешно развивалась разработка нелинейных и нелокальных теорий поля.

На основе полумикроскопического подхода были выполнены расчеты плотностей уровней ядер при средних и высоких энергиях возбуждения. Результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при энергии связи нейтрона. В связи с экспериментами, проведенными в ОИЯИ, выполнен цикл теоретических исследований структуры ядра и ядерных реакций при высоких и низких энергиях, а также проблем твердого тела и конденсированных сред.

На серпуховском ускорителе в совместном эксперименте ОИЯИ и ИФВЭ открыт антитритий. Учеными Объединенного института проведены измерения фазы и модуля амплитуды регенерации нейтральных каонов на дейтерии и углероде. В  $K_{\mu 3}$ -распаде найдены формфакторы нейтрального каона. Из экспериментальных данных по упругому рассеянию на малые углы определен ядерный формфактор дейтрона. Найдены характеристики инклюзивных реакций  $\pi^-p$ -взаимодействия при 40 ГэВ. Совместной работой



*Заседание Комитета Полномочных Представителей стран - членов Объединенного института ядерных исследований.*

*Избрана новая дирекция Института: профессор Ч.Шимане, академик Н.Н.Боголюбов, академик К.Ланиус.*



физиков ОИЯИ, ИФВЭ и Калифорнийского университета изучено упругое рассеяние отрицательных пионов с энергией  $50 \text{ ГэВ}$  протонами на малые углы. Объединенной группой ученых ОИЯИ-ИФВЭ-ИТЭФ-Сакле измерены поляризация и поворот спина в упругом рассеянии пионов поляризованными протонами. В пучке антипротонов серпуховского ускорителя получено около 65 тыс. снимков на жидководородной камере "Людмила".

Безмодельное определение формфактора дейтрона в области малых переданных импульсов выполнено в эксперименте по упругому электрон-дейтронному рассеянию, который проведен на Ереванском синхротроне учеными ОИЯИ, ФИ/Ереван/ и ИАФ /Бухарест/.

На синхрофазотроне ОИЯИ выведен пучок альфа-частиц с энергией  $20 \text{ ГэВ}$  и получены первые физические данные о взаимодействии этих частиц с ядрами фотоэмульсии. Свыше 200 тыс. снимков в пучке монохроматических нейтронов получено с помощью метровой жидководородной камеры. Эта же камера облучена в сепарированном пучке дейтронов с энергией около  $3 \text{ ГэВ}$ .

В исследованиях на синхроциклотроне измерена скорость образования мезомолекулы  $dd\mu$  в газообразном дейтерии и доказано существенное превышение скорости ядерной реакции в этой мезомолекуле над скоростью распада свободного мюона. Исследован захват отрицательных мюонов делящимися элементами, уточнены значения вероятностей деления ядер урана при безрадиационных переходах. Измерены угловые корреляции и спектры вторичных заряженных частиц при захвате мюонов ядрами фотоэмульсии во всей кинематически доступной области энергий. С помощью магнитного спектрометра с гелиевой стримерной камерой физики ОИЯИ, ИАФ /Бухарест/ и Туринского университета /Италия/ изучали упругое

рассеяние пионов гелием-3 и гелием-4, ими получены новые данные об этом процессе в области первого пион-нуклонного резонанса. Методами ядерной спектроскопии и радиохимии по программе ЯСНАПП исследован широкий круг изотопов, возникающих в ядерных реакциях под действием протонов с энергией  $670 \text{ МэВ}$ .

С помощью ускорителей многозарядных ионов продолжались эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов. Выполнение широкой программы исследований на пучках ионов германия позволило сделать оценку верхней границы образования спонтанно делящихся изотопов элементов с  $Z \geq 110$ . Изучался механизм взаимодействия ускоренных ионов ксенона, криптона и германия с ядрами. Выполнен большой объем работ по поиску следов сверхтяжелых ядер космического происхождения в метеоритах. На новом электромагнитном масс-сепараторе с внешним источником начались исследования протоноизбыточных изотопов. Открыты новые протонные излучатели. В исследованиях нейтроноизбыточных изотопов получены наиболее тяжелые изотопы углерод-19 и углерод-20, причем последний зарегистрирован впервые. Методом эффекта доплеровского смещения на ядрах отдачи измерены времена жизни уровней ряда нейтронодефицитных ядер.

В экспериментах на импульсном реакторе ИБР-30 с помощью поляризованной мишени проведены измерения магнитных моментов компаунд-состояний ядер диспрозия. В режиме работы реактора совместно с ускорителем электронов продолжались исследования альфа-распада нейтронных резонансов деформированных ядер. Получены новые данные о свойствах ядерных уровней изотопов самария и лютеция на основе измерений гамма-спектров радиационного захвата резонансных нейтронов. В нейтронных опытах подтвержден факт существования бозе-конденсата в сверхтекучем гелии.



О Р Г А Н Ы У П Р А В Л Е Н И Я  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ

Академик Х.Христов (Народная Республика Болгария)  
 Профессор П.Тетони (Венгерская Народная Республика)  
 Профессор Ле Ван Тхем (Демократическая Республика Вьетнам)  
 Доктор Ф.Гальберг (Германская Демократическая Республика)  
 Ким Ын Сам (Корейская Народно-Демократическая Республика)  
 Профессор Д.Цзэньмин (Монгольская Народная Республика)  
 Профессор С.Анджеевски (Польская Народная Республика)  
 Профессор И.Урсу (Социалистическая Республика Румыния)  
 А.М.Петросьян (Союз Советских Социалистических Республик)  
 Академик Я.Кожешник (Чехословацкая Социалистическая Республика)

Финансовый комитет  
 По одному представителю от  
 каждой страны-участницы  
 ОИЯИ

УЧЕННЫЙ СОВЕТ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Председатель - академик Н.Н.Боголюбов  
 академик К.Лангус  
 профессор Ч.Шимане

Ученый секретарь - кандидат физико-математических наук Ю.А.Шербаков

Народная Республика Болгария	академик Г.Наджиков	академик Л.Яноши	академик Э.Джаков	академик Х.Христов	Венгерская Народная Республика	академик Л.Яноши	академик А.Кона	академик Л.Пал	Демократическая Республика Вьетнам	профессор Нгуен Ван Хьюе	профессор Г.Музюль	профессор К.Гроте	Корейская Народно-Демократическая Республика	Ким Ген Чун	профессор Д.Чултэм	Монгольская Народная Республика	профессор А.Хрынкевич	профессор Е.Яник	профессор Р.Сосновски	Польская Народная Республика	профессор А.Хрынкевич	профессор Е.Яник	профессор Р.Сосновски	Социалистическая Республика Румыния	академик Ш.Ципейка	доктор Д.Барб	кандидат технических наук П.Драгическу	Союз Советских Социалистических Республик	академик Г.Н.Флеров	академик А.А.Логунов	профессор В.П.Джелепов	Чехословацкая Социалистическая Республика	профессор Ю.Дубински	доктор Я.Прохаска	доктор Я.Селлак
------------------------------	---------------------	------------------	-------------------	--------------------	--------------------------------	------------------	-----------------	----------------	------------------------------------	--------------------------	--------------------	-------------------	--	-------------	--------------------	---------------------------------	-----------------------	------------------	-----------------------	------------------------------	-----------------------	------------------	-----------------------	-------------------------------------	--------------------	---------------	--	---	---------------------	----------------------	------------------------	---	----------------------	-------------------	-----------------

Ученый совет  
 по физике высоких энергий

Председатель - академик К.Лангус  
 Ученый секретарь - кандидат физико-математических наук М.Г.Шафранова

Ученый совет  
 по теоретической физике

Председатель - профессор Д.И.Блохинцев  
 Ученый секретарь - доктор физико-математических наук Б.М.Барбашов

Ученый совет  
 по физике низких энергий

Председатель - профессор Ч.Шимане  
 Ученый секретарь - кандидат физико-математических наук Ю.П.Попов

Камерный комитет  
 Председатель - кандидат физико-математических наук З.Новак

Комитет по электронным экспериментам  
 Председатель - профессор Д.Кияш

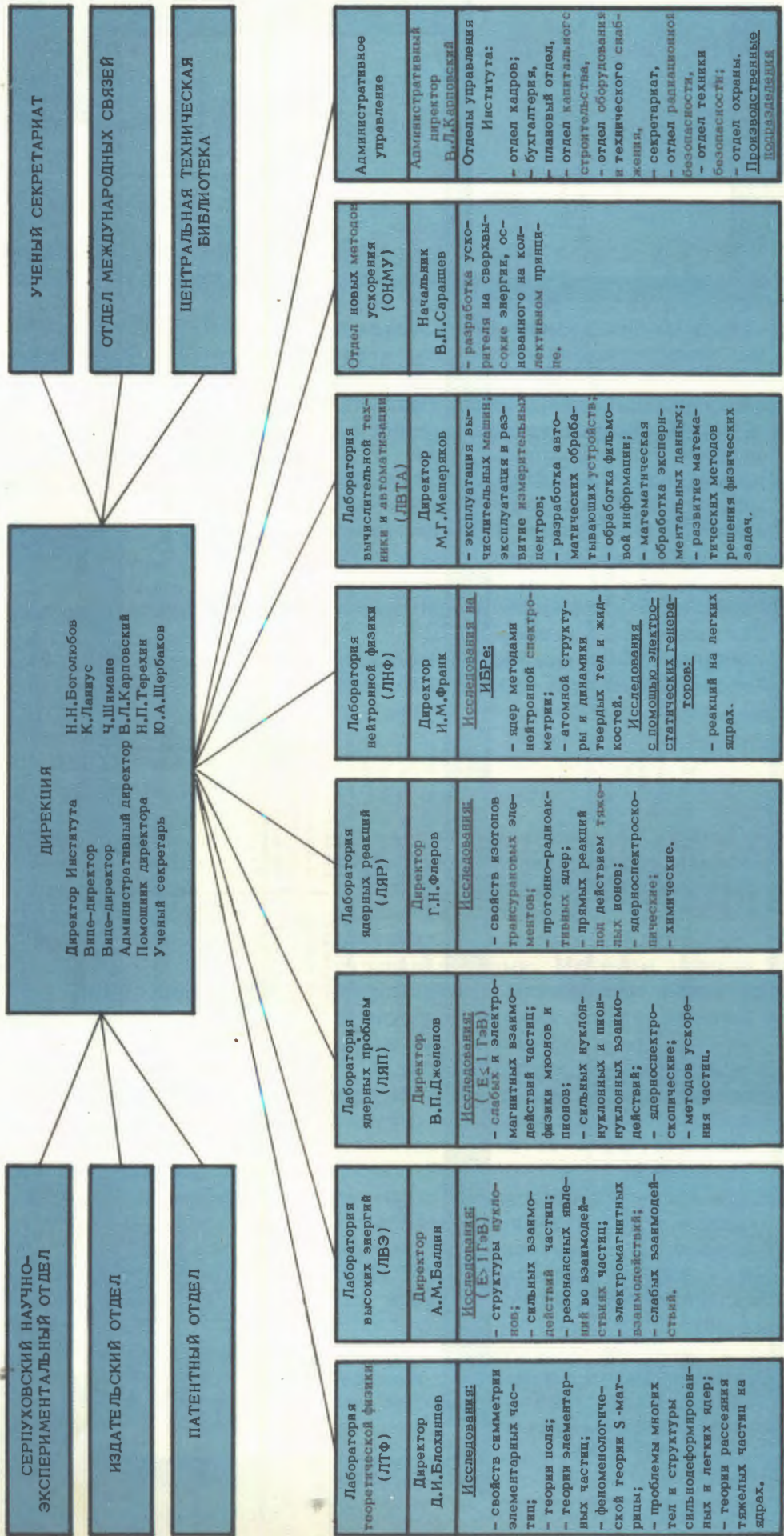
Фотоэмульсионный комитет  
 Председатель - профессор Й.Тучек

Комитет по нейтронной физике  
 Председатель - профессор Е.Яник

Комитет по структуре ядра  
 Председатель - профессор Ж.Желев

Комитет по физике тяжелых ионов  
 Председатель - профессор Я.Жилич

СТРУКТУРА  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



На электростатическом генераторе проводились исследования процесса переорачивания спина протонов при неупругом рассеянии протонов ядрами. Совместно с Институтом атомной энергии /Москва/ на реакторе ИРТ-М продолжались опыты по удержанию ультрахолодных нейтронов в сосудах из различных материалов, измерены коэффициенты поглощения УХН в зависимости от их энергии.

В лабораториях Объединенного института проведена большая работа по развитию экспериментальной базы. На синхрофазотроне введена в опытную эксплуатацию система медленного вывода пучка и каналов частиц, осуществлено ускорение альфа-частиц до энергии 20 ГэВ. Продолжались работы по подготовке к переоборудованию синхроциклотрона в сильноточный фазотрон; созданный прототип вариатора частоты проходит испытания на действующем ускорителе. Запущен микроотрон с 17 орбитами и получен выведенный пучок электронов с энергией 10 МэВ. Завершен ремонт реактора ИБР-30, проведена частичная реконструкция его узлов. Учеными ОИЯИ разработаны предложения по созданию ускорителя релятивистских ядер - нуклотрона, основанного на использовании техники сверхпроводимости, а также сильноточного кольцевого циклотрона с энергией протонов 800 МэВ.

В работах по созданию основных узлов коллективного ускорителя тяжелых ионов построена тонкостенная металлическая камера адгезатора, обеспечивающая функционирование в магнитном поле и поддержание высокого вакуума. Для питания импульсного магнитного поля создана трехступенчатая система на основе коммутаторов больших токов при высоком напряжении. Ведутся работы по формированию магнитного поля адгезатора с помощью измерительной системы, функционирующей на линии с ЭВМ.

На пучке синхрофазотрона осуществлен запуск двухметровой стримерной камеры /СКМ-200/, началась комплексная наладка установки "Фотон". Произведен физический запуск пятиметрового искрового спектрометра /МИС/, продолжались разработки релятивистского искрового спектрометра /РИСК/. Получены треки частиц в детекторах нового типа - голографической стримерной камере и ультразвуковой жидководородной пузырьковой камере. Для химического изучения трансактинидных элементов разработана новая методика газовой химии, нацеленная на изучение бромистых соединений. Создан высокоэффективный метод газовой термохроматографии для химического разделения и идентификации элементов 105-го и более тяжелых. С помощью пучков тяжелых ионов изготовлены опытные образцы молекулярно-вирусных фильтров. Эти фильтры успешно испытаны в технологических условиях.

В измерительно-вычислительном комплексе ОИЯИ на ЭВМ БЭСМ-6 введен режим потоковой пакетной обработки задач. Производится оснащение машин БЭСМ-6 и БЭСМ-4 стандартными накопителями типа ЕС-5012 на магнитной ленте. Оперативная память ЭВМ БЭСМ-4 расширена до 12 К. Продолжалось развитие систем визуальной связи с ЭВМ при обработке данных. Проведены разработки математического обеспечения графических и точечного дисплея.

Ведется массовая обработка камерных снимков на автоматических устройствах НРД и АЭЛТ-1. На сканирующем автомате "Спиральный измеритель" началась опытная обработка снимков с однометровой пузырьковой камеры. Для измерения снимков с камеры "Людмила" создан секционный вариант системы программ.

Успешно продолжалось развитие измерительных центров лабораторий Института и разработка экспериментальной аппаратуры, функционирующей на линии с ЭВМ.

Закончен проект измерительно-вычислительного центра для ИБР-2. Большой комплекс работ был связан с созданием математических программ для физических установок и методов прикладных вычислений.

Дальнейшее развитие получили международные связи Объединенного института. Лаборатории Института совместно с научными центрами стран-участниц выполняли более 250 научных и методических работ. В связи с программой научного сотрудничества и для участия в различных совещаниях в Дубне было принято около 700 специалистов из стран - членов ОИЯИ, более 400 сотрудников Института выезжали в эти страны.

ОИЯИ направил на международные конференции и в научные центры стран, не являющихся членами Института, 140 своих сотрудников, около 160 специалис-

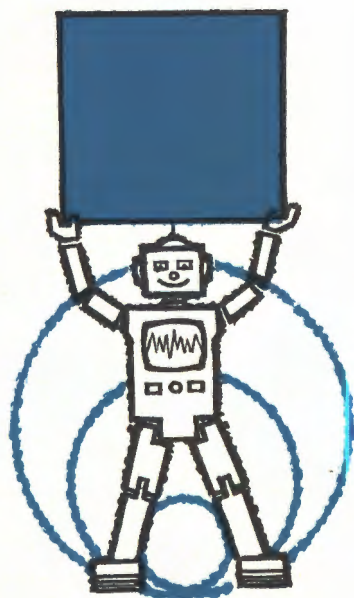
тов из этих стран побывали в Дубне. Физики ОИЯИ участвовали в эксперименте на крупнейшем в мире ускорителе в Батавии, который проводился в рамках советско-американского соглашения. Успешно завершён первый этап работы - исследование упругого  $pp$ -рассеяния при энергиях вплоть до 400 ГэВ. В Батавию выехала вторая группа ученых ОИЯИ, которая продолжит совместные с американскими физиками исследования на этом ускорителе.

В прошедшем году Объединенный институт организовал 5 научных совещаний, 2 школы и 8 рабочих совещаний, среди них: III Международный симпозиум по физике высоких энергий и элементарных частиц в Румынии, VII Международный симпозиум по ядерной электронике в Венгрии, III Международный семинар по не-локальной квантовой теории поля в СССР.

*Н. Боголюбов*

Н.Н.Боголюбов,  
директор Объединенного института  
ядерных исследований

Проблемный план  
Объединенного  
института  
ядерных исследований  
на 1973 год



# Проблемный план Объединенного института ядерных исследований на 1973 год

Научно-исследовательская, методическая и научно-организационная деятельность Объединенного института ядерных исследований в 1973 году проводилась в соответствии с планами, утвержденными Ученым советом ОИЯИ на его XXXIII сессии:

- планами научно-исследовательских и методических работ лабораторий;
- планами сотрудничества и совместных работ, осуществляемых ОИЯИ и институтами стран-участниц;
- планом поездок сотрудников ОИЯИ в страны-участницы.

При утверждении планов научно-исследовательских и методических работ лабораторий Ученый совет отметил как наиболее важные следующие направления.

## Лаборатория теоретической физики

1. Развитие исследований в области квантовой теории поля и теории элементарных частиц. Подведение итогов исследований по нелокальной и нелинейной теории поля, выполненных в последние годы.
2. Развитие теоретической ядерной физики в теории конденсированных сред.

## Лаборатория высоких энергий

1. Физические исследования на ускорителе ИФВЭ:

- изучение взаимодействий сепарированных антипротонов с протонами и поляризованных гамма-квантов с протонами с помощью камеры "Людмила";
- исследование регенерации  $K^0$ -мезонов и изучение распада  $K^0$ -мезона на два мюона;
- продолжение обработки экспериментального материала, полученного на установках ЛВЭ.

2. Физические исследования на синхротроне:

- изучение взаимодействия релятивистских дейтронов и ядер гелия с протонами, дейтронами и ядрами;

- исследование взаимодействия моно-энергетических нейтронов с протонами с помощью однометровой водородной пузырьковой камеры;

- изучение электромагнитных взаимодействий адронов.

### 3. Методические исследования:

- подготовительные эксперименты на установках "Фотон" и СКМ-200 на пучках синхрофазотрона;

- развитие методики пропорциональных и нитяных искровых камер;

- создание установки для исследования  $\pi N$ -рассеяния под малыми углами методикой регистрации частиц отдачи;

- совершенствование пузырьковых и стримерных камер;

- развитие криогенных систем, создание сверхпроводящих устройств.

### 4. Совершенствование синхрофазотрона ЛВЭ:

- повышение интенсивности ускоренных частиц;

- ускорение многозарядных ионов;

- создание пучков вторичных частиц на трассе медленного вывода ускоренных частиц;

- развитие методики получения пучков полностью ионизованных атомов.

## Лаборатория ядерных проблем

1. Проведение экспериментов на синхротронном циклотроне по проверке законов сохранения в слабых взаимодействиях, исследование  $\mu-e$ -распада в области малых энергий позитронов распада.

2. Изучение электромагнитной структуры пионов и нуклонов при исследовании процесса образования лептонных пар в пион-нуклонных соударениях.

3. Исследование пион-нуклонного рассеяния при малых энергиях.

4. Исследование структуры ядер при рассеянии протонов и пионов, захвате мюонов ядрами и по программе ЯСНАПП. Исследование изомерии ядер.

5. Начало исследований дифракционной диссоциации пионов с помощью МИС ОИЯИ на ускорителе ИФВЭ.

6. Проведение эксперимента по поиску метастабильных частиц и эксперимента

по изучению поляризации в пион-протонном рассеянии на ускорителе ИФВЭ /совместно с ИФВЭ, ИТЭФ и Центром в Сакле/.

7. Проектирование, разработка и начало сооружения установок для проведения экспериментов на сильноточном фазотроне ОИЯИ.

8. Проведение основной части работ по созданию установки РИСК.

9. Развитие лабораторного центра накопления и обработки информации на основе малых ЭВМ, разработка устройств сопряжения и прецизионной спектрометрической и наносекундной аппаратуры.

10. Проведение работ по созданию сильноточного фазотрона /установка "Ф"/. Курирование изготовления основных узлов установки /камера, резонансная система, вариатор и др./; начало изготовления системы вывода пучка, макетирование и разработка системы растяжки пучка для установки "Ф".

11. Окончание рабочего проекта и изготовление в ЦЭМ всех основных узлов прототипа установки У-120М.

12. Исследование на электронной модели кольцевого протонного циклотрона системы вывода пучка с эффективностью, близкой к 100%.

## Лаборатория ядерных реакций

1. Работы по синтезу и изучению физических и химических свойств сверхтяжелых элементов в предполагаемой области стабильности  $Z \geq 110$  и  $N \sim 184$  в реакциях с ускоренными ионами ксенона.

2. Синтез трансурановых элементов с  $Z \sim 105$  и изучение свойств их радиоактивного распада.

3. Поиск сверхтяжелых элементов в природе.

4. Синтез и изучение свойств ядер, удаленных от долины  $\beta$ -стабильности.

5. Повышение интенсивности пучков ускоренных ионов ксенона.

6. Работы по созданию ускорителя многозарядных ионов, основанного на коллективном методе ускорения.

### Лаборатория нейтронной физики

1. Ускорение ремонтных работ на реакторе ИБР-30 с расчетом обеспечения в 1973 году не менее 3000 час. работы реактора на эксперимент /из них в режиме ИБР + ЛУЭ - не менее 1400 час./.

2. Завершение проектно-конструкторских работ по комплексу ИБР-2 и строительного-монтажных работ по зданию реактора.

3. Оснащение первой очереди измерительно-вычислительного центра для ИБР-2 за счет средств по всему комплексу.

4. Проведение проектных работ по инженеру реактора.

5. Подготовка экспериментальной аппаратуры для физических исследований на ИБР-2.

6. Изучение ядер с помощью нейтронов и заряженных частиц, изучение фундаментальных свойств нейтрона и электрона, исследования с ультрахолодными нейтронами.

7. Изучение конденсированных сред с помощью нейтронных пучков.

### Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

1. Включение ЭВМ CDC-6200 в состав измерительно-вычислительного комплекса. Работы по развитию математического обеспечения системы вычислительных машин.

2. Продолжение работ по созданию кибернетического комплекса для управления коллективным ускорителем ОНМУ.

3. Проведение опытной обработки камерных снимков на сканирующем устройстве "Спиральный измеритель" и разработка методов автосопровождения на уст-

ройстве этого типа. Продолжение разработки сканирующего устройства с управляемой от ЭВМ электроннолучевой трубкой.

4. Создание системы обработки снимков с одно- и двухметровых пузырьковых камер ОИЯИ на основе просмотровых столов, измерительной аппаратуры /ПУОС, НРД, СИ, АЭЛТ-1/ и ЭВМ CDC-1604A с целью обработки не менее 100 тыс. событий в год.

5. Усовершенствование систем программ обработки снимков с трековых камер и магнитных искровых спектрометров, развитие математического обеспечения экспериментов по релятивистской ядерной физике.

6. Создание и развитие математического обеспечения экспериментов на линии с ЭВМ.

7. Продолжение теоретических исследований и расчетов, связанных с разработкой коллективного ускорителя.

8. Работы по развитию математического обеспечения измерительно-вычислительного центра ИБР-2 /ЛНФ/ и созданию программ обработки и расчетов гамма-спектров.

### Отдел новых методов ускорения

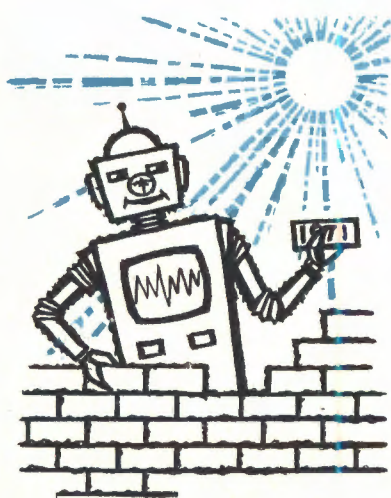
1. Физический пуск ускорителя многозарядных ионов.

2. Исследования, связанные с созданием ускоряющей системы коллективного ускорителя /монтаж и запуск секции кольца в 216 корпусе; исследование элемента ускоряющей линии на импульсных линиях/.

3. Разработка физического задания на проектирование ускорителя высоких энергий.



Научно-  
исследовательские  
работы,  
выполненные  
лабораториями ОИЯИ  
в 1973 году



## Лаборатория теоретической физики

### Структура теории поля

Продолжает активно развиваться направление по изучению автомодельного поведения процессов при высоких энергиях, начало которому было положено работой Н.Н.Боголюбова, В.С.Владимирова и А.Н.Тавхелидзе. Оно развивается как в теоретическом, так и в прикладном аспектах /анализ эксперимента/. Получены новые результаты при изучении автомодельных асимптотик  $T$ -произведений токов, расширен класс рассматриваемых теорий /т.е. класс функций в представлении Дайсона-Йоста-Лемана/, объединяющий описание автомодельных асимптотик и асимптотик на массовой поверхности. Найдены условия на спектральные функции, обеспечивающие конечность электромагнитной разности масс протона и нейтрона. Изучены следствия, налагаемые конформной инвариантностью на неупругие формфакторы частиц. Показано, что гипотеза автомодельности в соединении с представлениями составной кварковой модели дает объяснение особенностям асимптотического поведения процессов взаимодействия адронов с большими передачами импульса. При анализе глубоконеупругого электрон-протонного рассеяния установлена область масштабной инвариантности и определены структурные функции. Исследован вопрос о возможном вкладе аномальных размерностей.

Значительный прогресс достигнут при исследовании масштабной инвариантности на малых расстояниях. Ранее в лаборатории был разработан метод учета следствий этой гипотезы для физических процессов в рамках теории поля. /Было показано, что в теории поля необходима конечная ренормировка заряда/. Масштабная инвариантность привела к степенному падению электромагнитных формфакторов, падению сечений упругого рассеяния на большие углы с ростом энергии,

нарушению автомодельности для глубоко-неупругого  $e p$ -рассеяния и модифицированной реджевской картине бинарных процессов в дифракционной области.

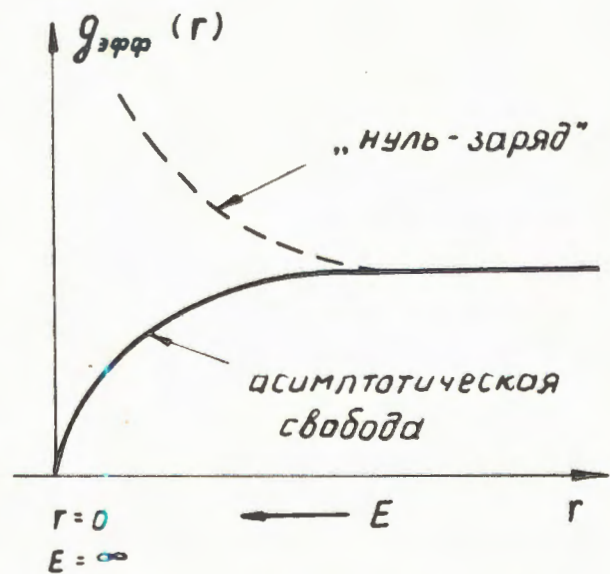
При изучении следствий масштабной инвариантности в инклюзивных процессах получена модифицированная многореджонная картина с автомодельными /или почти автомодельными/ функциями распределения вторичных частиц в области малых поперечных импульсов и степенным падением с ростом поперечного импульса в области больших величин импульсов. Для кварковой модели с очень слабым затравочным взаимодействием кварков полученные степени очень хорошо согласуются с экспериментальными значениями  $(\frac{d\sigma}{dt} \sim \frac{1}{s^{10}} f(\frac{t}{s}))$  для рассеяния на большие углы,  $F(t) \sim 1/t^2$  для формфакторов и  $q_0 \frac{d^3\sigma}{dq^3} \sim \frac{1}{q_{\perp}^2}$  для инклюзивных про-

цессов с большим  $q_{\perp}$  /, а нарушение автомодельности в глубоконеупругом рассеянии весьма слабое. Для дальнейшего экспериментального подтверждения масштабной инвариантности весьма важным оказывается поиск и изучение отклонения от автомодельности глубоконеупругих формфакторов при больших  $q^2$  и  $\omega$ , где

$$\omega = - \frac{2mE_{\text{лаб.}}}{q^2}.$$

Существенный результат был получен в области изучения основ теории поля - относительно проблемы так называемого "нуль-заряда". Известная общая трудность теории поля связана с выходом за рамки слабой связи в ультрафиолетовой области /парадокс "нуль-заряда"/, обычно возникающим при суммировании главных логарифмов. Анализ модели скалярного поля с четверным самодействием  $h\phi^4$ , проведенный методом ренормализационной группы, показал, что учет младших логарифмических членов может

в корне изменить картину. Возникает конечная перенормировка константы связи. Это обстоятельство представляет большой интерес для класса квантовопольевых моделей, основанных на калибровочном векторном поле Янга-Миллса. Недавно было обнаружено, что перенормируемая модель безмассового калибровочного поля Янга-Миллса обладает замечательным высокоэнергетическим поведением - в ультрафиолетовом пределе эффективная константа связи стремится к нулю. Свойство исчезновения взаимодействия в пределе больших энергий /т.е. малых расстояний/ получило название "асимптотической свободы". Теории с этим свойством не обладают внутренними трудностями типа "нуль-заряда". В них, кроме того, в области достаточно высоких энергий можно пользоваться теорией возмущений. Однако свойством асимптотической свободы обладает лишь калибровочное поле без массы. Масса частиц поля Янга-Миллса, не



1. Поведение эффективной константы связи в асимптотически свободной теории Янга-Миллса.

нарушающая калибровочной группы и, следовательно, перенормируемости, может быть введена с помощью механизма спонтанного нарушения симметрии вакуума, существенно основанного на взаимодействии поля Янга-Миллса со скалярным полем, неизбежно обладающим четверным самодействием.

Проведенные исследования привели к важному физическому выводу о том, что класс полевых моделей, обладающих свойством асимптотической свободы, оказывается очень узким: он ограничен безмассовым полем Янга-Миллса, взаимодействующим с небольшим числом фермионных полей. Этот класс моделей не может служить основой для описания лептонов и сильных взаимодействий адронов. Было показано, что в моделях взаимодействий, основанных на массивном поле Янга-Миллса, /которое можно ассоциировать с  $W$ -мезонами или промежуточным  $W$ -мезоном в слабых взаимодействиях и содержащих не менее двух констант связи, возможна ситуация "частичной асимптотической свободы". Такие модели могут быть использованы для построения реалистических моделей сильных и слабых взаимодействий. Они не содержат трудностей "нуль-заряда" и обладают простыми свойствами в асимптотических областях дифракционного и глубоконеупругого рассеяния.

Успешно развивается разработка нелинейных и нелокальных теорий поля. Рассмотрен класс стохастических пространств, обладающих той особенностью, что поле, усредненное в этом пространстве, оказывается нелокальным полем; построена матрица рассеяния для такого поля. В течение последних лет успешно разрабатывается метод "суперпропатора", используемый сейчас и в других лабораториях мира. Этот метод позволяет описывать в существенно не-

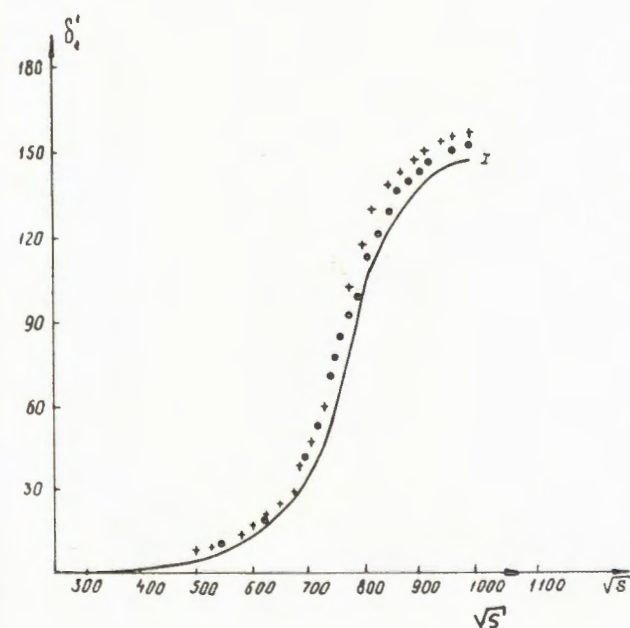
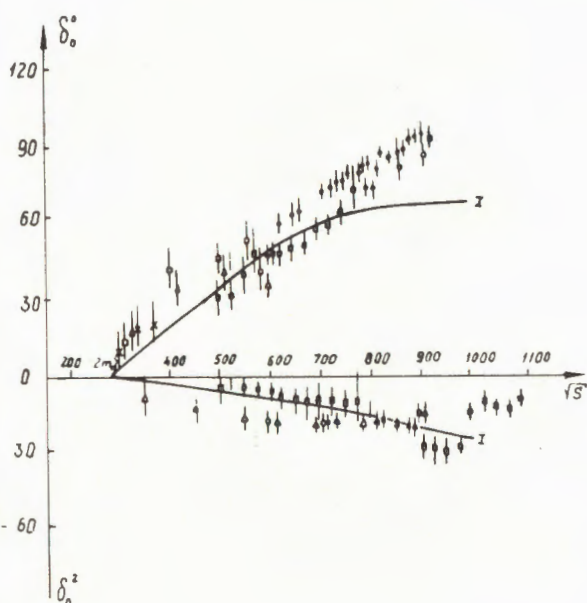
$q^2/4m_\pi^2$	0,85	1,1	1,45
$F_\pi$ <sup>эксп.</sup>	$1,10 \pm 0,07$	$1,14 \pm 0,06$	$1,30 \pm 0,07$
$F_\pi$ <sup>теор.</sup>	1,12	1,16	1,22
$\sqrt{\langle r^2 \rangle}_{\text{теор.}}$	$0,67 \text{ fm}$		
$\sqrt{\langle r^2 \rangle}_{\text{эксп.}}$	$0,75 \pm 0,14 \text{ fm}$		

2. Таблица значений электромагнитного формфактора пиона /в околороговой области энергий/ и среднеквадратичного радиуса, вычисленных в квантовой киральной инвариантной теории, и сравнение их с экспериментальными данными ОИЯИ.

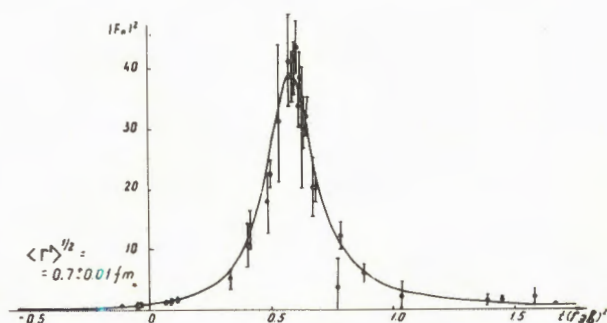
линейных теориях поля низкоэнергетическое поведение частиц с учетом квантовых эффектов. Метод дает хорошие результаты при описании таких теорий, как, например, квантовая электродинамика с учетом гравитации или теорий кирального типа. Расчеты формфактора пиона и фаз рассеяния при низких энергиях /до  $\sim 800 \text{ МэВ}$ / в мезодинамике кирального типа привели к результатам, хорошо согласующимся с экспериментальными данными.

Данные о формфакторе пиона получены также "классическим" путем, на основе дисперсионных соотношений. Впервые получено единое аналитическое выражение  $F_\pi(t)$  как для  $t < 0$  /пространственно-подобная область/, так и для  $t > 0$  /временнo-подобная область/.  $\rho$ -мезон играет доминирующую роль. Согласие с экспериментом статистически хорошее.

В квантовой теории поля с нелокальным взаимодействием показана унитарность и микропричинность перенормированной  $S$ -матрицы в каждом порядке тео-



3. Кривые для  $s_1(\delta_0^0, \delta_0^2)$  и  $p_1(\delta_1^1)$  фаз пионного рассеяния, вычисленные в квантовой киральной теории поля методом "суперпропагатора" и сравнение их с последними экспериментальными данными.



4. Теоретическое значение величины электромагнитного формфактора пиона  $|F_\pi(t)|^2$  и сравнение с экспериментальными данными.

при возмущений. В нелокальной теории слабых взаимодействий получены некоторые экспериментальные следствия: подсчитан среднеквадратичный электромагнитный радиус нейтрино и дано объяснение разницы масс электрона и нейтрино, исходя из предполагаемого различия в  $\nu\nu$ -взаимодействиях мюонного и электронного нейтрино. Завершен цикл исследований по изучению ограничений на величину элементарной длины в теории слабых и электромагнитных взаимодействий. Показано, что характерная длина электромагнитных взаимодействий ограничена сверху  $\ell_A < 1,2 \cdot 10^{-15}$  см.

В рамках аксиоматического подхода Боголюбова изучено расширение матрицы рассеяния за массовую поверхность. Показано, что при этом можно прийти к неевклидовой геометрии  $p$ -пространства, например, к пространству де Ситтера с радиусом кривизны  $\hbar/\ell_0 / \ell_0$  - фундаментальная длина/. Получен ряд физических следствий из этой гипотезы.

Значительные успехи достигнуты в развитии приближенных методов квантовой теории поля в применении к задачам физики высоких энергий. Исследована область применимости метода прямолинейных путей и приближения  $k_i k_j$ , яв-

ляющегося аналогом приближения геометрической оптики в теории поля. Эти работы были сделаны в рамках метода функционального интегрирования в связи с рассмотрением проблемы эйкональных представлений в квантовой теории поля. Изучена роль нового класса фейнмановских графов, приводящих к системе первых не исчезающих поправок к локальному двухчастичному квазипотенциалу, который соответствует обмену нуклонной парой. Развита метод построения с помощью континуального интегрирования функции Грина нерелятивистской частицы, взаимодействующей с квантовым полем.

В рамках функционального подхода получена трехчастичная эйкональная амплитуда, дающая информацию об инклюзивных процессах в области фрагментации. Установлена связь фейнмановского скейлинга в этой области с видом взаимодействия частиц. Проведено исследование теории поля кирального типа, разработан метод учета электромагнитного взаимодействия в этих теориях. Вычислен электромагнитный формфактор пиона. Полученные данные находятся в хорошем согласии с экспериментом. Изучались проблемы конформной инвариантности в теории элементарных частиц. Исследован массовый формфактор  $\pi$ -мезона и его производные, получена оценка массового радиуса  $\pi$ -мезона. Выведено конформно-инвариантное разложение произведения операторов.

Показано, что теория спонтанного нарушения аффинной и конформной симметрий есть теория гравитационного поля Эйнштейна. Возникают новые аспекты роли гравитации в теории элементарных частиц, которые продолжают исследоваться. Изучалось влияние полей на явление гравитационного коллапса применительно к модели элементарных частиц. К этому же кругу относятся работы по глубокой проблеме квантования полей в кривых пространствах Римана. Надо отметить, что

разработанные в лаборатории в 1965-68 гг. вопросы квантования нелинейных полей типа Борна-Инфельда нашли сейчас интересное применение в теории дуальных моделей.

### Свойства симметрии элементарных частиц

Показана принципиальная возможность описания внутренних симметрий элементарных частиц с помощью параквантования /парастатистики/.

Выяснено, что существующие доказательства нарушения  $T$ -инвариантности неполны и имеется возможность нарушения  $CPT$ -симметрии при сохранении  $T$ . Указаны экспериментальные способы проверки предлагаемой схемы.

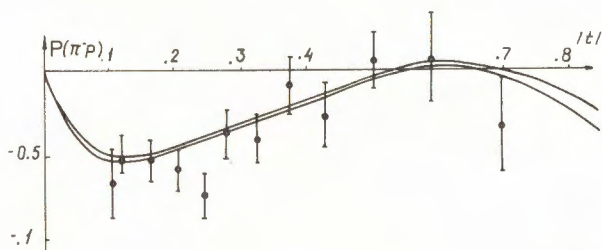
Показано, что бесконечномерная алгебра общеквариантной группы является замыканием конечнопараметрических алгебр аффинной и конформной групп. Завершается работа по алгебраической реализации унитарной  $SU(3) \times SU(3)$ -симметрии с учетом ненулевой массы мезонов.

Продолжались работы по выяснению свойств симметрии дуальных амплитуд. В частности, на основе этих свойств проведено исследование возможности расширения области применимости дуальной диаграммной техники. Установлено, что в диаграммах с собственно-энергетической поправкой участвуют те же промежуточные состояния, что и в случае мультипериферических дуальных амплитуд. Этот вывод имеет, кроме того, первостепенное значение для проверки внутренней согласованности ранее развитого метода факторизации.

### Взаимодействия элементарных частиц

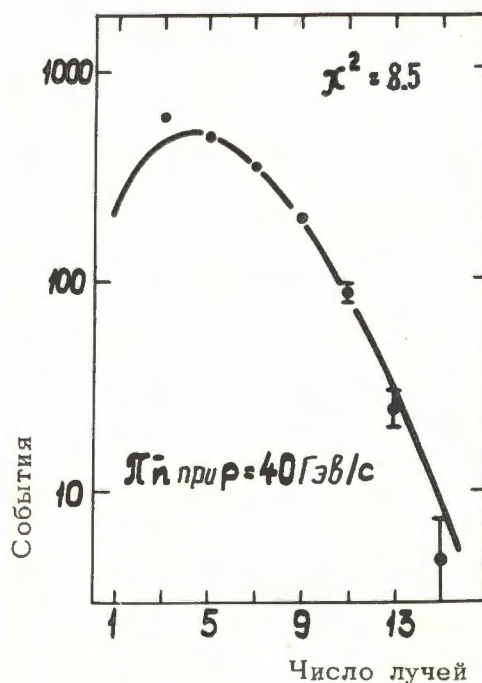
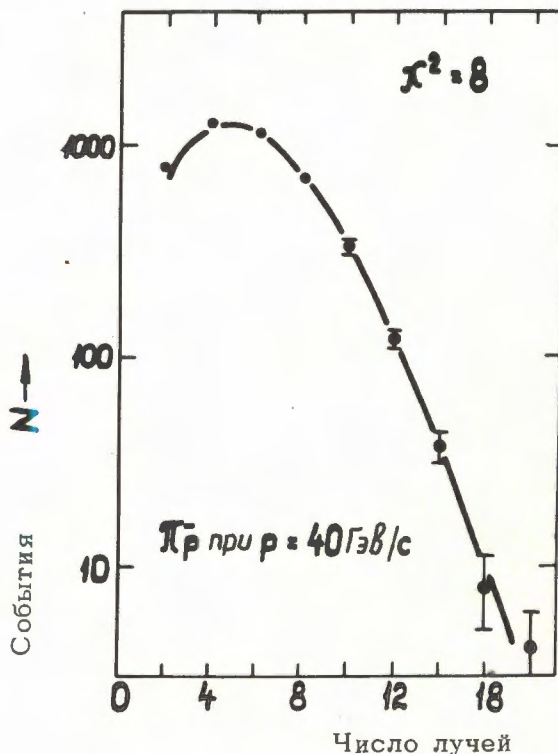
Получен новый класс правил сумм для структурных функций глубоконеупругих лептон-адронных взаимодействий на основе антикоммутирующих токов на световом конусе.

Проведен систематический анализ и проверены правила сумм для сечений фотон-адронных взаимодействий в моделях мезодинамики в низших порядках теории возмущений. Исследован масштабный закон в распределении по множественности частиц, образующихся в адронных столкновениях при высоких энергиях. На основе аналогии с ветвящимися процессами предложено рассматривать этот процесс как индуцированное рождение частиц и исполь-



5. Предсказания для поляризации  $\pi^-p$ -рассеяния при импульсе  $p_L = 40$  ГэВ/с, найденные на основе квазипотенциального подхода, в сравнении с полученными позднее экспериментальными данными.

6. Сравнение зарядовых распределений в теоретико-полевой модели множественного рождения частиц при высоких энергиях, основанной на методе когерентных состояний и на приближении прямолинейных путей, с экспериментальными данными, полученными в Серпухове на двухметровой пропановой камере при столкновениях отрицательных пионов с энергией 40 ГэВ.



зовать распределение Пуассона для множественного распределения.

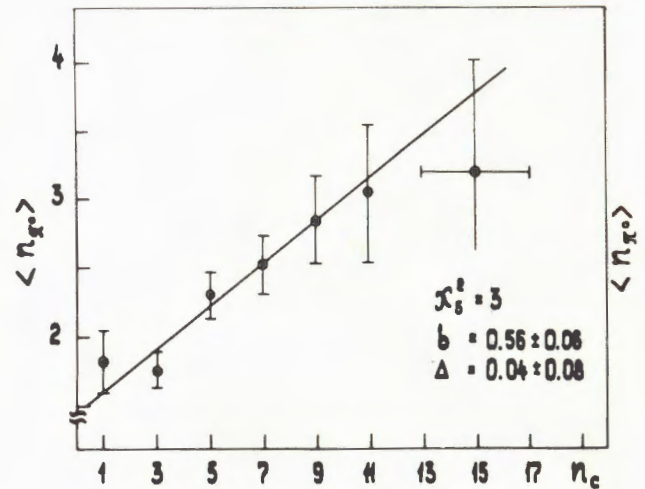
Изучено влияние выбора параметризации фаз  $\pi\pi$ -рассеяния на сечения реакций  $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ ,  $\gamma\gamma \rightarrow KK$ ,  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ . Эти результаты по изучению взаимодействия света со светом вошли в мировую обзорную литературу.

Достигнут прогресс в развитии квазипотенциальной теории рассеяния частиц высоких энергий. Изучалась спиновая структура взаимодействия релятивистских частиц. Показано, что в пространстве Лобачевского квазипотенциал является локальным, а его спиновая структура выглядит как прямое геометрическое обобщение соответствующих квантовомеханических потенциалов.

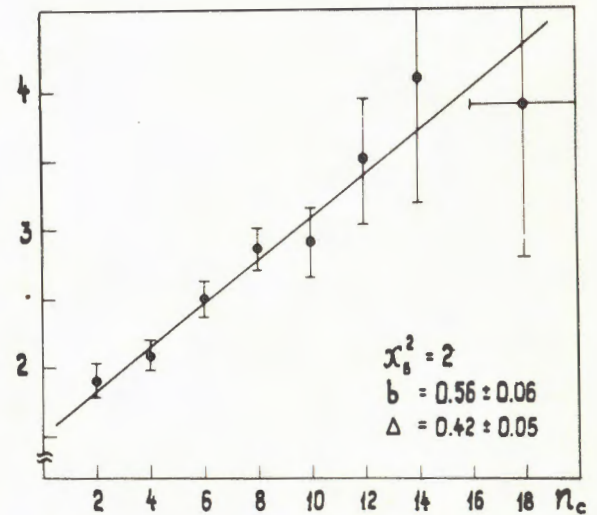
Получено статистически удовлетворительное описание мировых экспериментальных данных по пион-нуклонному рассеянию назад при импульсах  $p_L \geq 8 \text{ ГэВ}/c$  в интервале передач  $-2,86 / \text{ГэВ}/c/2 \leq u \leq 0,06 / \text{ГэВ}/c/2$ . Даны предсказания для больших значений энергий, необходимые при прогнозировании будущих экспериментов на американском ускорителе 400 ГэВ. В сотрудничестве с ЛВЭ проведено описание экспериментальных данных о  $\pi^- p$ - и  $\pi^- n$ - взаимодействиях при  $p_L = 40 \text{ ГэВ}/c$ , полученных в Серпухове на двухметровой пропановой камере на основе модели когерентных состояний. Получено хорошее совместное описание зарядовых распределений и корреляционных зависимостей. Предсказание модели о линейной корреляции среднего числа нейтральных пионов и заряженных частиц, рожденных в столкновениях адронов при высоких энергиях, получило экспериментальное подтверждение в работах на американском ускорителе.

Изучена динамическая составная модель для мезонов, которые строятся из фермионов и антифермионов, связанных релятивистским сингулярным потенциа-

$\pi n$  при  $p_s = 40 \text{ ГэВ}$



$\pi p$  при  $p_s = 40 \text{ ГэВ}$



7. Модель множественного рождения частиц при высоких энергиях, развитая в ОИЯИ, дает предсказание о наличии линейной корреляции между средним числом нейтральных вторичных частиц и числом заряженных /приведено сравнение с экспериментальными данными, полученными на двухметровой пропановой камере при энергии 40 ГэВ/.



лом, возникающим за счет бесконечного спектра масс.

В течение ряда лет изучается вопрос о квантовых числах  $X(960)$  -мезона. Перечислены все возможные спиновые анизотропии в реакции  $K^-p \rightarrow \Lambda X^0$ , экспериментальная проверка которых позволит сделать окончательный вывод о  $2^-$ -варианте. Ряд работ выполнен по электромагнитным формфакторам элементарных частиц. В предположении об их аналитичности по массе предложен способ оценки трудноизмеримых /переходных/ формфакторов. Проведен анализ мировых экспериментальных данных о значении  $|F_\pi|$ . Предложена формула, одновременно описывающая как пространственные, так и временные области задания формфакторов, на основании которой найдено значение электромагнитного радиуса  $\pi$ -мезона  $\langle r^2 \rangle^{1/2} = 0,70 \pm 0,1/$ .

Продолжалась работа по вычислению уровней энергии водородоподобных атомов в двухфотонном приближении. Изучено также влияние структуры протона на тонкое расщепление в атоме водорода.

Методы решения задачи трех тел с кулоновским взаимодействием, разработанные ранее в ОИЯИ, применены для изучения реакции перезарядки  $d + n \rightarrow p + d$ . При этом обнаружены неизвестные осцилляции в полном сечении, которые отличаются по своей природе от осцилляций в угловом распределении продуктов реакции. Совместно с Лабораторией ядерных проблем и SIN /Цюрих/ начаты работы в области мезонной химии, имеющие своей целью разработку методов исследования электронной структуры молекул с помощью  $\pi^-$ - и  $\mu^-$ -мезонов.

#### Полумикроскопический подход в теории ядра

Предложенная ранее модель для описания структуры высоковозбужденных со-

стояний ядер и процесса фрагментации получила дальнейшее развитие. Приближенный метод решения уравнений этой модели привел к появлению лишних решений для нечетных ядер. Разработан новый приближенный метод решения уравнений этой модели для нечетных деформированных ядер, в котором исключены лишние решения.

На основе полумикроскопического подхода были выполнены расчеты плотности уровней при средних и высоких энергиях возбуждения. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при энергии связи нейтрона. Расчеты проведены для большого числа ядер в интервале  $50 < A < 240$ . Исследована зависимость плотности состояний от спина, четности и энергии; проанализирована роль коллективных эффектов. Расчеты показали, что в околомагических и средних сферических ядрах даже при энергии связи нейтрона велики флуктуации плотности и наблюдается большое различие в числе уровней с положительной и отрицательной четностью. Такого типа заключений нельзя сделать в рамках статистического подхода.

Показано, что процесс фрагментации необходимо учитывать при исследовании ядерных реакций, например, реакции выбивания ( $n, \alpha$ ), для которой был предложен особый механизм, позволяющий исследовать выбивание  $\alpha$ -частиц быстрыми нейтронами.

Выявлена важность учета связи коллективных и неколлективных степеней свободы при рассмотрении двухфононных и ряда других состояний в той же области энергий возбуждения в сферических ядрах. Исследованы свойства коллективных парных возбуждений в средних ядрах. В рамках микроскопической модели ядра с произвольным остаточным взаимодействием построен коллективный квадрупольный гамма-милтон и проанализированы свойства

переходных ядер. В рамках сверхтекучей модели ядра рассмотрены свойства неротационных состояний трансюриевых элементов, их энергии и структура, а также приведенные вероятности электромагнитных переходов на эти состояния. Поскольку экспериментально ядра этой области изучены пока недостаточно, был предсказан ряд их свойств, которые могут быть проверены в эксперименте.

Закончено /совместно с ЛВТА/ составление ряда стандартных подпрограмм для расчетов на машине CDC -6200 задач ядерной физики /расчеты уровней и волновых функций с потенциалом Саксона-Вудса, расчет матричных элементов и др./.

### Структура ядра и ядерные реакции при низких энергиях

В рамках неадиабатической вращательной модели с промежуточной связью изучены эффективные гиромагнитные факторы в ротационных полосах, а также динамические эффекты антиспаривательного взаимодействия Кориолиса в нечетных ядрах. Проводились исследования аномального поведения момента инерции во вращательных полосах четно-четных ядер как обусловленного фазовым переходом из сверхтекучего состояния ядра в нормальное. Совместно с сотрудниками Лаборатории ядерных реакций исследованы вращательные полосы в ядрах  $^{164}\text{Yb}$  и  $^{180}\text{Os}$ .

Проанализировано влияние возможной  $\gamma$ -деформируемости ядер на их взаимодействие с электрическим полем. На основе микромоделей выполнены расчеты  $\gamma$ -деформируемости для ядер редкоземельной области.

Исследовано влияние спин-орбитальных сил на свойства  $0^+$ -возбуждений в деформированных ядрах. Предложена самосогласованная модель для одновременно-

го описания вращательной ветви и внутренних  $1^+$ -возбуждений типа колебаний квадрупольного момента. Изучена роль этих возбуждений в формировании изоскалярного  $E2$ -резонанса и связанных с ним моментов статистических и динамических зарядов. Продолжались исследования изобарических состояний гамов-теллеровского типа в деформированных ядрах.

Развит новый метод выделения центра масс в задаче  $\alpha$ -распада и реакциях двухнуклонных и кластерных передач. Исследовано влияние конечных размеров  $\alpha$ -частицы на абсолютные вероятности  $\alpha$ -распада сферических ядер. Изучалось деление ядер с вылетом  $\alpha$ -частицы. Работы выполнены в сотрудничестве с Лабораторией нейтронной физики и ИАФ/Бухарест/.

Метод оболочечной поправки Струтинского применен к описанию моментов инерции ядер. Исследованы изомеры формы в некоторых ядрах и показана возможность сосуществования ядерных состояний с различной равновесной деформацией.

Ранее в Лаборатории теоретической физики были предсказаны интерференционные явления, возникающие в реакциях взаимодействия ионов околорядерной энергии с ядрами. Даны теория и расчет этих эффектов в реакциях неупругого рассеяния на сферических ядрах и реакциях развала ионов в поле ядра. В реакциях между сложными ядрами исследовано влияние динамических эффектов на оценку возможных вариаций характерных размеров зоны сильного ядерного поглощения. Совместно с Лабораторией ядерных реакций проведен анализ, установлены границы применимости и точность статистического подхода для описания функций возбуждения в реакциях с тяжелыми ионами. Разработаны методы анализа реакций двухступенчатых передач нуклона и методы расчета формфакторов в реакциях

однонуклонных и двухнуклонных передач. Показана важность учета альфа-кластерных свойств легких ядер в реакциях рассеяния электронов.

### Структура ядра и ядерные реакции при высоких энергиях

Продолжалось изучение явления резонансного поглощения мюонов атомными ядрами, предсказанного совместно с теоретиками МГУ и экспериментально подтвержденного в ОИЯИ. На основании этой концепции показано, что из-за сильной генеалогической связи важную роль играют каналы последовательного вылета двух нейтронов. Предсказан эффект конфигурационного расщепления гигантского резонанса в легких ядрах, обусловленный щелью в спектре частично-дырочных возбуждений.

На основе разработанной в Объединенном институте модели внутриядерных каскадов исследованы различные характеристики неупругих адрон-ядерных взаимодействий в области энергий космических лучей и серпуховского ускорителя. Показано, что отсутствие плато по "быстроте" в инклюзивных реакциях на ядерных мишенях при энергии  $T \geq 10^4$  ГэВ может быть понято как результат многократных столкновений частиц внутри ядра. Дано объяснение явлению "полного развала" ядер, впервые обнаруженному в ОИЯИ в реакциях, инициируемых высокоэнергетическими протонами и релятивистскими альфа-частицами.

Предложена модель предравновесного распада ядер, возникающих в процессе протекания ядерной реакции. Эта модель позволяет понять физику и дать теоретический анализ широкому кругу явлений, которые наблюдаются во многих реакциях, но пока были недоступны для объяснения в рамках традиционных, довольно

узких и уже достаточно хорошо изученных моделей так называемых прямых и компаундных ядерных реакций.

В задаче о нуклон-нуклонном рассеянии при энергии выше порога расщепления дейтрона в приближении точечного взаимодействия найдена квартетная фаза рассеяния. Разработан новый метод решения многомерного уравнения Липпмана-Швингера, пригодный для рассмотрения  $np$ -рассеяния при высоких энергиях и описания движения в нецентральных потенциалах. В течение ряда лет в ЛТФ разрабатывался и с успехом применялся к теории ядра метод фазовых функций. В рамках квазипотенциального уравнения разработано обобщение этого метода, представляющее собой удобный аппарат для описания релятивистских систем, в частности, для учета релятивистских эффектов в ядрах.

### Вопросы теории твердого тела и конденсированных сред

На основе развитой ранее самосогласованной теории фононов вычислены модуль упругости и доказан динамический характер неустойчивости решетки классических и квантовых кристаллов. Рассмотрено влияние ангармонического взаимодействия на спектр магнитных возбуждений и намагниченность ферромагнетика. Модельный подход к проблеме коллективных возбуждений в классических жидкостях обобщен на случай квантовой жидкости HeII. Вычислена энергия основного состояния и фононный спектр в жидком гелии.

Разработан общий метод многократного рассеяния электронов на потенциале кристаллической решетки при расчете электронной структуры; вычислена плотность состояний электронов в аморфных полупроводниках, рассмотрено электрон-фо-

нное взаимодействие в переходных металлах.

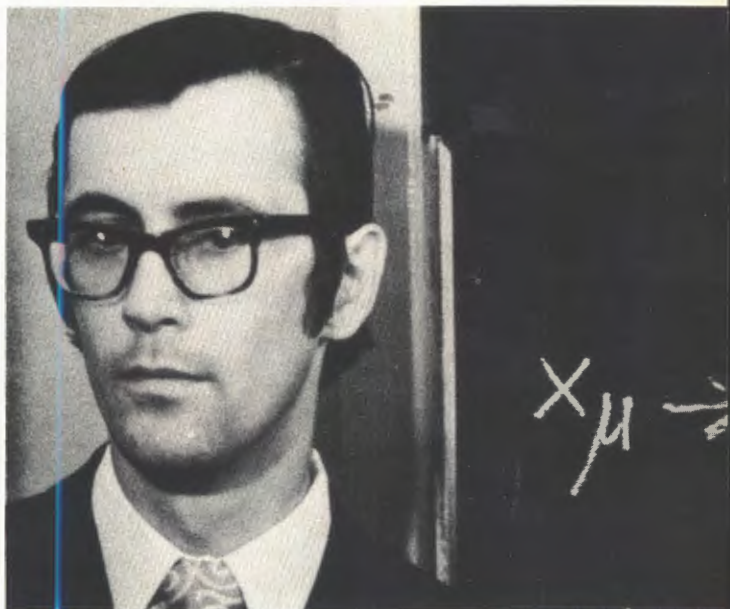
Продолжались исследования особенностей фазового перехода в спиновых модельных системах, допускающих асимптотически точные решения. Получены оценки близости термодинамических функций исследуемых моделей к соответствующим функциям в теории самосогласованного поля. Разработан диаграммный метод для спиновых операторов в моделях Андерсо-

на, Хаббарда и др. Методы теории групп обобщены для описания магнитных структур.

Выполнены расчеты сечения рассеяния тепловых нейтронов в молекулярных кристаллах, в сверхтекучем гелии, рассмотрено парамагнитное неупругое рассеяние нейтронов в редких землях, рассеяние на фононах в сложных сплавах и магнитовибрационное рассеяние в зонных магнетиках.

Группе молодых теоретиков Института присуждена премия Ленинского комсомола за цикл работ по приближенным методам квантовой теории поля в физике высоких энергий. Основой этих исследований послужили подходы в квантовой теории поля, разработанные в трудах Н.Н.Боголюбова и его научной школы.

Лауреаты премии Ленинского комсомола: В.А.Матвеев, А.Н.Сисакян, С.П.Кулешов /справа/, В.Н.Первушин, М.А.Смондырев /слева/.



Государственная премия СССР присуждена группе советских ученых за цикл работ "Фоторождение пи-мезонов на нуклонах". Эти исследования выполнены в Объединенном институте или в сотрудничестве с ОИЯИ. На снимках: лауреаты Государственной премии



член-корреспондент АН СССР А.М.Балдин

академик А.А.Логунов

*профессор Л.Д.Соловьев*



*академик АН Груз.ССР А.Н.Тавхелидзе*

## Лаборатория высоких энергий

В Лаборатории высоких энергий велись исследования в области физики элементарных частиц, в области ядерной физики, разработка новых приборов для физических экспериментов, создание и совершенствование методов проведения экспериментов, совершенствование основной ускорительной базы лаборатории - синхрофазотрона, расширение возможностей синхрофазотрона для постановки новых экспериментов. Существенная часть научной программы была связана с экспериментами на серпуховском ускорителе.

Большая часть исследований проводилась на основе широкого международного сотрудничества с лабораториями и институтами стран-участниц ОИЯИ.

## Научно-исследовательские работы

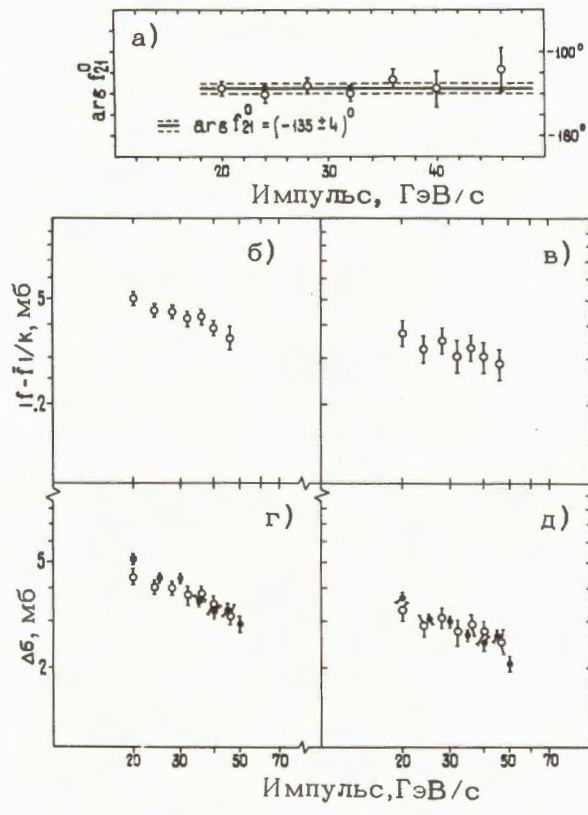
Поведение амплитуд рассеяния  
в зависимости

от энергии взаимодействующих частиц

◇ *Исследования асимптотического поведения амплитуд рассеяния нейтральных каонов проводились на ускорителе 76 ГэВ /ИФВЭ, Серпухов/ с помощью магнитного искрового спектрометра на линии с ЭВМ БЭСМ-3М. Изучена регенерация короткоживущих каонов долгоживущими на мишенях из дейтерия и углерода. Получены следующие результаты:*

а/ При обработке информации, записанной на магнитные ленты, в эксперименте по регенерации  $K_L^0 \rightarrow K_S^0$  на дейтерии в области импульсов 14-50 ГэВ/с обнаружено, что модуль амплитуды регенерации на дейтерии уменьшается с уве-





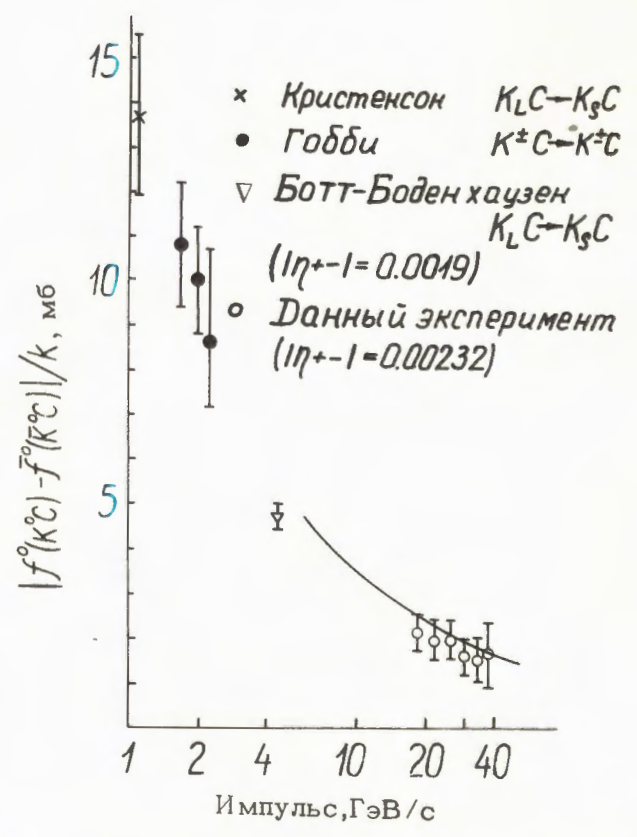
8. Результаты измерения трансмиссионной  $K_L^0 \rightarrow K_S^0$  регенерации на дейтерии /а, б, г/ и нейтронах /в, д/ в зависимости от импульса каонов:  $\circ$  - данная работа,  $\square$  - результаты эксперимента ИФВЭ /Серпухов/.

личением импульса падающих каонов /рис. 8б/, а фаза этой амплитуды не зависит от энергии каонов и равна  $-135^\circ \pm 4^\circ$  /рис. 8а/, что в пределах ошибок согласуется с величиной, предсказываемой моделью комплексных угловых моментов для обмена омега-полюсом.

б/ Из данных по регенерации на дейтерии и водороде с учетом глауберовских поправок получена энергетическая зависимость модуля амплитуды регенерации на нейтронах /рис. 8в/.

в/ В интервале импульсов 16-40 ГэВ/с измерены амплитуда регенерации каонов на углероде /рис. 9/ и фаза амплитуды, которая является постоянной и равна  $-129^\circ \pm 16^\circ$ , что согласуется с предсказанием модели Редже при обмене единственным омега-полюсом и оптической моделью ядра.

г/ Разности полных сечений  $\sigma_t(K^0 n) - \sigma_t(K^0 p)$  согласуются с измерениями на заряженных пучках для  $\sigma_t(K^- p) - \sigma_t(K^+ p)$  /рис. 8г/, а разность полных сечений взаимодействий  $\bar{K}^0$  и  $K^0$



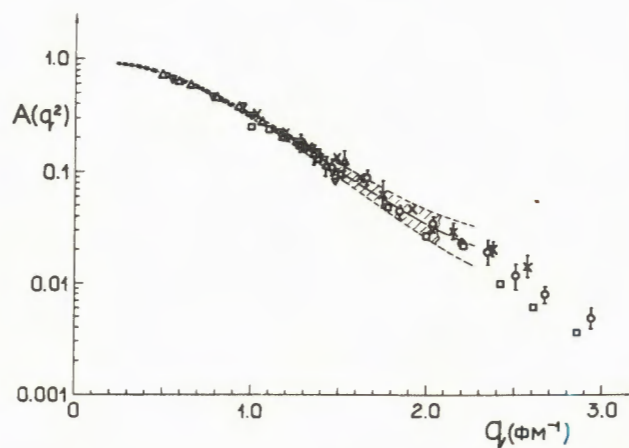
9. Экспериментальные результаты регенерации каонов на углероде: зависимость  $|f^0 - \bar{f}^0|/K$  от энергии и предсказания оптической модели.

с углеродом уменьшается с ростом энергии, что подтверждает справедливость теоремы Померанчука.

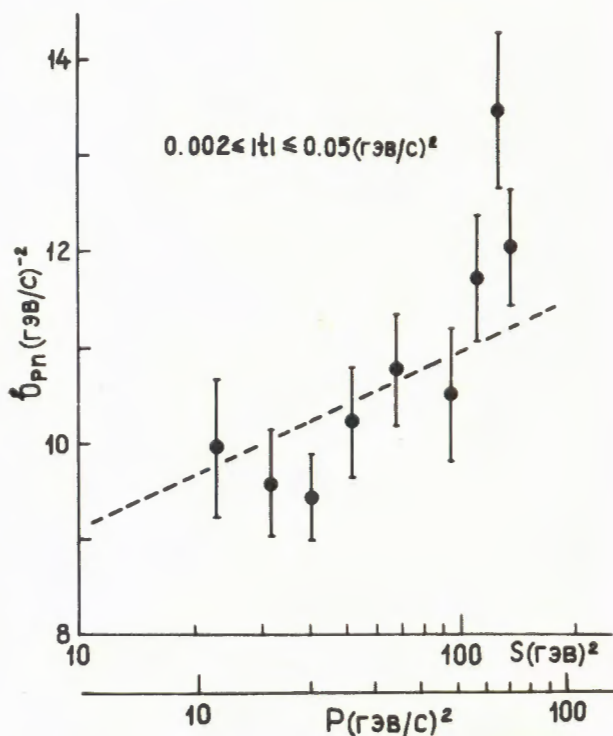
Обработка экспериментального материала проводилась в ОИЯИ, ЦИФИ /Будапешт/, ФИ ЧСАН /Прага/, ИФВЭ /Берлин/.

В ИФВЭ /Серпухов/ восстановлен и опробован канал нейтральных каонов и магнитный искровой спектрометр для продолжения исследований по регенерации нейтральных каонов.

◇ Определен ядерный формфактор дейтрона  $S(q)$  из экспериментальных данных по упругому  $pd$ -рассеянию на малые углы на ускорителе 76 ГэВ. На основе теории Глаубера и предположения о том, что электрический формфактор нейтрона равен нулю, квадрат электромагнитного



10. Зависимость  $A(q^2)$ . Условные обозначения /для  $ed$ -рассеяния/: X - 400 МэВ, O - 500 МэВ,  $\Delta$  - 188 МэВ /Мак Интайр и др./,  $\square$  - 180-500 МэВ /Фридман и др./,  $\nabla$  - 100-250 МэВ /Гроссетти и др./ По центру заштрихованной области расположены 223 экспериментальные точки, полученные в  $pd$ -рассеянии.



11. Энергетическая зависимость параметра наклона упругого  $pd$ -рассеяния. Для сравнения штрихами проведена прямая, описывающая энергетическую зависимость параметра наклона упругого  $pp$ -рассеяния.

формфактора дейтрона  $A(q^2) = S^2(q/2) \times G_{ep}(q)$ , где  $q$  - переданный импульс и  $G_{ep}$  - электрический формфактор протона.

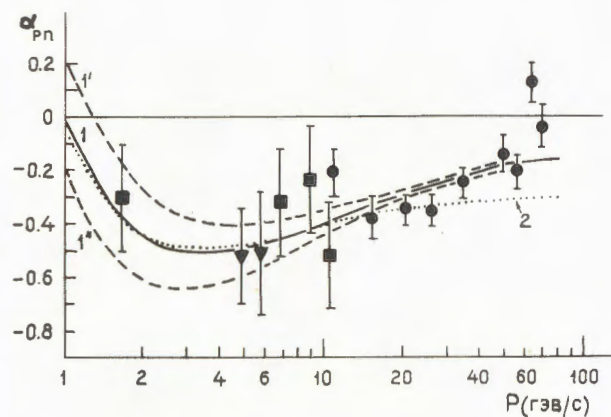
Из экспериментальных данных по упругому  $pd$ -рассеянию и опытов по  $ed$ -рассеянию видно /рис. 10/, что значения  $A(q^2)$  из этих экспериментов находятся в хорошем согласии. Этот факт говорит о том, что распределения ядерной материи и заряда в дейтроне в пределах ошибок одинаковы.

Результаты измерений дифференциальных сечений упругого  $pd$ -рассеяния в области малых переданных импульсов

$|t| = 0,002 \div 0,05 \text{ ГэВ}^2$  в интервале энергии 10-70 ГэВ были использованы для изучения энергетической зависимости параметра наклона дифференциального сечения упругого  $p_n$ -рассеяния и действительной части амплитуды упругого  $p_n$ -рассеяния. Как и в случае  $pp$ -рассеяния, параметр наклона упругого  $p_n$ -рассеяния растет с увеличением энергии /рис. 11/, что в рамках теории комплексных моментов свидетельствует об отличном от нуля наклоне траектории Померанчука.

Действительная часть амплитуды упругого  $p_n$ -рассеяния ( $a_{p_n}$ ) отрицательна и уменьшается по абсолютной величине с ростом энергии, что согласуется с результатами расчетов по дисперсионным соотношениям /рис. 12/.

◇ Изучено упругое рассеяние отрицательных пионов на протонах при энергии 50 ГэВ на малые углы на серпуховском ускорителе с помощью магнитного ис-



12. Энергетическая зависимость  $a_{p_n}$  в интервале 1-70 ГэВ. Условные обозначения: ● - данный эксперимент, ■ - Н.Далхажав и др., ▼ - В.Заячки и др. Расчеты по дисперсионным соотношениям: кривая 1 - Картер и др., кривая 2 - Барашенков и др.

крового спектрометра. Параметр наклона дифференциального сечения при  $|t| = 0,03 - 0,40 \text{ ГэВ}^2$  оказался равным  $b = 9,1^{+0,2}_{-0,4}$ . Экстраполяция дифференциального сечения при  $|t| \rightarrow 0$  дала величину  $30,8 \pm 0,9 \text{ мбарн}$ , что хорошо согласуется с оптической точкой  $30,17 \pm 0,20 \text{ мбарн}$ . Отношение реальной части амплитуды упругого рассеяния вперед к мнимой части оказалось равным  $-0,07 \pm 0,05$ .

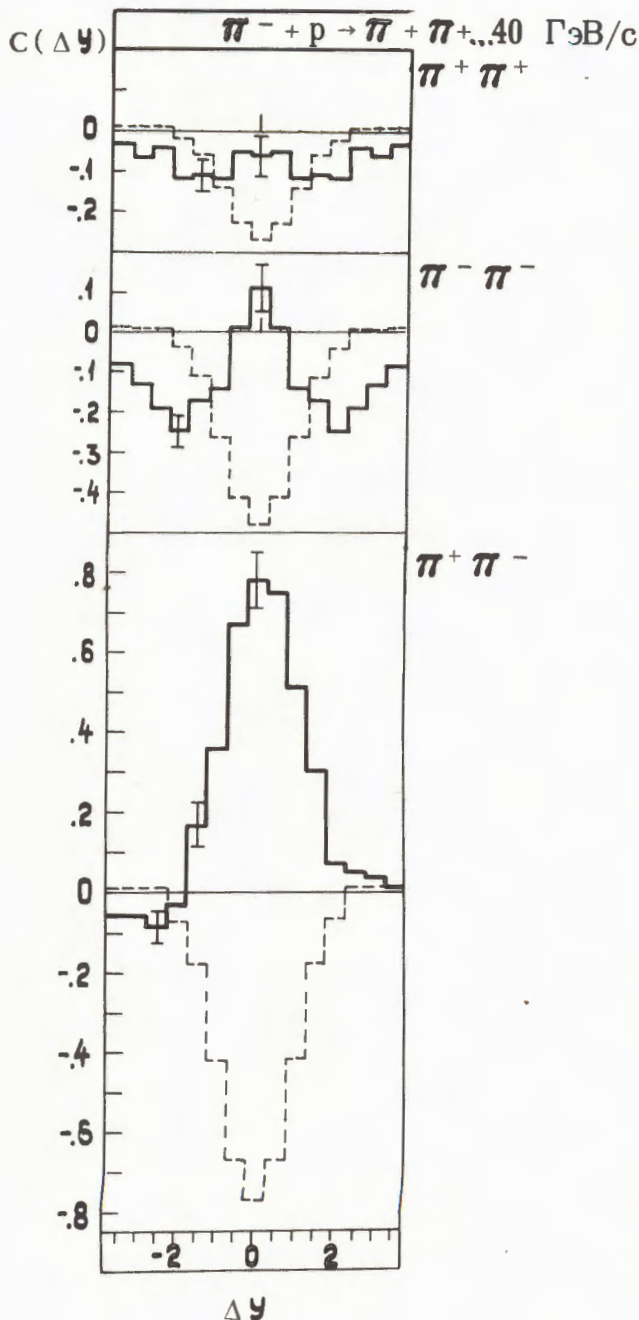
Работа проводилась группами физиков из ОИЯИ, ИФВЭ /Серпухов/ и Калифорнийского университета.

Механизм рождения и распада частиц и резонансов.

Поиск новых резонансов

◇ В эксперименте по исследованию  $\pi^-p$ ,  $\pi^-n$  и  $\pi^-C$ -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры, которая была облучена на ускорителе 76 ГэВ /Серпухов/, объединенная группа 16 лабораторий НРБ, ВНР, ДРВ, МНР, ПНР, СРР, СССР, ЧССР обработала 6,5 тыс. событий  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -взаимодействий, около 14 тыс. гамма-квантов и  $\sim 1200$   $\Lambda^-$  и  $K^0$ -частиц.

Были определены коэффициенты корреляций для  $\pi^+\pi^-$ -мезонов  $a = 0,65 \pm 0,07$  и для тождественных  $\pi$ -мезонов  $a = 0,26 \pm 0,10$ . Изучены корреляции продольной и поперечной компонент импульса частиц в с.ц.м. реакции, ассоциативные множественности и др. На рис. 13 представлены значения корреляционной функции  $C(\Delta Y)$ . В центральной области ( $Y^* \approx 0$ ) определены отношения  $N(\pi^+) : N(\pi^-) : N(\pi^0) = 1 : 1 : 1$  в пределах  $\pm 7\%$ , что свидетельствует о доминирующем влиянии  $\pi$ -мезонного обмена в центральной области. Показано, что структурная функция  $f(x, q_\perp)$  при 40 ГэВ не факторизуется по переменным  $x$  и  $q_\perp$ .



13. Зависимость корреляционной функции  $C(\Delta y)$  для различных пар пионов. Пунктиром даны расчеты по фазовому объему.

Обнаружено, что в пределах  $\pm 8\%$

$$\frac{1}{\sigma_{in}^{\pi^- p}} f^{\pi^- p} = \frac{1}{\sigma_{in}^{\pi^- C}} f^{\pi^- C}$$

в области фрагментации  $\pi^-$ -мезона и в центральной области /различие только в области фрагментации  $^{12}\text{C}$  /. Это первые результаты по проверке предсказаний, вытекающих из обобщенной оптической теоремы и модели полюсов Редже для ядер.

◇ *Взаимодействие отрицательных пионов с протонами при импульсе 5,0 ГэВ/с исследуется с помощью однометровой водородной пузырьковой камеры на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.*

*Двухлучевые события.* На материале 3,5 тыс. событий  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  проводился анализ характеристик этой реакции и сравнение полученных результатов с моделью однопионного обмена OPER.

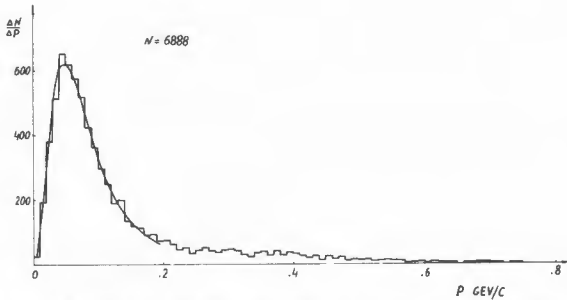
*Четырехлучевые события.* Проведен полуинклюзивный анализ около 15 тыс. событий. Установлено, что в распределениях инвариантной функции

$$f_S = \frac{2E}{\pi \sqrt{S}} \frac{d^2 S}{dp_{\perp} dx}$$

для  $\rho^0$  и  $\Delta^{++}$ -резонансов, так же как и для  $\pi^-$ -мезонов и протонов, наблюдается сильное влияние эффекта лидирующей частицы в области малых значений  $p_{\perp}^2$ . Работа ведется совместно с лабораториями ГДР, СРР, ЧССР.

*Шестилучевые события.* Детальный анализ пика  $\omega^0$ -мезонов, летящих назад, в угловом распределении показал сильную корреляцию  $\omega^0$ -мезонов с протонами, летящими вперед, в с.д.м. реакции. Работа ведется совместно с ИФВЭ /Берлин/.

◇ *Взаимодействие дейтронов с протонами при импульсе 3,3 ГэВ/с изучалось с помощью метровой водородной пузырьковой камеры, облучаемой в пучке сепарированных дейтронов на синхрофазотроне. При изучении наиболее статистически*



14. Импульсное распределение нуклона-спектатора в реакции  $dp \rightarrow ppp$  при импульсе 3,3 ГэВ/с. Сплошная линия - расчет с потенциалом Хьюльмена.

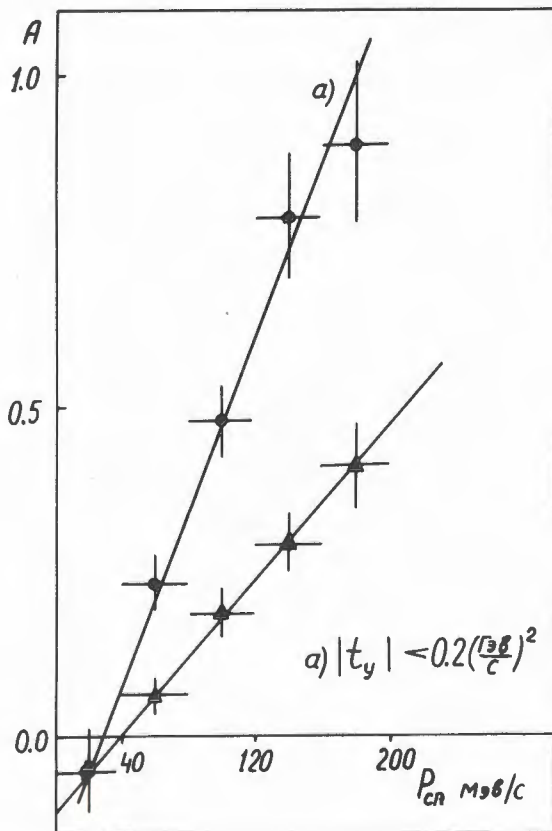


Рис. 15. Зависимость асимметрии в угле Треймана-Янга от импульса нуклона-спектатора для реакции  $dp \rightarrow ppp$  при импульсе 3,3 ГэВ/с.

обеспеченной реакции  $dp \rightarrow ppp$  /набрано около 25 тыс. событий/ установлено, что дифференциальное сечение для канала прямого развала дейтрона хорошо описывается по модели Глаубера без учета спина, а сечение канала с перезарядкой требует более сложного объяснения. Впервые получен полный спектр спектаторных нуклонов реакции  $dp \rightarrow ppp$  /рис. 14/. Обнаружение асимметрии в угле Треймана-Янга в зависимости от импульса нуклона-спектатора указывает на неприменимость использования полюсной диаграммы /рис. 15/.

◇ Завершена обработка данных по изучению зависимости векторного и скалярного формфакторов нейтрального каона от передаваемого импульса, полученных на ускорителе 76 ГэВ с помощью магнитного искрового спектрометра. Обработка информации проводилась в ОИЯИ, ЦИФИ /Будапешт/, ФИ ЧСАН /Прага/. В результате исследования 82400 распадов  $K_{\mu 3}$  получены два решения для констант линейной параметризации формфакторов. Из анализа решений выяснено, что имеющиеся в мировой литературе аналогичные два решения обусловлены структурой формул, описывающих плотность распределения энергий распадных частиц каона на графике Далитца. Неоднозначность решений можно устранить только путем введения в анализ дополнительной физической информации. Показано, что в случае предположения  $\mu - e$  -универсальности имеется одно решение с константами

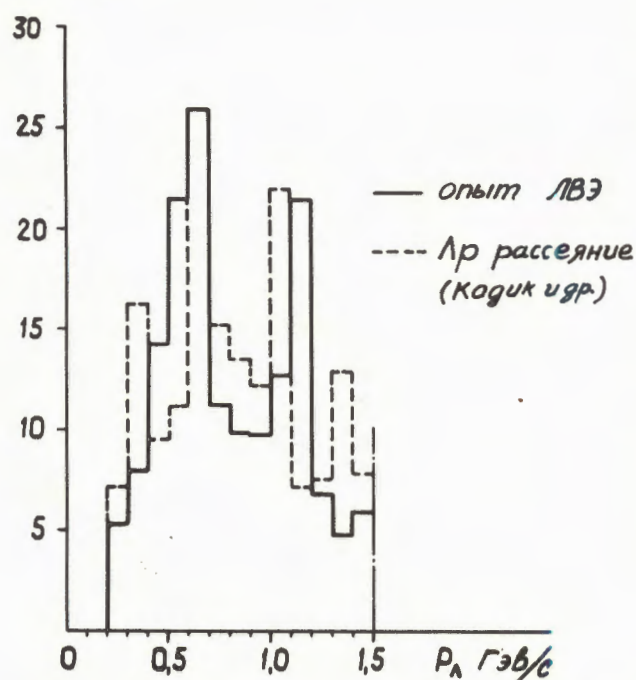
$$\lambda_{+} = 0,046 \pm 0,008$$

$$\lambda_{0} = 0,024 \pm 0,011.$$

◇ При облучении однометровой жидководородной камеры пучком моноэнергетических нейтронов при 8 значениях энергии от 1 до 5 ГэВ получено 200 тыс. фотографий. Отобраны 50 тыс. событий при

трех значениях энергии для определения топологических сечений.

◇ Продолжались исследования многобарионных систем на снимках с пропановой пузырьковой камеры, облученной в пучке нейтронов со средним импульсом  $7,0 \text{ ГэВ/с}$  и в пучке пионов с импульсом  $4,0 \text{ ГэВ/с}$ . Ранее было обнаружено, что в спектрах эффективных масс системы  $\Lambda p$  проявляются особенности при значениях масс  $2058, 2127$  и  $2251 \text{ МэВ}$ . Это дает возможность предположить, что  $\Lambda$ -гипероны, образованные в ядре углерода, взаимодействуют с протонами того же ядра и что наблюдающиеся особенности присущи самому взаимодействию  $\Lambda p$ . Так как значения масс особенностей от-



16. Импульсное распределение налетающего  $\Lambda$ -гиперона в системе покоя протона, полученное из распределения эффективных масс системы ( $\Lambda p$ ). ———— — данный эксперимент, - - - - - взято из работы Кадика и др. по упругому  $\Lambda p$ -рассеянию.

нительно малы, доминирующим процессом  $\Lambda p$ -взаимодействия, согласно предполагаемому механизму, следует считать упругое рассеяние  $\Lambda$ -гиперона на протоне при низких энергиях.

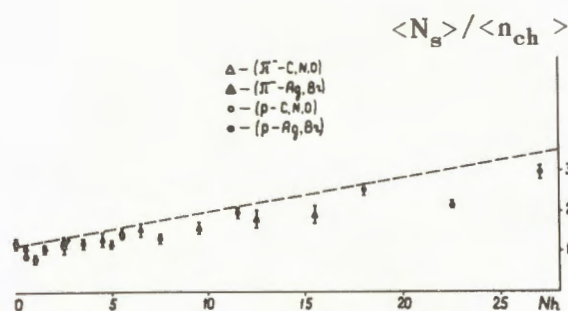
Спектр масс  $\Lambda p$  после удаления фона был преобразован в импульсное распределение налетающего  $\Lambda$ -гиперона в системе покоя протона. Такое распределение, нормированное на площадь соответствующего распределения, взятого из опыта Кадика и др. по упругому  $\Lambda p$ -рассеянию в доступной области импульсов, показано на рис. 16.

Особенности импульсного распределения  $\Lambda$ -гиперонов при  $p \sim 650 \text{ МэВ/с}$  (что соответствует массе  $\Lambda p$   $2127 \text{ МэВ}$ ) и при  $p \sim 1000 - 1200 \text{ МэВ/с}$  (соответствует массе  $\Lambda p$   $2251 \text{ МэВ}$ ) совпадают. Этот результат указывает на то, что особенности в спектрах масс  $\Lambda p$  при  $2127$  и  $2251 \text{ МэВ}$ , возможно, могут быть объяснены резонансным поведением сечения упругого рассеяния  $\Lambda p$  при низких энергиях.

◇ Продолжалось изучение взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с энергией  $60 \text{ ГэВ}$  и протонов при энергии  $70 \text{ ГэВ}$  с помощью ядерных фотозмульсий. Наряду с обычными были использованы эмульсии, в которых содержание тяжелых ядер  $\text{Ag}$  и  $\text{Br}$  было уменьшено в 2,5 раза за счет обогащения фотозмульсий компонентами с легкими ядрами  $\text{C}, \text{N}, \text{O}$ . Сравнительный анализ взаимодействий в обоих типах эмульсий позволил надежно разделить эти взаимодействия на группах ядер  $\text{C}, \text{N}, \text{O}$  и  $\text{Ag}, \text{Br}$  /рис. 17/.

Обнаружена слабая зависимость числа образованных частиц от атомного веса  $\langle n_s \rangle \sim A^n$  при  $n = 0,1 - 0,2$ , причем в пионном облучении наблюдается меньшая множественность образованных частиц по сравнению с протонным облучением.

Из дальнейшего изучения процесса распада ядер  $\text{Ag}$  и  $\text{Br}$  после облучения протонами с энергией  $70 \text{ ГэВ}$  определена



17. Зависимость отношения релятивистских частиц  $N_s$  к заряженным  $n_{ch}$  от числа частиц  $N_h$  при расщеплении ядер пионами и протонами с энергией 60-70 ГэВ.

вероятность полного распада  $3,0 \pm 0,4\%$ , а среднее число заряженных частиц в результате распада ядер и их угловые распределения не изменяются при увеличении энергии налетающих протонов от 10 до 70 ГэВ.

В 1973 году на серпуховском ускорителе облучено около 40 стопок фотозмульсий в магнитном поле  $\sim 200$  кГс пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 50 ГэВ/с. Для изучения пион-ядерных взаимодействий организовано сотрудничество 7 лабораторий стран-участниц ОИЯИ с лабораториями институтов Италии, Индии и Египта.

◇ При изучении проблемы распада  $K_L^0 \rightarrow 2\mu$  ранее было предположено существование нового векторного мезона "хи-ноль", возникающего в распадах долгоживущего  $K_L^0$ -мезона и имеющего массу 350-425 МэВ. На основе 125 тыс. распадов, зарегистрированных в экспериментах по регенерации  $K_L^0 \rightarrow K_S^0$  на ускорителе 76 ГэВ, определена верхняя оценка относительной вероятности существования хи-ноль-мезона, распадающегося на два мюона, равная  $\leq 8 \times 10^{-5}$  от полной вероятности распада долгоживущего  $K_L^0$ -мезона. Таким образом, модель Алиса и Патти о

возможном подавлении распада  $K_L^0 \rightarrow 2\mu$  через промежуточный хи-ноль-мезон не подтвердилась.

### Электромагнитная структура элементарных частиц

◇ Для определения электромагнитного размера пиона проведена обработка экспериментального материала, полученного с помощью магнитного искрового спектрометра на линии с ЭВМ на ускорителе 76 ГэВ. При обработке  $\sim 100$  тыс. событий  $\pi e$ -рассеяния с передачей энергии электрону от 12 до 36 ГэВ получена оценка размера пиона:

$$\langle r_\pi^2 \rangle^{1/2} = 0,61 \pm 0,15 \text{ ферми.}$$

◇ С целью изучения электромагнитных свойств  $K^0$ -мезонов в метровой стримерной камере СКМ-100, облученной ранее в пучке  $K^0$ -мезонов на синхрофазотроне, зарегистрировано около 25 тыс. распадов  $K_L^0$  на 3 частицы и около 200 распадов на 4 заряженные частицы. Среди четырехлучевых распадов обнаружено 52 случая распада  $K_L^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ e^+ e^-$  с парой Далитца и не обнаружено ни одного прямого распада  $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ . Верхняя оценка относительной вероятности прямого испускания  $e^+ e^-$ -пары в распаде  $K^0$  составляет  $\leq 3 \times 10^{-5}$ .

### Релятивистская ядерная физика

◇ Для дальнейшего изучения кумулятивного эффекта подготовлена электронная аппаратура с постановкой эксперимента в антилабораторной системе координат на пучке протонов, выведенных медленным способом из синхрофазотрона. Закончено облучение ядер D, C, Al, Cu, Pb, ведется обработка полученной информации.

◇ При исследовании взаимодействий альфа-частиц с импульсом 17 ГэВ/с с ядрами фотозмульсии определены сечения взаимодействия с ядрами серебра, брома и кислорода:

$$\sigma(\alpha \text{ Ag}) = 1780 \pm 130 \text{ мбарн},$$

$$\sigma(\alpha \text{ Br}) = 1455 \pm 110 \text{ мбарн},$$

$$\sigma(\alpha \text{ O}) = 500 \pm 60 \text{ мбарн}.$$

На ядрах кислорода и серебра определены сечения взаимодействия с сохранением релятивистских ядер гелия:

$$\sigma(0) = 57 \pm 15 \text{ мбарн} \text{ и } \sigma(\text{Ag}) = 205 \pm 50 \text{ мбарн}.$$

Определена вероятность взаимодействия альфа-частиц с ядрами Ag и Br, равная  $5,7 \pm 1,3\%$ , при которой наблюдается полный распад этих ядер с вылетом более 28 частиц.

### Теоретические исследования

Продолжалась теоретическая разработка метода изучения пространственно-временных характеристик процесса множественной генерации с помощью наблюдения корреляций тождественных частиц. Получены новые соотношения, ограничивающие вид амплитуды рассеяния, основанные на принципе макропричинности. Предложен эксперимент по определению электромагнитного радиуса  $K^0$ -мезона.

## Совершенствование действующих и разработка новых физических приборов и установок

◇ На двухметровой стримерной камере СКМ-200 проводились подготовительные работы к физическому пуску. При облучении

установки медленно выведенными из синхрофазотрона протонами получено около 35 тыс. снимков.

На двухметровой жидководородной пузырьковой камере "Людмила" продолжались работы по автоматизации управления режимом установки, по осуществлению двух расширений за один цикл работы ускорителя. В пучке сепарированных антипротонов получено около 65 тыс. снимков.

### ◇ Искровые и пропорциональные камеры

а/ Для использования в физических экспериментах и для диагностики пучков /рис. 18/ разработан и изготовлен набор пропорциональных камер размерами 150x150 мм<sup>2</sup>, 200x200 мм<sup>2</sup>, 900x300 мм<sup>2</sup>. Собран и испытан образец нового детектора - дрейфовая камера.

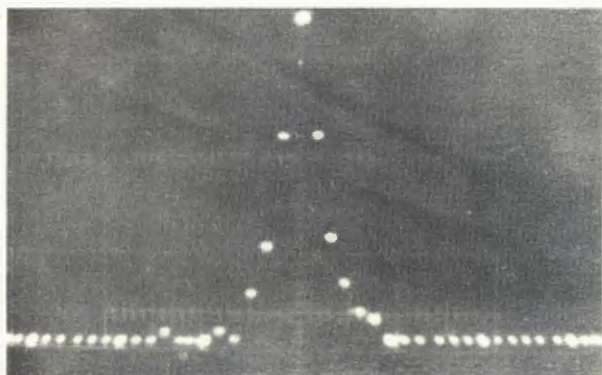
б/ Для экспериментальной установки "Фотон" изготовлено и отлажено на стенде 8 пучковых пропорциональных камер, прошли стендовые испытания 40 искровых камер размером 1x1 м<sup>2</sup>, изготовлена и отлажена электронная регистрирующая аппаратура в количестве 300 блоков для искровых и пропорциональных камер.

◇ Разработан канал на интегральных схемах для пропорциональных камер, который послужил основой для промышленного производства гибридного интегрального модуля пропорциональных камер. Разработан полный универсальный набор электронных модулей пространственно-временной регистрации в стандарте КАМАК, содержащий быстрые процессоры для отбора по числу частиц и углу рассеяния.

Разработан набор модулей быстрой электроники на интегральных схемах с управлением от ЭВМ, универсальный время-цифровой преобразователь.

◇ В области применения вычислительной техники разработаны стандартные устройства сопряжения - контроллеры для ЭВМ HP2116B, БЭСМ-4, ТРА, ТРА i, а также





18. Профиль пучка, полученный при наладке канала сепарированных антипротонов на ускорителе ИФВЭ с помощью системы диагностики на основе пропорциональных камер. Расстояние между точками соответствует 1,5 мм.

новая линия связи между БЭСМ-4 и корпусом синхрофазотрона. Система цифровой электроники доведена на 50 типов стандартных цифровых модулей.

ЭВМ БЭСМ-4 дополнена еще одним каналом связи МКС-2 для подключения 8 стандартных внешних устройств, что представляет возможность подключения внешних устройств системы ЕС /девятидорожечных магнитофонов/.

◇ В области криогенной техники велась разработка отдельных узлов сверхпроводящего отклоняющего магнита.

Для физических установок сделано несколько вариантов жидководородных лавсановых мишеней. Продолжались исследования и испытания различных видов электрической изоляции при низкой температуре.

Продолжались испытания при различных режимах работы многоцелевого ожигателя. В рефрижераторном режиме его хладопроизводительность достигла 250 Вт при температуре 4,5 К.

Изготовлен и испытан новый сверхпроводящий соленоид размером  $\varnothing 50 \times 280$  мм, в котором получено поле 82 кГс, а с полюсами из пермендюра - 110 кГс.

Ожижено газов: гелия - 20 тыс. л., водорода - 36 тыс. л.

◇ Продолжались работы по изготовлению и испытанию свойств пластических сцинтилляторов, повышению их светового выхода, прозрачности, повышению конверсионной эффективности.

Освоено производство пластических сцинтилляторов размером до  $1,8 \times 0,9 \times 0,5$  м<sup>3</sup>.

#### Усовершенствование синхрофазотрона

На синхрофазотроне достигнуто ускорение альфа-частиц до энергии 20 ГэВ.

Спроектированы, смонтированы и налажены новые каналы вторичных частиц от внутренних мишеней /2 канала/ и на выведенном пучке ускоренных частиц из синхрофазотрона /4 канала/.

Экспериментальное определение эффективности системы медленного вывода протонов из камеры синхрофазотрона показало, что эффективность системы составляет 94% при длительности вывода около 400 мсек.

Разработано /совместно с Радиотехническим институтом АН СССР/ предложение по сооружению жесткофокусирующего ускорителя релятивистских ядер "Нуклотрон" с использованием техники сверхпроводимости.

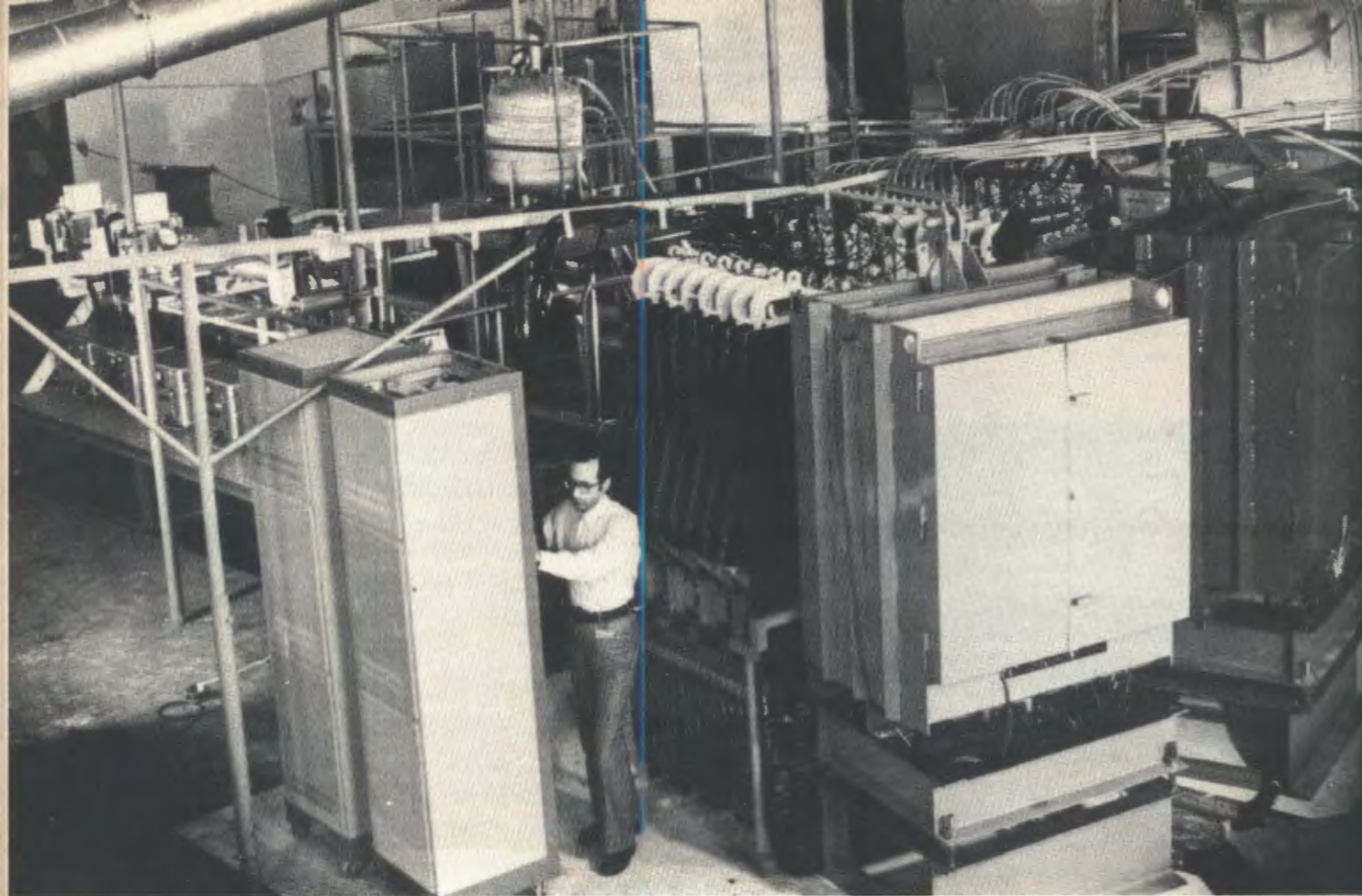
#### Эксплуатация синхрофазотрона

Запланированное время работы ускорителя - 4582 часа.

Ускоритель работал:

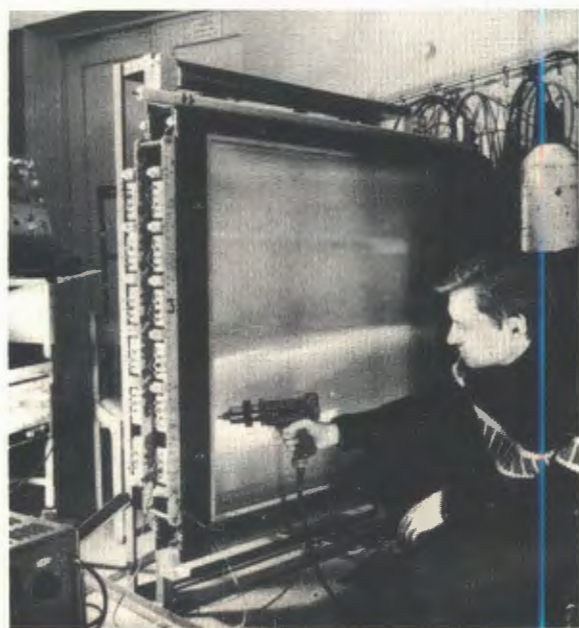
а/ на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и ядра 2410 часов со средней интенсивностью  $4,9 \times 10^{10}$  ускоренных протонов или  $0,4 \times 10^{10}$  ускоренных дейтронов или  $5 \times 10^6$  ускоренных альфа-частиц за цикл ускорения;

б/ на совершенствование систем ускорителя - 1742 часа.

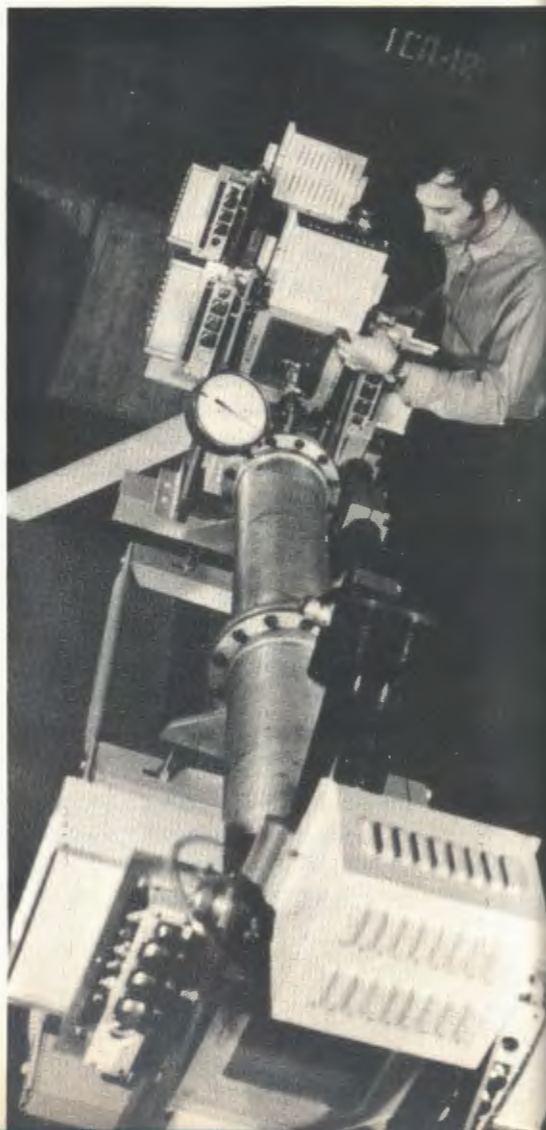


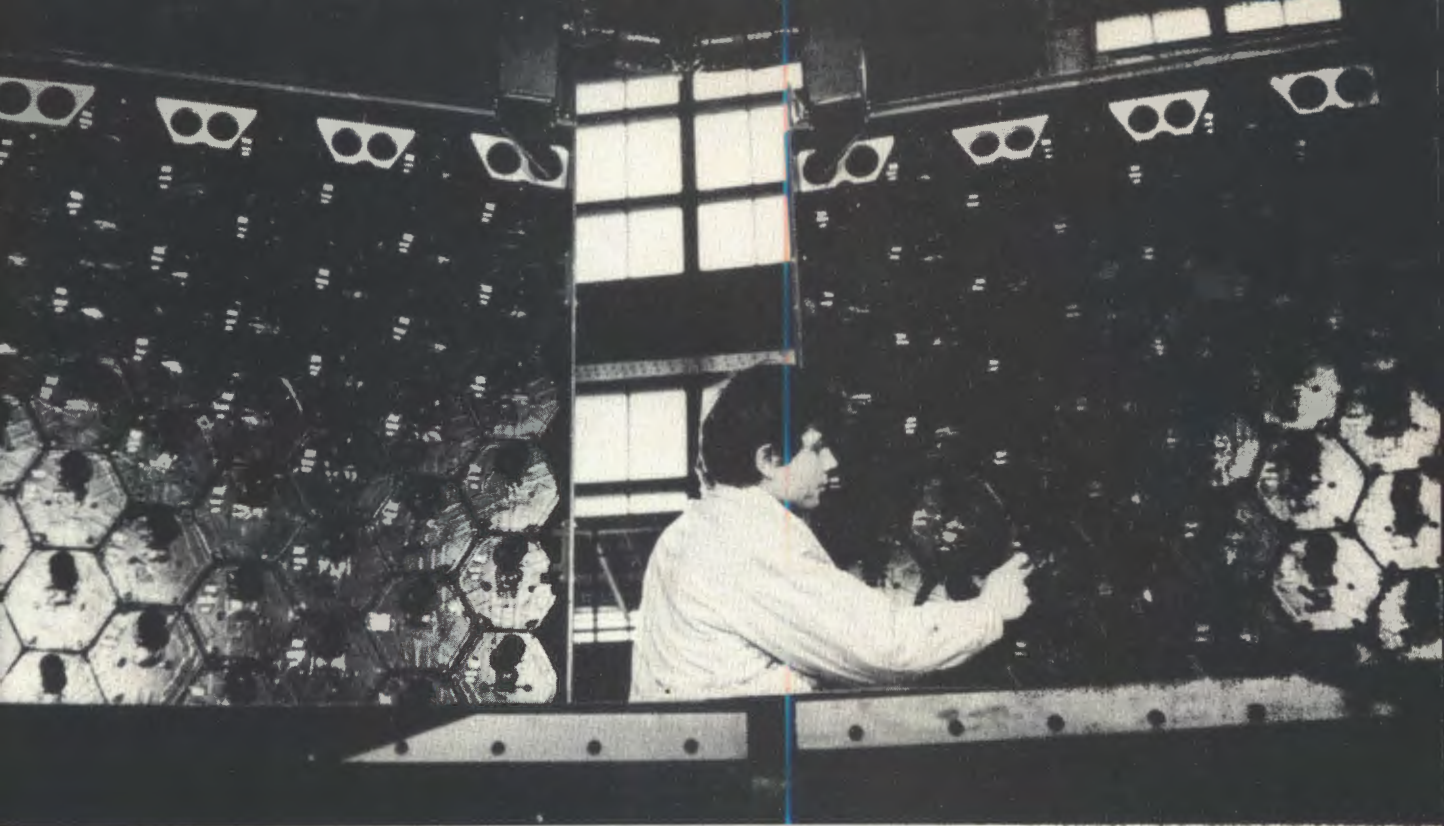
*Многоцелевая установка "Фотон" для исследования сильных, слабых и электромагнитных процессов /общий вид/.*

*а/. Детекторы частиц пучка пионов.* ▶

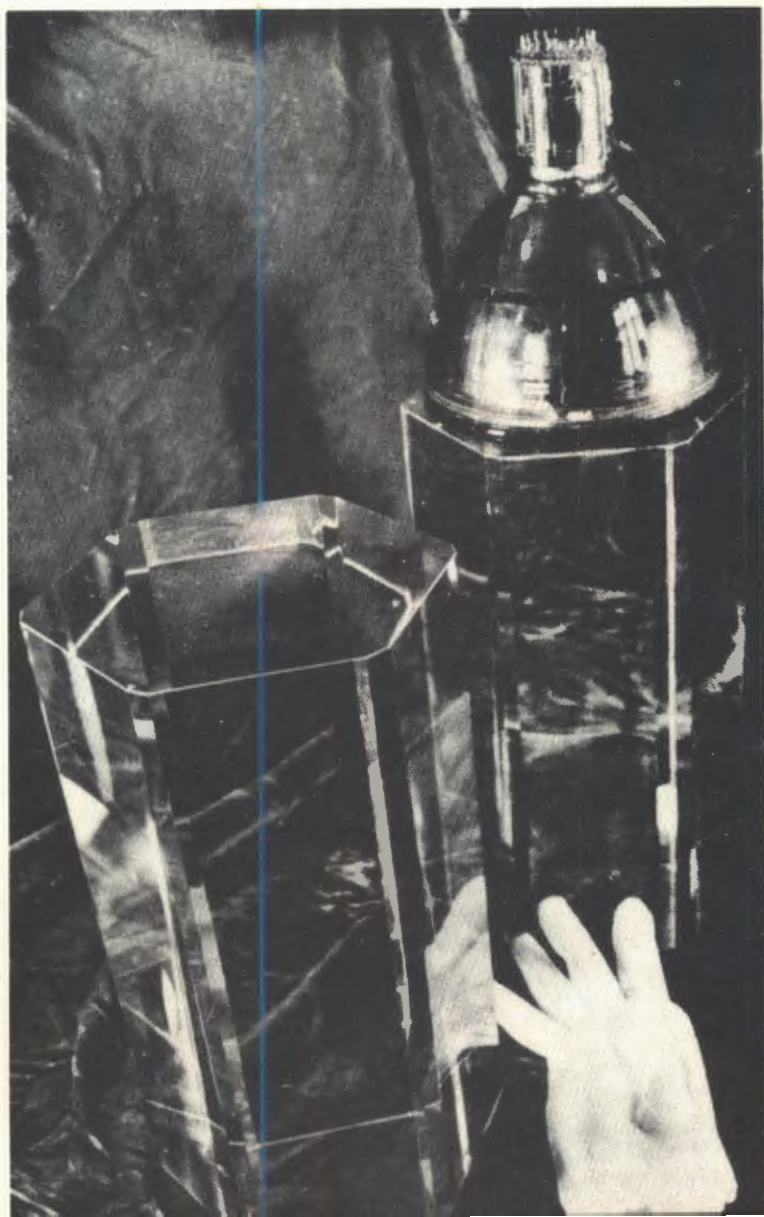


*б/. Магнестрикционные искровые камеры размером 1x1 м<sup>2</sup>*

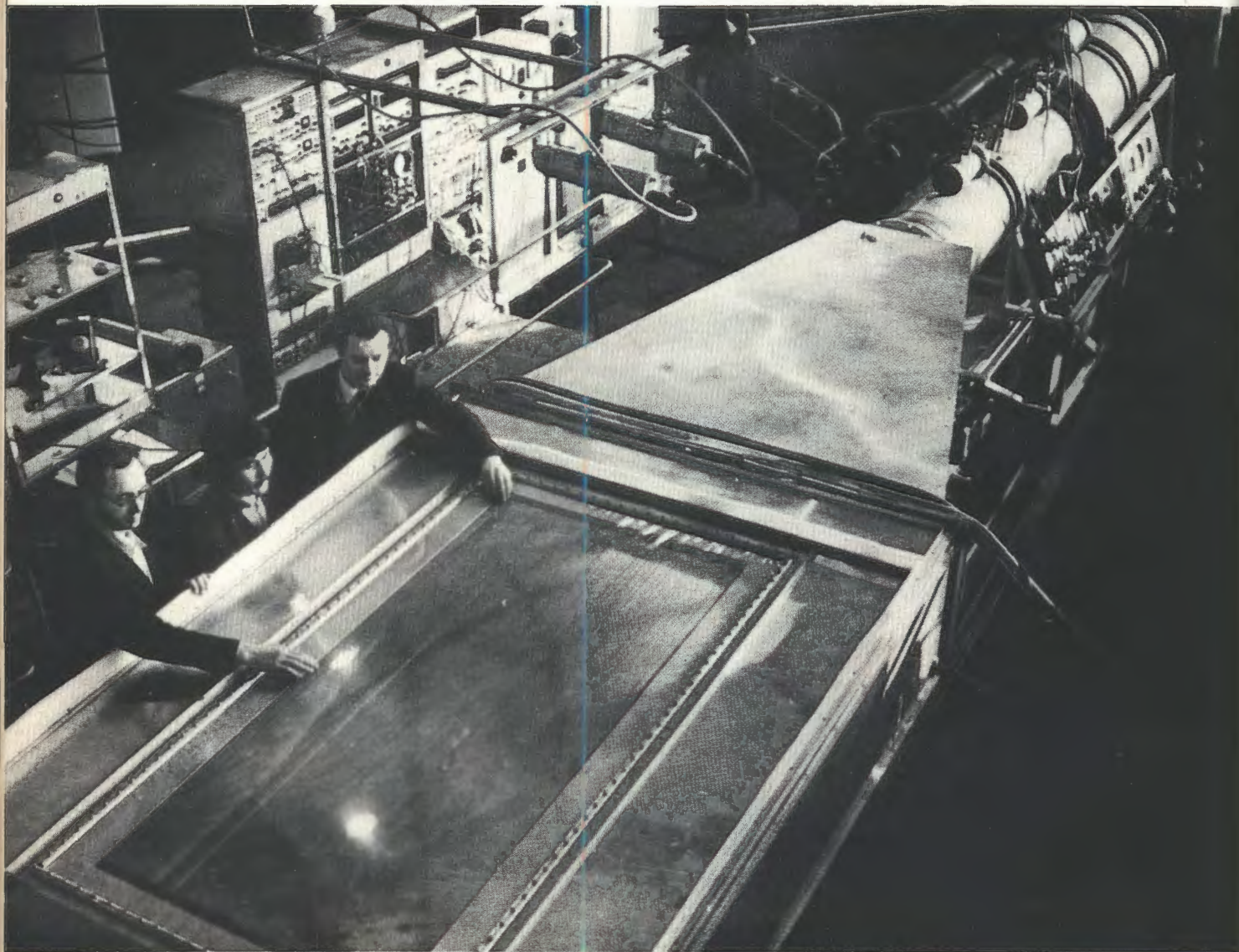




1/. 90-канальный черенковский гамма-спектрометр.



2/. Детекторы черенковского излучения - блоки свинцового стекла.

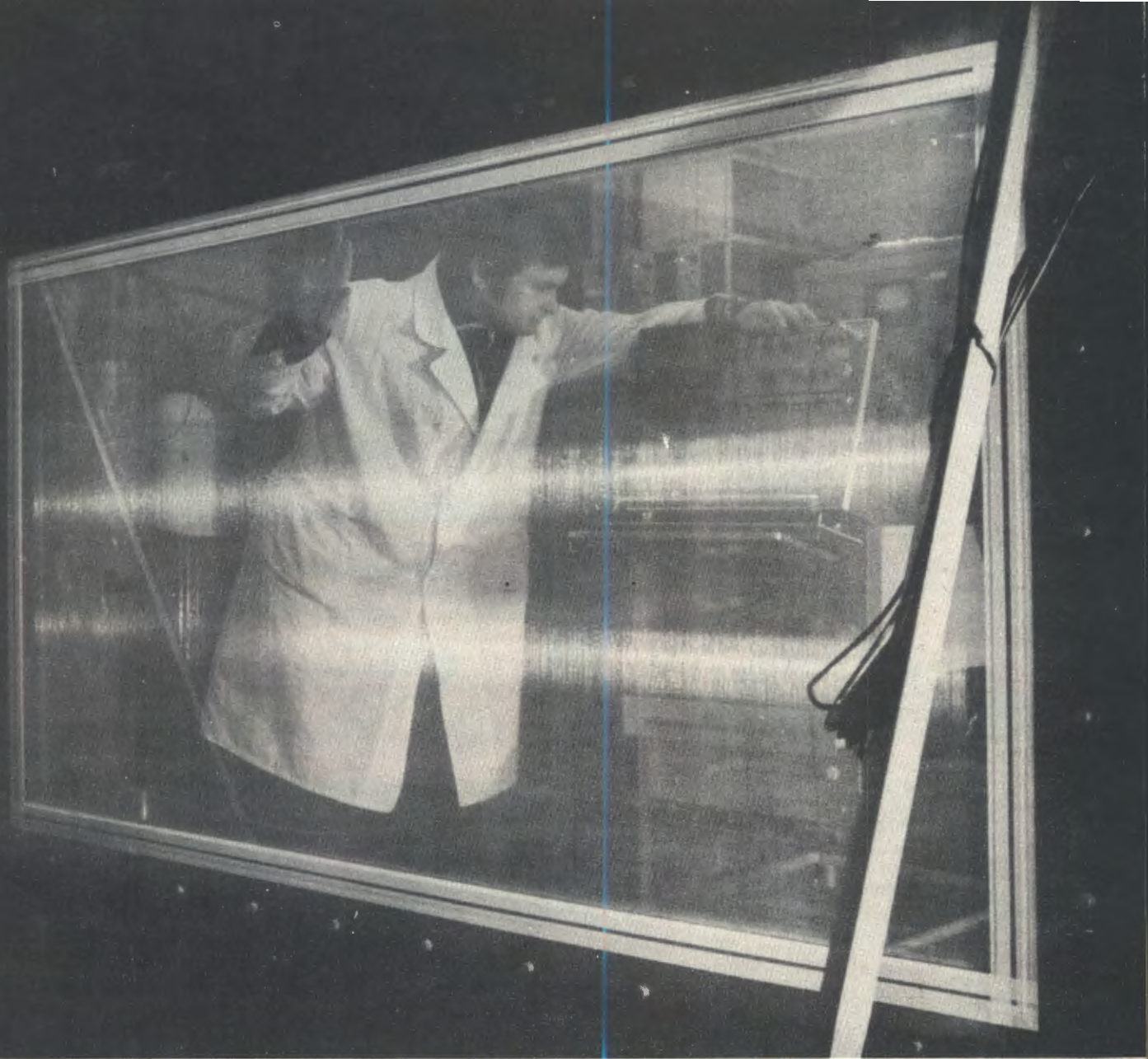


*СКМ-200 - двухметровая стримерная камера в магнитном поле для исследований в области релятивистской ядерной физики и для изучения распадов долгоживущих К - мезонов.*

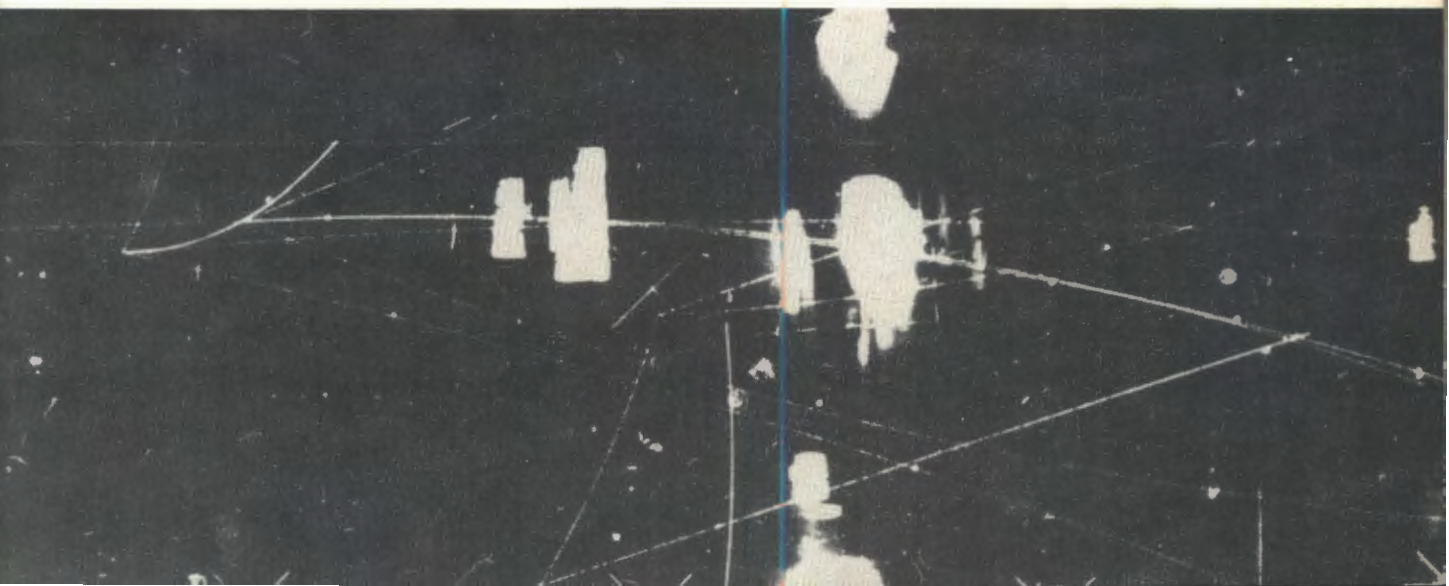


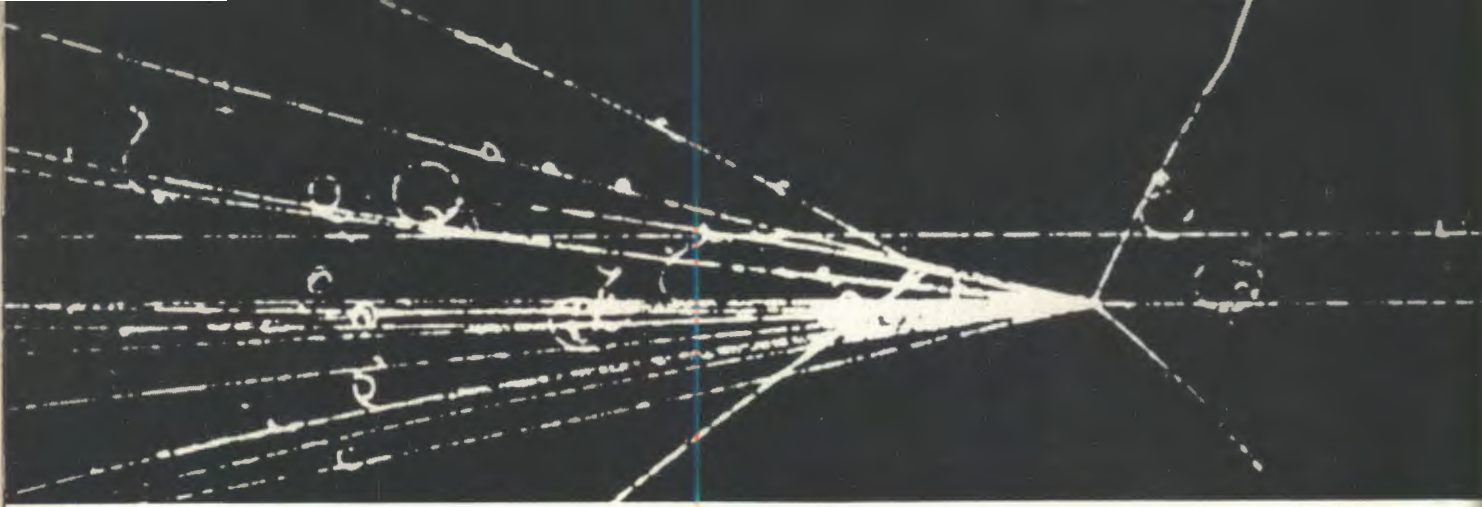
Установка для исследования кумулятивного мезообразования на выведенном пучке синхрофазотрона. Ядра, в том числе тяжелые, бомбардируются в ней ускоренными нуклонами, а спектр рожденных частиц измеряется в направлении "назад".

пр- взаимодействия в метровой жидководородной камере, облученной квазимонохроматическим пучком нейтронов импульсом 5 ГэВ/с.

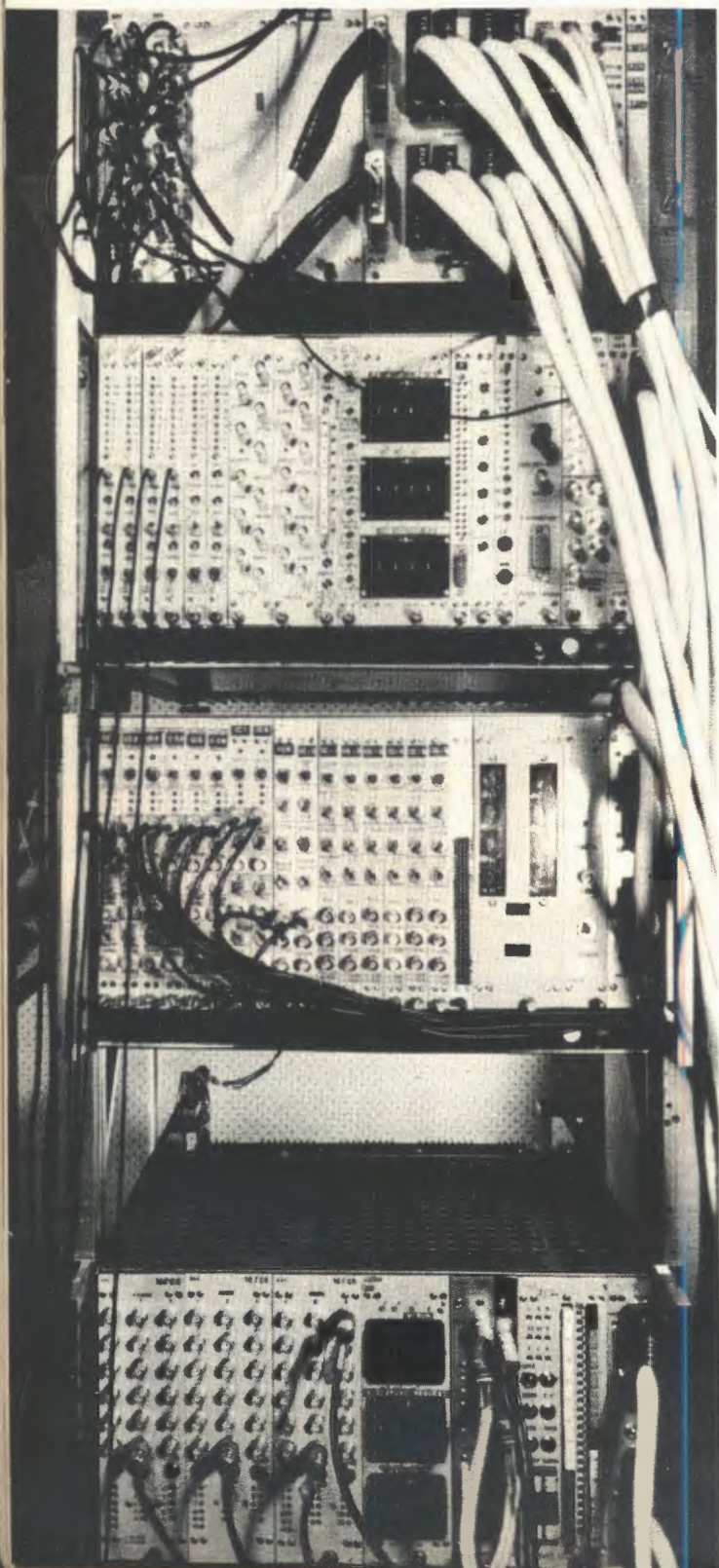


*В Дубну доставлены 8 проволочных искровых камер с магнитоэлектрическим считыванием, изготовленных в Кракове. Размер камер -  $2 \times 1 \text{ м}^2$ , их разработка осуществлялась сотрудниками ОИЯИ и Института ядерной физики ПНР.*



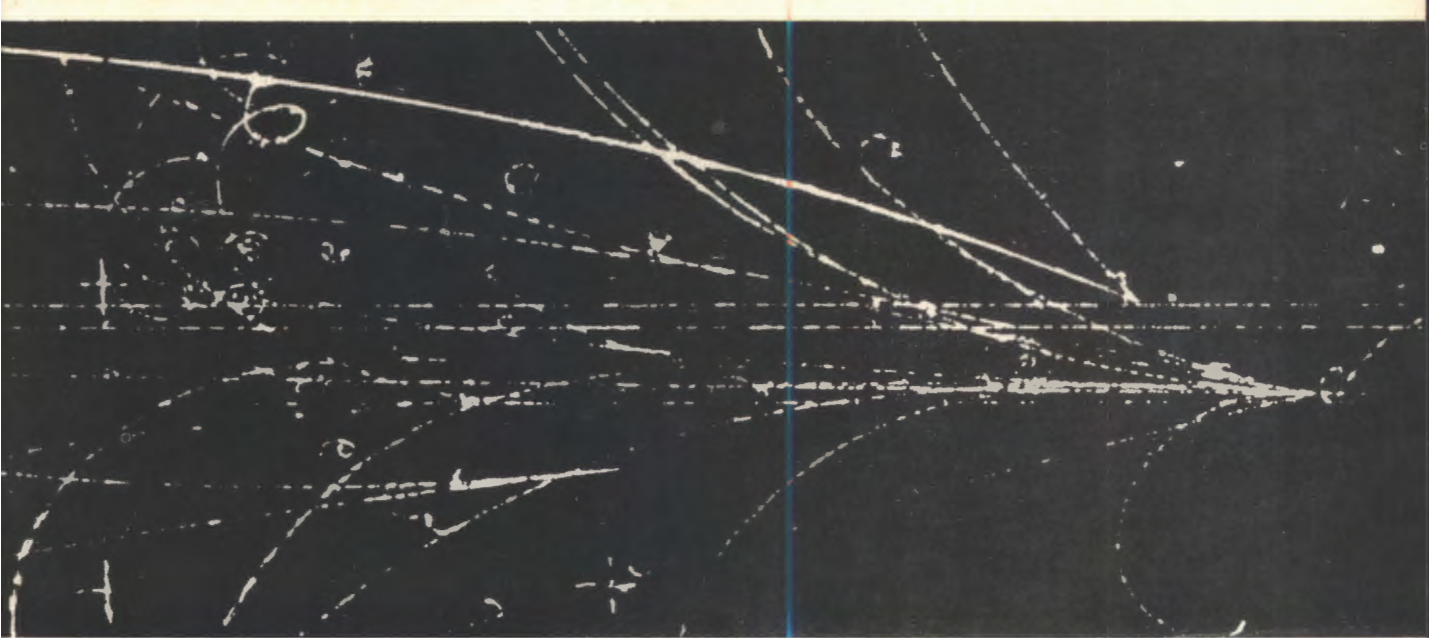


16-лучевая звезда, образовавшаяся в результате  $\pi^-$ -взаимодействия при импульсе 40 ГэВ/с в двухметровой пропановой пузырьковой камере.



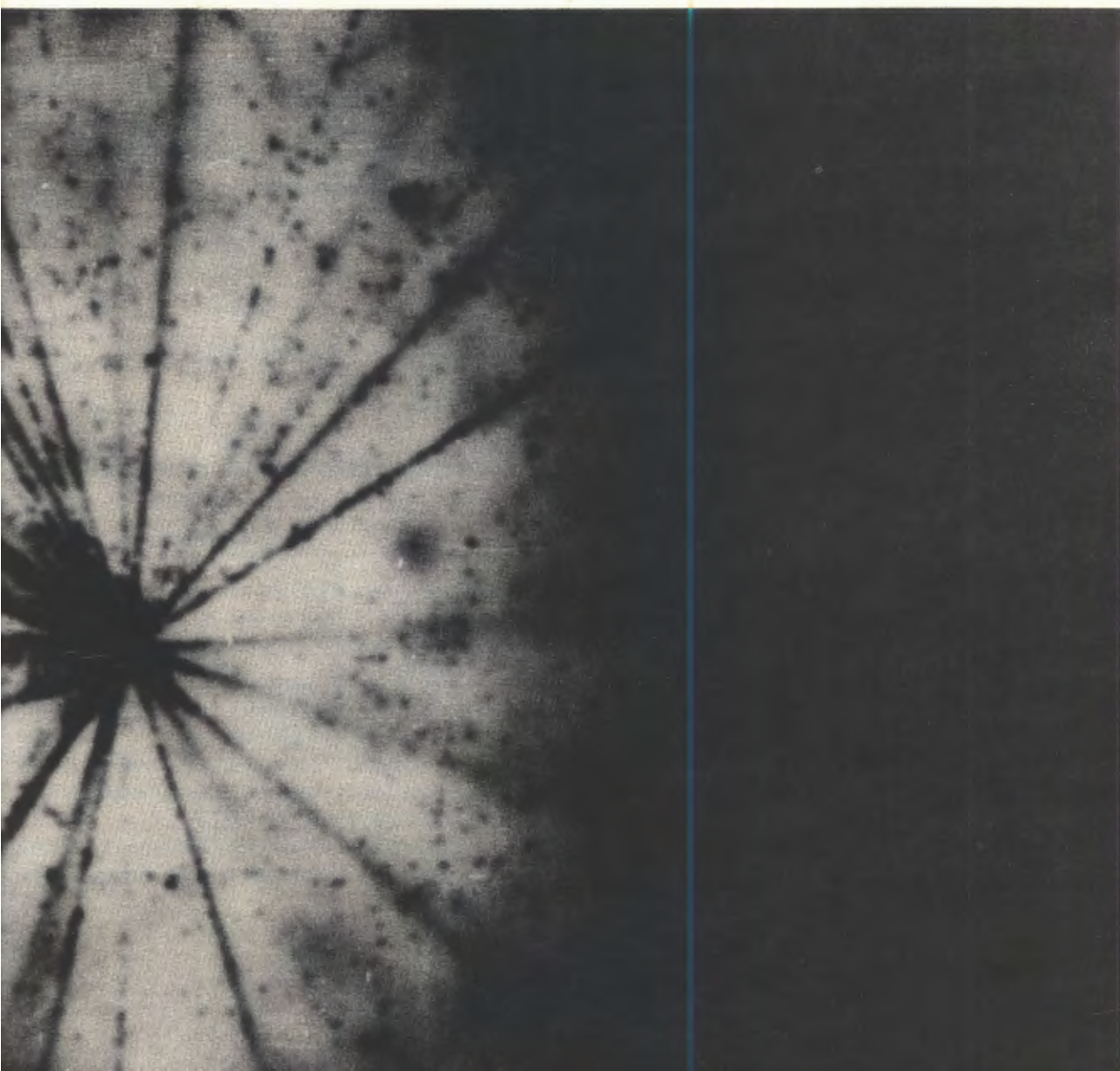
Система связи экспериментальной установки "Фотон" с электронной вычислительной машиной.





$\pi^-$ -взаимодействия с образованием пары Далитца, 10 гамма-квантов,  $V^0$  и нескольких заряженных пионов в двухметровой пропановой камере, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с.

Случай полного развала тяжелого ядра в фотозумльсии / Вг или Ag / под действием протона с энергией 70 ГэВ.



## Лаборатория ядерных проблем

В 1973 году в лаборатории проводились экспериментальные исследования актуальных проблем физики элементарных частиц и атомного ядра на синхроциклотроне 680 МэВ и протонном синхротроне 70 ГэВ ИФВЭ. Ряд экспериментов в области физики высоких энергий выполнен на синхрофазотроне 10 ГэВ ОИЯИ и электронном синхротроне 6,5 ГэВ Физического института в Ереване. Осуществлялись разработки, связанные с реконструкцией основной экспериментальной базы лаборатории - синхроциклотрона в сверхточный фазотрон. Развивались методы исследований, создавались крупные установки для экспериментов на ускорителе в Серпухове.

Изложенные ниже результаты получены при широком сотрудничестве с 15 институтами стран-участниц ОИЯИ и 25 научно-исследовательскими учреждениями Советского Союза.

## Научно-исследовательские работы

Изучение симметрий взаимодействия и законов сохранения.

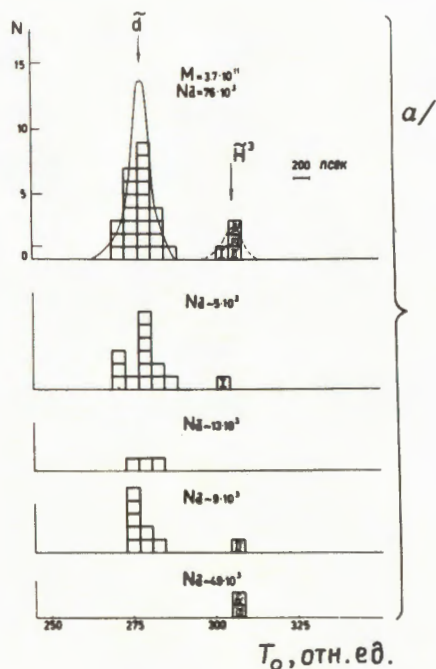
Структура частиц

◆ *Новый шаг сделан в исследовании антивещества.* В совместном эксперименте ОИЯИ и ИФВЭ, выполненном на ускорителе 76 ГэВ в Серпухове, открыт антипротон. Особая трудность в поиске его ядер состоит в следующем:

а/ отношение искомым частицам ко всем остальным частицам использованного пучка составляет  $\sim 10^{-11}$ ;

б/ единственным параметром, по которому ядра антинитрития могут быть отде-





19. Наблюдения ядер антитрития в пучке отрицательно заряженных частиц с импульсом 40 ГэВ/с, испускаемых из Al-мишени под углом  $0^\circ$  к пучку протонов с энергией 70 ГэВ. а/. Распределение по времени пролета событий, удовлетворяющих критериям предварительного отбора. б/. Двумерное распределение отобранных событий, по оси абсцисс отложено время пролета базы, по оси ординат - радиус кольца черенковского излучения в многоканальном черенковском счетчике.

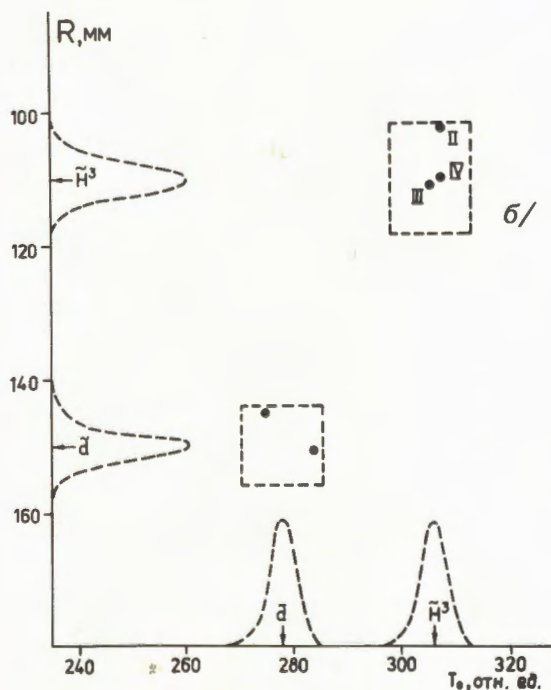
лены от других частиц, является их скорость, отличающаяся от скорости света и скорости других частиц в третьей значащей цифре /например,  $\beta_{\bar{d}} - \beta_{\bar{H}} = 0,0035/$ . Эта сложная задача была решена путем независимых одновременных многократных измерений с высокой точностью скоростей частиц, проходящих через установку. События, отобранные предварительно на уровне  $10^{-6}$  от всех проходящих частиц, регистрировались путем записи в ЭВМ пятидесяти экспериментальных значений, характеризующих каждое событие. Последующий анализ данных позволил выделить из общего числа  $3,75 \cdot 10^{11}$  отрицательно заряженных частиц, прошедших через установку, 4 события, удовлетворяющих критериям отбора ядер антитрития.

Установлено, что сечение образования ядер антитрития с импульсом 25 ГэВ/с под нулевым углом к протонному пучку, падающему на мишень, равно

$$\frac{d^2\sigma}{dp d\Omega} = 1,0 \pm 0,6 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2/\text{ГэВ.стер}$$

в расчете на одно ядро алюминия в мишени.

Масса зарегистрированных ядер антитрития составляет



$$M_{3\bar{H}} = /2,82 \pm 0,04 / \text{ГэВ} / c^2 = /1,004 \pm 0,014 / M_{3\text{H}},$$

а величина заряда

$$Z_{3\bar{H}} = (0,98 \pm 0,02) e^-.$$

Отношение выхода антитрития к выходу антидейтронов равно

$$n_{3\bar{H}} / n_{\bar{D}} = (0,84 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}.$$

Существование антитрития, наряду с антидейтерием и антигелием-3, является экспериментальным подтверждением справедливости СРТ-инвариантности взаимодействия частиц.

В этих экспериментах установлено также, что при указанных условиях наблюдения отсутствуют новые тяжелые частицы с массой в диапазоне 3-10 нуклонных масс и временем жизни  $> 10^{-7}$  сек. Соответствующая верхняя граница сечения на 90%-ном уровне достоверности равна

$$\frac{d^2\sigma}{dp d\Omega} = 2 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2 \text{ с} / \text{ГэВ} \cdot \text{стер} \cdot \text{ядро Al}.$$

◇ Закончен эксперимент по поиску гипотетического магнитного заряда - монополя Дирака на протонном синхротроне ИФВЭ. Анализ интенсивности и поляризации излучения Вавилова-Черенкова, возникающего в кварцевом радиаторе под действием протонов с энергией 70 ГэВ, позволил вести поиск как стабильных, так и нестабильных магнитных зарядов с временем жизни больше  $3 \cdot 10^{-11}$  сек.

При прохождении через установку  $6 \cdot 10^{16}$  протонов не наблюдалось событий, которые можно идентифицировать как генерацию магнитных монополей.

Установлено, что в условиях эксперимента в расчете на один ядерный нуклон мишени сечение рождения монополя Дирака оценивается следующим образом:  $\sigma / 95\% / < 9 \cdot 10^{-41} \text{ см}^2$  для массы монополя  $m = 5,5 m_p$ , и  $\sigma / 95\% / < 2 \cdot 10^{-40} \text{ см}^2$  для  $m_g \approx (3-4) m_p$ .

◇ Упругое электрон-дейтронное рассеяние при энергии 4 ГэВ изучалось на ускорителе Ереванского физического института в совместном эксперименте ОИЯИ, ЕрФИ, ИАФ /Бухарест/. Полученные значения дифференциальных сечений приведены в табл. 1.

Результаты позволяют безмодельным способом извлекать информацию об электромагнитном формфакторе дейтрона в области малых переданных импульсов. Среднеквадратичный радиус дейтрона равен  $\langle R_d^2 \rangle^{1/2} = /2,01 \pm 0,09 /$  ферми.

◇ Измерение нуклонного и пионного формфакторов во времениподобной области передаваемых импульсов продолжалось при исследовании реакции обратного электророждения ( $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$ ). На усовершенствованном варианте установки получена информация на порядок большего, чем ранее, объема: зарегистрировано около 1200 событий изучаемого типа; данные обрабатываются.

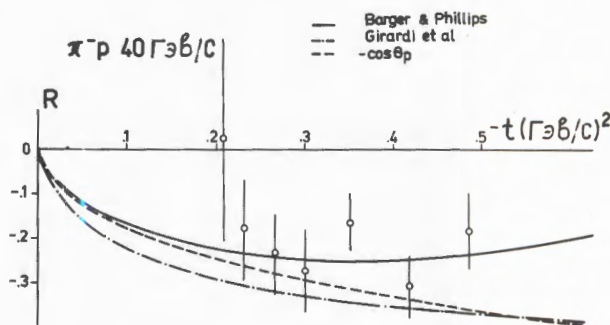
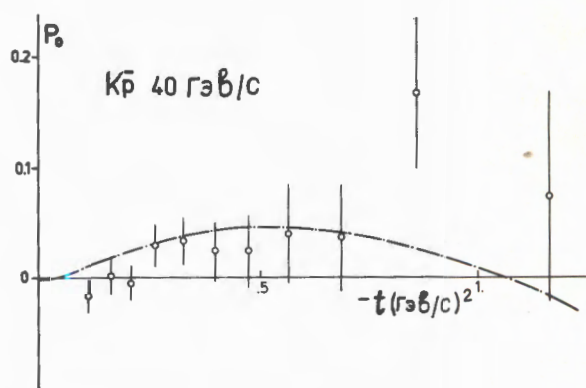
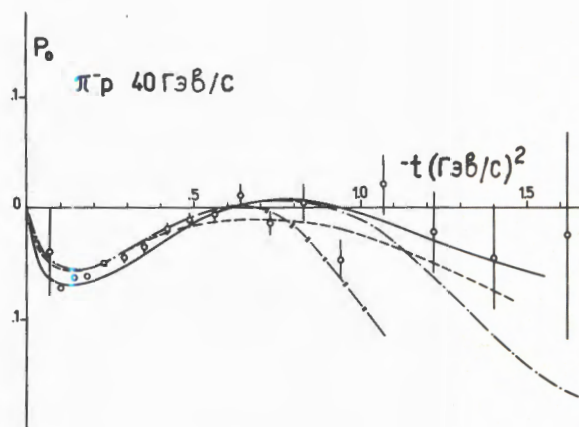
Таблица 1

$q^2$ , ферми <sup>-2</sup>	0,49	0,58	0,76	0,86	1,07	1,19
$\frac{d\sigma}{d\Omega} \frac{10^{-30} \text{ см}^2}{\text{стер}}$	$33,3 \pm 2,4$	$24,2 \pm 1,2$	$11,7 \pm 0,2$	$9,15 \pm 0,15$	$5,28 \pm 0,10$	$3,47 \pm 0,08$

Взаимодействие пионов  
и нуклонов  
с нуклонами и ядрами

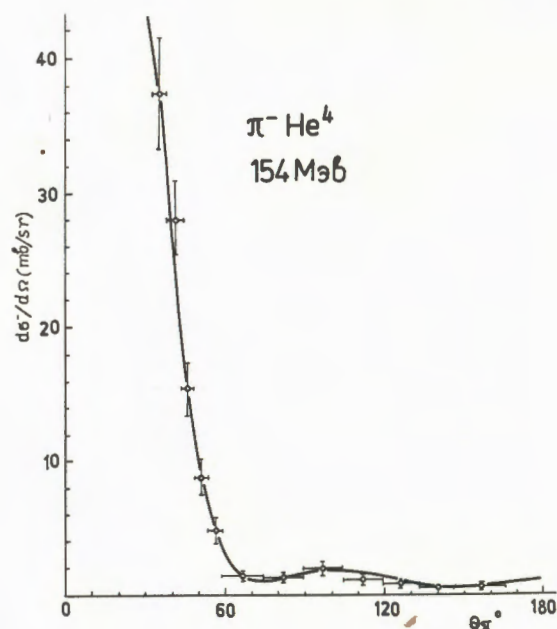
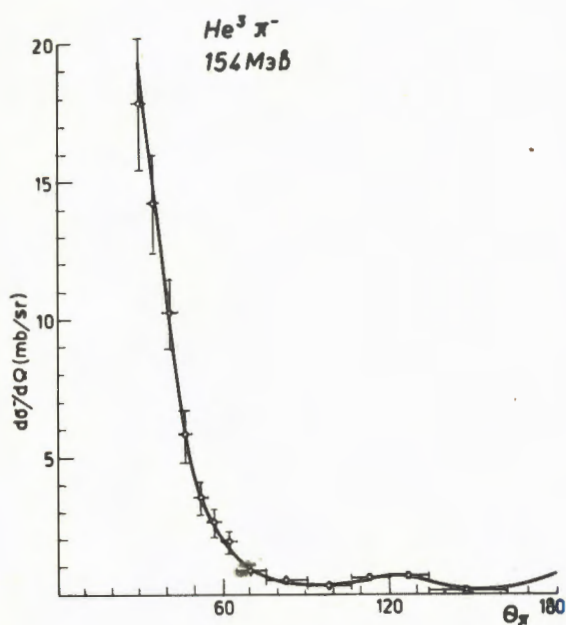
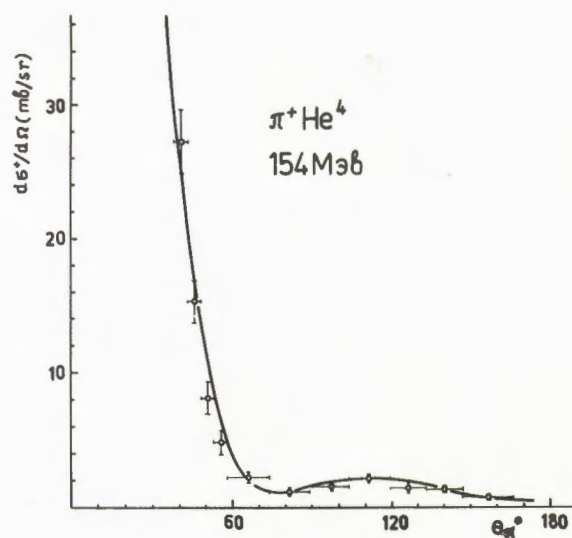
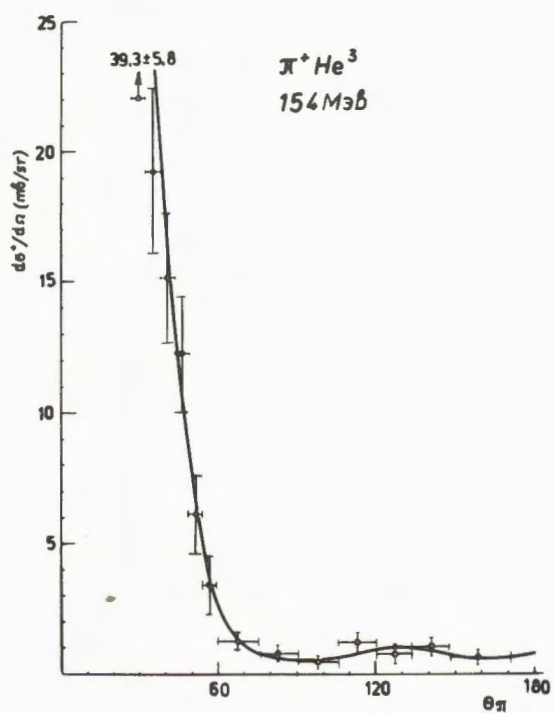
◇ Поляризационные параметры  $P$  и  $R$  в  $\pi^-p$  и  $K^-p$  - упругом рассеянии при  $40 \text{ ГэВ}/c$  измерялись в совместном эксперименте ИФВЭ-Сакле-ОИЯИ-ИТЭФ с целью изучения спиновой структуры амплитуд рассеяния. Поляризация  $P$  в упругом  $\pi^-p$  -рассеянии измерена в области квадрата переданного импульса  $0,08 \leq -t \leq 1,5 / \text{ГэВ}/c^2$ . Из сравнения с данными при других энергиях следует, что поляризация при больших значениях переданных импульсов падает быстрее, чем  $S^{-1}$ . Измерена поляризация в  $K^-p$  -рассеянии. Поляризация при  $-t = 0,6 / \text{ГэВ}/c^2$  зависит от энергии как  $S^{-(1,5 \pm 0,5)}$ . Предварительный анализ данных о параметре вращения поляризации  $R$  в  $\pi^-p$  -рассеянии показывает, что этот параметр мало меняется в широкой области энергий от 6 до  $40 \text{ ГэВ}$ . Среднее значение  $R$  в области  $0,2 \leq -t \leq 0,5 / \text{ГэВ}/c^2$  равно  $-0,09 \pm 0,23$ . Энергия  $40 \text{ ГэВ}$  является максимальной, при которой получены данные о поляризационных эффектах в мезон-нуклонном рассеянии.

◇ Упругое рассеяние пионов гелием-3 и гелием-4 в районе  $(3/2, 3/2)$ -резонанса изучалось с помощью магнитного спектрометра с гелиевой стримерной камерой группой сотрудников ОИЯИ, ИАФ/Бухарест/ и Туринского университета. В экспозициях на пионном пучке синхротрона получено 900 тыс. фотографий при пяти значениях энергии  $\pi^\pm$ -мезонов. Интерес к измерению дифференциальных сечений  $\pi^\pm$   $^4\text{He}$  -рассеяния связан с возможностью извлечения в таких опытах сведений об электромагнитном формфакторе пиона при условии детального знания амплитуды пион-ядерного взаимодействия. В результатах, по-



20. Предварительные результаты измерения поляризационных параметров в упругом  $\pi^-p$  и  $K^-p$  -рассеянии при  $40 \text{ ГэВ}/c$ .

21. Дифференциальные сечения упругого рассеяния пионов ядрами гелия-4 и гелия-3.



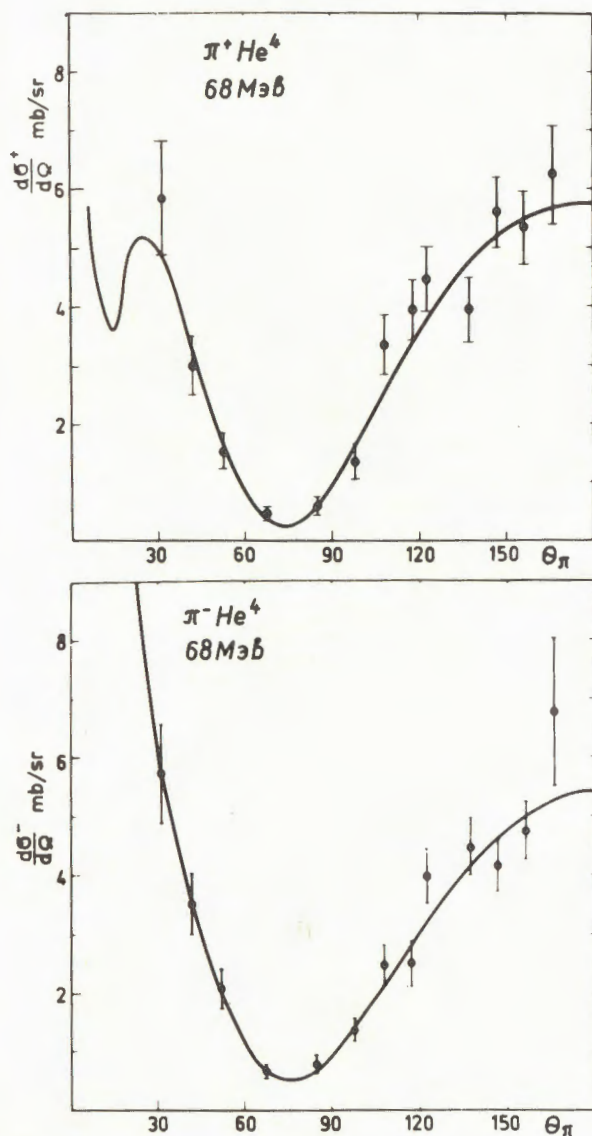


Таблица 2

Взаимодействие	Энергия	$\sigma_{el}, \text{mb}$	$\sigma_{tot}, \text{mb}$
$\pi^+ \text{He}$	68	$37,7 \pm 1,9$	$110,8 \pm 7,1$
$\pi^- \text{He}$	68	$32,8 \pm 1,4$	$88,6 \pm 6,0$
$\pi^+ \text{He}$	154	$124,0 \pm 7,7$	$337,6 \pm 14,6$
$\pi^- \text{He}$	154	$122,8 \pm 5,0$	$340,9 \pm 8,5$
$\pi^+ \text{He}$	154	$73,5 \pm 8,4$	-
$\pi^- \text{He}$	154	$48,4 \pm 4,1$	-
$\pi^+ \text{He} \rightarrow \pi^- + 4p$	100	-	$0,30 \pm 0,15$

лученных другими группами с помощью различных методов, имеются значительные расхождения. Систематические измерения, начатые в ОИЯИ при энергии 97 МэВ, продолжены в 1973 году при энергии 68 и 154 МэВ. Фазовый анализ полученных результатов подтверждает сделанное ранее заключение о резонансном характере фазовых сдвигов  $\pi^+ \text{He}$ -рассеяния при энергии около 145 МэВ. Предварительный анализ данных о рассеянии пионов ядрами  $\text{He}^4$  дает для электромагнитного радиуса пиона значение  $\langle r_\pi^2 \rangle^{1/2} = 0,80 \pm 0,40$  ферми.

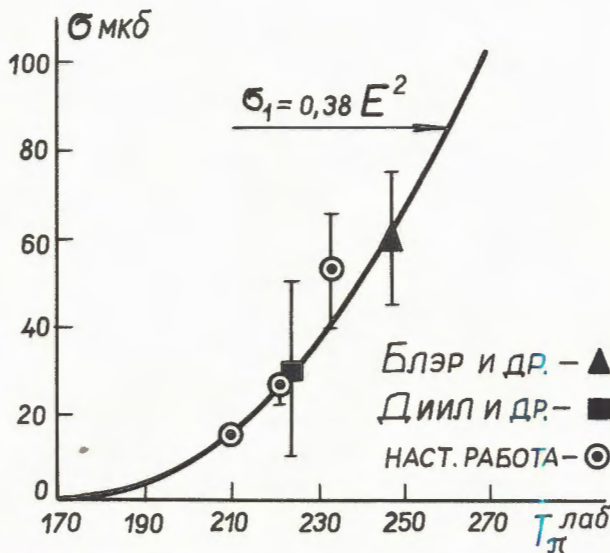
Дифференциальное сечение рассеяния  $\pi^+$ -мезонов ядрами  $\text{He}^3$  измерено при энергии 154 МэВ, в частности, с целью изучения возможности безмодельного определения константы ( $\pi^+ \text{He}^3$ )-взаимодействия. Величина этой константы, как показано в теоретической работе, выполненной в лаборатории, может быть связана соотношением Гольдбергера-Треймана с константой пион-нуклонного взаимодействия. Измерено также полное сечение /при энергии 100 МэВ/ малоинтенсивного канала взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с ядром  $\text{He}^4$ /реакции двойной перезарядки/. Полученные данные представляют значительный интерес и в связи с изучением проблемы взаимодействия пионов с малонуклонными системами.

Исследована реакция  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  вблизи ее энергетического порога. На основе теории образования трех сильно-взаимодействующих частиц вблизи порога /Грибов, Ансельм, Анисович/ проанализировано около 500 событий указанной реакции в интервале энергии 200-260 МэВ. Показано, что вся совокупность экспериментальных данных описывается матричным элементом

$$|M|^2 = |\lambda|^2 \{1 + C_1(K_{12}^2 - 1/2 E)\}$$

с двумя параметрами - коэффициентом наклона  $C_1 = 3,7 \pm 0,6$  и квадратом модуля

амплитуды реакции на пороге  $|\lambda_1|^2 = 4,5 \pm 0,6$ .



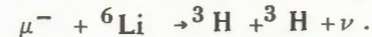
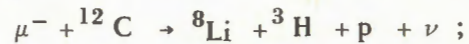
22. Энергетическая зависимость полного сечения реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^- p$  вблизи порога.

### Ядерная структура и механизм ядерных реакций

◇ Исследование поляризационных явлений в процессах взаимодействия частиц высоких энергий с ядрами оказывается особенно чувствительным как к механизму реакции, так и к ядерной структуре. Прямая ядерная реакция ( $p, 2p$ ) исследовалась на поляризованном пучке протонов с энергией 635 МэВ. Измерена праволевая асимметрия в угловом распределении протонов от реакции  $p + {}^6\text{Li} \rightarrow p + p + {}^5\text{He}$  при рассеянии на  $57^\circ$  в системе центра масс налетающего протона и протона в ядре  ${}^6\text{Li}$ . Получены первые данные о зависимости асимметрии от значения проекции импульса ядерного протона на направ-

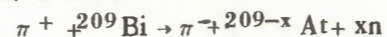
ление падающего протона. Эти результаты чувствительны к предположению о состоянии, в котором находится протон в ядре  ${}^6\text{Li}$ .

◇ Исследование механизма ядерного захвата  $\mu^-$ -мезонов проводилось при измерении энергетических спектров и угловых корреляций в реакциях

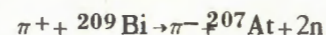


С помощью фотоэмульсионной методики зарегистрировано около 500 событий такого типа. Измерены также вероятности испускания и распределение по множественности заряженных частиц, образующихся при  $\mu^-$ -захвате в легких /C, N, O/ и тяжелых /Ag, Br/ ядрах фотоэмульсии. Впервые измерены спектры вторичных заряженных частиц из  $\mu^-$ -захвата во всей кинематически доступной области энергий - от самых малых энергий порядка одного МэВ до максимальной энергии в несколько десятков МэВ. Такие измерения в настоящее время практически невыполнимы другими методами. Анализ полученных данных позволяет проверить существующие теоретические представления о механизме ядерного захвата мюонов.

◇ Реакции двойной перезарядки пионов на тяжелых ядрах исследовались методами радиохимии и ядерной спектроскопии для выяснения влияния структуры ядра на вероятность процесса. Примененная методика позволила впервые идентифицировать конечные тяжелые ядра среди продуктов двойной перезарядки. Изучение реакций типа

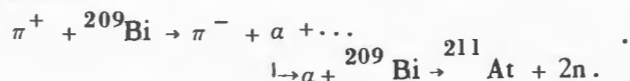


при энергии пионов 90 МэВ показало, что сечение процесса



равно  $12 \pm 3 \cdot 10^{-29} \text{ см}^2$ , а сечение упругой двойной перезарядки

$\sigma (\pi^+ {}^{209}\text{Bi} \rightarrow \pi^- {}^{209}\text{At})$  не превышает  $10^{-29} \text{ см}^2$ . Образование в тех же условиях ядер астата-211 интерпретируется как результат последовательных реакций



Значительная вероятность первой из этих реакций указывает на интенсивный характер двойной перезарядки на тетранейтронных кластерах в ядре висмута.

◇ *Взаимодействие отрицательных мюонов с делящимися элементами* исследовалось для выяснения влияния на барьер деления мюона, находящегося на орбите 1S. С этой целью в опытах с многослойной ионизационной камерой были уточнены значения вероятности деления протонов  ${}^{235}\text{U}$  и  ${}^{238}\text{U}$  при безрадиационных переходах мюона. Для оценки вероятности безрадиационных переходов в мезоатоме  ${}^{238}\text{U}$ , включая и переходы из состояний 3D и 4F, с помощью германиевого детектора измерены спектры мезорентгеновского излучения  ${}^{238}\text{U}$  и Pb.

Спектроскопия  
нейтронодефицитных ядер.  
Короткоживущие изотопы.  
Радиохимия

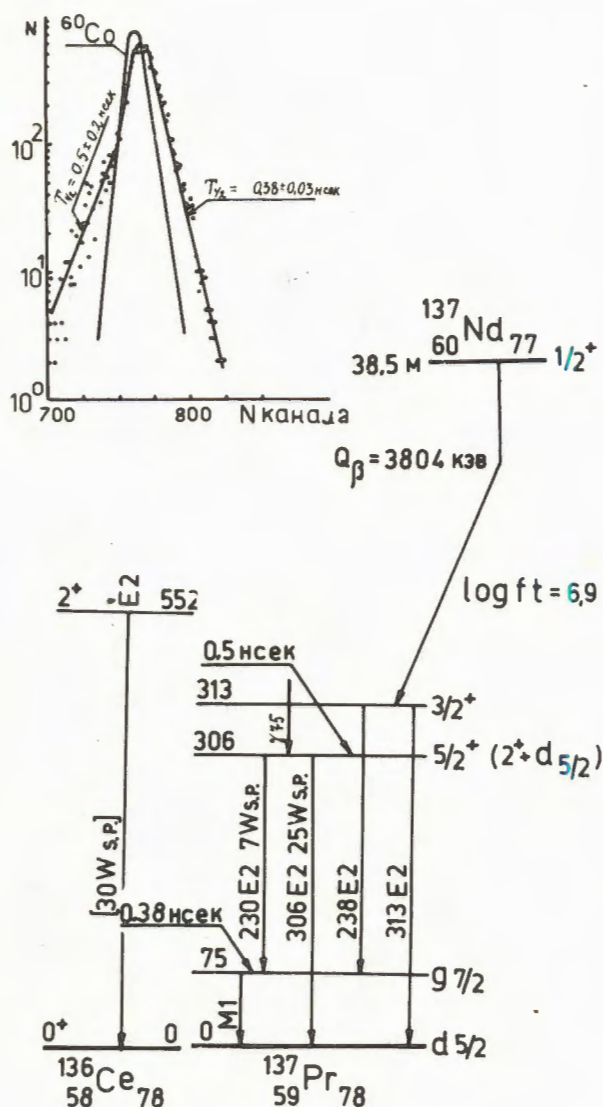
Методами ядерной спектроскопии и радиохимии исследован широкий круг изотопов, возникающих в ядерных реакциях под действием протонов с энергией 670 МэВ /программа ЯСНАПП/.

◇ *Схемы распада нейтронодефицитных изотопов* изучались преимущественно для короткоживущих изотопов с периодами полураспада вплоть до 1 минуты. Завершено исследование распада основного

/  $T_{1/2} = 14 \text{ мин}$  / и изомерного /  $T_{1/2} = 7,3 \text{ мин}$  / состояний ниобия-88. Проанализирована структура возбужденных коллективных и двухквартичных состояний циркония-88. Закончены исследования распада изотопов рубидия-77 и 78, ниобия-87 и 89. Открыт новый изотоп - ниобий-86 /  $T_{1/2} = 1,4 \text{ мин}$  /.

◇ *Деформированные ядра редкоземельных элементов /РЗЭ/* с большим недостатком нейтронов /  $90 \leq N \leq 108$ ,  $Z = 65-75$  / исследовались с применением разработанной в лаборатории методики разделения изобаров РЗЭ без их химического разделения /методика "горячего тантала"/. Открыто 11 новых изотопов и изомеров с периодом полураспада от двух до семи минут и получена обширная информация о структуре возбужденных состояний нейтронодефицитных деформированных ядер. Измерено время жизни для ряда возбужденных состояний ядер  ${}^{163}\text{Er}$  и  ${}^{165}\text{Er}$ . Полученные результаты проанализированы в рамках модели Нильсона с учетом парных корреляций и взаимодействия Кориолиса. В сотрудничестве с Сассекским университетом /Англия/ изучался распад ядер тербия-153, 154, 155 и тулия-165 с применением методов ориентирования ядер при сверхнизких температурах.

◇ *Закончен цикл экспериментальных исследований* свойств возбужденных состояний ядер в области перехода от сферической формы к деформированной /  $82 \leq N \leq 26$  /. Изучена структура уровней короткоживущих изотопов таллия, диспрозия, тербия и более легких РЗЭ. Измерены спектры  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов  ${}^{138}\text{Nb}$  и  ${}^{138}\text{Pr}$ . Установлены квантовые характеристики ряда уровней этих изотопов. Показано, что некоторые из возбужденных состояний возникают при наложении вибраций четно-четного остова на одночастичные состояния неспаренных нуклонов.



23. К идентификации коллективных состояний в ядре  $^{137}\text{Pr}$ . Из кривых задержанных совпадений следует, что состояния с энергией возбуждения 306 ( $5/2^+$ ) и 75 ( $7/2^+$ ) кэВ имеют периоды полураспада 0,5 и 0,38 нсек соответственно. Уровень 306 кэВ, разряжающийся двумя сильно ускоренными E2-переходами, интерпретируется как коллективный, обязанный наложению квадрупольных колебаний четного-четного остова на одночастичное состояние  $d_{5/2}$ .

◇ Исследовались  $\alpha$ - и  $\beta$ -распады изотопов франция, радона, астата и полония. Изучены короткоживущие изотопы радона с массовыми числами 205, 206, 207 и 208. В измерениях чрезвычайно сложных спектров излучения долгоживущих изотопов этих элементов при помощи  $\gamma$ -спектрометров с Ge(Li) и кремниевыми детекторами достигнута высокая точность определения энергии  $\gamma$ -переходов /10-30 эВ при энергии 1 МэВ/ и интенсивности переходов /~2%/ . Это позволило определить спины, четности и вероятности заселения для большинства возбужденных состояний указанных изотопов.

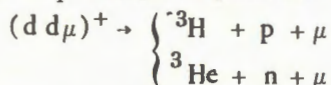
◇ Определены оптимальные условия получения высокорadioактивных препаратов иода, а также тербия из гадолиния и редкоземельных элементов из облученного тантала. Отработаны методы сорбции радиоактивных лантанидов ионитом из фторидных растворов, электроосаждения гидроокисей РЗЭ из бутиратных растворов, быстрые газотермохроматографические методы выделения молибдена, вольфрама, рения, таллия, астата. Проведен широкий круг радиохимических исследований. Обеспечено снабжение институтов стран-участниц ОИЯИ высокорadioактивными препаратами изотопов редкоземельных элементов.

Мезомолекулярные процессы.  
Электронная структура  
вещества

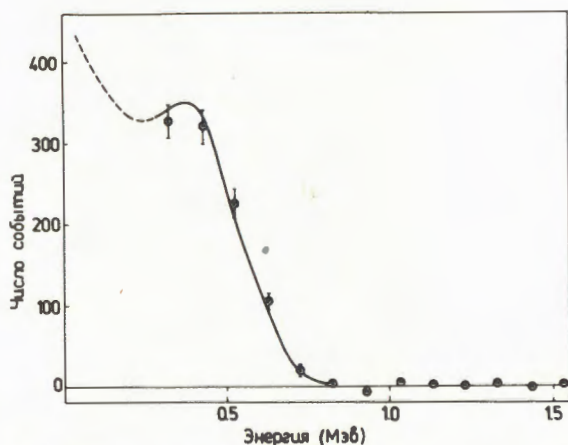
◇ Исследована реакция синтеза  $d\mu + d \rightarrow {}^3\text{He} + n + \mu$  в газообразном дейтерии с целью выяснения механизма образования  $(dd\mu)^+$ -мезомолекулы. Выход и временное распределение нейтронов из указанной реакции измерены в опытах с газовой мишенью, наполненной сверхчистым дейтерием до давления 41 атм и установленной на мюонном пучке синхротро-



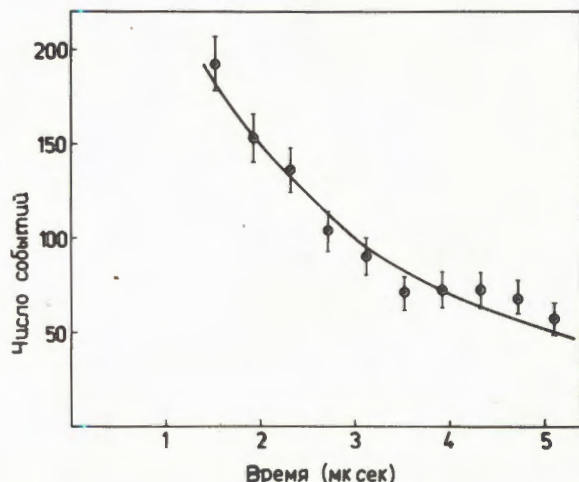
трона. Остановки мюонов в газе выделялись с помощью сцинтилляторов, расположенных внутри мишени. Нейтроны детектировались размещенными вокруг мишени сцинтилляционными счетчиками с кристаллами стибьена. Установлено, что скорость  $\lambda_f$  ядерной реакции



существенно превышает скорость распада свободного мюона  $/\lambda_0 = 4,55 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}/$ . На 90%-ном уровне достоверности  $\lambda_f > 1,8 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$ . Для скорости образования системы  $(dd\mu)^+$  определено значение  $\lambda_{dd\mu} = /0,73 \pm 0,07/ \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$  /средняя энергия  $d\mu$ -атомов  $E_{d\mu} \approx 0,03 \text{ эВ}$ /, совпадающее в пределах экспериментальной точности со значением  $0,75 \pm 0,11$ , полученным ранее в лаборатории методикой диффузионной камеры. Это значение  $\lambda_{dd\mu}$



24. Экспериментальное амплитудное распределение импульсов счетчика, регистрирующего нейтроны из реакции  $(dd\mu)^+ \rightarrow {}^3\text{He} + n + \mu$  в газообразном дейтерии. По оси абсцисс отложена энергия протонов отдачи /в масштабе эквивалентной энергии электронов/, по оси ординат - число событий в интервале  $0,06 \text{ МэВ}$ . Линией показана ожидаемая форма спектра, рассчитанная методом Монте-Карло на ЭВМ.



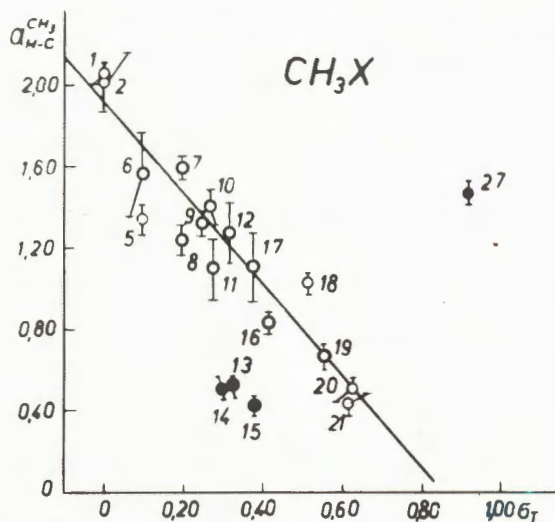
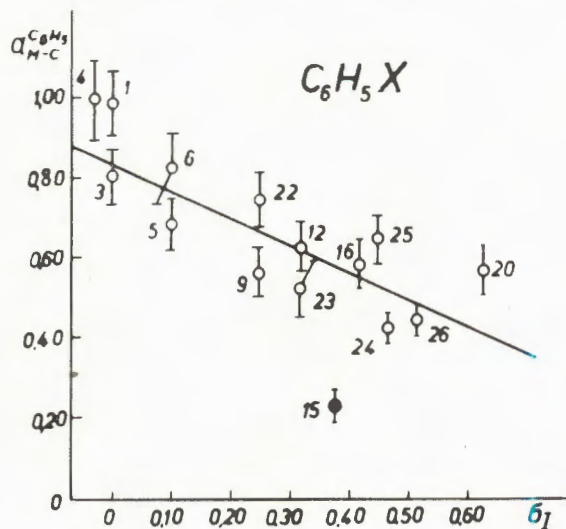
25. Распределение нейтронов из реакции  $(dd\mu)^+ \rightarrow {}^3\text{He} + n + \mu$  по интервалу времени от остановки мюона до образования нейтрона. Сплошная линия - результат подгонки к экспериментальным точкам при оптимальном выборе значений скорости образования  $dd\mu$ -мезомолекулы и скорости ядерной реакции.

на порядок превышает найденное в опытах с жидким дейтерием  $/E_{d\mu} \approx 0,003 \text{ эВ}/$ . Для объяснения столь резкого различия авторами работы, выполненной на диффузионной камере, привлекалось предположение о существовании резонансного по энергии  $d\mu$ -атома механизма образования  $(dd\mu)^+$ -системы. Последующие теоретические расчеты Весмана и Пономарева показали, что в  $(dd\mu)^+$  системе действительно существует вращательно-колебательный уровень с энергией  $0,7 \text{ эВ}$ , и учет его возбуждения позволяет объяснить имеющиеся опытные данные.

Систематически исследовалось поведение  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов в веществе с целью обоснования и развития нового направления в изучении электронной структуры вещества - "мезонной химии".

◇ Внутримолекулярные электронные эффекты в органических соединениях изуча-

лись путем измерения вероятности ядерного захвата  $\pi^-$ -мезонов. Замещение водорода в органическом соединении атомом с отличными от водорода электрон-донорными или акцепторными свойствами приводит к перераспределению плотности валентных электронов в молекуле. След-



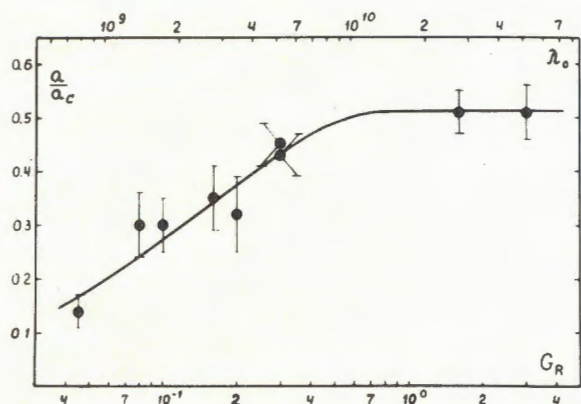
26. Корреляция коэффициентов  $a_{H-C}^{C_6H_5}$  и  $a_{H-C}^{CH_3}$  с индукционными постоянными, наблюдавшаяся в экспериментах по захвату  $\pi^-$ -мезонов в органических соединениях.

ствием этого является изменение вероятности захвата  $\pi^-$ -мезонов водородом. Использование метода дейтерирования сложных замещенных молекул с водородсодержащими функциональными группами /например,  $C_6H_5-NH_2$  и  $C_6H_5-ND_2$ / позволило детально проследить за перераспределением валентных электронов в молекуле. Обнаружена линейная корреляция между коэффициентами  $a_{Z-H}$ , характеризующими вероятность захвата  $\pi^-$ -мезонов, и индукционными постоянными  $\sigma_I$ , определяющими свойства заместителей. Этот факт может быть полезен для определения индукционных констант и связанной с ними реакционной способности замещенных соединений в тех случаях, когда традиционные химические методы неэффективны.

Показано также наличие корреляции между коэффициентами  $a_{Z-H}$  и константами автопротолиза для широкого круга  $CH-$ ,  $OH-$  и  $NH-$  кислот. Это позволяет надежно определять константы автопротолиза соединений в таком диапазоне величин /до  $K \approx 10^{-42}$  /, где обычные физико-химические методы дают весьма приближенные результаты.

◇ Деполяризация отрицательных мюонов, останавливающихся в конденсированных средах, изучалась методом прецессии спина мюона в слабом поперечном магнитном поле. Измерена зависимость остаточной поляризации мюонов от концентрации водного раствора перекиси водорода, что позволило впервые определить константу скорости химической реакции  $N + H_2O_2$ .

Установлена корреляция между остаточной поляризацией мюонов в веществе и радиационной устойчивостью этого вещества. Полученные результаты хорошо объясняются формальной теорией, основанной на представлении о быстрых химических реакциях мезоатомов с радикалами, образующимися при радиолизе изучаемого вещества.



27. Зависимость относительного коэффициента асимметрии в угловом распределении электронов распада  $\mu^-$ -мезонов, останавливающихся в различных углеводородах, от величины радиационного выхода радикалов. Кривая - результат расчета, позволяющего определить скорость вступления мезорадикалов в химическую реакцию.

С целью выяснения механизма деполяризации мюонов измерена остаточная поляризация мюонов в остановках, сопровождающихся испусканием мезорентгеновских квантов. Экспериментальная зависимость поляризации от энергии мезоатомного перехода требует введения нового механизма деполяризации, действующего в области мезоатомного каскада с  $n_{\mu} \approx Z$ .

#### Теоретические исследования

Основное направление теоретических исследований непосредственно связано с экспериментальными исследованиями, проводимыми на синхротронном ОИЯИ и на ускорителе в Серпухове.

♦ Рассмотрены электромагнитные эффекты в поляризации барионов в упругом рассеянии нуклонов и нейтральных гиперонов протонами и в процессах когерентного рождения нестабильных частиц. По-

казано, что в упругом рассеянии на малые углы при высоких энергиях нуклоны и нейтральные барионы должны быть сильно поляризованы, в то время как протоны отдачи остаются неполяризованными. Сильная поляризация должна наблюдаться и у барионов, образующихся в процессах когерентного рождения нестабильных частиц. Изучение этой поляризации позволит более точно определить времена жизни нестабильных частиц и магнитные моменты гиперонов.

♦ Исследовано поведение полных сечений адронных взаимодействий с ростом энергии. Показано, что интерференция обмена  $\gamma$ -квантом и  $\rho$ -мезоном в процессе периферического рождения двух струй частиц приводит к логарифмическому росту полного сечения. Показано, что для  $pp$ -взаимодействия в интервале энергий ускорителей ИФВЭ - ISR рассмотренный эффект приводит к увеличению полного сечения  $pp$ -взаимодействия на 1 мбарн.

♦ Взаимодействие нуклонов с ядрами при средних энергиях анализировалось в приближении Глаубера. Показана важность учета спиновых эффектов в упругом рассеянии протонов ядрами  ${}^3\text{He}$ , указаны поляризационные эффекты, наиболее чувствительные к применяемым предположениям. Выяснено, что учет эффектов отдачи и непрямолинейности движения налетающей частицы в ядре приводит к дополнительной фазе амплитуд, описывающих многократные столкновения.

Развита теория процесса перезарядки нуклонов на дейтронах и показано, что исследование этого процесса при высоких энергиях позволяет определить спиновую зависимость амплитуды  $p$ -перезарядки.

♦ Рассмотрен вопрос о константе связи пион- ${}^3\text{He}$ - ${}^3\text{H}$  в применении к проводимым в лаборатории исследованиям взаимодействия пионов с ядрами  ${}^3\text{He}$ . С помощью дисперсионного соотношения Гольдберге-Треймана вычислено отношение квад-

ратов псевдоскалярных констант связи пиона с гелием-3 и нуклоном. Определенный расчетом зарядовый радиус  $^3\text{He}$  хорошо согласуется с экспериментальным значением.

◇ При статистическом анализе мировых данных о  $e\text{d}$ -рассеянии в соответствии с масштабным законом определен магнитный формфактор дейтрона. Показано, что для получения определенных заключений о зарядовом формфакторе нейтрона необходимо прежде всего заметно улучшить /до 2-5%/ существующую точность определения абсолютных значений дифференциальных сечений упругого  $e\text{d}$ -рассеяния.

Анализ мировых данных о глубоконеупругом  $e\text{p}$ -рассеянии позволил найти структурные функции протона и установить область масштабной инвариантности для функций  $W_2$ .

С целью проверки точности  $\mu\text{-e}$  универсальности проанализированы данные о глубоконеупругом  $e\text{p}$  и  $\mu\text{p}$ -рассеянии. Показана их совместимость при условии перенормировки сечения  $\mu\text{p}$ -взаимодействия примерно на 15%.

## Крупные экспериментальные установки.

### Новые методы исследования.

#### Электроника

◇ Осуществлен физический запуск пентиметрового магнитного искрового спектрометра /МИС/. Получены первые 14 тысяч фотографий в пионном пучке ускорителя ИФВЭ с целью исследования процессов дифракционной диссоциации пионов на ядрах. Подготовлен ряд программ для обработки экспериментальной информации.

◇ Усовершенствован цилиндрический магнитный искровой спектрометр для изучения редких распадов мюонов и пионов.

◇ Экспериментально показана возможность создания трекового детектора нового типа - стримерной камеры с голографической регистрацией треков. Получены изображения треков электронов в стримерной камере, наполненной гелием. Определяющей особенностью метода является то, что трек регистрируется не фотографированием собственного свечения электрического разряда, а путем возмущения световой волны лазера оптическими неоднородностями вблизи траектории заряженной частицы. Результаты экспериментов, выполненных совместно с Ленинградским институтом ядерной физики АН СССР, указывают на возможность существенного улучшения методики стримерных камер - расширения диапазона давлений и набора рабочих газов, применения методов голографической обработки информации.

◇ Получены треки  $\pi$ -мезонов с энергией 340 МэВ при возбуждении в жидком водороде стоячих ультразвуковых волн. Этот результат свидетельствует о возможности создания и практического применения нового трекового детектора ионизирующих частиц - жидководородной ультразвуковой пузырьковой камеры.

◇ Продолжалось развитие лабораторного центра накопления и обработки информации. Усовершенствована единая автоматизированная система связи всего оборудования центра. Дальнейшее развитие получило использование ЭВМ HP-2116С, к которой подключено дополнительное оборудование /в том числе экранный пульт/. Ввод в действие новых программ приема информации от экспериментальных устройств и вывода на дисплей и графопостроитель позволил начать широкое использование этой ЭВМ в физических экспериментах. Завершаются работы по вводу в эксплуатацию ЭВМ М-6000.

ЭВМ "Минск-22" отработала более 2200 часов, в том числе 1200 часов на

линии с экспериментальной аппаратурой. Заканчивается отладка системы связи между ЭВМ "Минск-22" и БЭСМ-6.

Осуществлена связь многоканального анализатора "Тридак" с ЭВМ "Минск-2", используемой для обработки спектрометрической информации.

◇ Разрабатывалась электронная аппаратура для физических экспериментов.

а/ Создана система наносекундных логических блоков, обеспечивающая проведение широкого круга экспериментов на синхроциклотроне и ускорителе 76 ГэВ. В эксплуатации находится свыше 2 тыс. блоков. Разрабатывается новая система наносекундных блоков на интегральных схемах.

б/ Разработана новая серия блоков в стандарте КАМАК для регистрации информации и связи экспериментальной аппаратуры с накопительными устройствами и ЭВМ: двоичные счетчики пяти типов на частоты от 25 до 150 МГц, счетчик-таймер, регистр констант, индикатор магистрали, контроллер с фиксированными программами, проверочные контроллеры двух типов и блок внешнего управления.

в/ Разработан ряд прецизионных спектрометрических устройств для анализа импульсов от полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов. Создан зарядочувствительный предусилитель, позволяющий получать с кремниевым детектором разрешение до 370 эВ на линии 17 кэВ, разработана серия спектрометрических усилителей и временных спектрометрических трактов для работы при больших нагрузках. Созданная аппаратура обеспечивает проведение программы ЯСНАПП на высоком техническом уровне. Введено в эксплуатацию несколько комплектов амплитудных преобразователей для двухмерного и 8-мерного амплитудного анализа.

◇ Изготовлены 4 системы для определения профиля пучков заряженных частиц

с помощью ионизационных и пропорциональных камер в экспериментах на синхроциклотроне и ускорителе ИФВЭ.

Разработки

в области ускорителей

◇ Завершен большой объем научно-исследовательских, конструкторских и технических работ, связанных с реконструкцией синхроциклотрона в сильноточный фазотрон /установка "Ф"/.

а/ Проведены расчеты по оптимизации системы возбуждения колебаний для заброса частиц в выводной магнитный канал; разрабатывается конструкция железно-токового канала, рассчитана электростатическая система вывода; выполнен технический проект системы вывода пучка из ускорителя.

б/ Изготовлена модель секции железно-токового канала и закончен монтаж системы его питания; изготовлен и смонтирован стенд ионного источника, начато исследование захвата ионов в процессе ускорения; изготовлен и налажен комплекс ядерных и холловских магнитометров с автоматической настройкой и регистрацией результатов измерений.

в/ На действующем синхроциклотроне смонтирована и введена в эксплуатацию система растяжки во времени протонного пучка методом С-электрода. На этой системе, являющейся прототипом системы растяжки пучка установки "Ф", проведен первый цикл исследований. Основным результатом является увеличение длительности выведенного протонного пучка примерно в 10 раз, как и предполагалось по расчету. Введение этой растяжки позволило в ряде физических экспериментов на протонном пучке снизить фон в несколько десятков раз, что обеспечивает возможность постановки тонких исследований, ранее недоступных.

Сооружен прототип вариатора частоты ускоряющего поля установки "Ф" из алюминиевого сплава без покрытия /в отличие от ранее применявшихся вариаторов из меди с никель-кремниевыми покрытиями/. Вариатор установлен на действующем синхроциклотроне и проходит испытания. Полуторамесячная эксплуатация показала обнадеживающие результаты. При соответствующих напряжениях отмечено увеличение интенсивности ускоренного пучка в 1,5-2 раза.

г/ Закончено изготовление всех секций обмоток возбуждения электромагнита и полюсных дисков. Начато изготовление элементов вакуумной камеры установки "Ф". Продолжается строительство комплекса необходимых технических зданий.

◇ Продолжалась разработка прототипа изохронного циклотрона У-120М с регулируемой энергией. Выполнены чертежи всех систем ускорителя в объеме рабочего проекта. Смонтирована система питания и стабилизации обмоток магнита и вакуумная система. Закончены расчеты электростатической системы вывода пучка из ускорителя. Выполнен цикл расчетов по разводке пучков. В систему управления ускорителем включена ЭВМ М-6000.

◇ В результате теоретических исследований обнаружен новый динамический эффект расширения замкнутой орбиты в периодических структурах магнитных полей, позволяющий получить режим ускорения частиц с разделенными орбитами только на конечных радиусах ускорителей /в отличие от ускорителя СОС, где требовалось разделение орбит в течение всего процесса ускорения/. Обнаруженный эффект обеспечивает возможность вывода 100%-ной интенсивности ускоренного пучка из камеры ускорителя, что является важным требованием для сильноточных циклотронов /интенсивность 10-100 мА/.

◇ В связи с разработкой плана развития ОИЯИ на 1975-1990 гг. предложен силь-

ноточный протонный циклический ускоритель типа кольцевого циклотрона с жесткой фокусировкой на энергию 800 МэВ при интенсивности до 100 мА. Определены основные параметры такого ускорителя.

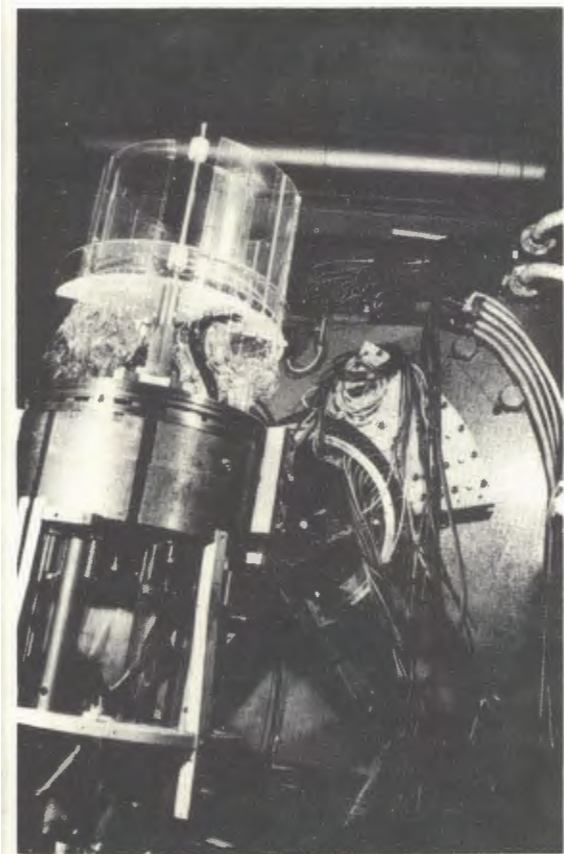
#### Работа синхроциклотрона

№№ пп	Вид работы	Время в часах	%
1.	Экспериментальные работы по физике	5300	80,3
2.	Исследования от-дела синхроцикло-трона	150	2,3
3.	Подготовка к рабо-те физической аппа-ратуры и техноло-гическая подготов-ка ускорителя	1100	16,6
4.	Эксплуатационные простои	50	0,8
5.	Ремонтные и мон-тажно-наладочные работы	1830	
6.	Работа мезонного тракта	2700	
7.	Работа системы растяжки мезон-ного пучка	2300	
8.	Работа протонного тракта	500	
9.	Работа системы растяжки протон-ного пучка	100	

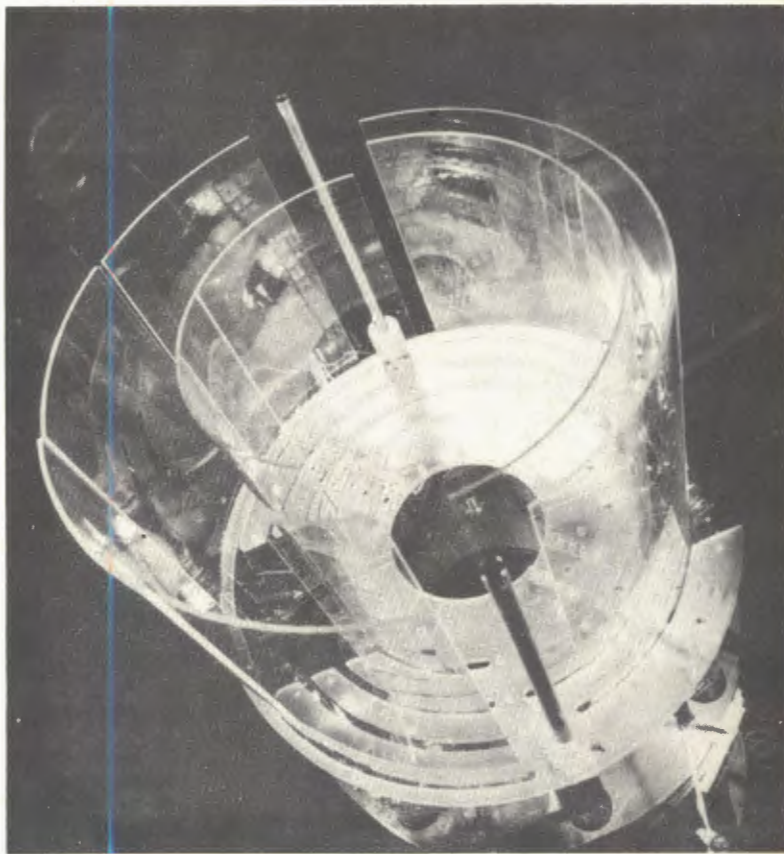
Интенсивность внутреннего пучка - 2,3 мкА.

Интенсивность выведенного протонного пучка -  $1,1 \cdot 10^{12}$  прот/сек.

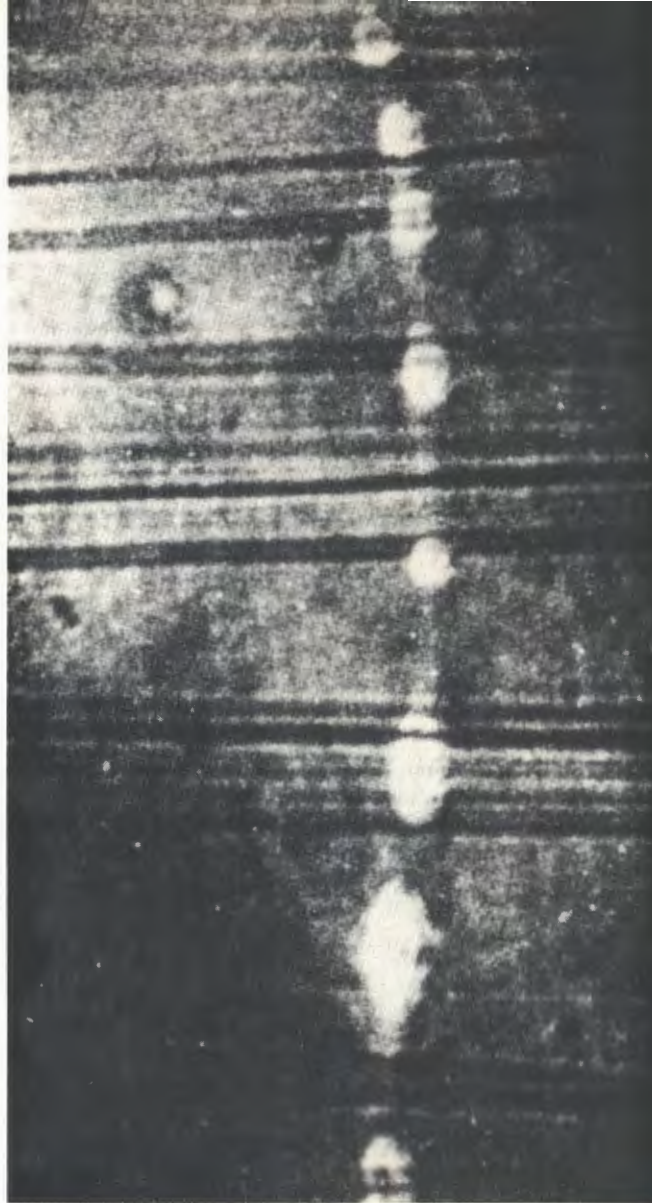
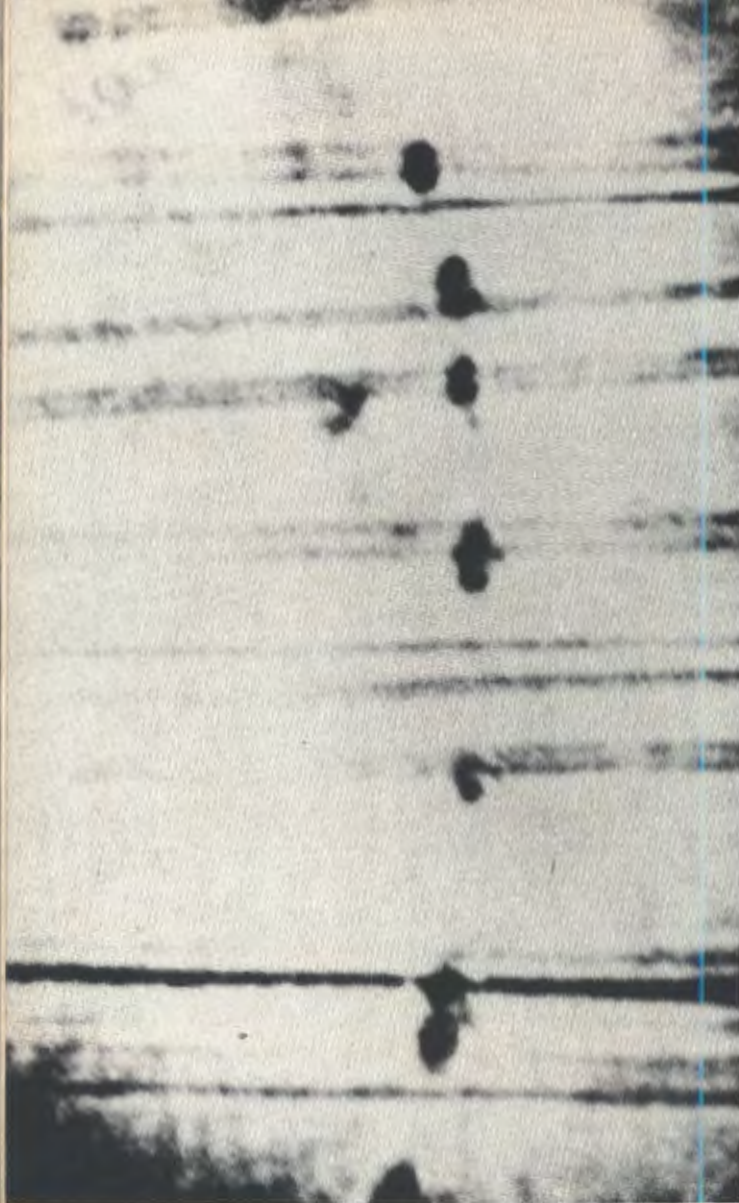
Интенсивность "растянутого" мезонного пучка - 45% /от полной интенсивности/ при эффективной длительности 65% /от длительности цикла/.



*Общий вид цилиндрического магнитного искрового спектрометра. Установка создается для изучения редких распадов пионов и мюонов с большой эффективностью и высоким энергетическим разрешением.*



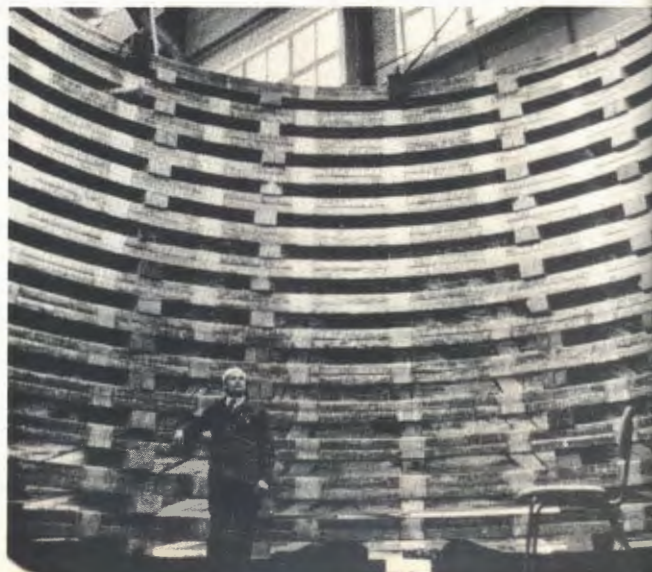
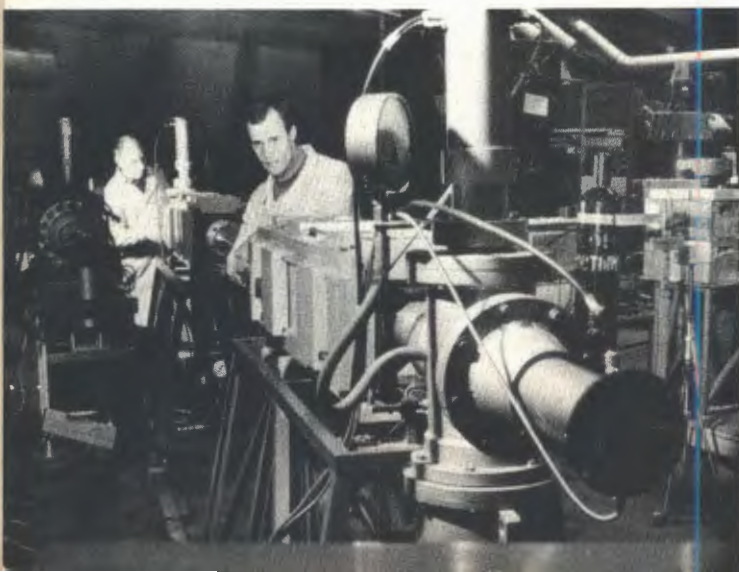
*Сцинтилляционный годоскоп цилиндрического магнитного искрового спектрометра.*



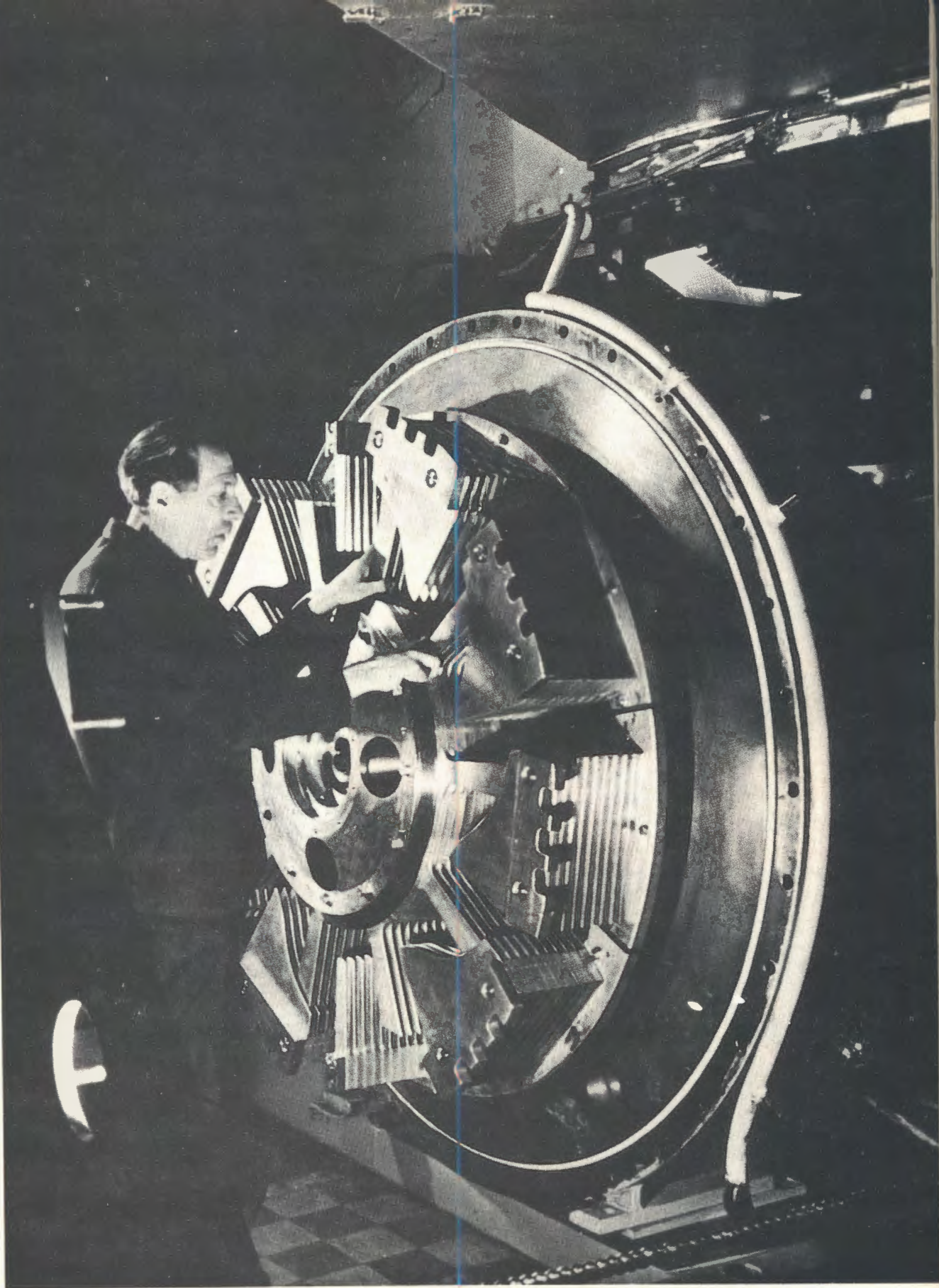
Учеными Института показана возможность создания трекового голографического детектора на основе стримерной камеры. На снимке: фотографии трека электрона в гелии, полученные путем восстановления голограммы под разными углами.

Спектрометр для идентификации продуктов ядерных реакций, работающий на линии с ЭВМ. С помощью этой установки исследуется кластерная структура ядер и механизм ядерных реакций.

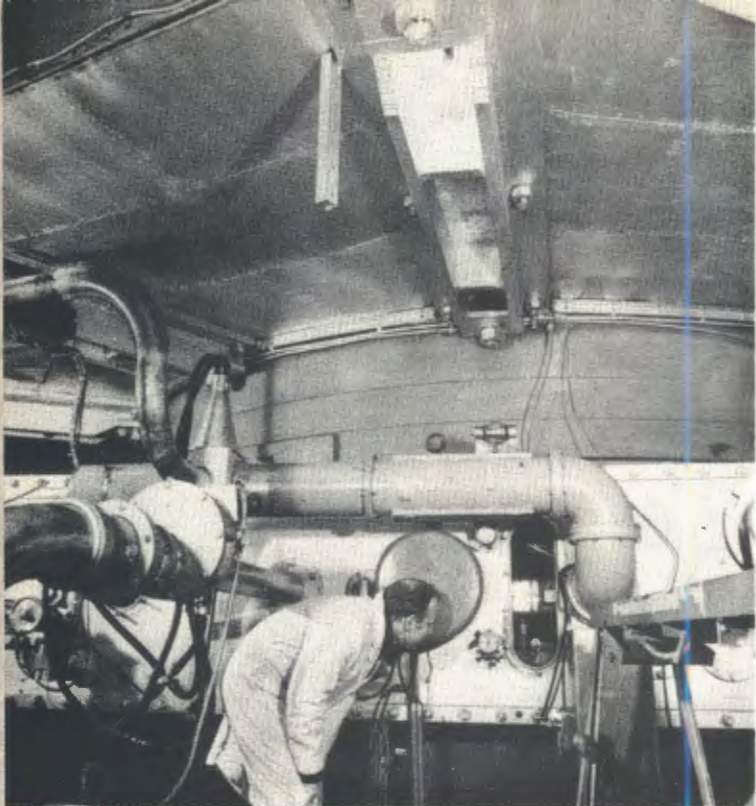
Закончено изготовление основных обмоток электромагнита сильноточного фазотрона, создаваемого в ОИЯИ на базе синхротрона.





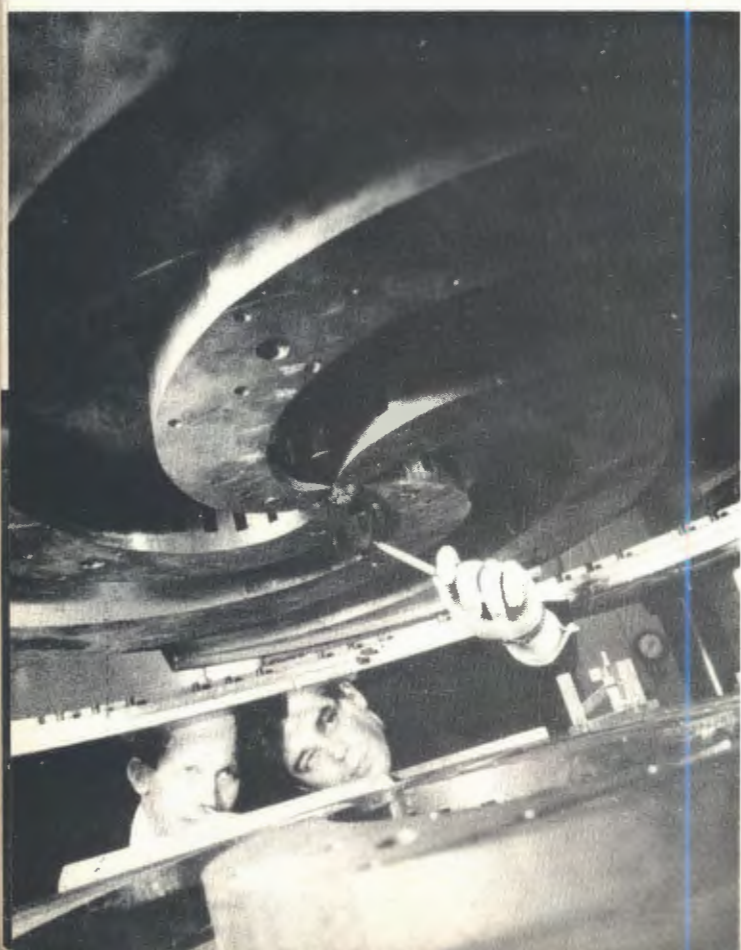
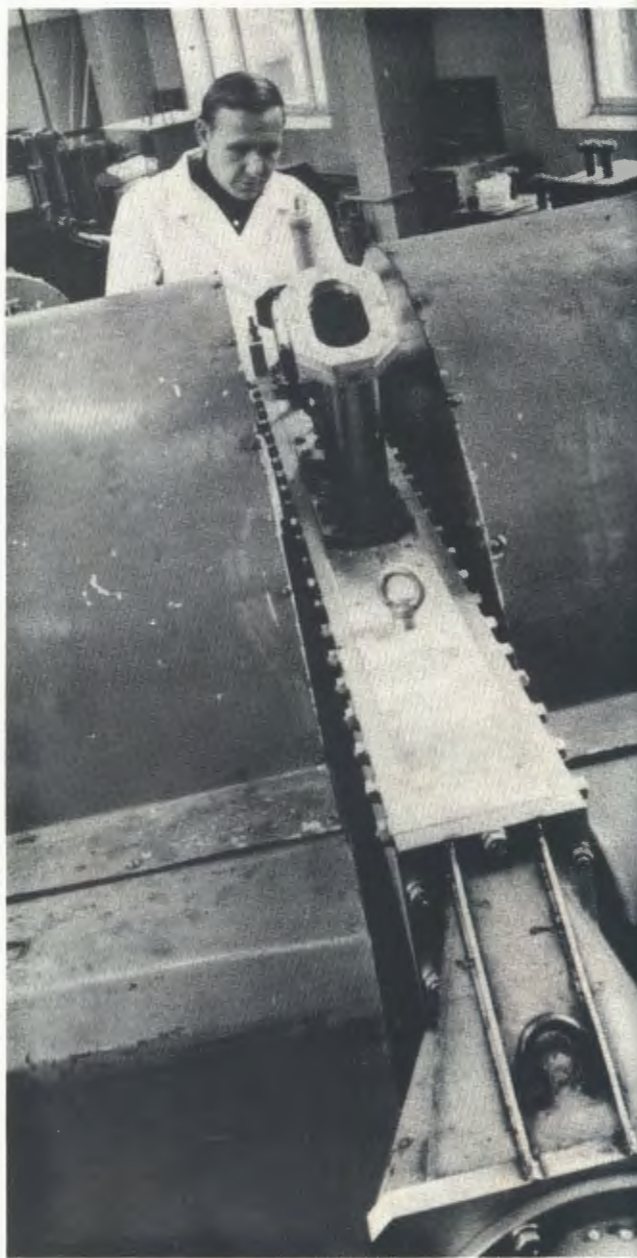


*Новый вариатор частоты установлен на синхроциклотроне. Он является моделью вариатора установки "Ф".*

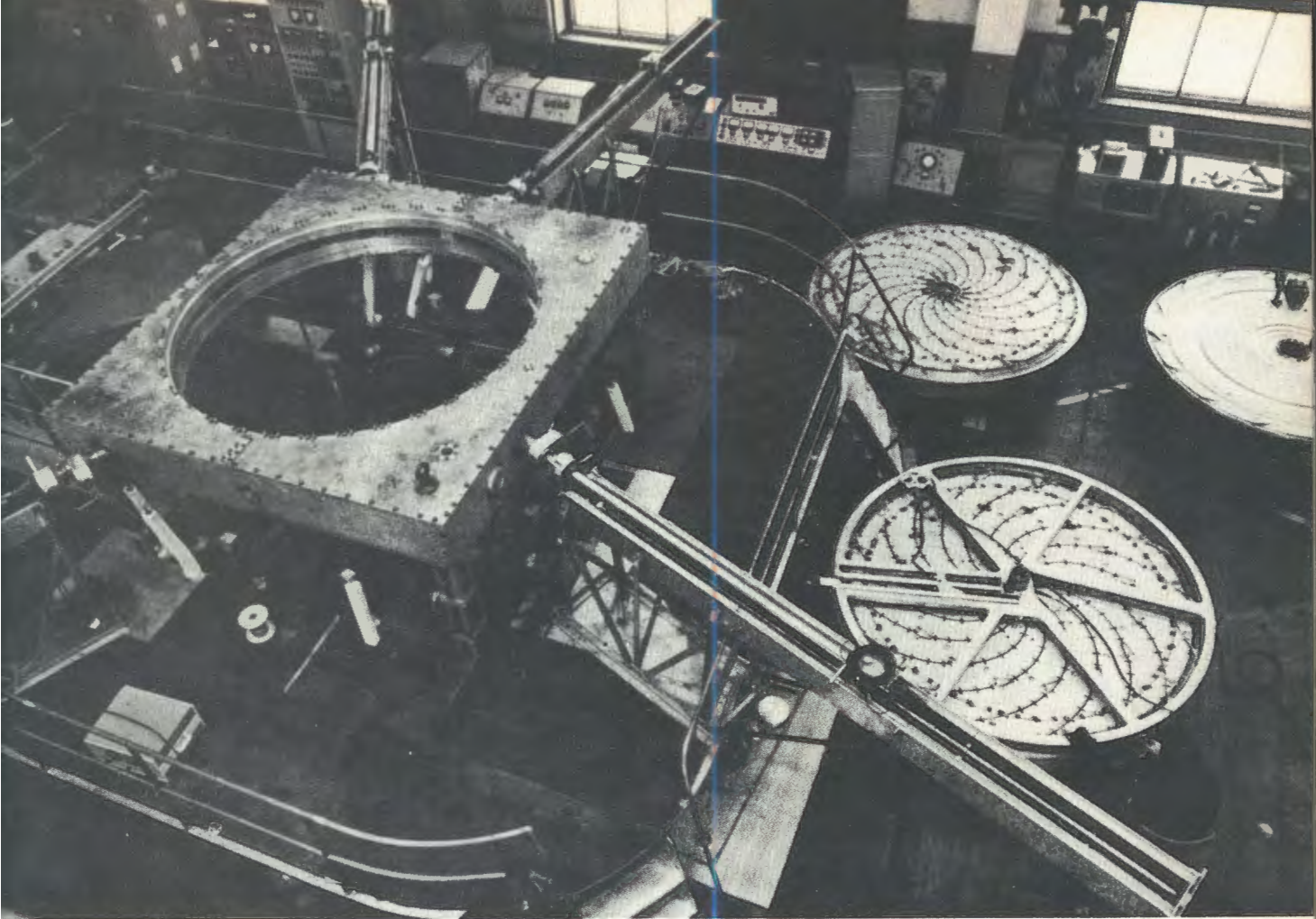


На синхроциклотроне введена в эксплуатацию система растяжки во времени выведенного протонного пучка. Длительность пучка увеличена в 10 раз. На снимке: резонансная линия системы растяжки.

Стенд для исследования источника ионов и центральной оптики установки "Ф".

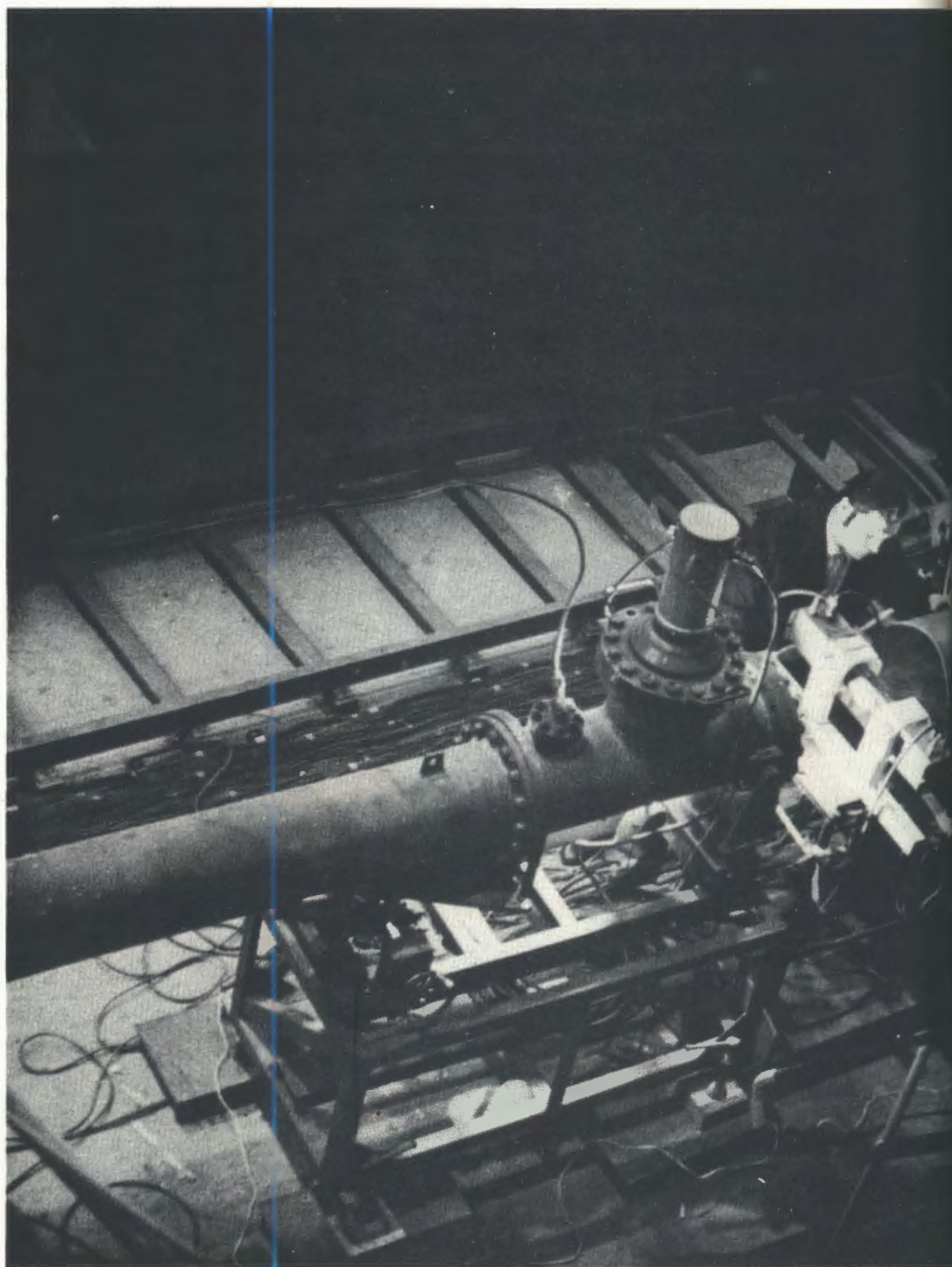


Продолжается разработка прототипа изохронного циклотрона У-120М с регулируемой энергией. Создан рабочий проект, смонтирована система питания и стабилизации токовых обмоток.

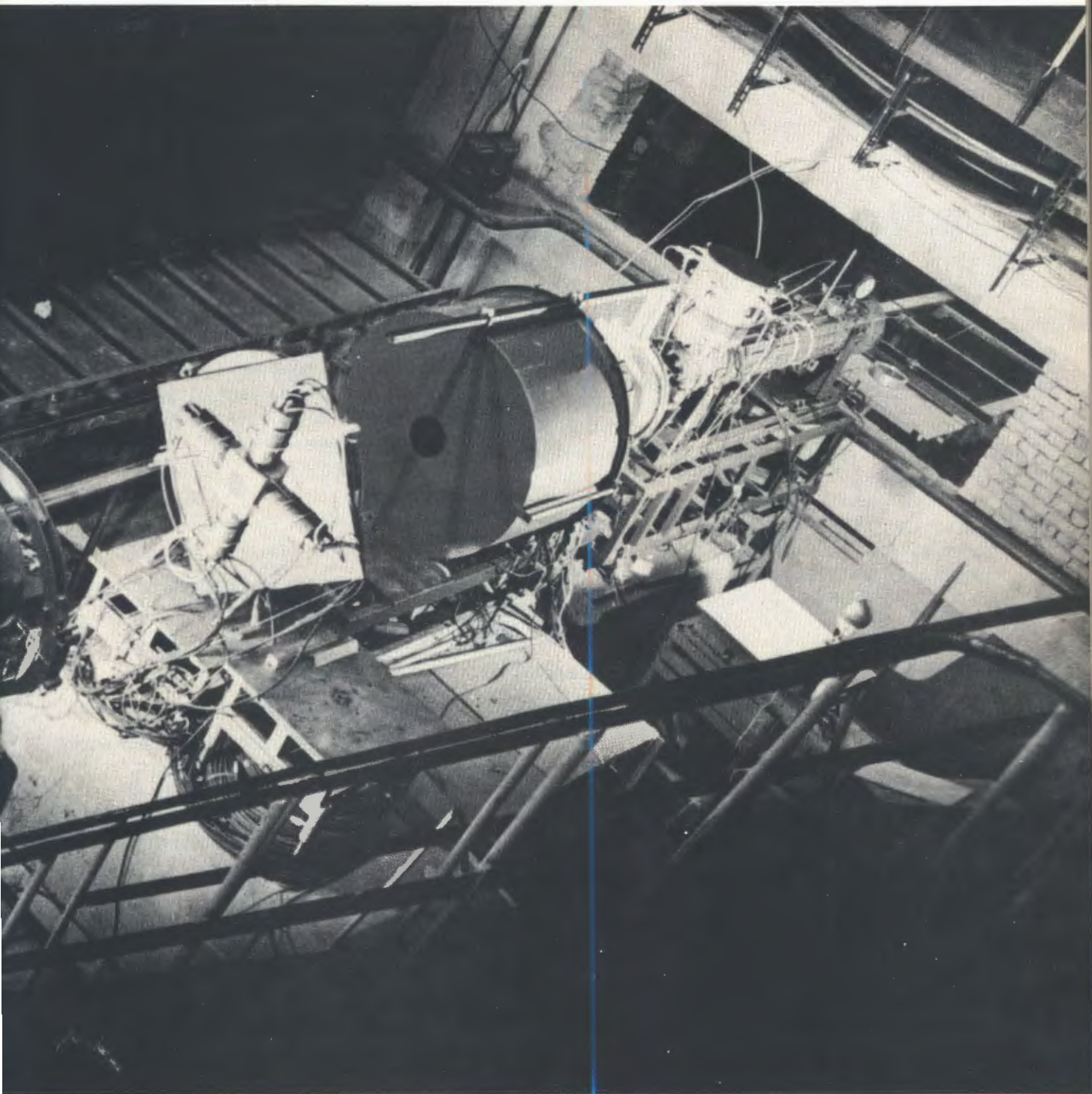


▲  
*Электронная модель циклотрона с жесткой фокусировкой. На ней  
ведется моделирование процесса ускорения пучков с большим про-  
странственным зарядом в протонных изохронных циклотронах.*  
▼





*Открытие антитрития - таков итог эксперимента, проведенного международной группой ученых ОИЯИ на серпуховском ускорителе. В работах по поиску новых тяжелых частиц и антиядер в протон-ядерных соударениях при энергии 70 ГэВ принимали участие ученые ИФВЭ.*



## Лаборатория ядерных реакций

Основные усилия коллектива лаборатории в течение истекшего года были направлены на совершенствование ускорителя У-300 и системы тандем-циклотронов, расширение ассортимента ускоряемых ионов, повышение интенсивности и энергии пучков ионов германия, криптона, ксенона и выполнение физических исследований, нацеленных на синтез сверхтяжелых элементов.

## Научно-исследовательские работы

### Эксперименты

#### по синтезу сверхтяжелых элементов

Продолжались эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов в реакции  $U + Xe$  с целью получения относительно долгоживущих ядер с  $T_{1/2} \geq 1$  дня. В результате ряда облучений толстой мишени  $^{238}U$  ионами  $^{136}Xe$  наблюдались редкие события спонтанного деления. Распределение их по времени соответствует периоду полураспада  $T_{1/2} \sim 150$  дней, который не может быть объяснен ни одним из известных спонтанно делящихся ядер. Измеренное среднее число нейтронов  $\bar{\nu}$  на акт спонтанного деления неизвестного излучателя оказалось  $\bar{\nu} \leq 4$ , что не согласуется с теоретическими предсказаниями относительно  $\bar{\nu}$  для элементов с  $Z \geq 110$ , величина которого должна быть 8-10. Проведение дальнейшей программы экспериментов по синтезу элементов с  $Z > 110$  на пучках ионов ксенона предусматривает:

1/ измерение среднего числа нейтронов деления,

2/ определение кинетической энергии осколков деления,

3/ идентификацию атомного номера излучателя с помощью специально разработанной химической методики,

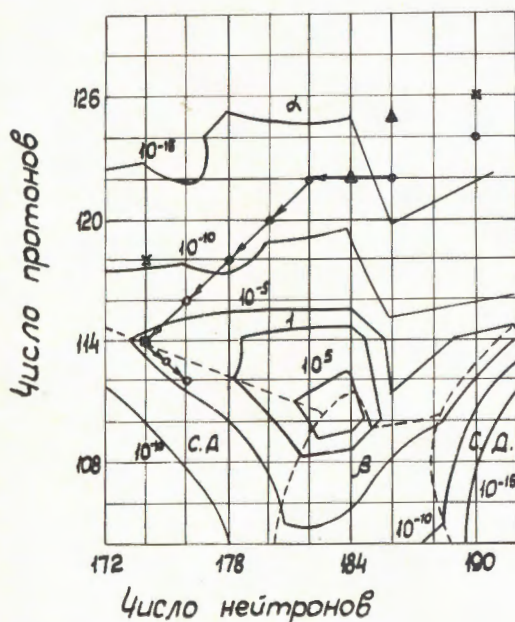
4/ использование масс-сепаратора с высокой эффективностью для определения массы спонтанно делящегося ядра.

Выполнение намеченной программы экспериментов связано с увеличением эффекта, а это, в свою очередь, требует существенного повышения интенсивности и энергии ионов  $^{136}\text{Xe}$ . Поэтому основные усилия в работах по синтезу сверхтяжелых элементов в 1973 году были направлены на синтез элементов с  $Z > 110$  в реакциях полного слияния взаимодействующих ядер с образованием составного ядра /рис. 28/. Проведенные ранее опыты по синтезу 125 элемента и его ближайших соседей в реакциях с цинком позволили установить для реакций  $^{238}\text{U} + ^{66}\text{Zn}$ ,



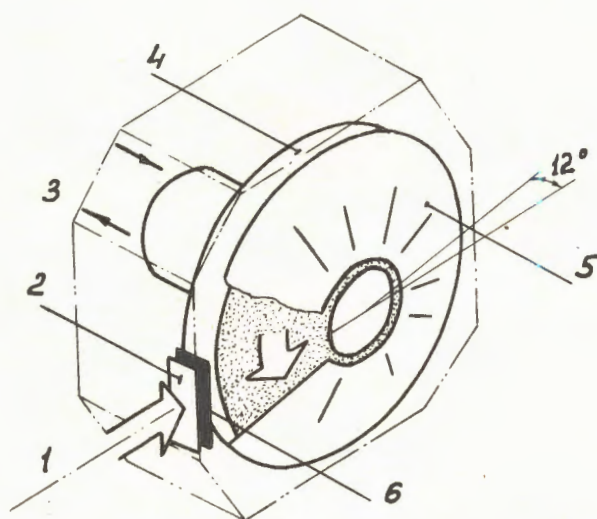
верхнюю границу сечений образования спонтанно делящихся ядер  $\sigma_{sf} \leq 10^{-30} - 10^{-31} \text{ см}^2$ . Вместе с тем, вопрос о перспективности различных путей искусственного синтеза сверхтяжелых элементов весьма сложен. По ряду оценок, наиболее благоприятной реакцией для синтеза ядер с  $Z > 110$  и  $N \sim 184$  при полном слиянии взаимодействующих ядер является реакция  $^{232}\text{Th} + ^{76}\text{Ge}$ ,

где для составного ядра  $^{308}122$  ожидалась минимальная энергия возбуждения 15-20 МэВ, а сечение образования ядер с  $Z > 110$  в основном состоянии -  $10^{-28} - 10^{-30} \text{ см}^2$ . Первые эксперименты по изучению энергетической зависимости для реакций деления и передачи нуклонов при взаимодействии  $^{232}\text{Th}$  с ионами  $^{74}\text{Ge}$  показали, что минимальная энергия возбуждения составного ядра  $^{308}122$  на барьере оказывается 40-50 МэВ. С учетом этих данных и результатов опытов с цинком в экспериментах по синтезу сверхтяжелых элементов в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{74,76}\text{Ge}$  большое внимание обращалось на повышение чувствительности методики.



28. Область повышенной устойчивости ядер с  $Z \sim 114$  и  $N \sim 184$ . Тонкими линиями дано положение изотопов с указанными на рисунке периодами полураспада /в годах/. Штриховые линии разграничивают участки, в каждом из которых преобладает определенный тип радиоактивного распада / $\alpha$ ,  $\beta$  или С.Д. - спонтанное деление/. Символами показано положение составных ядер, образующихся в реакциях  $^{232}\text{Th} + ^{76}\text{Ge}$  и  $^{238}\text{U} + ^{76}\text{Ge}$  ( $\bullet$ );  $^{238}\text{U} + ^{68}\text{Zn}$  и  $^{243}\text{Am} + ^{68}\text{Zn}$  ( $\blacktriangle$ );  $^{208}\text{Pb} + ^{84}\text{Kr}$  и  $^{232}\text{Th} + ^{84}\text{Kr}$  ( $\times$ ),  $^{248}\text{Cm} + ^{40}\text{Ar}$  ( $\blacksquare$ ). В качестве примера возможной эволюции составных ядер в реакциях такого типа стрелками показан распад ядра  $^{308}122$ , образовавшегося при слиянии  $^{232}\text{Th}$  и  $^{76}\text{Ge}$ . После испарения четырех нейтронов и шести последовательных актов  $\alpha$ -распада и К-захвата это ядро превращается в изотоп  $^{288}112$ , который должен делиться спонтанно с  $T_{1/2} \sim 7$  час.

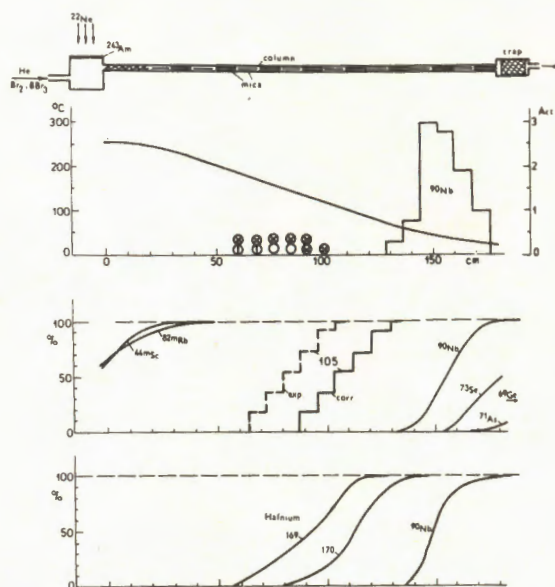
На рис. 29 схематически показано экспериментальное устройство, с помощью которого можно регистрировать спонтанно делящиеся ядра с периодом полураспада от  $10^{-3}$  сек до 100 дней, если сечение их образования  $10^{-34}$  см<sup>2</sup>. В результате экспериментов была получена верхняя граница образования спонтанно делящихся ядер с  $Z \geq 110$  в указанном интервале периодов полураспада на уровне  $\sigma_{sf} \leq 10^{-34}$  см<sup>2</sup>. Указанная граница в  $10^3$ - $10^4$  раз ниже значений, достигнутых ранее, и в  $10^4$ - $10^6$  раз ниже значений теоретических оценок. Отсутствие эффекта может быть связано со значительной минимальной энергией возбуждения 40-50 МэВ, что, в свою очередь, приводит к сильной конкуренции деления в процессе испускания 4-6 нуклонов, необходимых для перехода в основное состояние.



29. Схема регистрации короткоживущих спонтанно делящихся продуктов реакций: 1 - пучок ионов Ge; 2 - фольга из титана; 3 - водяное охлаждение; 4 - вращающийся диск - сборник продуктов ядерных реакций; 5 - детектор осколков деления; 6 - мишень ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ).

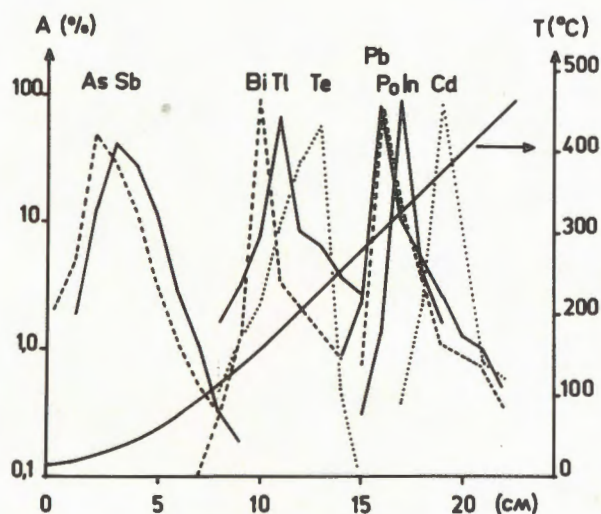
## Синтез трансфермиевых элементов и исследование их свойств

◇ Для химического изучения трансактинидных элементов с  $Z > 103$  разработана новая методика газовой химии, нацеленная на изучение бромистых соединений. В качестве бромлирующего агента используются пары брома и трехбромистого бора. Экспрессность метода, то есть время, затрачиваемое на "химическую переработку" атома с момента его образования, не превышает 0,1 сек. В новом цикле опытов с двухсекундным спонтанно делящимся изотопом нильсбория /элемент 105/ было зарегистрировано 11 атомов этого элемента. Зона бромида нильсбория на термохроматографической колонке была отчетливой, что позволило надежно



30. Экспериментальная аппаратура, температурный режим, дифференциальное и интегральное распределения различных активностей в экспериментах с бромидом нильсбория. Кружочки и гистограммы - для треков от осколков деления Nb; внизу дано распределение изотопов Hf.





31. Пример термохроматографического разделения сложной смеси элементов в потоке смеси паров хлора и четыреххлористого углерода.

выявить некоторые различия в летучести бромидов нильсбория и его гомолога - ниобия /рис. 30/.

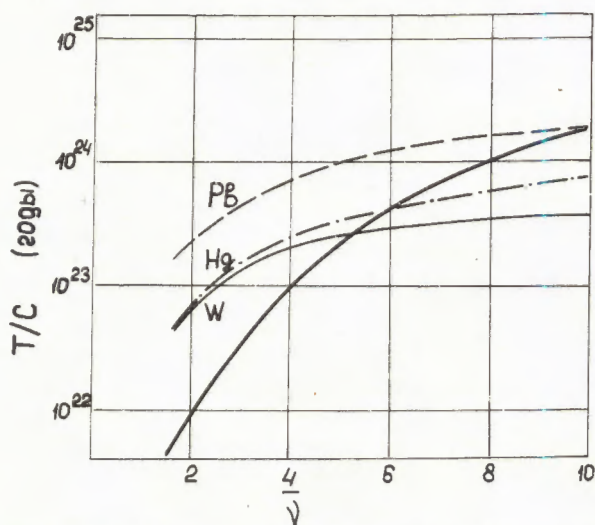
◇ Выполнены модельные эксперименты для изучения возможности разделения сверхтяжелых элементов с  $Z \geq 108$  методом газовой термохроматографии. Опыты проводились на лабораторной установке с кварцевой колонкой в диапазоне температур от 800 до 20°С. Было изучено поведение хлоридов около 50 известных элементов. Большинство из них образует четкие адсорбционные зоны, которые можно характеризовать температурой в точке максимума концентрации /рис. 31/. Обнаружена корреляция между определенными свойствами макроколичеств вещества соединений и их поведением в чрезвычайно низких концентрациях. Эти эксперименты важны для определения возможности выделения "невесомых количеств" сверхтяжелых ядер, полученных при синтезе на ускорителе. Сделаны оценки термохроматографического поведения хлоридов

предполагаемых сверхтяжелых элементов.

На анализаторе нейтронов деления, работающем на линии с малой ЭВМ ТРА-1001 и имеющем эффективность регистрации нейтронов 48%, измерены распределения числа нейтронов  $P_\nu$  для  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{246}\text{Cm}$ . Определено среднее число нейтронов на акт спонтанного деления для  $^{246}\text{Cm} / \bar{\nu} = 2,98 \pm 0,03/$ ,  $^{246}\text{Cf} / \bar{\nu} = 3,14 \pm 0,09/$  и  $^{256}\text{Fm} / \bar{\nu} = 3,73 \pm 0,18/$ . Предложен метод восстановления распределений множественности нейтронов деления  $P_\nu$  по экспериментальным данным, полученным при относительно низкой эффективности детекторов нейтронов  $\epsilon$ , начиная с  $\epsilon = 20\%$ . Этим методом восстановлены  $P_\nu$  для  $^{255}\text{Fm}$ ,  $^{256}\text{Fm}$  и  $^{257}\text{Fm}$ .

#### Поиск изотопов сверхтяжелых элементов в природных материалах

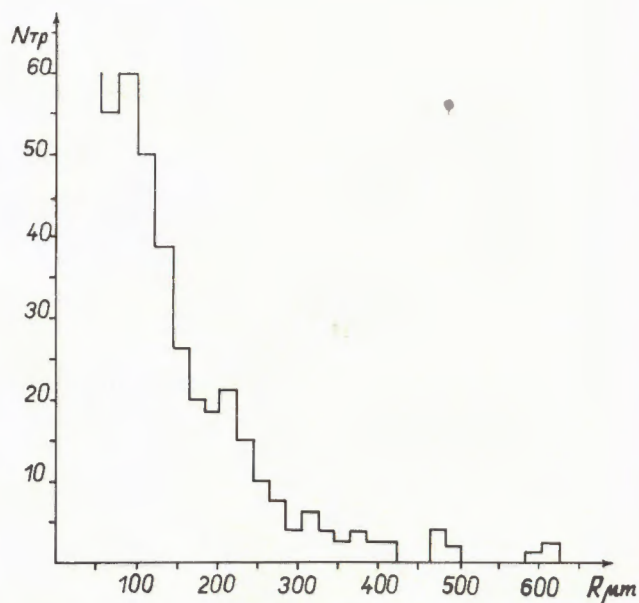
◇ Продолжались эксперименты по поиску сверхтяжелых элементов в природе с использованием больших пропорциональных счетчиков, регистрирующих осколки спонтанного деления, и нейтронного детектора, установленного в соляной шахте. Чувствительность пропорциональных счетчиков позволяла обнаружить в образцах примесь сверхтяжелого элемента на уровне  $T/C = 10^{22}$  лет, где  $T$  - период полураспада,  $C$  - концентрация сверхтяжелого элемента. Чувствительность нейтронного детектора зависела от величины  $\bar{\nu}$  - среднего числа мгновенных нейтронов, испускаемых на акт спонтанного деления. Эта зависимость приведена на рис. 32. С целью поиска в природе экасвинца ( $Z = 114$ ) было изучено несколько десятков образцов свинцовых сульфидных руд, обогащенных галенитом, а также сульфидами As, Sb. Были исследованы промышленные возгоны каменного литья, возгоны высокотемпературных фумарол вулкани-



32. Зависимость чувствительности нейтронного детектора ( $T/C$ ) от среднего числа мгновенных нейтронов на акт спонтанного деления  $\bar{\nu}$ .  $T$  - период полураспада,  $C$  - концентрация сверхтяжелого элемента.

ческого происхождения, в которых коэффициент обогащения свинца равен  $10^2$  -  $10^3$ . Исследованы алюмосиликаты, обогащенные редкими щелочными элементами и таллием. В большинстве образцов какой-либо избыточной активности не было обнаружено. На некоторых свинцовых сульфидных рудах из месторождений с "низкотемпературной ассоциацией минералов" наблюдался очень слабый эффект спонтанного деления, который трудно отнести к фону. Однако результаты, полученные с помощью пропорциональных счетчиков, где  $T/C \approx 4 \cdot 10^{21}$  лет, могут быть согласованы с данными нейтронного детектора только в предположении очень малой величины  $\bar{\nu} \approx 1,5$ .

◇ Изучалась возможность выявления и идентификации следов сверхтяжелых космических ядер в минералах из метеоритов. Обнаружено, что оливины из метеоритов



33. Распределение длин следов тяжелых космических ядер в оливинах из метеорита "Марьялахти". Следы с длиной свыше 450 мкм соответствуют области ядер с  $Z > 70$ .

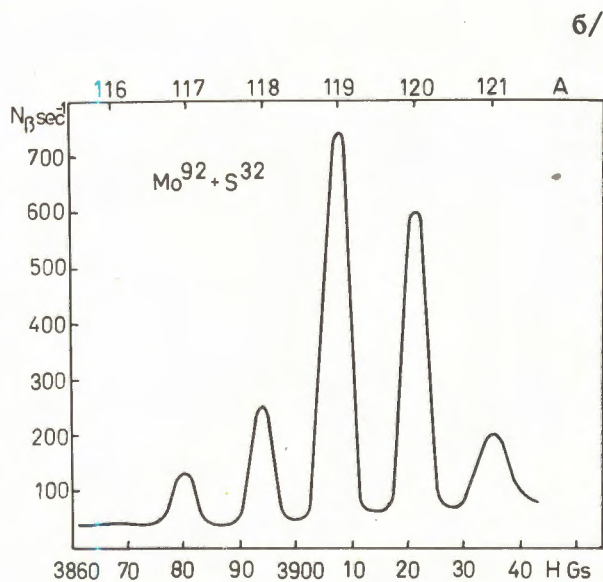
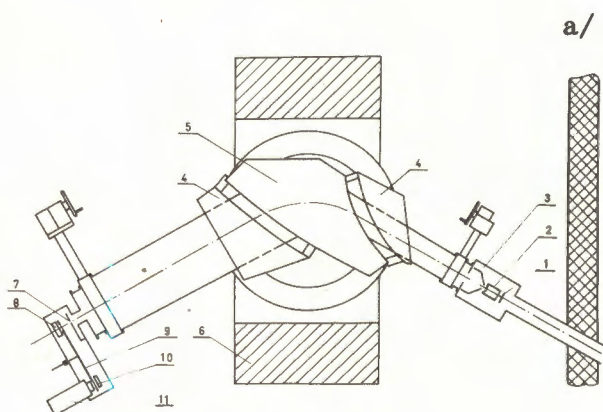
"Липовский хутор" и "Марьялахти" содержат большое число следов космических ядер группы железа  $/6 \cdot 10^6 \text{ тр/см}^2/$ , ядер с  $Z \geq 40$   $/5-15 \cdot 10^3 \text{ тр/см}^2/$ . Подробно исследован эффект сокращения длин следов в этих образцах под воздействием больших доз протонов и при термическом отжиге /рис. 33/. Проведенная калибровка чувствительности оливинов к воздействию ионов  $Ti$ ,  $Zn$ ,  $Ge$ ,  $Kr$ ,  $Xe$  показала, что регрессия следов указанных оливинов в космических условиях могла привести к сокращению длины трека для  $Z \geq 40$  не более чем на 20-25%. Просмотр  $6 \text{ мм}^3$  минералов привел к обнаружению 16 следов для ядер с  $Z > 70$ , из них 5 следов имеют длины 600-700 мкм и могут быть отнесены к области с  $Z \geq 83$ , что эквивалентно всем наблюдавшимся ядрам с  $Z > 70$

в группе П.Фаулера- Р.Прайса в 1968-1972 гг. методом прямой регистрации на шарах-зондах. Имеющиеся оливины из числа указанных метеоритов позволяют проводить поиски сверхтяжелых ядер в составе первичного космического излучения с эффективностью, в сотни раз большей, чем при использовании шаров-зондов.

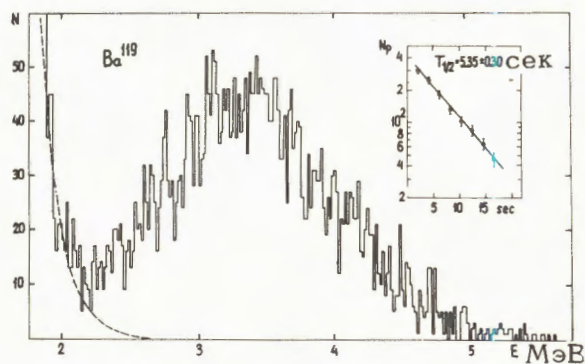
### Изучение протонного распада ядер

В 1973 году завершены работы по созданию масс-сепаратора БЭМС-2 на пучке циклотрона тяжелых ионов. БЭМС-2 предназначен для изучения протонного распада ядер и исследования свойств короткоживущих изотопов, получаемых в реакциях с тяжелыми ионами. Для сепаратора разработан эффективный высокотемпературный ионный источник с поверхностной ионизацией. Мишень, облучаемая тяжелыми ионами, расположена вне источника. При температуре ионизатора  $-2500^{\circ}\text{C}$  время выноса активности из источника  $\sim 1$  сек. Эффективность сепаратора равна 30-35% для бария и цезия. Детектирующая система позволяет в фокальной плоскости регистрировать  $\alpha$ ,  $\beta$  и протонное излучение. Разделенные изотопы собираются специальным диском-коллектором, который периодически переносит активность к детекторам излучения. Обеспечена высокая надежность работы всей системы БЭМС-2 в течение длительных экспозиций на пучке тяжелых ионов /рис. 34/.

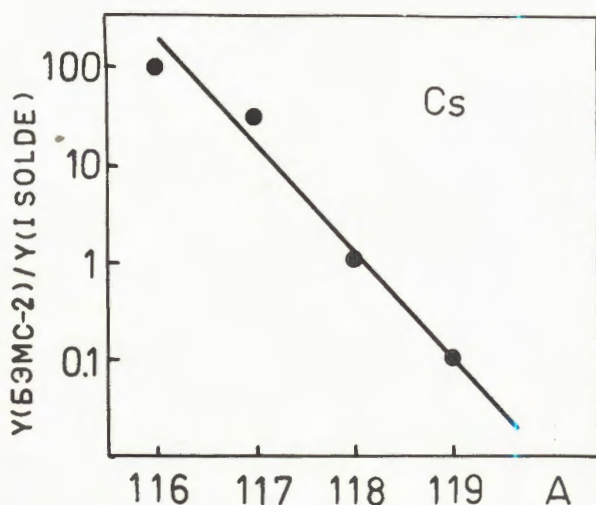
В первой серии экспериментов с использованием БЭМС-2 открыты новые излучатели запаздывающих протонов  $^{116}\text{Cs}$  / $3,9 \pm 0,4$  сек/,  $^{121}\text{Ba}$  / $5,35 \pm 0,3$  сек/,  $^{121}\text{Ba}$  / $29,7 \pm 1,5$  сек/ и измерены протонные спектры: для излучателей  $^{116}\text{Cs}$  и  $^{121}\text{Ba}$  получены также  $\rho / \beta^{\#}$  - отношения. На рис. 35



34. а/. Схема масс-сепаратора БЭМС-2 на пучке тяжелых ионов: 1 - мишень; 2 - ионный источник, 3 - ускоряющий электрод; 4 - магнитный экран, 5 - полюс магнита, 6 - магнит, 7 - щель-коллиматор для выделения изотопа с определенным  $A$ ; 8,10 - полупроводниковый детектор, 9 - вращающийся сборник. б/. Интенсивность бета-счета в фокальной плоскости БЭМС-2 как функция напряженности магнитного поля /"спектр масс изотопов цезия"/.



35. Спектр протонов ядра  $^{119}\text{Ba}$ .



36. Отношение выходов изотопов цезия на БЭМС-2 и сепараторе "Изоolda" /ЦЕРН/.

приведен спектр протонов  $^{119}\text{Ba}$ . Изотоп был получен в реакции  $^{92}\text{Mo}(^{32}\text{S}, 2p-3n)^{119}\text{Ba}$ . Спектр имеет типичную для этой области ядер gross-структуру, которая определяется двумя конкурирующими факторами: ростом относительной протонной ширины  $\Gamma_p / \Gamma$  и уменьшением вероятности  $\beta^+$ -распада с увеличением энергии возбуждения дочернего ядра.

Полученные данные анализируются с помощью статистической модели процесса

испускания запаздывающих протонов для извлечения информации о силовой функции бета-распада и плотности уровней дочернего ядра. Можно провести оценку эффективности использования тяжелых ионов и протонов высокой энергии для получения нейтрондефицитных ядер на примере реакции  $^{92}\text{Mo}(^{90}\text{Zr}) + ^{32}\text{S}$ . На рис. 36 приведено отношение выходов изотопов цезия на БЭМС-2 и на сепараторе "Изоolda" /ЦЕРН/. Видно, что по мере увеличения нейтронного дефицита использование тяжелых ионов становится более выгодным. Так, выход  $^{116}\text{Cs}$  в реакции с  $^{32}\text{S}$  более чем в 100 раз превышает выход этого изотопа при использовании быстрых протонов.

Спонтанно делящиеся  
изомеры

◇ Запущен микротрон с 17 орбитами. Получен выведенный пучок электронов с энергией 10 МэВ и интенсивностью до 20 мкА. Микротрон позволяет проводить широкий круг исследований по физике деления и изучению спонтанно делящихся изомеров на пучке  $\gamma$ -квантов. Начаты опыты по поискам конверсионных электронов, испускаемых при образовании этих изомеров.

◇ На реакторе ЦИФИ /Будапешт/ проведены опыты по измерениям спектров  $\gamma$ -лучей, испускаемых при образовании спонтанно делящегося изомера  $^{236}\text{U}$  в процессе радиационного захвата тепловых нейтронов. Идентификация  $\gamma$ -переходов, заселяющих изомерное состояние, производилась по задержанным совпадениям  $\gamma$ -квантов с осколками деления. На основании измеренных спектров обсуждается схема уровней ядра  $^{236}\text{U}$  во второй потенциальной яме.

◇ На циклотроне ИАФ /Бухарест/ измерены угловые распределения осколков

спонтанно делящихся изомеров  $^{237}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Cm}$ , образующихся в реакциях  $(\alpha, 2n)$ . Исследовано влияние сверхтонкого электромагнитного взаимодействия ионизованной оболочки атома на угловое распределение. Для этого сравнивалась угловая анизотропия осколков деления ядер отдачи, летевших в вакууме и различных газах. На основании измеренной угловой анизотропии обсуждается вопрос о спинах спонтанно делящихся изомеров.

### Нейтронноизбыточные изотопы легких элементов

◇ Продолжались работы по получению и изучению свойств нейтронноизбыточных изотопов легких элементов, получаемых в реакциях передачи с тяжелыми ионами. Были получены наиболее тяжелые изотопы углерода  $^{19}\text{C}$  и  $^{20}\text{C}$  при взаимодействии ионов  $^{22}\text{Ne}$  с  $^{232}\text{Th}$ . Изотоп  $^{20}\text{C}$  был

зарегистрирован впервые. Идентификация изотопов осуществлялась с помощью усовершенствованной методики, включающей в настоящее время магнитный анализ, метод  $\Delta E, E$  и измерение времени пролета частицы от мишени до детекторов.

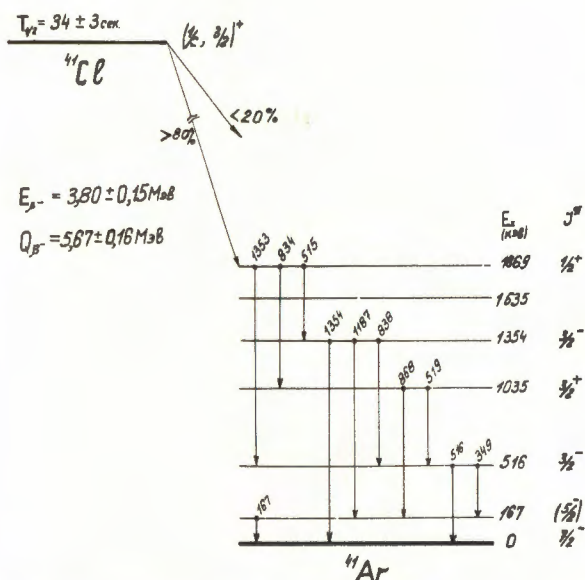
◇ При помощи масс-сепаратора ЭМСНАПТИ на линии с циклотроном У-300 был исследован  $\beta$ -распад нового изотопа  $^{41}\text{Cl}$ . Изотоп  $^{41}\text{Cl}$  получался в реакции  $^{181}\text{Ta}(^{40}\text{Ar}, ^{41}\text{Cl})$ . Измерены максимальная энергия  $\beta$ -частиц и полная энергия  $\beta$ -распада, которые равны соответственно  $3,80 \pm 0,15$  и  $5,67 \pm 0,16$  МэВ. Период полураспада  $^{41}\text{Cl}$  составляет  $34 \pm 3$  сек / рис. 37/.

### Механизм

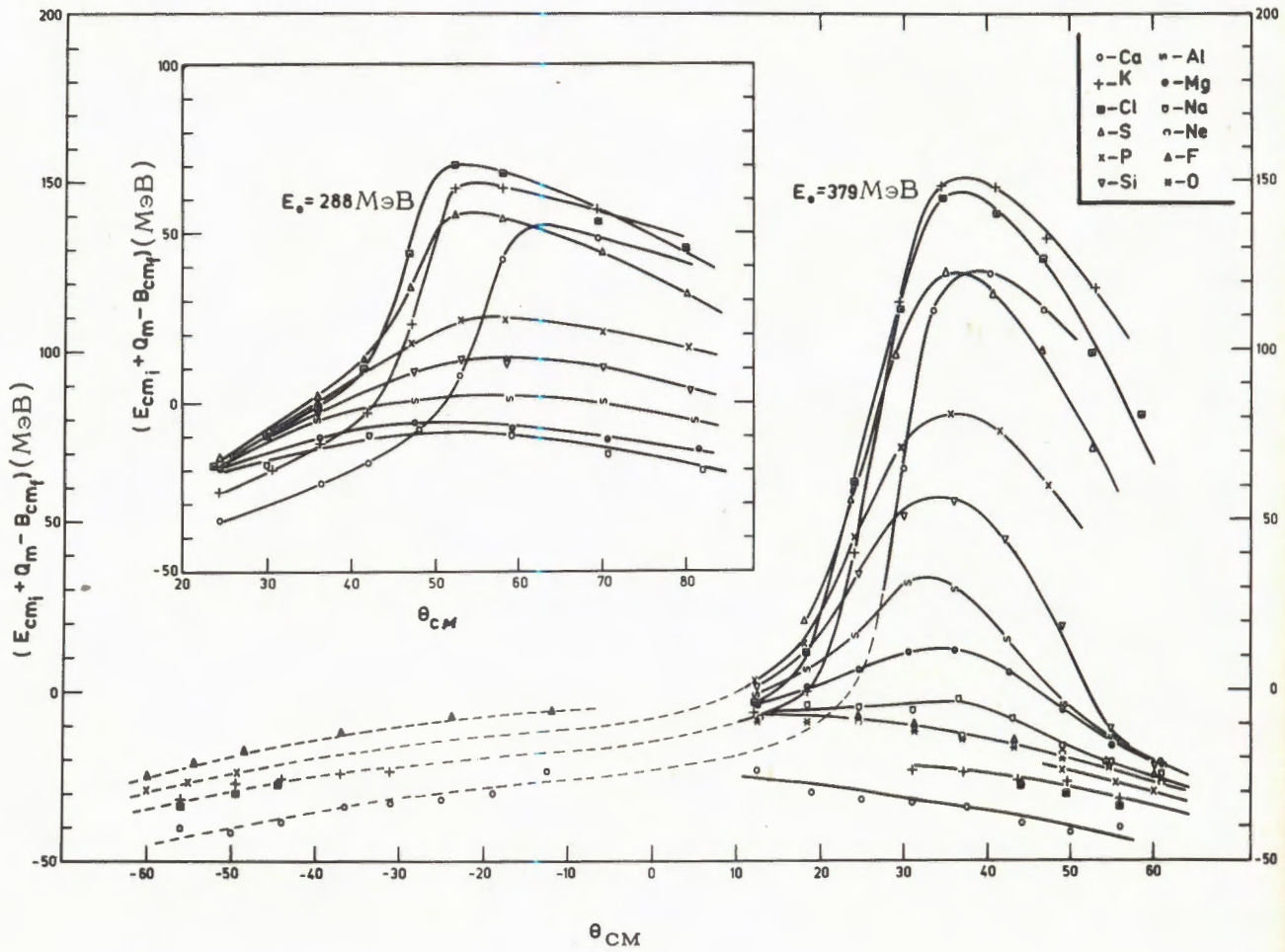
### взаимодействия тяжелых ионов с ядрами

◇ Измерены сечения образования, угловые распределения и энергетические спектры элементов от В до Са - продуктов реакций передачи - при взаимодействии ионов  $^{40}\text{Ar}$  с  $^{232}\text{Th}$  при энергиях 297 и 388 МэВ. Показано, что реакции передачи могут протекать в форме квазиупругого и глубоконеупругого процессов. Оценен критический угловой момент составной системы  $^{232}\text{Th} + ^{40}\text{Ar}$ , равный  $\sim 100\hbar$  / рис. 38/.

◇ Изучены массовые и зарядовые распределения продуктов деления тяжелых составных ядер, образующихся в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{84}\text{Kr}$ ,  $^{181}\text{Ta} + ^{136}\text{Xe}$ ,  $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ ,  $^{238}\text{U} + ^{129}\text{Xe}$ . На рис. 39 приведены изотопные и массовые распределения ядер, образующихся в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{136}\text{Xe}$ . Их ширина и положение максимума хорошо согласуются с тем, чего можно ожидать в предположении о делении составного ядра /или составной системы/, образующегося в реакции полного слияния  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{136}\text{Xe}$ . Изотопные распределения ядер зо-



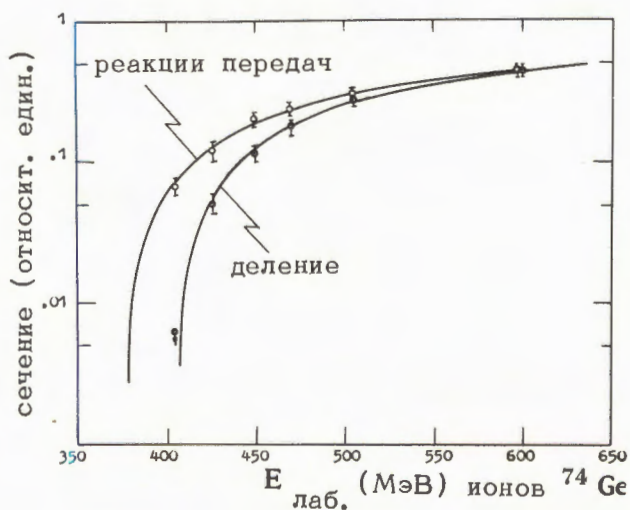
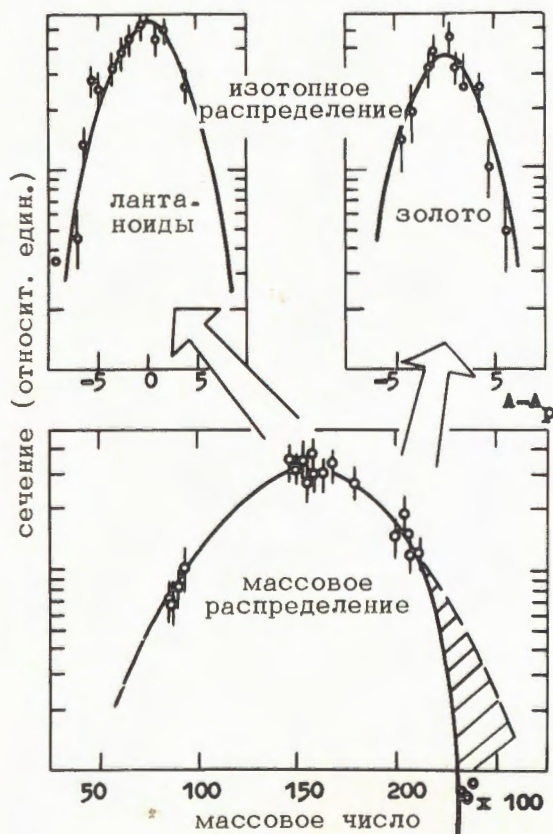
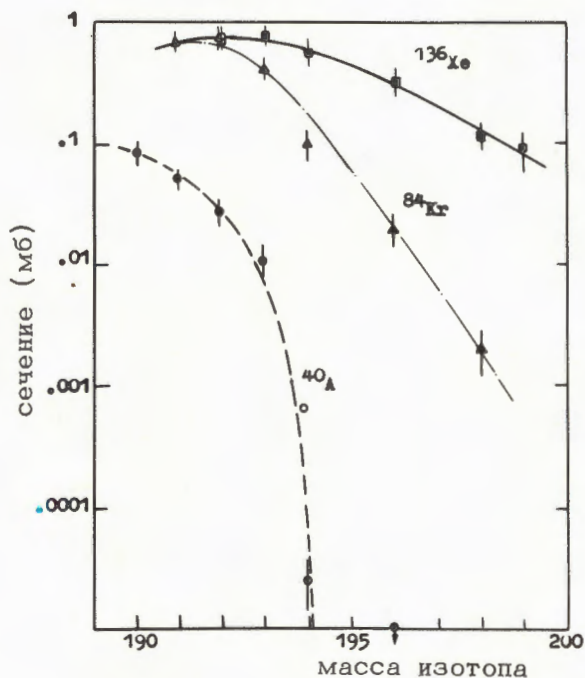
37. Схема уровней ядра  $^{41}\text{Ar}$ , возбуждаемых при  $\beta$ -распаде ядра  $^{41}\text{Cl}$ .



38. Угловые распределения элементов от кислорода до кальция, образуемых в реакции передачи при взаимодействии ионов  $^{40}\text{Ar}$  с  $^{232}\text{Th}$ .

39. Изотопные и массовые распределения ядер, образующихся в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{136}\text{Xe}$ .

40. Изотопные распределения ядер золота, полученные при облучении мишени  $^{181}\text{Ta}$  ионами  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{84}\text{Kr}$  и  $^{136}\text{Xe}$ .



41. Зависимость сечения деления /изотопы золота/ и реакций передач /изотопы тория, протактиния и урана/ от энергии бомбардирующих ионов в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{74}\text{Ge}$ .

лота, образующихся при облучении  $^{181}\text{Ta}$  ионами  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{84}\text{Kr}$  и  $^{136}\text{Xe}$  /рис. 40/, свидетельствуют о том, что с увеличением атомного веса составной системы резко возрастает выход нейтронообогащенных ядер. Были изучены энергетические зависимости сечения образования тяжелых осколков /изотопы золота/ и продуктов реакций передачи, полученных при облучении  $^{232}\text{Th}$  ионами  $^{74}\text{Kr}$  в широком диапазоне энергий. Показано, что кулоновский барьер реакции деления превышает барьер реакции передачи 1-5 нуклонов на величину  $\sim 30$  МэВ /рис. 41/.

◇ Создана новая методика для проведения экспериментов по измерению времени жизни составных ядер с использованием метода наблюдения "эффекта теней", в которой монокристаллическая мишень охлаждается до температуры жидкого азота. На новой установке проведены методические опыты с использованием монокристаллических мишеней  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ ,  $^{238}\text{U}$ .

Проведены эксперименты по измерению времени жизни возбужденных составных ядер, образующихся при взаимодействии  $^{238}\text{U}$  с ионами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ .

◇ Методом Джексона рассчитан выход ядер в реакциях с образованием составного ядра и вылетом нейтронов при взаимодействии ионов от  $^{40}\text{Ar}$  до  $^{59}\text{Co}$  включительно с ядрами в широком диапазоне  $Z$  и  $A$  ядер мишени. Проведены оценки сечений реакции  $^{246}\text{Cm} (^{22}\text{Ne}, xn) ^{268-x}106$  и  $^{249}\text{Cf} (^{18}\text{O}, xn) ^{267-x}106$ .

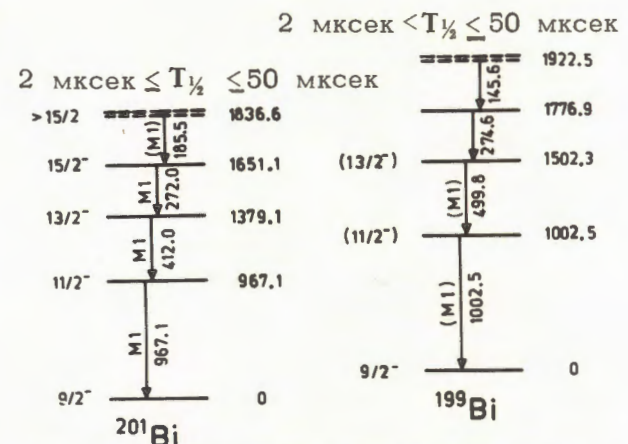
◇ Модель внутриядерных каскадов, учитывающая изменение плотности числа внутриядерных нуклонов в ходе каскада, применена к расчету взаимодействия протонов с тяжелыми делящимися ядрами в области энергий, больших нескольких десятков ГэВ. Результаты расчета хорошо согласуются с опытом.

## Изучение структуры ядра спектрометрическими методами

◇ Продолжались исследования структуры нейтронодефицитных ядер в области  $Z \geq 82$ ,  $N \leq 126$  на пучке тяжелых ионов циклотрона У-300. Изучались  $\beta^+$ -ЕС-распады изомерных состояний в изотопах  $^{199}\text{Po}$  и  $^{201}\text{Po}$ , полученных из реакции  $^{197}\text{Au} (^{10}\text{B}, xn) ^{199, 201}\text{Po}$ . Предложена схема распада изомерных состояний в этих ядрах.

◇ Методом эффекта доплеровского смещения на ядрах отдачи измерены времена жизни уровней основной ротационной полосы  $^{166}\text{Yb}$ , полученного в реакции с ионами  $^{40}\text{Ar}$ . Обнаружено уменьшение вероятности Е(2)-переходов при увеличении спина в ротационной полосе. Построена новая высокопрецизионная камера, позволяющая проводить эксперименты как в реакциях  $(\text{HI}, xn)$ , так и при кулоновском возбуждении ядра мишени.

◇ Продолжались исследования свойств высокоспиновых многочастичных изомеров в ядрах вблизи дважды магического ядра  $^{208}\text{Pb}$ . В реакциях  $^{191}\text{Ir} (^{12}\text{C}, 4n)$  и  $^{193}\text{Ir} (^{12}\text{C}, 4n)$  изучены трехквартичные



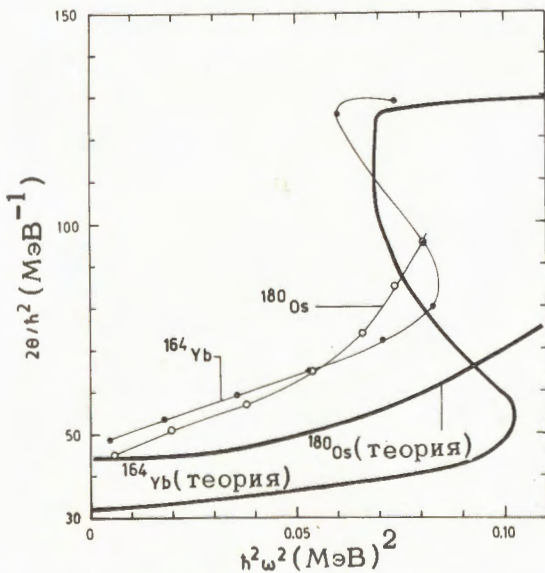
42. Схема распада изомерных состояний в ядрах  $^{199}\text{Bi}$  и  $^{201}\text{Bi}$ .



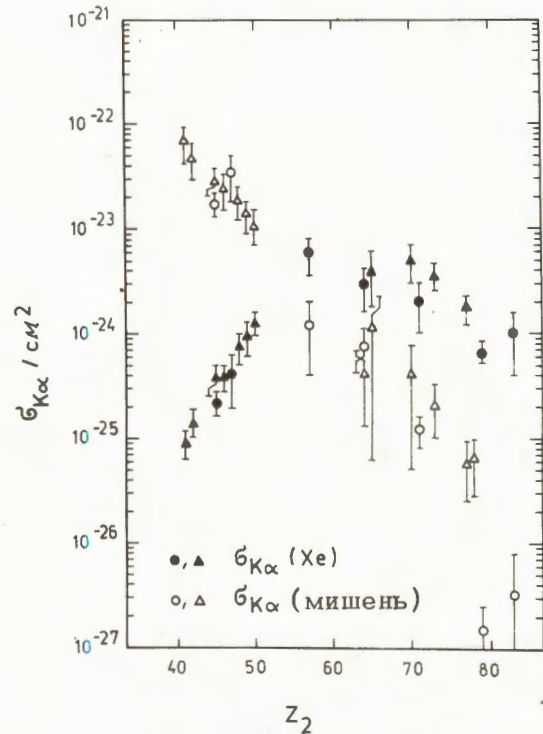
ные изомерные состояния ядер  $^{199}\text{Bi}$  и  $^{201}\text{Bi}$ , имеющие периоды полураспада  $2 \text{ мксек} \leq T_{1/2} \leq 50 \text{ мксек}$  и спины  $I > 15/2$ . Их конфигурация объясняется связью нечетного протона в состоянии  $h_{9/2}$  с известными двухчастичными состояниями отрицательной четности  $I^\pi = 5^-, 7^-, 9^-$  в четно-четных ядрах - остатках /рис. 42/.

В реакциях  $^{197}\text{Au}(^{12}\text{C}, 5n)$  и  $^{193}\text{Ir}(^{16}\text{O}, 5n)$  обнаружено изомерное состояние с периодом полураспада  $T_{1/2} = 108 \pm 10 \text{ мксек}$ , соответствующее двухквартичному состоянию  $I^\pi = 10^- [\pi (h_{9/2})^1 \nu (i_{13/2})^{-1}]$  в ядре  $^{204}\text{At}$ .

◇ Проводились эксперименты по изучению высокоспиновых вращательных состояний четно-четных деформированных ядер. Изучены основные вращательные полосы в ядрах  $^{164}\text{Yb}$  и  $^{180}\text{Os}$  до значительной спина  $I = 18$  и  $I = 14$ , соответственно /рис. 43/.



43. Зависимость момента инерции ядер  $^{164}\text{Yb}$  и  $^{180}\text{Os}$  от частоты вращения  $\omega$ , теоретические кривые рассчитаны с учетом антиспаривательных кориолисовых сил.



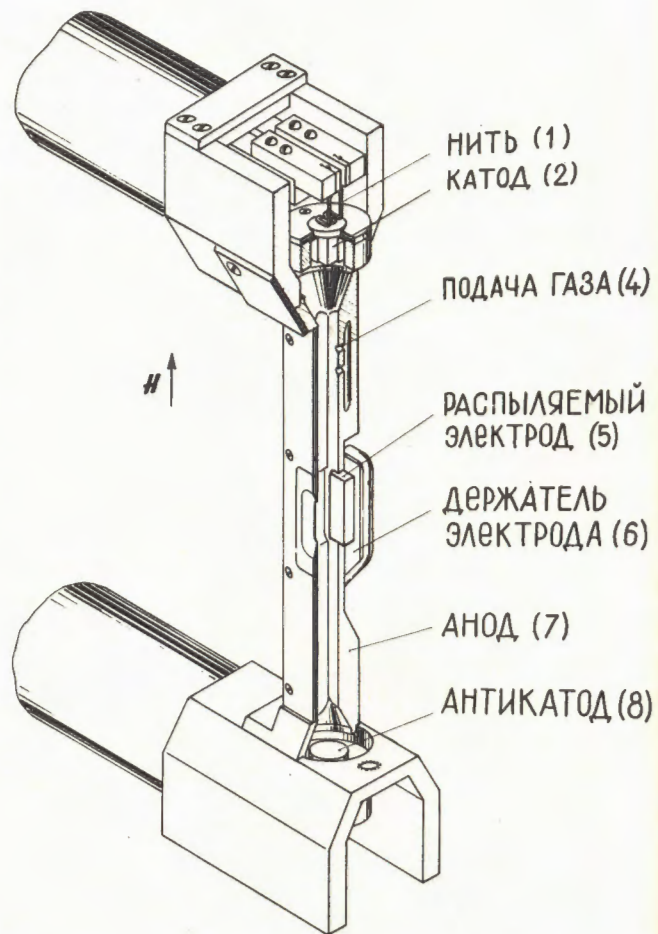
44. Зависимость сечения возбуждения КХ - лучей, возникающих при облучении различных мишеней ионами Хе с энергией 150 МэВ, от порядкового номера  $Z_2$  мишени.

◇ Изучаются эффекты ионизации внутренних электронных оболочек при столкновениях тяжелых ионов с атомами мишеней и образование квазимолекул. Проводилось измерение сечения возбуждения КХ - лучей ксенона и атомов мишеней при облучении различных твердотельных мишеней ионами Хе с начальной энергией 150 МэВ. Зависимость сечения от порядкового номера  $Z$  мишеней указывает на возможность применения модели образования квазимолекул, а также на влияние других механизмов возбуждения внутренних оболочек /рис. 44/. Проводились эксперименты по поиску КХ - лучей квазимолекул, кратковременно возникающих в процессе столкновения тяжелых ионов

с атомами мишени. С помощью кремниевых детекторов измерялось рентгеновское излучение при облучении мишеней из естественного Ge и обогащенного  $^{74}\text{Ge}$  ионами  $^{74}\text{Ge}$  с энергией 81 МэВ. Обнаружен сплошной спектр с граничной энергией около 45 кэВ, соответствующей примерно энергии характеристического КХ-излучения атома Gd ( $Z = 64$ ). Сплошной спектр имеет интенсивность порядка  $4 \times 10^{-5}$  по сравнению с интенсивностью КХ-излучения Ge и может быть объяснен как КХ-излучение квазимолекул с  $Z = Z_1 + Z_2 = 64$ . Подобный эффект наблюдается также при исследовании симметричной системы, образующейся в процессе столкновения  $^{93}_{41}\text{Nb} + ^{93}_{41}\text{Nb}$  при энергии ионов около 65 МэВ.

## Экспериментальная аппаратура и научно-технические работы

◇ Для циклотрона У-300 разработан плазменный источник многозарядных ионов германия и металлических ионов с подогретым катодом и подачей рабочего вещества методом катодного распыления /рис. 45/. В разрядную камеру /7/ ионного источника со стороны, противоположной эмиссионному отверстию, введен электрод из германия /5/, укрепленный на медном держателе /6/, охлаждаемом водой. На держатель подается регулируемый отрицательный потенциал. Под действием бомбардировки ускоренными ионами плазмы германиевый электрод распыляется, выбитые частицы попадают в разряд и ионизируются. Держатель электрода в ходе работы может плавно перемещаться в разряд и обратно, управление и контроль



45. Источник многозарядных ионов с катодным распылением рабочего вещества.

осуществляются дистанционно с пульта циклотрона У-300. Этот механизм позволяет выбирать оптимальное положение электрода при вводе источника в режим и поддерживать его в ходе работы.

◇ Проводился анализ возможностей использования пучков тяжелых ионов для решения различных научно-технических задач. Изготовлены опытные образцы молекулярно-вирусных фильтров, характеризующиеся очень малой дисперсией пор /~1%/, их правильной геометрической формой и высокой пропускной способ-

ностью /~15 литров воздуха/см<sup>2</sup> в минуту при перепаде давления в одну атмосферу/. Такие фильтры могут использоваться для сверхтонкой очистки газов, очистки жидких сред /в частности, для отделения белка и холодной стерилизации пищевых продуктов и т.д./. Подготавливаются опыты по моделированию радиационных повреждений материалов.

◇ На микротроне и с помощью полупроводникового спектрометра рентгеновского излучения проведен анализ на содержание тяжелых элементов ряда образцов, представляющих интерес с точки зрения поисков сверхтяжелых элементов в природе.

В области прикладных задач активационного анализа исследовались образцы хлопчатника здоровых растений и пораженных вилтом. Обнаружено большое различие в содержании целого ряда элементов /от 2 до 15 раз/. Чувствительность анализов - до  $10^{-8}$  г/г. Проведен также элементный анализ фильтров воздуха и определена концентрация ряда элементов техногенного происхождения.

◇ Разрабатывалась аппаратура для автоматизации экспериментов на ускорителях МЗИ с помощью ЭВМ. Велись работы по созданию специализированных установок на базе газовых нейтронных и полупроводниковых детекторов для поисков долгоживущих сверхтяжелых ядер в природе и исследованию возможности получения высокого энергетического разрешения рентгеновских полупроводниковых спектрометров.

◇ В измерительном центре лаборатории разработана и установлена аппаратура централизованного сбора и преобразования экспериментальных данных для обеспечения одномерных и двумерных измерений с повышенной точностью и стабильностью в экспериментах с легкими ядрами; осуществлен вывод данных с многоканальных анализаторов на перфоленду с дальнейшей обработкой их на ЭВМ Минск-32; разработана аппаратура связи оборудования измерительного центра с ЭВМ Минск-32 для осуществления экспериментов на линии с этой машиной.

На базовой ЭВМ лаборатории введен в эксплуатацию язык ФОРТРАН, продолжались разработки математического обеспечения системы сбора и обработки спектрометрической информации /СПОРС/.

Разработан специализированный многопараметровый анализатор МАРС-14 и автономный двухмерный регистратор ПЕНАЛ на интегральных схемах с автономным питанием, обеспечившие регистрацию крайне редких событий с повышенной достоверностью в поисковых экспериментах.

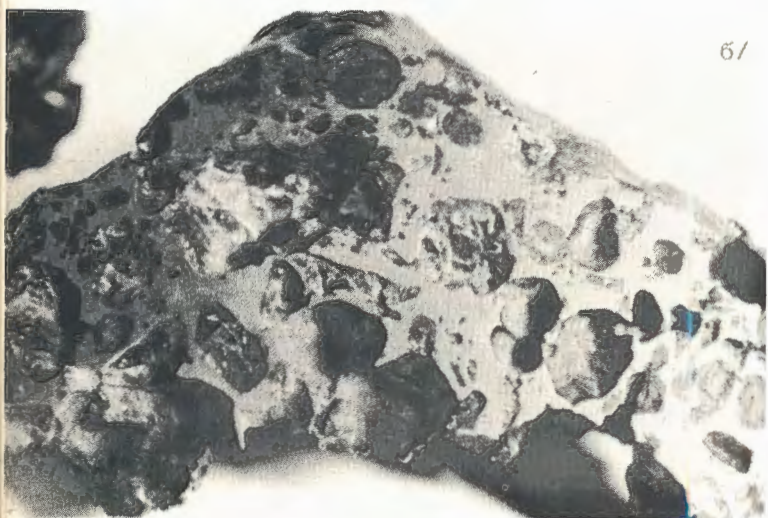
Разработана аппаратура и математическое обеспечение /ЮПИТЕР-16/ на ЭВМ ТРА-1001 для проведения многопараметровых измерений в реальном масштабе времени.

Налажена аппаратура и проведены магнитные измерения на ускорителе У-200, разработаны полупроводниковый интегратор и манипулятор для У-300, Q-метр для контроля качества работы высокочастотной системы резонаторов ускорителей.

а/



б/



Запущен микротрон с 17 орбитами для ускорения электронов до энергии 15 МэВ с помощью которых получают интенсивные пучки гамма-квантов и нейтронов. На микротроне начаты исследования спонтанно делящихся изомеров и работы по активационному анализу.



Фрагменты железокосменного метеорита Липовский Хутор /палласит/: а/ общий вид метеорита; б/ полированный срез; на поверхности железа видны темные вкрапления силикатного минерала оливина; в/ следы тяжелых ядер первичных космических лучей в оливине из метеорита.



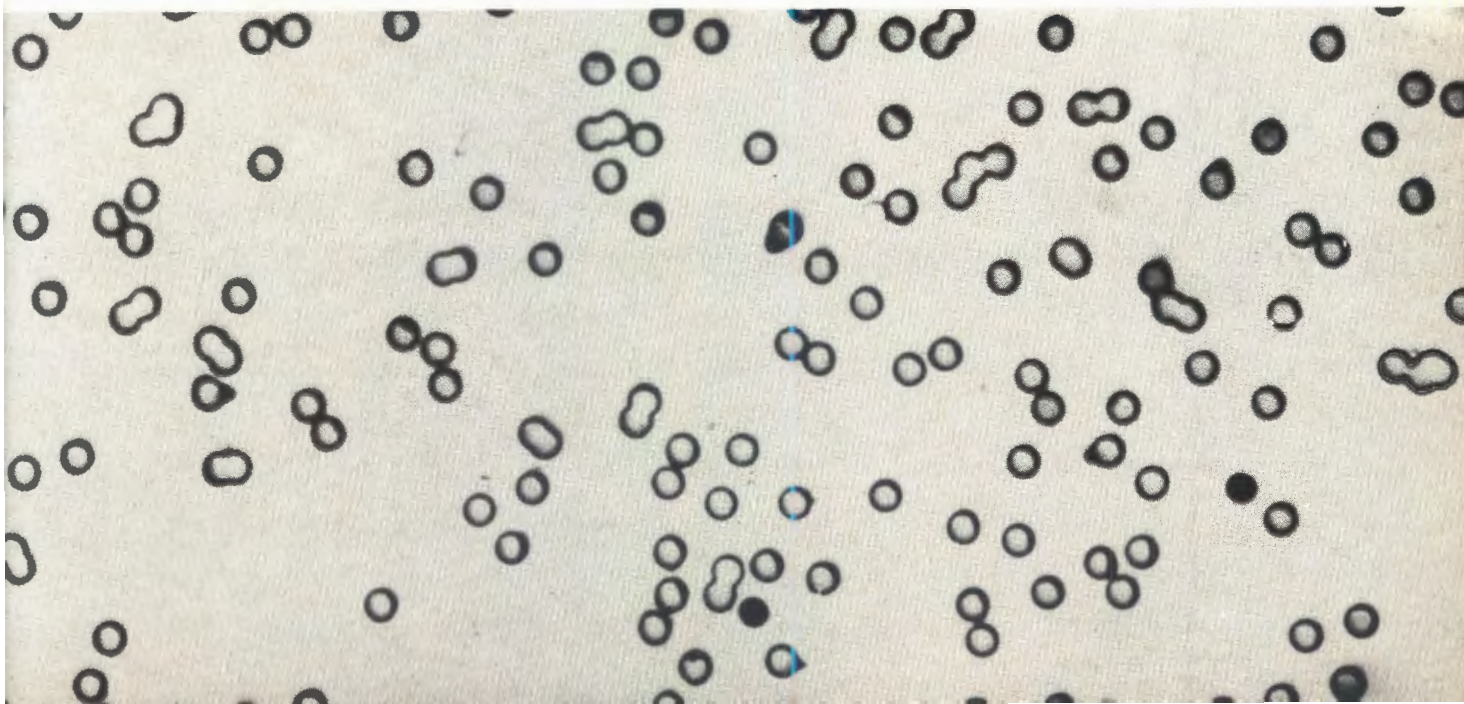


В ОИЯИ сооружается изохронный циклотрон типа У-200 для проведения экспериментов в Варшавском университете. Разработки ведутся совместно с учеными Польской Народной Республики.

В Дубне состоялось рабочее совещание по вопросам строительства ускорителя.



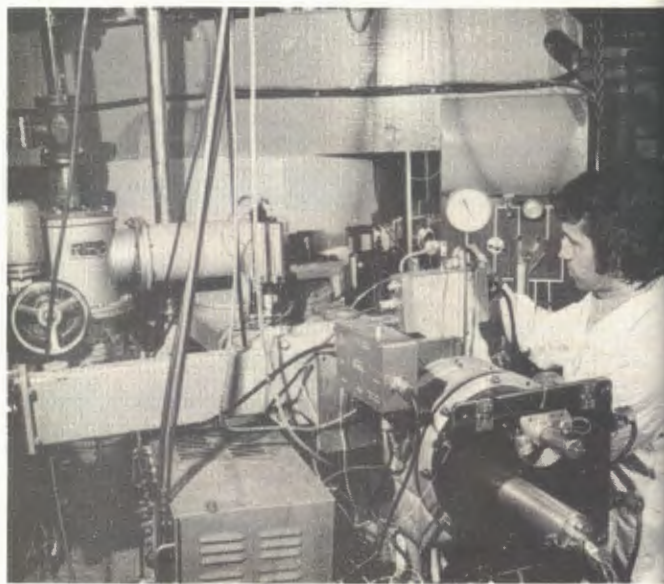
Путем облучения лавсановой пленки ионами ксенона, ускоренными на циклотроне У-300, получена решетка с отверстиями диаметром 5 мкм. Такие решетки могут использоваться в качестве фильтров для сверхтонкой очистки газов и жидкостей.



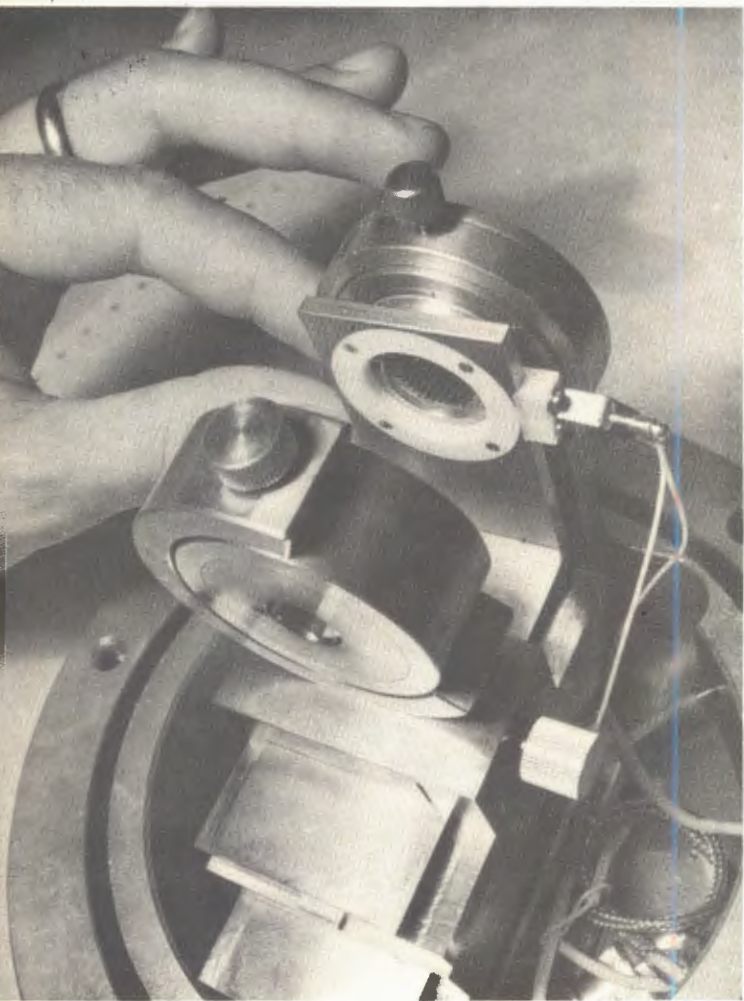


Завершены работы по созданию БЭМС-2-быстродействующего масс-сепаратора, с помощью которого на пучке тяжелых ионов ведутся исследования излучателей запаздывающих протонов. В сепараторе используется высокотемпературный ионный источник с поверхностной ионизацией.

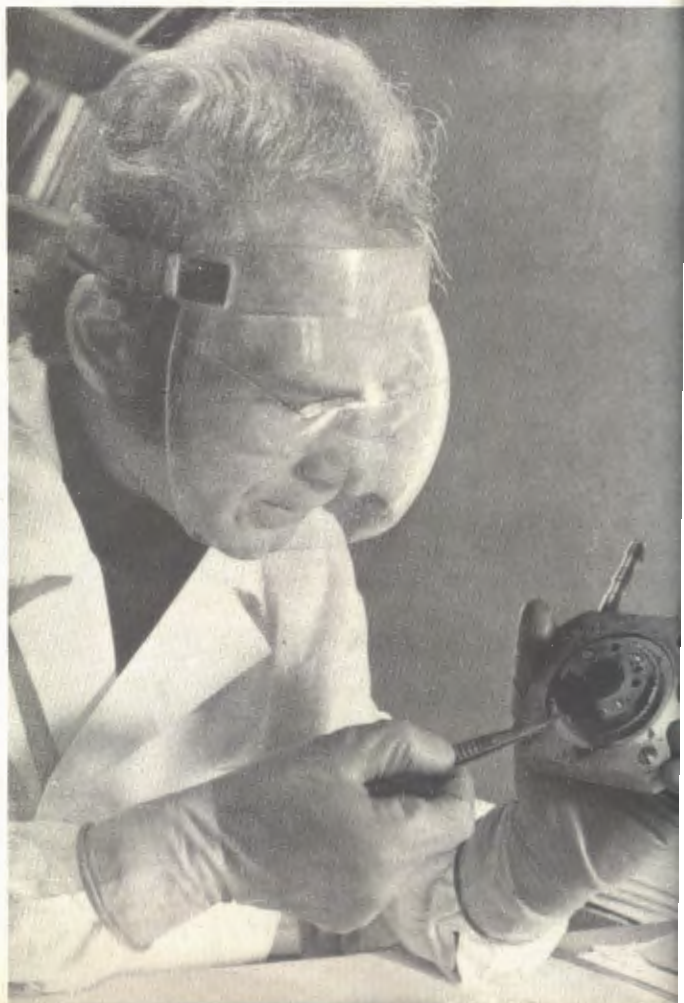
Установка для регистрации короткоживущих спонтанно делящихся ядер курчатовия и более тяжелых элементов. Опыты ведутся на выведенном и внутреннем пучках циклотрона У-300.



Разработан метод получения циклотронных мишеней путем электроосаждения трансплутониевых элементов из изобутанола. Мишени, изготовленные из кюрия-246, использовались для синтеза изотопов элемента 104.



Установка для измерения времени жизни возбужденных уровней ядер, получаемых в реакциях с тяжелыми ионами. Используется эффект доплеровского смещения гамма-излучения ядер отдачи, распадающихся на лету. С высокой точностью измеряется время их жизни в области от  $10^{-12}$  до  $10^{-9}$  сек.





Большие пропорциональные счетчики осколков деления используются для поиска сверхтяжелых элементов в природных объектах. Эти счетчики - наиболее чувствительные приборы для таких исследований. В работе используется автономная многоканальная система анализа данных.



В ОИЯИ изучается возможность выявления и идентификации следов сверхтяжелых космических ядер в минералах из метеоритов.

Физики ОИЯИ испытали методику поиска метеоритов в условиях пустыни Гоби /Монголия/. Работы ведутся по программе поиска сверхтяжелых элементов в природе.



## Лаборатория нейтронной физики

Основные усилия лаборатории были направлены на совершенствование базовой установки ИБР-30, проведение научных исследований в соответствии с проблемно-тематическим планом 1973 года, сооружение реактора ИБР-2 с инжектором и на подготовку физических экспериментов на ИБР-2.

Выполнены новые успешные эксперименты по изучению магнитных моментов нейтронных резонансов, спектров гамма-лучей при захвате резонансных нейтронов, свойств ультрахолодных нейтронов, бозе-конденсата в сверхтекучем гелии, альфа-распада нейтронных резонансов, изобар-аналоговых состояний ядер. Значительная часть исследований выполнена в сотрудничестве с институтами стран-участниц ОИЯИ.

## Научно- исследовательские работы

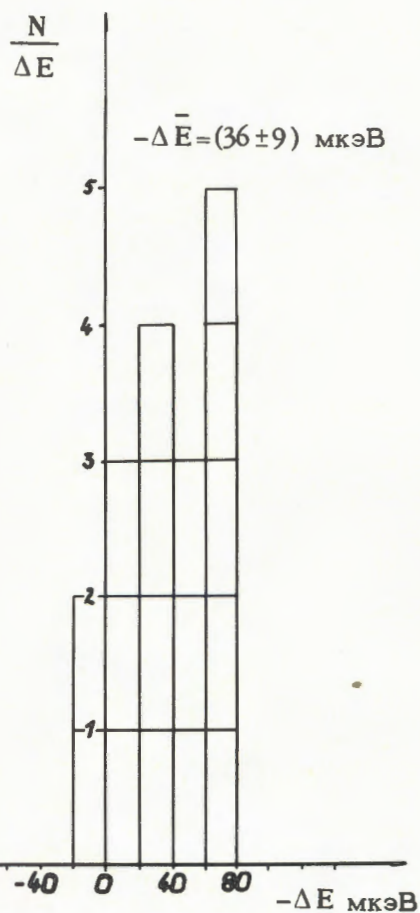
### Магнитные моменты компаунд-состояний ядер

Закончен второй эксперимент по измерению магнитных моментов компаунд-состояний ядер новым методом сдвига нейтронных резонансов за счет сверхтонкого магнитного взаимодействия в ядрах, ориентированных при сверхнизких температурах. Мишень металлического диспрозия была охлаждена в криостате с растворением гелия-3 в гелии-4. Измерялись сдвиги резонансов /рис. 46/ при изменении температуры мишени от 0,5 К /"неполяризованная мишень"/ до температуры 0,03 К /"поляризованная мишень"/.

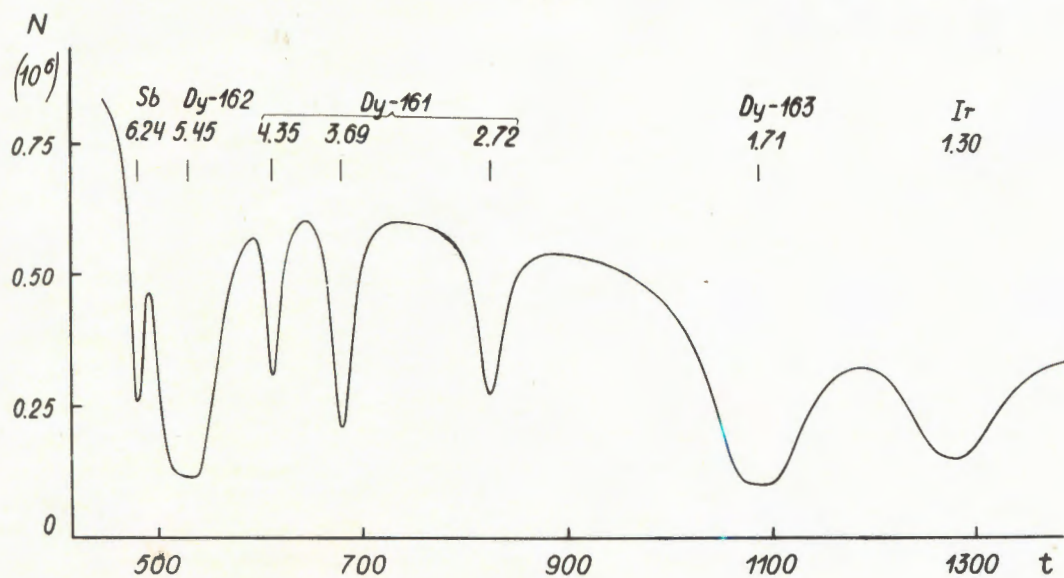
Особенностью эксперимента является расширение диапазона энергий нейтронов



46. Распределение сдвигов  $\Delta E$  -резонанса 1,71 эВ диспрозия-163 при охлаждении мишени от 0,5 до 0,03 К для 17 серий измерений.



47. Нейтронные резонансы диспрозия, для которых измерялись сдвиги резонансов. Цифры над резонансами - значение энергии нейтронов в электронвольтах.



/рис. 47/ при одновременном улучшении энергетического разрешения. Это достигнуто путем перехода от реакторного режима, в котором проводился первый эксперимент с эрбием, к режиму совместной работы ИБР-30 и ЛУЭ-30. В измерениях использовалась новая регистрирующая система на основе малой ЭВМ ТРА, оборудованной как временной анализатор повышенного быстродействия.

В результате предварительной обработки первой серии измерений определено значение магнитного момента нейтронного резонанса 1,71 эВ, принадлежащего изотопу  $Dy-163$ , равное  $3 \pm 1$  ядерных магнетона. Для трех резонансов изотопа  $Dy-161$  получены верхние оценки величин магнитных моментов.

### Ультрахолодные нейтроны

◇ Продолжались эксперименты по удержанию ультрахолодных нейтронов /УХН/ в различных сосудах из меди, стекла, кварца, стеклобериллия, стеклоуглерода. Измерения проводились на стационарном реакторе в совместной работе с Институтом атомной энергии /Москва/ на канале УХН с конвертором из гидрида циркония, обеспечивающим скорость счета 150 н/сек. Исследовались причины расхождения между экспериментальными значениями и теоретическими оценками коэффициентов поглощения УХН. С этой целью осуществлено измерение дифференциального энергетического спектра УХН с разрешением 5 наноэлектронвольт и измерены коэффициенты поглощения УХН в зависимости от скорости нейтронов.

Новые, газообразные конверторы из водорода и дейтерия исследованы в совместной работе с Институтом ядерной физики /Алма-Ата/ на канале стационарного реактора.

◇ Велись работы по созданию установки "Тристом", предназначенной для поиска

электрического дипольного момента нейтрона /ЭДМ/ с помощью УХН. Продолжалось проектирование установки, изготовление ряда деталей и моделирование узлов. Развита элементарная теория метода определения ЭДМ с помощью УХН.

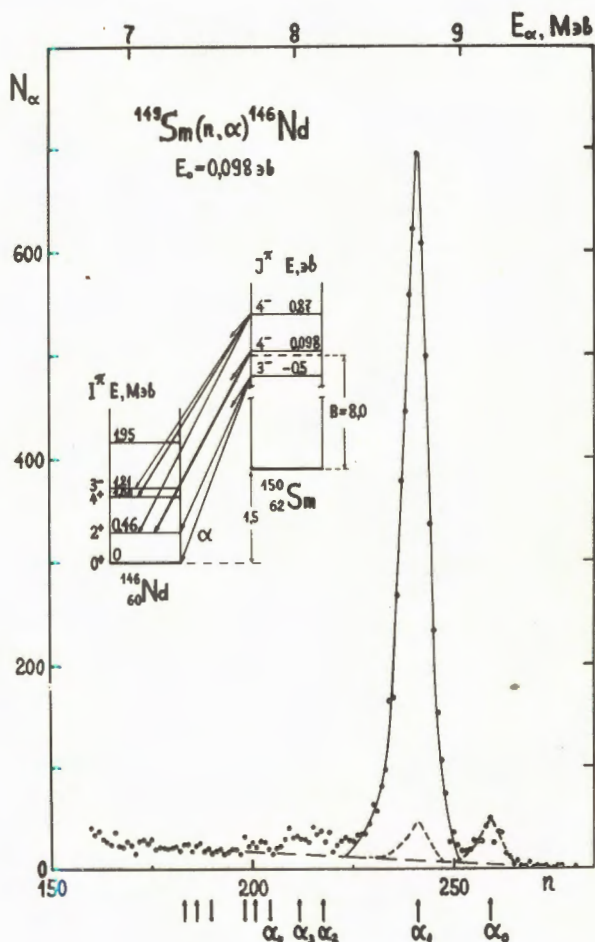
◇ Выполнен цикл теоретических работ, посвященных методам описания взаимодействия УХН с веществом, механизму взаимодействия, роли шероховатостей, пор и пленок на поверхности.

### Альфа-распад резонансных состояний ядер

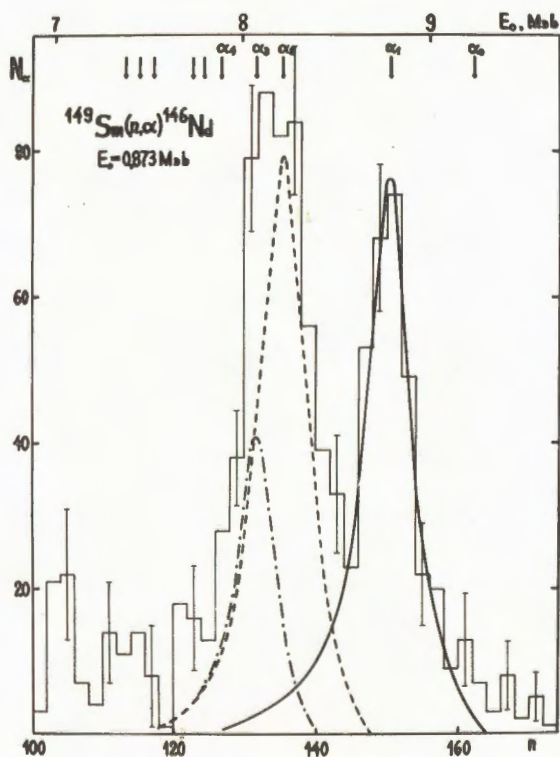
◇ На реакторе ИБР-30 в режиме работы совместно с ускорителем электронов продолжены измерения альфа-распада нейтронных резонансов деформированных ядер. Измерения велись на естественных мишенях европия, осмия и неизотопных мишенях гафния-177 и гадолиния-155. Получены значения полных альфа-ширин для ряда резонансов. Проведен анализ результатов по статистической модели ядра, параметры которой выбирались по систематике для сферических ядер. Экспериментальные и теоретические результаты оказались близкими, что, по-видимому, указывает на отсутствие существенных факторов запрета для альфа-распада, связанных с возможной разницей в деформации компаунд-состояния и низколежащих состояний дочерних ядер.

◇ Завершена обработка измерений амплитудных спектров альфа-частиц из резонансов  $\alpha$ -реакции на изотопной мишени  $Sm-149$ . Получены спектры для резонансов 0,098 эВ /рис. 48/ и 0,873 эВ /рис. 49/, а также новая информация о парциальных и полных альфа-ширинах резонансов компаунд-ядра самария-150. Результаты сравнены с расчетом по статистической модели ядра.

48. Амплитудный спектр альфа-частиц из резонанса  $E_0 = 0,098$  эВ на  $\alpha$ -реакции на  $\text{Sm-149}$ . Пунктиром отмечен вклад отрицательного резонанса.

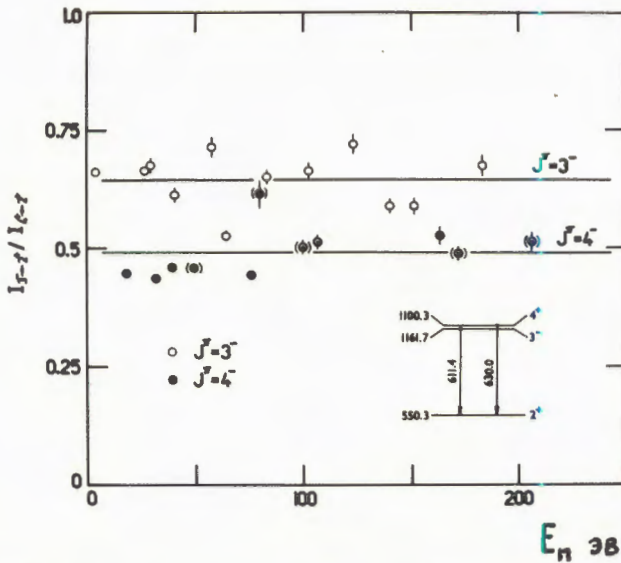


49. Амплитудный спектр альфа-частиц из резонанса  $E_0 = 0,873$  эВ на  $\alpha$ -реакции на  $\text{Sm-149}$  /гистограмма/ с выделенными пиками групп  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ .

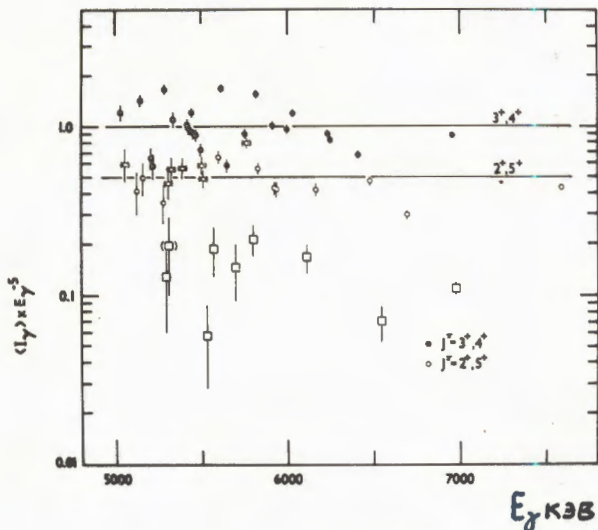


### Гамма-лучи резонансного захвата

Завершено исследование ядерных уровней изотопа  $\text{Sm-148}$  в реакции радиационного захвата резонансных нейтронов. С помощью спектрометра высокого разрешения ( $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектор объемом  $12,5 \text{ см}^3$ ,  $\Delta E/E \approx 0,1\%$ ) изучены спектры первичных гамма-лучей из 23 нейтронных резонансов и из усредненного спектра нейтронов. Надежно определены спины многих резонансов. При их идентификации успешно применен метод сравнения



50. Определение спинов нейтронных резонансов самария из отношения интенсивностей двух характеристик низкоэнергетических гамма-линий.



51. Приведенная интенсивность прямых гамма-переходов различной мультипольности на уровни с различными спинами в самарии-148.

интенсивностей двух характерных низкоэнергетических переходов /рис. 50/.

С использованием результатов систематики E1- и M1-переходов в исследуемой области ядер получена информация о значениях спинов и четностей для 50 низколежащих состояний самария-148 /рис. 51/ с энергией возбуждения до 2,5 МэВ. Впервые исследовано 11 уровней, не наблюдаемых обычными методами с помощью  $\beta$ -распада ввиду их относительно высокой энергии. Полученные экспериментальные результаты существенны для развития и проверки теоретических моделей структуры уровней ядер в переходной области от сферических к деформированным.

### Нейтронная спектроскопия

◆ На реакторе ИБР-30 с ЛУЭ-30 продолжались измерения радиационного захвата нейтронов с помощью четырех кристаллов NaI с целью определения спинов нейтронных резонансов методом множественности гамма-квантов. В результате измерений на изотопных мишенях кадмия-113, диспрозия-161 и диспрозия-163 определены спины для 20 резонансов кадмия-113, 50 резонансов диспрозия-161, 40 резонансов диспрозия-163 и получены нейтронные силовые функции для разных спиновых состояний.

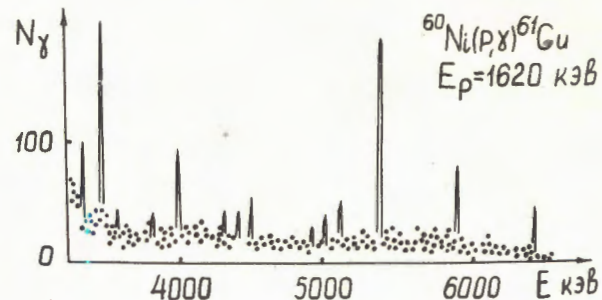
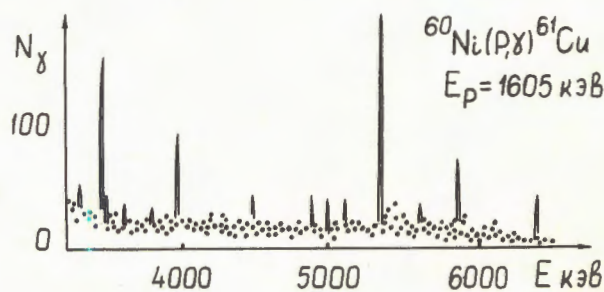
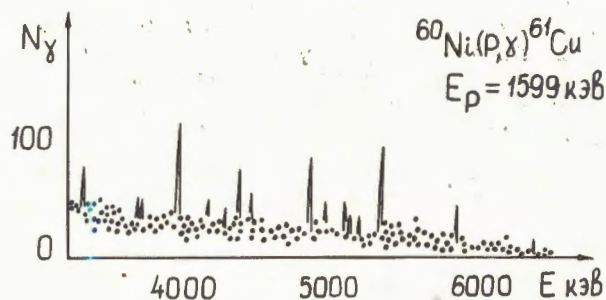
◆ Выполнены теоретические работы по исследованию сдвига нейтронных резонансов в различных химических соединениях /изомерный сдвиг/, показавшие принципиальную возможность изучения методами нейтронной спектроскопии радиусов и деформаций ядер в состояниях при энергии возбуждения 6-8 МэВ.

Делящиеся ядра  
и реакторные  
конструкционные материалы

В совместной работе ОИЯИ, ЦИЯИ /Россендорф/ и ФЭИ /Обнинск/ проводились исследования ядерных характеристик урана-238, урана-235 и плутония-239, используемых в реакторной технике. Получены среднегрупповые константы нейтронных сечений. Изготовлен малогабаритный высокоэффективный нейтронный детектор из 90 пропорциональных гелиевых счетчиков, предназначенный для измерения сечений захвата нейтронов ураном-238 методом обратной сферической геометрии на спектрометре по времени пролета. Детектор имеет хорошие временные /время запаздывания менее 0,5 мксек/ и спектрометрические ( $\Delta E / E \approx 10\%$ ) характеристики.

Ядерные реакции  
с заряженными частицами

◇ Гамма-распад изобар-аналоговых резонансов  $^{61}\text{Cu}$  исследовался в  $(p, \gamma)$ -реакции на изотопной мишени  $^{60}\text{Ni}$  с помощью спектрометра высокого разрешения с  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором объемом  $40 \text{ см}^3$ . Измерены гамма-спектры при энергиях протонов  $E_p = 1599, 1605, 1620, 1674$  и  $1856 \text{ кэВ}$  /рис. 52/, получены относительные интенсивности прямых гамма-переходов с каждого резонанса на уровни  $^{61}\text{Cu}$  и приведенные вероятности переходов  $B(M1)$ . При распаде  $p_{3/2}$ -компоненты аналогового резонанса обнаружена антикорреляция между вероятностями переходов на основное и низколежащее состояния  $^{61}\text{Cu}$ , свидетельствующая о простой структуре антианалоговой компоненты. Из анализа соотношений между величинами  $ft$  и  $B(M1)$ , а также перехо-



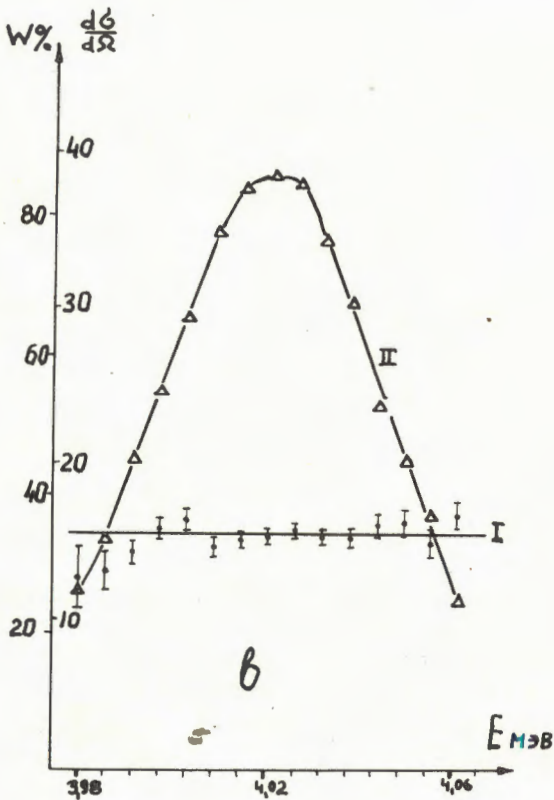
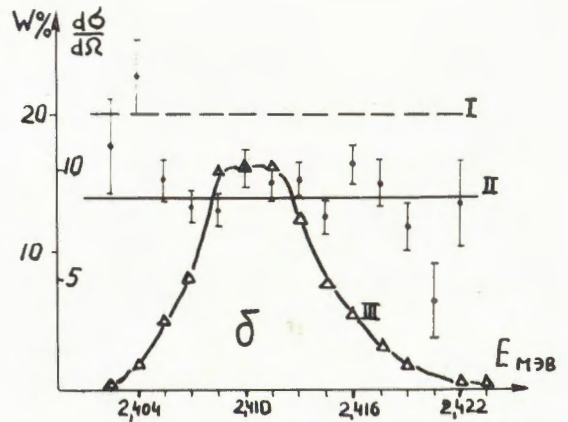
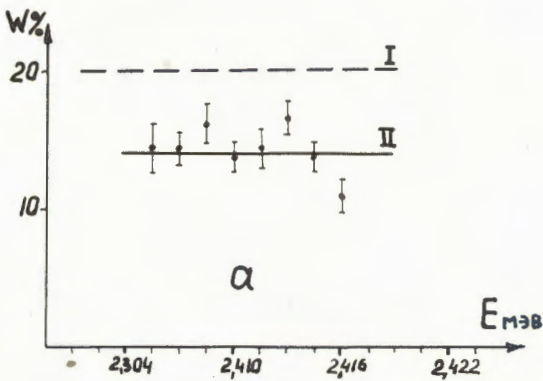
52. Гамма-спектры из распада трех аналоговых резонансов меди в реакции

$^{60}\text{Ni}(p, \gamma)^{61}\text{Cu}$ .

дов типа аналог-антианалог, сделан вывод о существенном влиянии парного спин-изоспинового взаимодействия.

◇ Энергетическая и угловая зависимости вероятности ( $W$ ) переворачивания спина при неупругом рассеянии протона на магнии-24 измерена для энергий протонов в области резонансов  $2,41$  и  $4,02 \text{ МэВ}$ . Регистрировался спектр неупруго рассеянных протонов в совпадении с гамма-

53. Угловая и энергетическая зависимость вероятности переворачивания спина  $W$  при неупругом рассеянии протона на магнии в резонансах 2,41 МэВ /II а - 90°, II б - 150°/ и 4,02 МэВ /I в - 90°, Δ - точки  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ .



квантами, испущенными перпендикулярно плоскости рассеяния. Измерения показали, что в области брейт-вигнеровских /изолированных/ резонансов вероятность переворачивания спина, в отличие от поляризации, не равна нулю. Поведение экспериментальных значений  $W$  /рис. 53/ различно для двух резонансов: при 2,4 МэВ /S-волна/ вероятность переворачивания спина изотропна, имеет нерезонансный характер и равна  $14 \pm 3\%$ ; при 4 МэВ величина  $W$  неизотропна, равна  $35 \pm 4\%$  и также имеет нерезонансный характер в зависимости от энергии.

◇ Ядерные реакции  $^{22}\text{Ne} (^3\text{He}, p) ^{24}\text{Na}$  и  $^{22}\text{Ne} (^3\text{He}, \alpha) ^{21}\text{Ne}$  исследованы в интервале энергий 2,9 - 4,1 МэВ ионов гелия-3 на газовой мишени  $^{22}\text{Ne}$ . С помощью поверхностно-барьерных детекторов измерялись функции возбуждения реакций и угловые распределения для трех энергетических групп протонов и альфа-частиц. Сравнение экспериментальных результатов с теорией показало, что реакция  $(^3\text{He}, p)$  протекает в основном через образование составного ядра, тогда как в  $(^3\text{He}, p)$  реакции существует вклад прямого процесса /40%. Значение средней ширины уровней составного ядра Mg-25 при энергии возбуждения - 23 МэВ найдено в пределах 50-90 кэВ.

### Эффект Мессбауэра

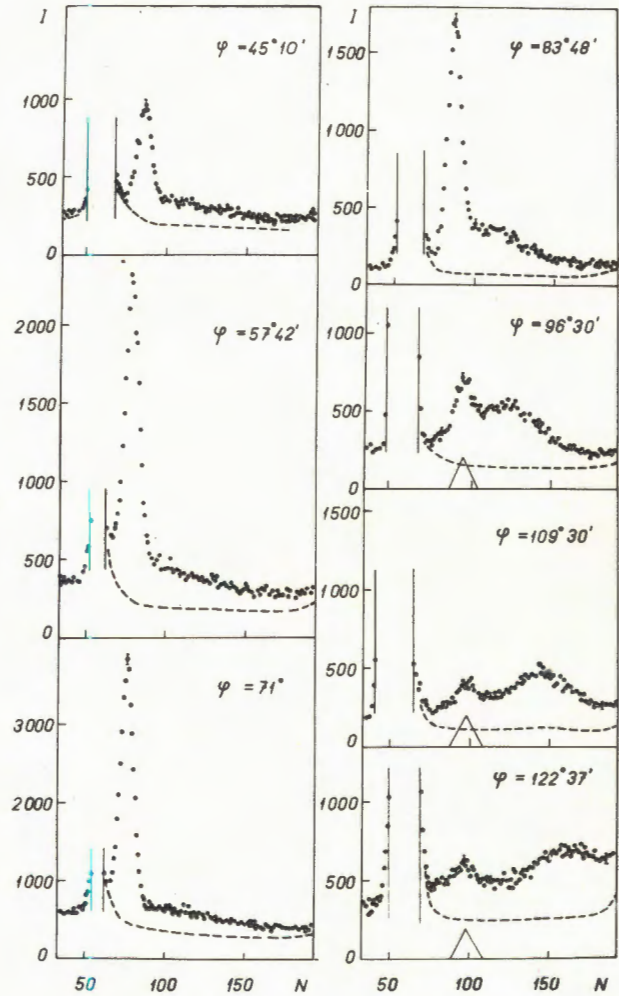
В исследованиях ядерного гамма-резонанса на изотопе цинка-67 велись поиски новых материалов, пригодных в качестве излучателей. Изучались: цинк металлический,  $ZnS$ ,  $ZnAl_2O_4$ . Одиночная линия поглощения обнаружена для  $ZnAl_2O_4$  с шириной, превышающей естественную ширину линии в 20 раз.

### Динамика конденсированных сред

◇ Неупругое рассеяние нейтронов в жидком гелии при температурах 1,2 и 4,2 К измерено с помощью спектрометра ДИН-1 на реакторе ИБР-30. Монохроматический пучок нейтронов формировался механическим прерывателем и после рассеяния на образце регистрировался детекторами под семью углами. Диапазон передач импульса  $q$  в эксперименте составлял  $1,25-35 \text{ \AA}^{-1}$  при 14 значениях энергии падающих нейтронов в пределах 6,7-1000 мэВ и разрешающей способности от 5 до 20%. Экспериментальные спектры при  $E_n = 6,7 \text{ мэВ}$  и  $T = 1,2 \text{ К}$  показаны на рис. 54. При этой температуре и  $q = 4 \text{ \AA}^{-1}$  наблюдаются два максимума, соответствующие однофононному и многофононному рассеянию.

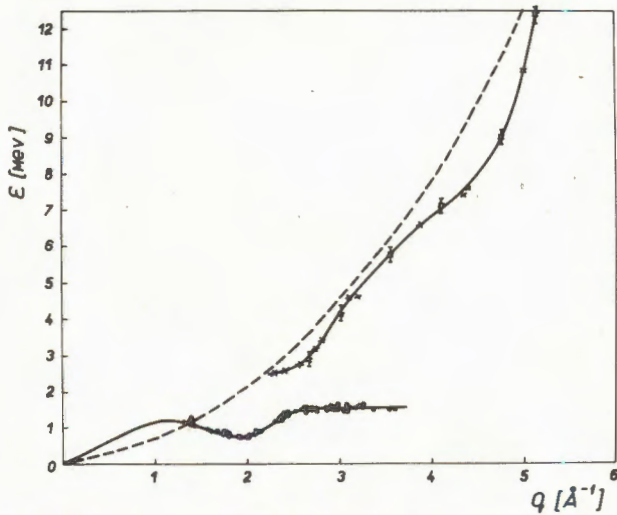
Полученные дисперсионные кривые для двух типов возбуждений показаны на рис. 55. Для однофононных возбуждений измерены зависимости интенсивности и ширины пиков от импульса. Поиск новых ветвей возбуждений в гелии II в области  $q = 1,3-4 \text{ \AA}^{-1}$  и  $\epsilon \approx 1,5 \text{ мэВ}$ , предсказанных Л.П.Питаевским, не дал положительных результатов.

С целью проверки теоретических предсказаний о существовании бозе-конденсата, то есть частичной конденсации атомов гелия вблизи нулевых значений импульсов, проведены измерения рассеяния нейтро-



54. Экспериментальные спектры нейтронов, рассеянных жидким гелием при температуре 1,2 К. Вертикальными линиями выделена область упругого рассеяния. Начальная энергия нейтронов 6,7 мэВ.

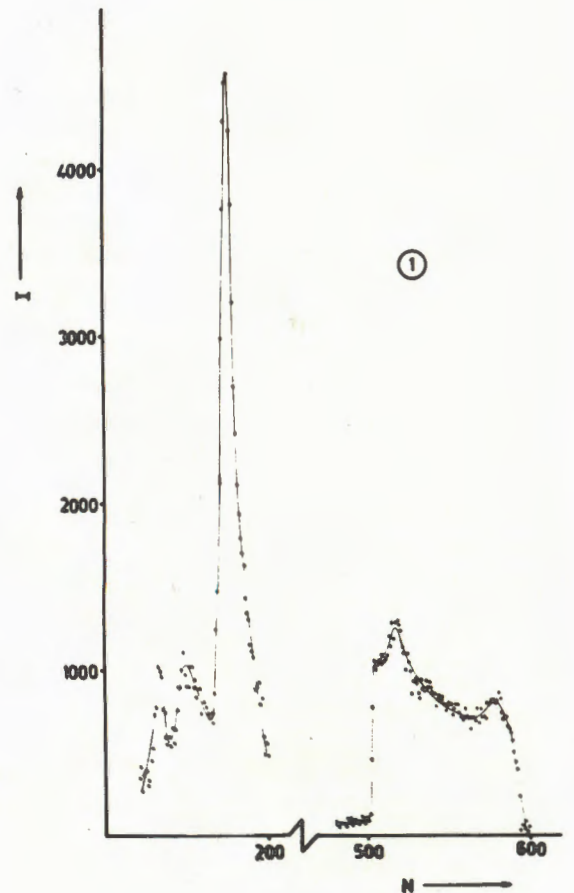
нов при значениях  $q \approx 15 \text{ \AA}^{-1}$  в режиме работы реактора ИБР-30 совместно с ускорителем. Получено двухкомпонентное энергетическое распределение рассеянных нейтронов, свидетельствующее о наличии при 1,2 К примерно 3% атомов гелия с нулевым импульсом.



55. Спектр элементарных возбуждений в жидком гелии при температуре 1,2 К. Пунктирная кривая соответствует рассеянию на свободном атоме.

◇ Изучение ионных уровней с помощью неупругого парамагнитного рассеяния нейтронов продолжено на ортоферритовых и ортогаллатовых соединениях редкоземельного элемента празеодима. Измерения проведены одновременно как на импульсном реакторе ИБР-30, так и на стационарном реакторе центра Рисё /Дания/. Они показали преимущества импульсного реактора в отношении разрешающей способности и возможности одновременного набора информации по всему спектру /1 ÷ 70 мэВ/.

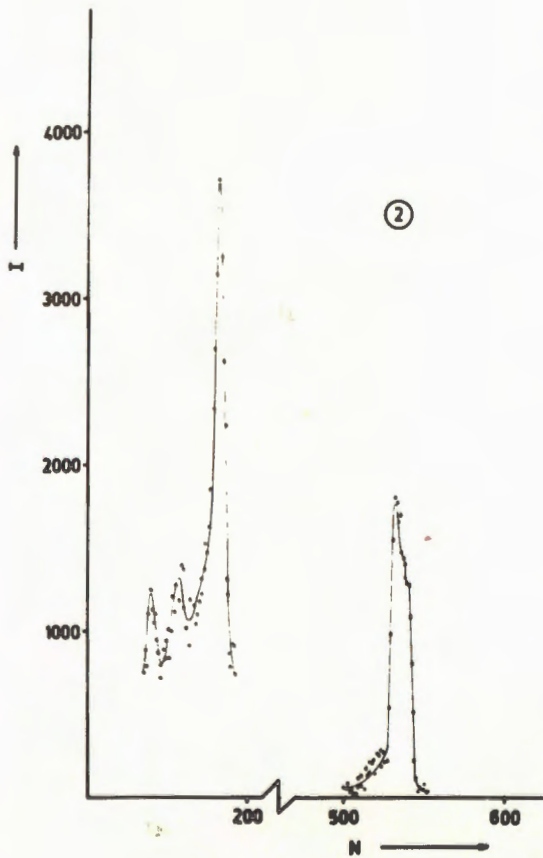
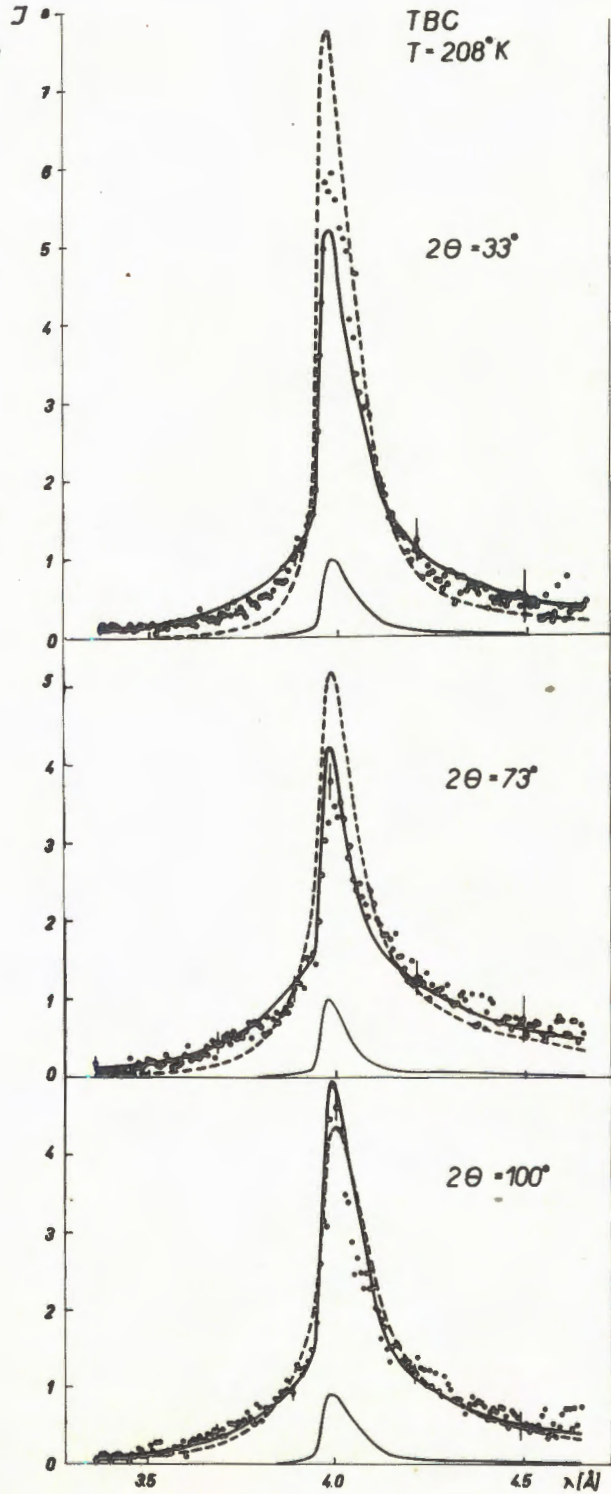
Улучшена разрешающая способность спектрометра с обратной геометрией благодаря использованию двойного фильтра из бериллия /первый фильтр/ и бериллия плюс железо /второй фильтр/, обладающих близкими граничными значениями энергии. Разность спектров, прошедших через два таких фильтра, обеспечила двухкратное улучшение разрешения /3%/ в сравнении с ранее применявшейся комбинацией Be-BeO /рис. 56/.



56. Пик при энергии 49 мэВ в спектре неупруго рассеянных нейтронов на  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , полученный с помощью спектрометра обратной геометрии с двойным фильтром: 1 - фильтр Be-BeO, 2 - фильтр Be-(Fe+Be).



57. Квазиупругое рассеяние нейтронов на жидком кристалле ТВС. Гладкая кривая - теоретический расчет. Гладкие кривые под пиками - функция разрешения.



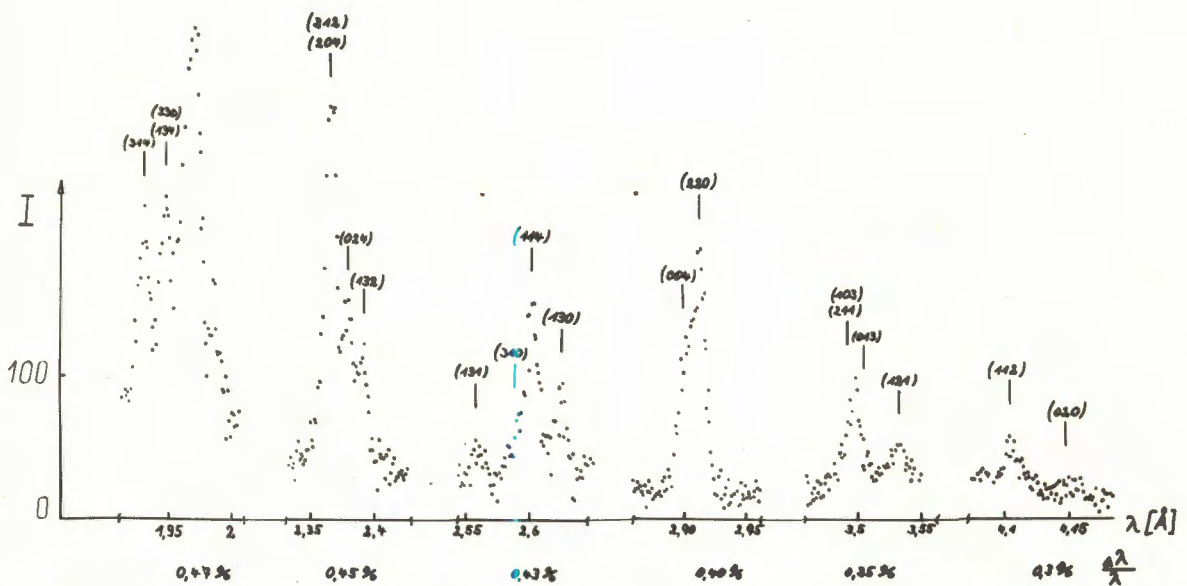
На пучке № 2 реактора ИБР-30, оборудованном для измерений парамагнитного рассеяния нейтронов, установлен рабочий макет спектрометра с вращающимся монокристаллом. Запущен криостат для измерений с крупногабаритными образцами при температуре 4,2 К.

◇ Характерной особенностью жидких кристаллов является существование вращательной степени свободы молекул в твердой фазе. При изучении этого типа движений ценную информацию дает квазиупругое рассеяние нейтронов. На реакторе ИБР-30 с помощью спектрометра обратной геометрии с бериллиевым фильтром и монокристаллом цинка перед детектором завершено исследование квазиупругого рассеяния нейтронов на органическом соединении  $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$  (ТВС), способном находиться /в зависимости от температуры/ в одной из трех твердых фаз I, II, III с точками перехода между ними

219,4 и 183,1 К. В экспериментальных спектрах /рис. 57/ для пластической фазы II обнаружена широкая неупругая компонента под упругим пиком. Теоретические расчеты показали, что такой вид спектров объясняется вращательными перемещениями молекулярных групп  $\text{CH}_3$  относительно фиксированной /в температурной области существования II фазы/ оси атомов углерод - хлор.

### Магнетизм

◇ Изготовлены и испытаны импульсные магниты для нейтронно-дифракционных экспериментов на пучке реактора ИБР-30, обеспечивающие поле до 350 кЭ при частоте импульсов 2 /сек. Начаты дифракционные измерения магнитной структуры гематита выше точки Морина /-20°C: точка перехода в состояние со слабым



58. Экспериментальная нейтронограмма ортоферрита празеодима, полученная методом времени пролета на расстоянии 84 м от реактора.

ферромагнетизмом/. Выполнен цикл теоретических работ по фазовым диаграммам антиферромагнитных кристаллов со слабым ферромагнетизмом.

◇ С целью уточнения магнитной структуры ортоферрита празеодима проведено измерение дифракции нейтронов методом времени пролета. Благодаря использованию пролетной базы 84 м, обеспечивающей разрешение - 0,3%, удалось разделить ранее не разрешенные рефлексы /рис. 58/. Подобное разрешение недостижимо в обычных экспериментах на стационарных реакторах.

## Эксплуатация, совершенствование и развитие новых установок и аппаратуры

### Реактор ИБР-30 и ускоритель ЛУЭ-30

В первой половине 1973 года был завершен ремонт и частичная реконструкция ряда узлов реактора ИБР-30, направленная на повышение надежности работы технологической машины и систем защиты. Введено в эксплуатацию несколько новых радиоэлектронных каналов систем контроля, управления и быстродействующей защиты реактора. В сжатые сроки выполнена критическая сборка реактора, 30 мая осуществлен запуск ИБР-30 в импульсном режиме. С 11 июня по 1 января 1974 года реактор проработал на физический эксперимент 3300 час.

Проведена модернизация системы СВЧ-питания линейного ускорителя электронов с целью повышения стабиль-

ности установки при совместной работе с реактором ИБР. Испытана электронная аппаратура для строящегося реактора ИБР-2.

### Электростатические ускорители

Ускоритель ЭГ-2 работал в соответствии с потребностями эксперимента. Ускоритель ЭГ-5 проработал 4260 час., ускоряя протоны и гелий-3 до энергии 4,5 МэВ.

### Измерительно-вычислительный центр

◇ Завершено создание проекта измерительно-вычислительного центра ИБР-2, осуществленное совместно с ЦИФИ /Будапешт/. В основу проекта /рис. 59/ положена система 14 измерительных модулей - наборов специализированных радиоэлектронных блоков, каждый из которых работает с автономной малой вычислительной машиной класса PDP-11. В состав центра планируется также включить базовую вычислительную машину среднего класса и отдельную организующую ЭВМ. Проект рассмотрен и одобрен Постоянной комиссией по вопросам развития в ОИЯИ средств вычислительной техники и автоматизации.

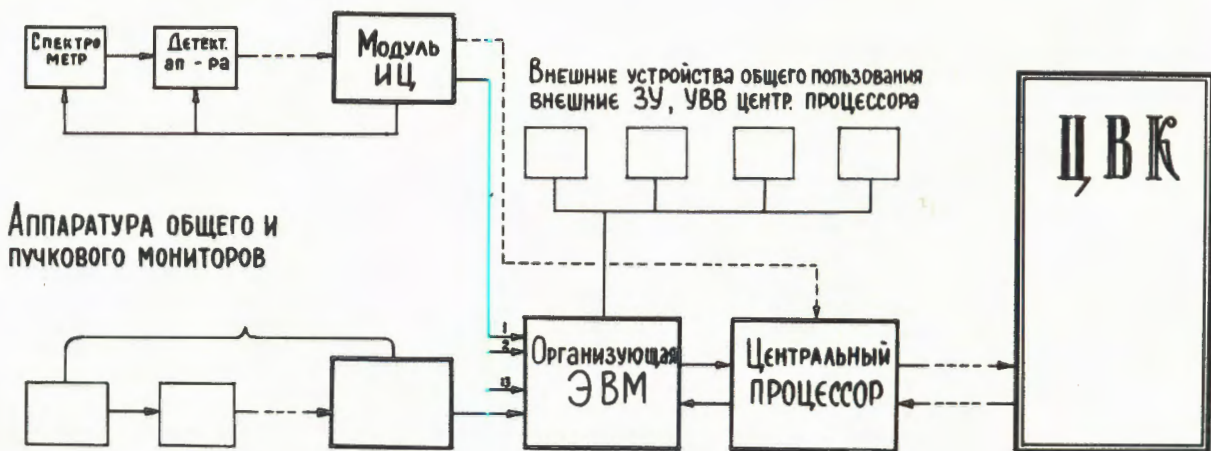
Проводились разработки основного состава экспериментальной аппаратуры модуля, выполняемой в стандарте КАМАК, и внедрение ее в физический эксперимент /эксперимент по магнитным дипольным моментам резонансов, эксперименты на спектрометре ДИН-1м, электронная аппаратура установки "Тристом"/.

◇ Продолжалась работа по автоматизации физического эксперимента на основе малой ЭВМ. Смонтирована и запущена малая ЭВМ типа ТРА-1, а также магнитные диски фирмы Хьюлетт-Паккард.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ  
ЗАЛ И ПАВИЛЬОНЫ ИБР-2

Здание ИВК ИБР-2

ЛВТА



59. Схема измерительно-вычислительного комплекса ИБР-2 /проект/.

Созданы отдельные узлы дисплея - устройства отображения информации и взаимодействия оператора с ЭВМ измерительного модуля. Расширен набор программ для ранее созданного дисплея на ЭВМ ТРА. Осциллограф со световым карандашом ЭВМ БЭСМ-4 модернизирован и превращен в универсальное устройство, предназначенное как для обработки физического эксперимента, так и для автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

◇ Действующий измерительный центр обеспечивал эксплуатацию многоканальных анализаторов в соответствии с потребностями физических экспериментов на ИБР-10 и ЭГ-5. Изготавливалась электронная детекторная аппаратура для физических экспериментов. Большая работа выполнена по модернизации электронно-измерительной аппаратуры систем управления и контроля ИБР-30.

Подготовка  
к исследованиям на ИБР-2

Проделана значительная работа по созданию крупных физических установок для строящегося реактора ИБР-2. Кроме упомянутых работ по спектрометру с вращающимся монокристаллом и установке "Тристом", завершено изготовление основных узлов новой установки "Поляризованная протонная мишень". Она предназначена для получения пучка поляризованных нейтронов, будет испытана в экспериментах на ИБР-30 и затем перенесена на ИБР-2.

Велось конструирование и начато частичное изготовление установки малоуглового рассеяния нейтронов, предназначенной для исследования биологических материалов. Начаты подготовительные работы по нейтронному дифрактометру

для изучения сложных кристаллов и биологических объектов.

Совместно с Ленинградским институтом ядерной физики развернуты работы по созданию нейтронного спектрометра неупругого рассеяния с поляризующим нейтронным полным внутренним отражением.

Модернизирован спектрометр КДСОГ, переоборудованный, помимо работ с поликристаллами, также для исследований рассеяния нейтронов на монокристаллах. Изготовлен и запущен вращающийся коллиматор для уменьшения фона быстрых нейтронов.

#### Сооружение ИБР-2 с инжектором

Продолжалось сооружение комплекса ИБР-2, изготовление основных механиз-

мов реактора, размещение в промышленности оборудования для технологических систем реактора. Часть оборудования уже поступила на склады ОИЯИ.

В соответствии с решением Комитета Полномочных Представителей ОИЯИ проведена дополнительная экспертиза проекта ИБР-2. Заключение экспертов положительно, предложения по частичному усовершенствованию ряда систем реактора приняты.

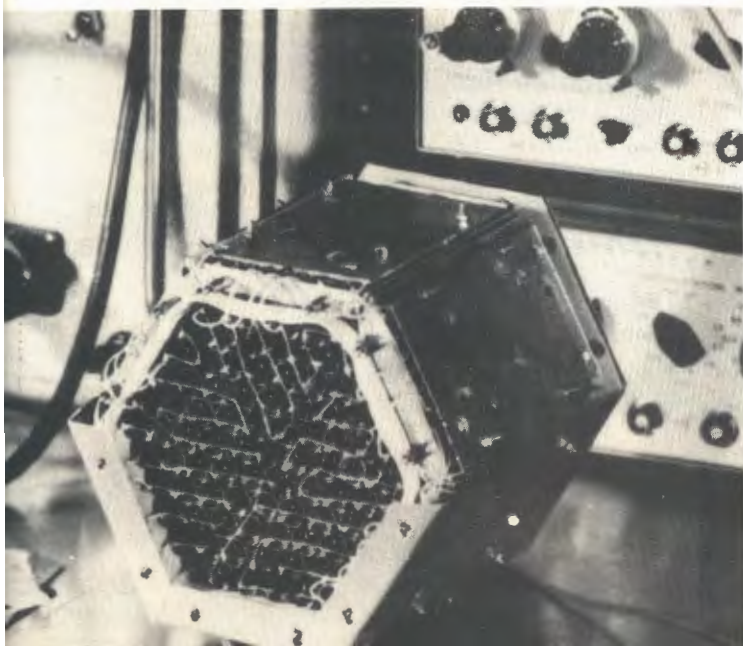
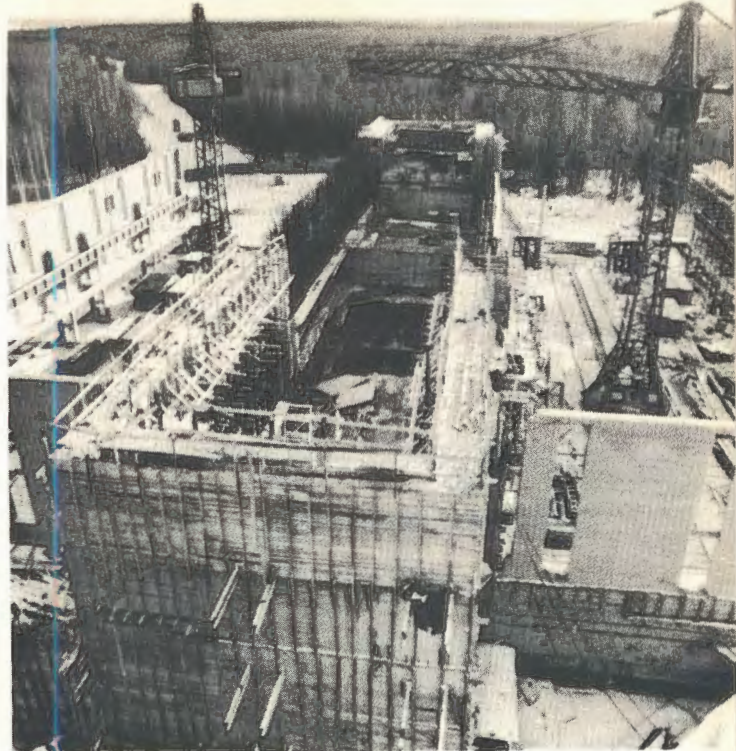
В ходе работ по инжектору к ИБР-2 - индукционному ускорителю ЛИУ-30 - проводились испытания головного образца /первой части ускорителя на энергию 700 кэВ/. Заключен договор на частичное изготовление ускорителя.

*Криостат с растворением гелия-3 в гелии-4 для получения поляризованных ядер при работе на нейтронном пучке ИБР-30. С помощью криостата измерены магнитные моменты возбужденных состояний эрбия, ведутся опыты с диспрозием.*



*Магнитный спектрометр для экспериментов на ИБР-30 позволяет исследовать магнитную структуру и динамику веществ в импульсных магнитных полях напряженностью до 400 килоэрсед.*

*Строительство комплекса ИБР-2.*



Детектор нейтронов - блок пропорциональных счетчиков, наполненных гелием-3. Прибор обеспечивает высокую эффективность регистрации медленных нейтронов при низкой чувствительности к фону гамма-излучения.

# Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

Эксплуатация  
электронных вычислительных машин

ЭВМ	Полезное время /в час./	Среднесу- точное по- лезное время /в час./
БЭСМ-6	7244	20,9
CDC-1604A	7704	22,0
БЭСМ-4-I	7000	21,3
БЭСМ-4-II	5049	20,7

Измерительно-вычислительный  
комплекс ОИЯИ

◇ Проведены работы по оснащению машин БЭСМ-6 и БЭСМ-4 стандартными накопителями на магнитной ленте типа ЕС-5012. 4 таких накопителя подключены к пятому направлению БЭСМ-6 и по два накопителя подключены к БЭСМ-4-I и БЭСМ-4 ЛНФ. Накопители обеспечивают надежную работу при плотностях записи/воспроизведения 200 и 556 бит на дюйм. Ввод в эксплуатацию магнитофонов ЕС-5012 позволит вести обмен информацией, записанной на магнитной ленте, с вычислительными центрами стран-участниц ОИЯИ и других стран.

Расширена до 12К оперативная память двух машин БЭСМ-4, что позволит повысить эффективность их работы на линии с ПУОСами и АЭЛТ при обработке камерных снимков.

◇ Закончена установка процессора 1604А. Проведены работы по восстановлению центрального процессора и определению его надежности. Разработан проект использования процессора 1604А в системе НРД совместно с вычислительной машиной CDC-1604А.



◇ На БЭСМ-6 создан стенд автономной проверки и настройки накопителей на магнитной ленте. Внедрена в эксплуатацию тестовая программа проверки телетайпов.

Введены в эксплуатацию схемы прерывания БЭСМ-4-1 по внутренним причинам и программы анализа занятости устройств вывода. Закончен монтаж счетчика реального времени, предназначенного для оценки эффективности работы ЭВМ.

На двух ЭВМ БЭСМ-4 выполнена работа по автоматическому программно-управляемому изменению напряжения питания в режиме профилактического контроля.

◇ Сдан в опытную эксплуатацию на БЭСМ-4 магнитофон CDC-608. Проведены /совместно с ЦИФИ ВНР/ работы по подключению к БЭСМ-4 фортранной станции на основе ЭВМ ТРА-1001. Осуществлено несколько сеансов связи БЭСМ-4 с БЭСМ-6 по передаче экспериментальных данных.

◇ Разработана техническая документация, изготовлен и отлажен макет аппаратуры линии связи измерительно-вычислительного комплекса ОНМУ с ЦВК ОИЯИ.

#### Математическое обеспечение ЭВМ

На БЭСМ-6 введен режим потоковой пакетной обработки, что повысило пропускную способность этой ЭВМ более чем вдвое во время отладок задач пользователей. Введены в эксплуатацию новый вариант транслятора с языка ФОРТРАН и новый диспетчер.

Завершены основные работы по организации ленточных библиотек общего назначения на БЭСМ-6. На магнитных лентах создан архив из 263 программ в текстовом и двоичном виде. Издано 4 дополнения к томам описаний библиотеки. Для облегчения процесса перевода программ с БЭСМ-6 на CDC-6200 создан аналог

библиотеки БЭСМ-6 из 141 программы в двоичном и 150 программ в текстовом виде, включенный в систему математического обеспечения CDC-6200.

Подготовлена документация по транслятору с языка ФОРТРАН-4 для ЕС-ЭВМ.

Отлажены стандартные программы обмена массивами между БЭСМ-6 и периферийными ЭВМ, включая М-6000 графической дисплейной станции. Проведена подготовка к сдаче в эксплуатацию математического обеспечения удаленных фортранных станций ввода-вывода БЭСМ-6 и канала связи МКС-2А на БЭСМ-4.

Выполнена работа по автоматизации программирования на БЭСМ-4. На этой машине введена в эксплуатацию компилирующая система с транслятором с языка ФОРТРАН-2.

#### Программы

##### обработки камерных снимков

◇ Разработана и отлажена на реальных событиях с метровой пропановой камеры программа кинематической идентификации одновершинных событий. Обсчитано около ста случаев когерентного рождения пионов пионами. Подготовлено описание геометрической программы 1-8.

◇ Создан секционный вариант системы программ обработки снимков с камеры "Людмила", по которому проводилась обработка данных с этой установки. На основе анализа результатов реконструкции проводилась доработка методики идентификации проекций одних и тех же треков события. Подготовлено руководство для программ ТРЭШ, ГРАЙНД и САМКС.

На БЭСМ-6 поставлены системные подпрограммы ГИДРА и начата отладка модулей системы. Полностью закончено создание служебных программ. Работа проводилась совместно с ИФВЭ АН ГДР и Университетом в Кошице /ЧССР/.

◇ Производилась проверка работы отдельных блоков и алгоритмов программы реконструкции и кинематической идентификации событий, регистрируемых в пятиметровом магнитном искровом спектрометре.

Разработана и отлажена программа управления процессом измерения и обработки модульной структуры, которая позволяет проводить измерение снимков с различных установок.

◇ Для больших пузырьковых камер разработана методика поиска соответствия между треками на разных стереоснимках.

◇ В соответствии с планом совместных работ в ИТЭФ передана разработанная в ОИЯИ программа геометрической реконструкции событий в магнитном искровом спектрометре для ЭВМ БЭСМ-6.

◇ На БЭСМ-6 закончена отладка программ геометрической реконструкции событий, зарегистрированных в пропановых камерах. Программы включают блок автоматического опознавания треков, блоки поиска изломов, выбора соответствующих треков и определения параметров электронов.

### Использование ЭВМ

на линии  
с экспериментальными установками

◇ Создана система программного обеспечения первой очереди для экспериментов по поиску радиоактивности нового типа. В настоящее время система находится в опытной эксплуатации на протонном синхротроне ИФВЭ /Серпухов/ при работе экспериментальной установки на линии с ЭВМ БЭСМ-3М. Созданное математическое обеспечение позволяет накапливать экспериментальные данные и производить статистическую обработку в реальном масштабе времени.

◇ Сдан в эксплуатацию комплекс программ для многократных ферритовых камер МИС ОИЯИ. С помощью этого комплекса проведена отладка и настройка оборудования в рабочих условиях на линии с БЭСМ-3М. Обработанная информация использовалась для определения и исследования характеристик искровых камер.

◇ Обобщены принципы создания и организации, а также алгоритмы программы для бесфильмового искрового спектрометра БИС-1, использованной при создании новой системы программ для установки "Фотон".

◇ Созданы стандартные программы на БЭСМ-4 для распознавания прямолинейных треков, регистрируемых посредством искровых камер. Проведены исследования эффективности и скорости работы алгоритмов, положенных в основу этих программ.

◇ Завершено создание системы программ для обработки на БЭСМ-4 данных, регистрируемых при помощи установки из бесфильмовых искровых камер. Эта система включает программы моделирования, фильтрации, геометрической и кинематической обработки, статистического анализа экспериментальных данных, определения эффективности экспериментальной установки. Работа проводится совместно с ИТЭФ.

◇ Разрабатывается программа опознавания и геометрической реконструкции событий, регистрируемых установкой "Фотон". Создана часть программы, позволяющая восстанавливать ливни, образованные гамма-квантами в веществе /конверторах/ установки, и определять направление движения частиц /гамма-квантов и электронов/.

◇ Для измерительного центра ЛЯР освоена транслятор с ФОРТРАН-4, сдана в эксплуатацию система программ приема и обработки спектров для ЭВМ Минск-32, создан набор программ математической

обработки спектров для нескольких экспериментов.

◇ Полностью завершена система программ ПОФИ-72 для ИВК ЛНФ, прошедшая стыковку с экспериментальным оборудованием. Подготовлена вся необходимая документация для сдачи системы в эксплуатацию. Создан /совместно со специалистами ЦИФИ ВНР/ проект математического обеспечения ИВК ИБР-2. Разработаны алгоритмы общей организации единой системы обработки спектров, в рамках которой создан набор программ предварительной обработки.

◇ Проведены работы по созданию программ системы математического обеспечения управления элементами коллективного ускорителя и устройствами медленного вывода пучка из синхрофазотрона. Разработаны программы связи ЭВМ М-6000 с дисками, участвующей в управлении коллективным ускорителем.

◇ Завершено создание математической модели стримерных треков, учитывающей параметры установки РИСК. На базе этой модели проведены расчеты по выбору оптимального метода бесфильмового съема и последующей обработки данных для оценки плотности следов.

◇ Создан и отлажен макет телевизионной головки на плюмбиконе и монитор для наблюдения результатов сканирования. Эта система предназначена для исследования возможности бесфильмового съема информации с искровых и стримерных камер.

#### Участие

в физических исследованиях

◇ Проведены исследования характеристик системы из девяти двухкоординатных искровых камер на линии с БЭСМ-4 на пучке пионов синхрофазотрона. Эта система будет использована в эксперименте

по изучению протон-ядерных взаимодействий при энергиях 4-10 ГэВ. Изготовлены большие сцинтилляционные счетчики-триггеры искровых камер и закончен монтаж аппаратуры на канале медленного вывода протонов.

◇ Совместно с физиками Бухарестского университета, ИФВЭ АН ГДР и др. выполнены работы по измерению сечений каналов реакций и образования резонансов в шестилучевых пион-протонных взаимодействиях при 5 ГэВ/с и работы по исследованию полуинклюзивных процессов в четырехлучевых взаимодействиях при том же импульсе пионов.

◇ Для проведения исследований нейтрон-протонных взаимодействий при высоких энергиях на синхрофазотроне ОИЯИ был налажен нейтронный квазимонохроматический пучок и проведено облучение метровой водородной камеры при 8 энергиях падающих нейтронов. Получено 200 тыс. снимков хорошего качества. Измерено на НРД свыше 35 тыс. событий при трех энергиях нейтронов.

◇ Измерено около 6 тыс. пион-протонных взаимодействий при импульсе 16 ГэВ/с с рождением странных частиц. События обчислены и частично идентифицированы.

◇ Завершена подготовка двухметровой стримерной камеры установки СКМ-200 к экспериментам на пучках релятивистских протонов и ядер.

Разработка

методов прикладных вычислений

◇ Проведены работы по развитию итерационных регуляризованных методов решения некорректных нелинейных задач обработки спектрметрической информации. Созданы стандартные программы для решения таких задач и доказаны некоторые теоремы о сходимости разработанных методов.

◇ Разработан новый метод решения задачи Штурма-Лиувилля с использованием непрерывного аналога метода Ньютона. Создана программа, реализующая разработанный метод. Программа широко используется теоретиками.

◇ Обобщенный непрерывный аналог метода Ньютона эффективно использован для решения задачи о вычислении формы кольца релятивистских электронов в коллективном ускорителе. Помимо вычислений указанным методом, давших возможность найти сечения кольца при различных параметрах, удалось оценить границы применимости менее точного аналитического метода. Разработан новый вариационный метод расчета сечения кольца электронов, находящегося внутри цилиндрической камеры.

◇ Разработана программа математического моделирования поведения заряженного слоя методом укрупненных частиц с использованием дисплея для представления результатов. Совместно с Радиотехническим институтом АН СССР подготовлена к расчетам одна из моделей "газовой фокусировки" для численного эксперимента, связанного с коллективным методом ускорения. Велись расчеты по моделированию динамики ленгмюровских гаекетов и численному моделированию ленгмюровского коллапса в сферически-симметричном и плоском случаях.

Выполнена работа, касающаяся ограничений на эффективные ускоряющие поля в кольцетронах. Сравнение результатов двух теоретических моделей привело к значительным расхождениям, что указывает на преждевременность полученных ранее оценок.

Составлены программы и проведены расчеты уравнений Шредингера и Власова, описывающих поведение электронных сгустков во внешних полях.

◇ Составлены программы для вычисления интегралов быстро осциллирующих

функций и кратных интегралов по методу Коробова. Эти программы включены в библиотеку стандартных программ.

◇ Велись работы по расчету электрических и магнитных полей с использованием нелинейной сетки.

◇ Совместно с математиками Братиславского института теории измерений модифицирован тау-критерий и предложен эр-квадрат-критерий сравнения гипотез.

◇ Совместно с ИФВЭ АН ГДР проведены работы по изучению свойств сложных ядер и ядерных реакций. Проведена адаптация соответствующих программ для счета на CDC-6200.

◇ Исследовались периодические траектории заряженных частиц в синхрофазотроне ОИЯИ с учетом геометрических искажений в ускорителе. Проведено математическое моделирование пространственного многооборотного движения частиц с учетом геометрического искажения магнита. Найдены некоторые резонансы.

#### Автоматические и полуавтоматические системы обработки камерных снимков

◇ Завершена разработка измерительно-го комплекса на базе сканирующего автомата "Спиральный измеритель" /СИ/. В результате настройки и калибровки прибора получены точностные характеристики СИ, которые соответствуют заданию и практически совпадают с аналогичными характеристиками подобных приборов в других физических центрах /например, в ЦЕРНе/.

Начат методический эксперимент по измерению снимков с однометровой водородной камеры.

В настоящее время работает временная цепочка передачи информации от СИ к ЭВМ БЭСМ-6 /через ЭВМ CDC-1604A/. После настройки интерфейсов накопителей типа ЕС-5012 для ЭВМ Э-100 и БЭСМ-6 начнет работать прямая связь СИ-БЭСМ-6, которая значительно упростит и сократит время обработки событий.

◇ *Передана на экспериментальный завод научного приборостроения АН СССР документация для изготовления опытных образцов измерительного проектора.* В ЦЭМ передана документация на универсальное устройство связи оператора с ЭВМ, предназначенное для оснащения проектора. Велась сборка и доработка его макетного образца /оптико-механическая часть изготовлена в ЦЭМ ОИЯИ/.

◇ *Продолжались работы по совершенствованию существующего комплекта электроники сканирующего автомата НРД, в результате чего увеличена его надежность.*

Усовершенствование системы программ при снятии масок на столах БПС-2 и улучшение работы системы БПС-ТРА-1001 позволило при предварительных измерениях масок для НРД довести производительность одного стола до 500 событий в день.

Повышение производительности системы НРД было достигнуто за счет выполнения следующих работ:

а. Значительно улучшен алгоритм программы измерений ХЭЙЗ-1, что позволило увеличить скорость сканирования с 30 до 110 событий в час.

б. Улучшена система математического обеспечения НРД /программы МИСТ, редактирующие программы и др./.

в. Повышена эффективность быстрой части электроники НРД.

г. Усовершенствован ряд электронных и оптико-механических узлов НРД.

Все это позволило довести скорость из-

мерений до 90 событий в час /3500 событий в неделю/, что соответствует мировому уровню, достигнутому на устройствах типа НРД.

◇ *Завершена модернизация автомата АЭЛТ-1 в направлении развития средств диалога оператора с ЭВМ.* АЭЛТ-1 в качестве средств диалога имеет дисплей, оптический экран, функциональную клавиатуру, телетайп и монитор. Монитор является новым средством диалога. Он позволяет оперативно подстраивать режим съема информации с измеряемого фотоснимка, что особенно важно при обработке снимков с низкой контрастностью.

Создано математическое обеспечение АЭЛТ-1, состоящее из управляющей программы, программы опознавания и программы работы с дисплеем. Вместе с программой обработки это составило рабочий комплекс, с помощью которого на автомате АЭЛТ-1 была внедрена массовая обработка снимков.

На АЭЛТ-1 обработано 25 тысяч событий с искровой камеры ЛЯП, результаты измерений при этом не уступали по точности результатам измерения тех же снимков на ПУОСах.

◇ *Ведется разработка сканирующего автомата АЭЛТ-2 с управляемой от ЭВМ электроннолучевой трубкой.* Осуществлено создание аппаратуры статистического управления ЭЛТ. Совместно с представителями ЦЕРНа блок ЭЛТ был включен, и на экране трубки по всему рабочему полю размером 70x140 мм получено сформированное световое пятно, диаметр которого не превышает 20 мкм.

Проведены работы по созданию оптического канала устройства и лентопротяжного механизма, а также просмотрово-измерительного стола, дисплея, монитора и других средств диалога оператора с ЭВМ.

Завершена разработка схемы управления и связи с управляющей ЭВМ БЭСМ-6.

Проработан вопрос выхода на большую ЭВМ, на которой будет осуществляться обработка считанной информации. На выходе БЭСМ-4 построен коммутатор на 4 направления, одно из которых служит для связи с большой ЭВМ. Выполнено 40% объема работ, связанных с монтажом устройства АЭЛТ-2.

◇ *Электронные устройства системы связи ПУОСов с БЭСМ-4* расширены с 15 до 21 канала. К этой системе подключены два измерительных стола САМЕТ, изготовленных в ЧССР. Проведены контрольные измерения с помощью этих столов на линии с БЭСМ-4. В ЦЭМ изготовлено 16 автоматизированных измерительных столиков к ПУОСам.

Проведены работы по созданию математического обеспечения всей системы из 21 объекта с тем, чтобы наиболее эффективно использовать подключенные к БЭСМ-4-1 третий куб памяти и магнитофоны ЕС-5012.

#### Методы визуальной связи с ЭВМ

Завершены работы по подключению, комплексной наладке и вводу в эксплуатацию опытного образца графического дисплея на запоминающей электроннолучевой трубке "ТЕКТРОНИКС". Подготовлены основные тесты для проверки всех режимов работы графической системы. Разработан индикатор на запоминающей ЭЛТ.

Разработана библиотека дисплейных подпрограмм на ЭВМ М-6000 для графического и точечного дисплеев. Усовершенствован интерфейсный блок и завершен весь комплекс инженерных работ по подключению точечного дисплея к М-6000.

Закончена разработка аппаратуры и первой очереди системного математического обеспечения дисплейной станции на основе ЭВМ М-6000 для обработки графической информации на ЭВМ БЭСМ-6.

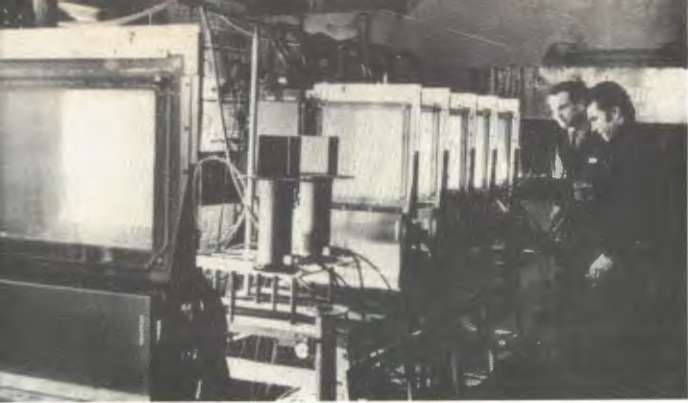
В рамках сотрудничества с физическими учреждениями ЧССР разработан и изготовлен для Университета в Кошице осциллограф со световым карандашом ОСК-1. Проведена комплексная наладка этого устройства.

#### Просмотр и измерение снимков с трековых камер

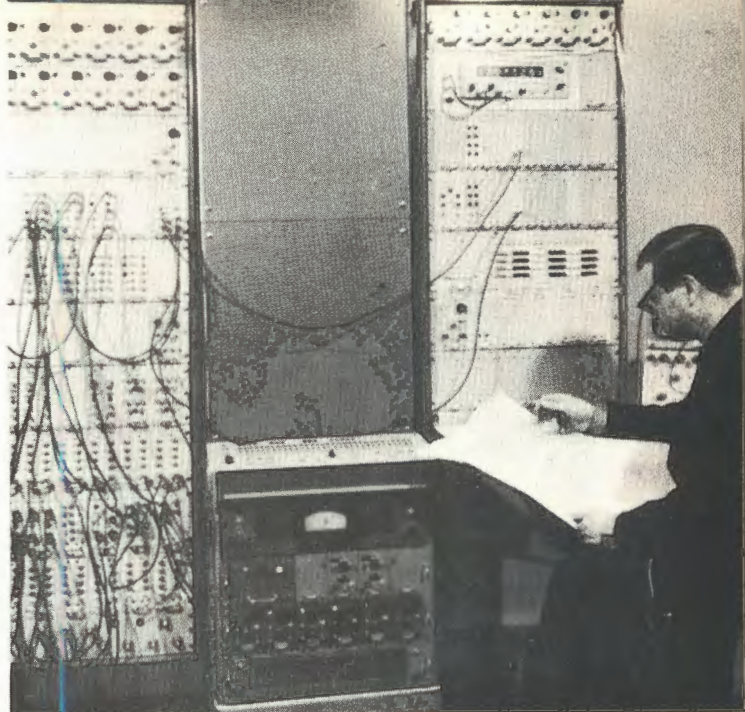
Для просмотра снимков с трековых камер ОИЯИ использовались столы: БПС-1, БПС-2, УПС-50-80 и САМЕТ /всего 22 стола/.

В 1973 году на ПУОСах было измерено 390 тысяч треков на снимках с различных камер ОИЯИ.

На НРД измерено 40 тыс. событий дейтрон-протонных взаимодействий на снимках с метровой водородной камеры.

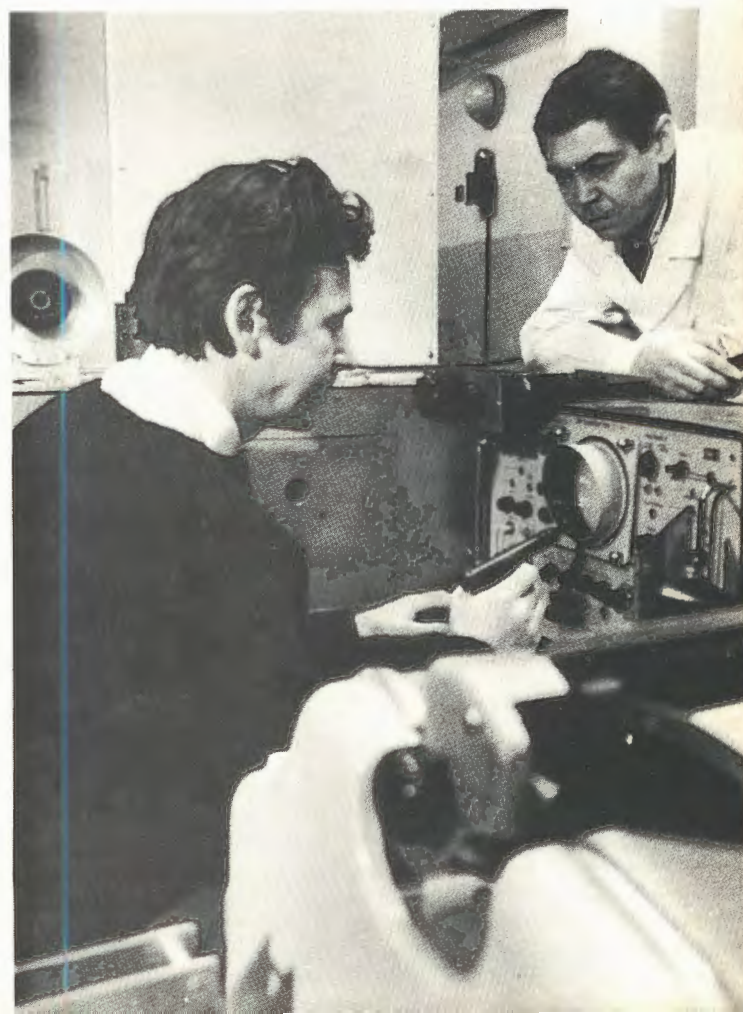


Для исследований на синхροфазотроне протон-ядерных взаимодействий создан магнитный спектрометр. На снимках: система двухкоординатных искровых камер и сцинтилляционных счетчиков, работающая на линии с ЭВМ.



Выносная дисплейная станция ЭВМ БЭСМ-6, включающая в себя малую ЭВМ М-6000 с внешними устройствами, графический и алфавитно-цифровой дисплей, аппаратуру связи с БЭСМ-6. Система обеспечивает оперативную визуальную связь человека с ЭВМ.

Сканирующий автомат АЭЛТ-1 на электроннолучевой трубке для измерения снимков с искровых камер. Имеет средства диалога оператора с ЭВМ, позволяет обрабатывать снимки с малой контрастностью.

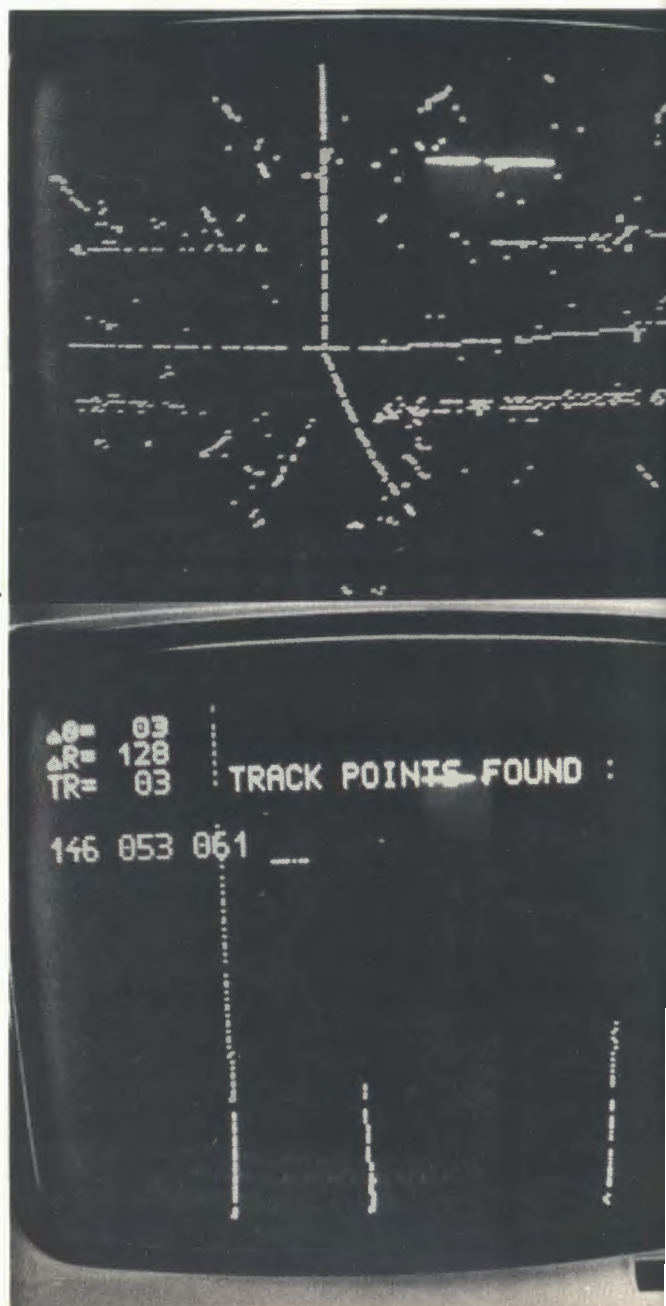




Ведутся работы по созданию автоматического сканирующего устройства с управляемой от ЭВМ электроннолучевой трубкой /АЭЛТ-2/. Аппаратура разрабатывается совместно с ЦЕРНОм.



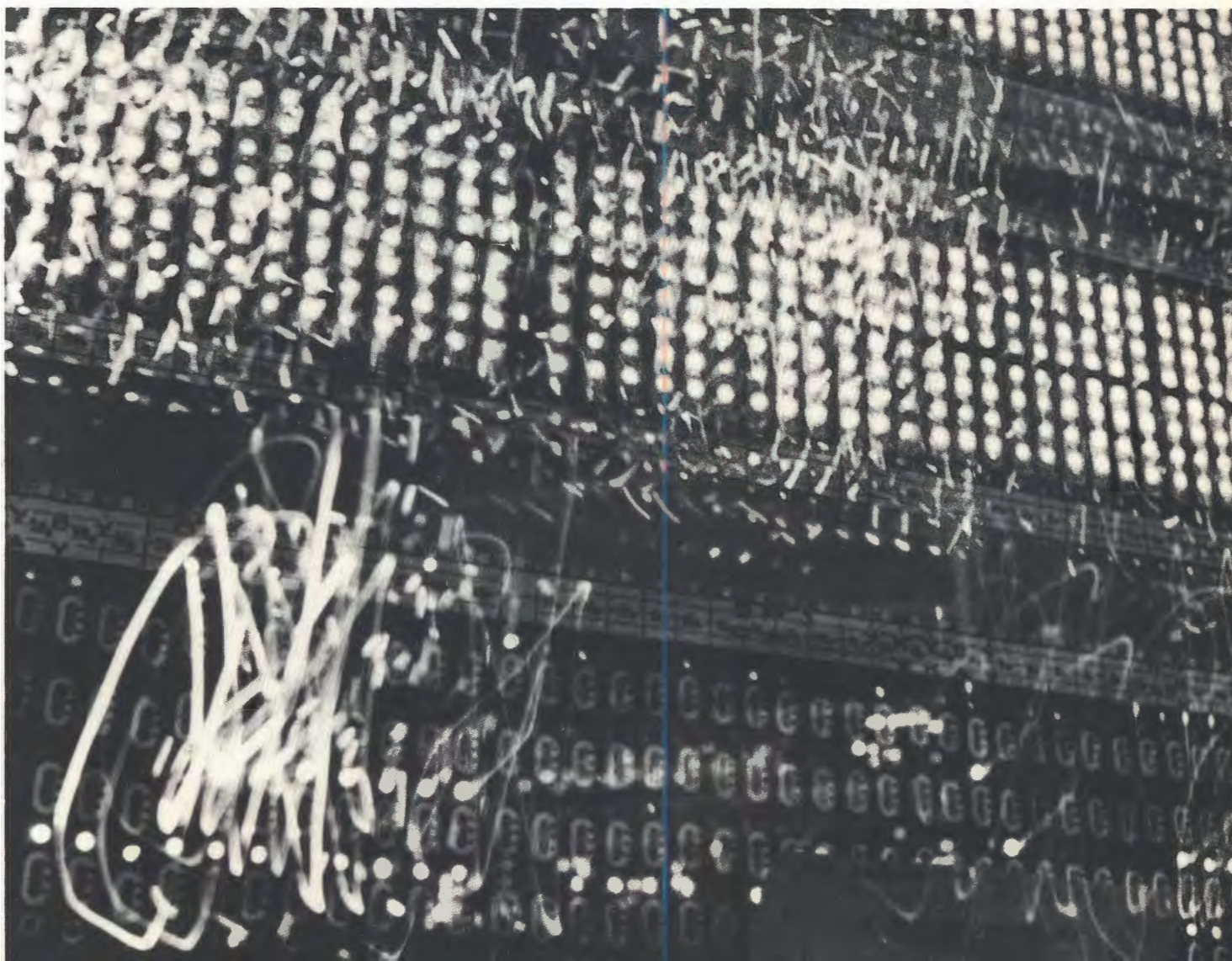
Установка для фильтрации данных спирального измерителя на малой ЭВМ ТРА-1 позволяет проводить фильтрацию непосредственно после измерения и проверять его качество.







▲  
Электронные вычислительные машины БЭСМ-6 и БЭСМ-4, функционирующие в ОИЯИ, оснащаются стандартными накопителями на магнитной ленте типа ЕС-5012.



# Отдел НОВЫХ методов ускорения

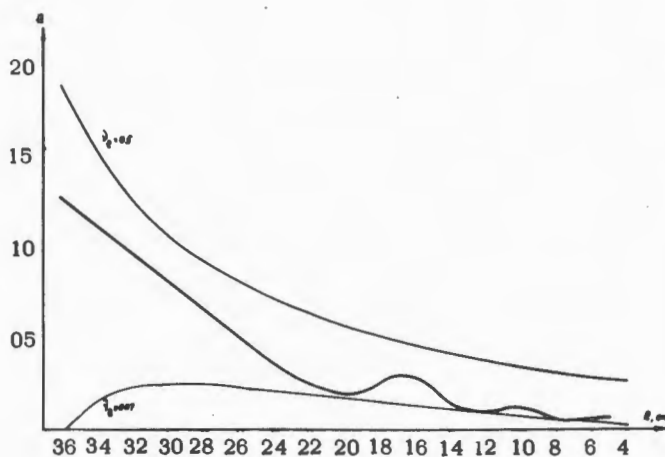
## Работы по созданию ускорителя тяжелых ионов

### Теоретические исследования

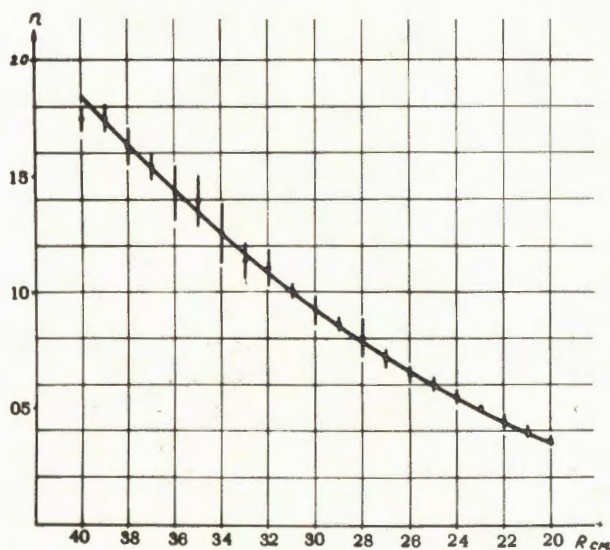
Рассматривались вопросы, связанные с формированием импульсного магнитного поля в тонкостенной металлической камере адгезатора. Разработан метод расчета полей внутри камеры, с помощью которого численно смоделировано сжатие колец. Выполнены расчеты для формирования импульсного магнитного поля в камере адгезатора.

Проведены исследования по выводу кольца из камеры и его ускорению, в результате чего получены параметры системы вывода и ускоряющего соленоида.

При анализе устойчивости кольца отмечено стабилизирующее влияние поме-



60. Вариант  $n$ -траектории в сформированном поле для инжектируемого пучка с  $\gamma = 4$ ;  $N_e = 10^{13}$  / "толстая" кривая/, тонкие кривые соответствуют выбранным ограничениям  $\nu_z = 0,5$  и  $\nu_z = 0,07$ .



61. Измеренная зависимость  $n(R)$  в максимуме поля. Сплошной линией изображена расчетная зависимость  $n(R)$ .

щенного внутрь кольца стержня на азимутальные неустойчивости.

На основании расчетов была выбрана оптимальная геометрия системы формирования импульсного поля в камере адгезатора, обеспечивающая требуемые величины  $n$  на траектории электронного кольца с числом частиц до  $5 \cdot 10^{13}$ . Намечены пути настройки  $n$ -траектории с помощью пассивных короткозамкнутых витков. Результаты магнитных измерений на первой и второй ступенях импульсного поля показывают хорошее совпадение измеренных значений с расчетными.

#### Создание

отдельных систем ускорителя

◇ В результате пробных пусков СИЛУНДа с пучком в 1972 году было обнаружено, что целый ряд систем ускорителя не был приспособлен для непрерывной длительной работы. Поэтому в основном работы на СИЛУНДе были направлены на модернизацию и создание ряда новых, более совершенных систем ускорителя. Он переведен на новые уско-

рительные трубки. Ранее из-за отсутствия керамических трубок работы велись на временных трубках из оргстекла. Повышена надежность ряда инженерных систем СИЛУНДа. Начаты работы по оснащению ускорителя современным электронным оборудованием:

а/ Введена система синхронизации, работающая от внешнего запускающего импульса и осуществляющая отдельный запуск 24 мощных тиратронов в требуемые моменты времени. Точность установки момента запуска и стабильность  $\sim 2$  нсек. Система содержит аппаратуру для контроля совпадений моментов запусков.

б/ Разработаны и установлены различные пояса Роговского для измерений токов в широком диапазоне. В частности, с их помощью производится измерение тока СИЛУНДа. Время установления  $\sim 2$  нсек, диапазон токов - до 10 тыс. ампер.

в/ Введены различные устройства стабилизации токов и напряжений.

Разработан новый вариант обостряющих линий с уменьшенным волновым сопротивлением. Созданы условия для надежной и стабильной работы всех систем управления.

Произведена пробная инжекция пучка в камеру адгезатора. Ведутся исследования поведения пучка в ускорительном тракте. Начато теоретическое изучение взаимодействия пучка с реальными полями ускорителя.

◇ На основании теоретических расчетов и экспериментальных исследований магнитных, тепловых и механических свойств материалов разработан и изготовлен рабочий вариант тонкостенной вакуумной камеры адгезатора из нержавеющей стали

толщиной 0,5 мм. Создана система высоковакуумной откачки камеры адгезатора на базе насоса ГИН-5, получен рабочий вакуум  $6 \cdot 10^{-9}$  Тор, при котором доля чужеродных ионов, согласно расчетам, не должна превышать 1% по отношению к ионам, выбранным для ускорения. Магнитные и температурные измерения, проведенные на модели такой камеры, показали, что ее можно использовать при частоте повторения импульсов тока до 5 Гц. Испытания камеры в рабочих условиях подтверждают эти результаты.

Разработана и изготовлена система формирования постоянного магнитного поля и трех ступеней импульсного магнитного поля. Разрабатываются два варианта соленоидальной ускоряющей секции со спадающим магнитным полем: импульсный и криогенный.

Изготовлен стапель для установки и крепления камеры адгезатора и всех обмоток магнитного поля.

Для питания обмоток импульсного поля созданы два варианта коммутационных устройств - игнитронно-диодный и тиристорный, позволяющие коммутировать токи в 6 кА при напряжении 30 кВ. Длительность импульса - 1,5 мсек. Указанные параметры обеспечивают необходимую напряженность магнитного поля в адгезаторе. Оба коммутатора успешно прошли стендовые испытания, а тиристорный - длительную эксплуатацию при магнитных измерениях /500 тыс. срабатываний при номинальном токе/.

Для магнитных измерений изготовлены и налажены:

а/ МИХ-2 - холловский магнитометр для измерения импульсных полей с точностью  $10^{-3}$ .

б/ МПХ-2 - холловский магнитометр для измерения постоянных магнитных полей с двумя измерительными и одним градиентным каналами. Измерение полей на-

пряженностью выше 2 кГс производится с точностью  $\sim 10^{-4}$ .

в/ Два ЯМР-магнитометра для проведения калибровки различных магнитометров в постоянном магнитном поле на специальном измерительном стенде. Магнитометры обеспечивают измерения однородных постоянных полей в диапазоне 400 Гс - 20 кГс с точностью  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ .

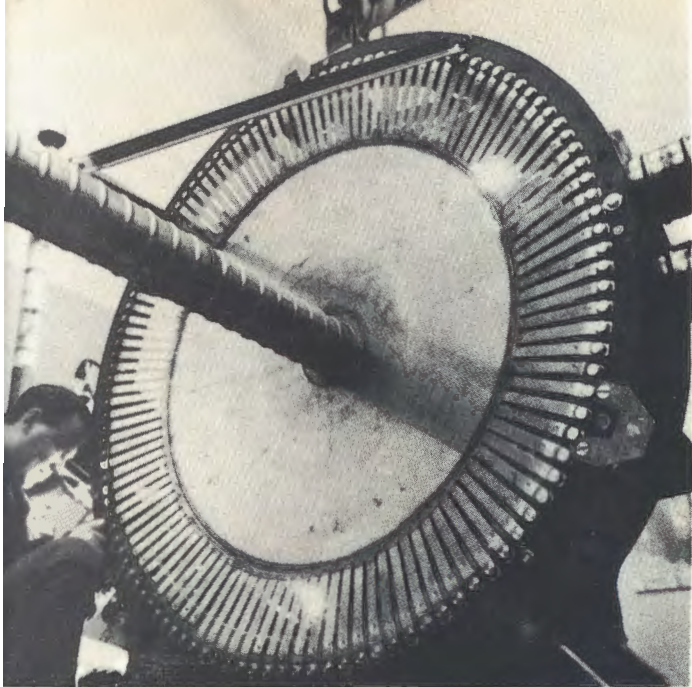
Проведены детальные магнитные измерения и сформировано необходимое магнитное поле в адгезаторе в диапазоне радиусов от 40 до 5 см. Точность измерения  $\mu$  во всем диапазоне полей была  $2 \div 10\%$ . Несмотря на наличие на обечайке камеры восьми патрубков, удалось сформировать поле с амплитудой азимутальной вариации на больших радиусах, не превышающей 1 Гс. Измерения проводились на линии связи измерительной аппаратуры с ЭВМ М-6000.

Разработана и налажена установка для измерения параметров пучка в адгезаторе на первом обороте, работающая на линии с ЭВМ М-6000. Профиль пучка измеряется дистанционно управляемой системой из 45 ламелей.

◇ На модели ускорителя исследовался режим инжекции, так как он в основном определяет параметры электронного кольца. Отработанная методика измерения параметров электронного кольца по тормозному излучению расширила возможности исследований.

Обнаружен аномальный захват электронов, удалось экспериментально разделить аномальный и нормальный захваты. Под аномальным понимается захват электронов в постоянном магнитном поле из-за потери энергии электронами в результате коллективных взаимодействий.

Исследованы характеристики пучка при перехвате на вторую ступень и его сжатии внутри нее. Магнитные измерения и исследования по пучку показали

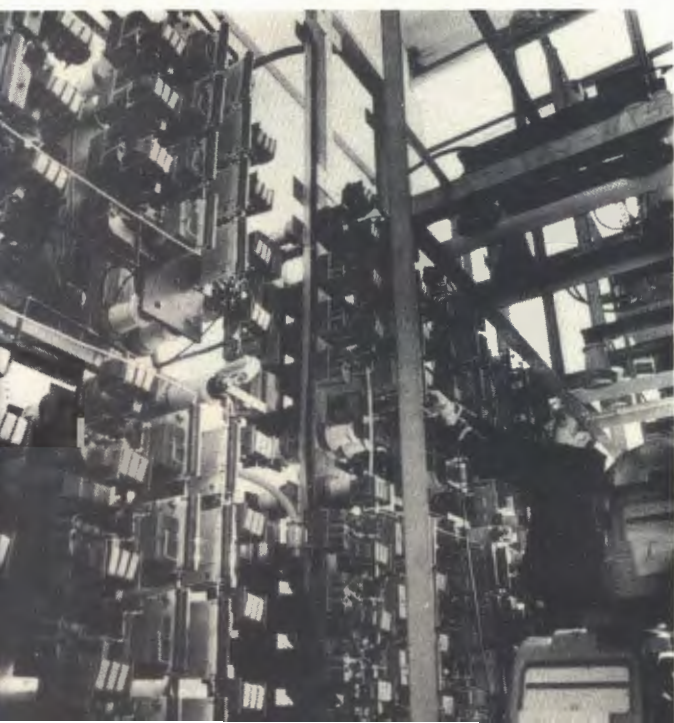


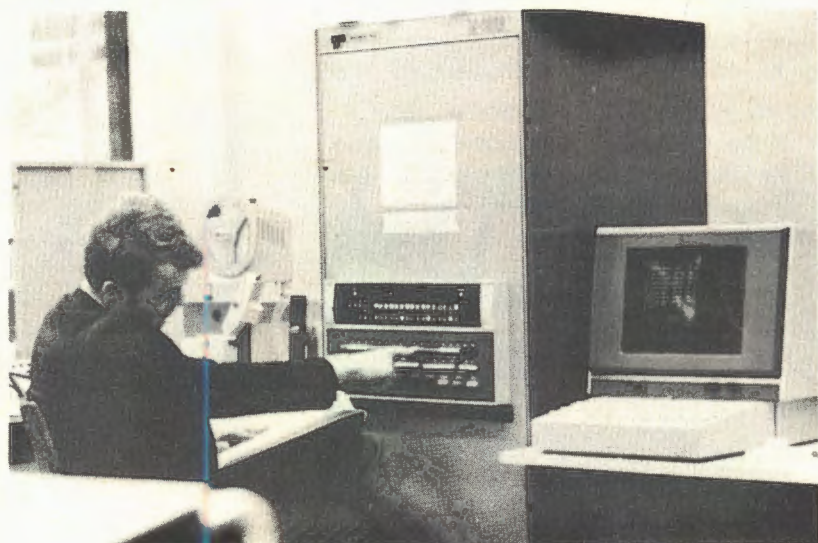
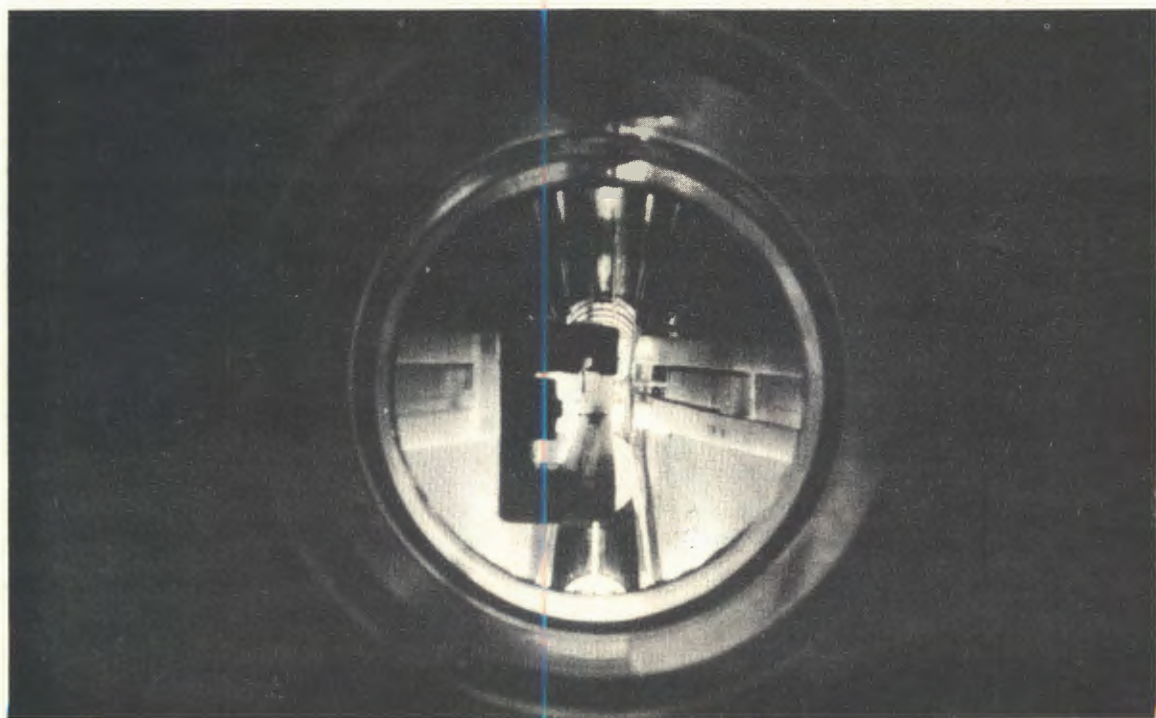
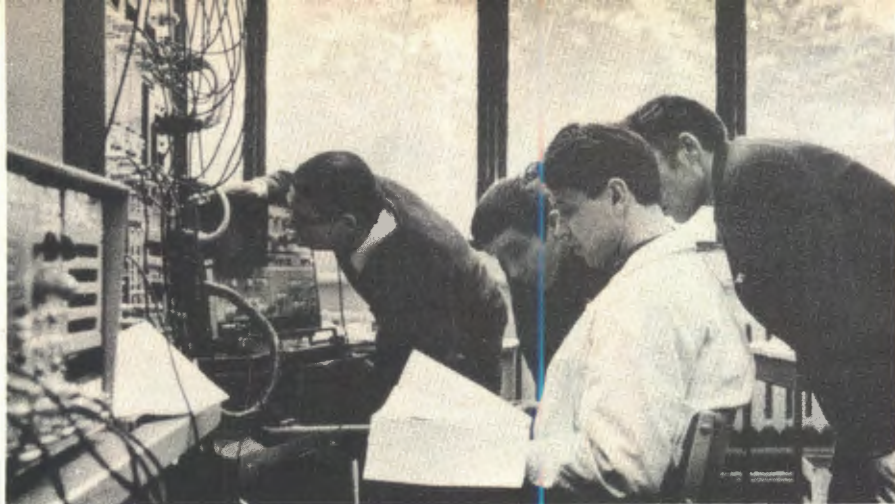
Тонкостенная вакуумная камера адгезатора из нержавеющей стали. Внутри камеры расположен датчик магнитной измерительной системы.

Камера и токовые обмотки крепятся в ступе. Адгезатор предназначен для ускорения многозарядных ионов.



Для питания токовых обмоток импульсного магнитного поля создан тиристорный коммутатор, позволяющий коммутировать токи до 6 кА при напряжении 30 кВ.





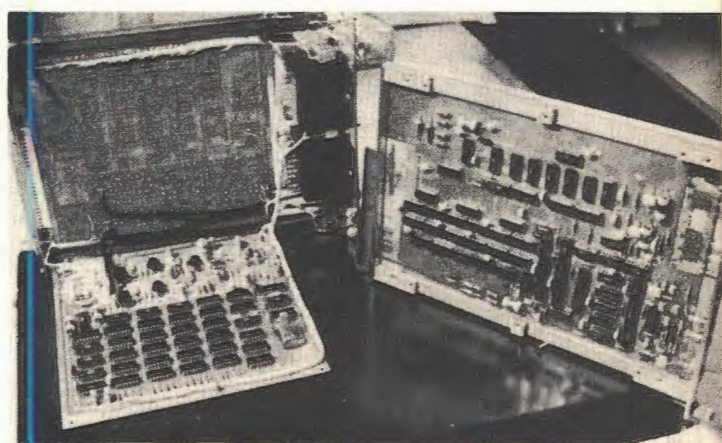
*Аппаратура для измерения и формирования магнитных полей, работающая на линии с ЭВМ М-6000. Датчики Холла расположены внутри камеры ускорителя.*



*Главный соленоид кольцетрона для исследований по проекту ускорителя протонов высоких энергий.*



*Разработка и вычерчивание печатных плат для электронных схем производятся с помощью автоматизированной линии, включающей ЭВМ и машину "Admap".*



хорошее совпадение характеристик поля с теоретическими расчетами.

Проведенные исследования электростатического импульсного устройства подтвердили возможность его использования в адгезаторах. Однако выявлен недостаток такого устройства - влияние заряда пучка на форму импульса инфлектора. В настоящее время ведутся работы по другим типам инжекторных устройств.

Результаты этих исследований на модели будут использованы на адгезаторе ускорителя тяжелых ионов.

Ведутся исследования импульсных источников нейтральных атомов: плазменного и газодинамического. На газодинамическом источнике получены удовлетворительные параметры газовой струи.

## Работы по проекту ускорителя протонов высоких энергий

За основу конструкции ускорителя принят сверхпроводящий вариант секции кольцетрона.

В истекшем году произведено улучшение жидкостных и газовых систем кольцетрона с целью доведения характеристик теплового баланса до проектных. В ходе работы были проведены 2 заливки внешних гелиевых коммуникаций. В конце июня выполнена комплексная заливка кольцетрона /без главного соленоида/. Как важный результат, следует отметить проведение запитки заданными токами шест-

надцатиэлементного сверхпроводящего соленоида /16 магнитно-связанных катушек/. Хорошо работающая система источников питания обеспечила необходимую стабильность токов и позволила избежать предполагаемых трудностей.

Изготовлен главный соленоид кольцетрона на 2 Т. Длина соленоида - 2 м, внутренний диаметр - 60 см. Соленоид смонтирован в кольцетроне. Проведена подготовка к криогенным и токовым испытаниям в рабочих условиях.

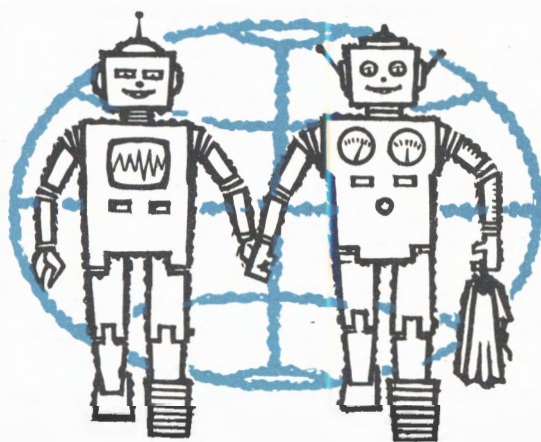
Проведены первые криогенные испытания эжектора. Получено разрежение, соответствующее 3,5 К при хладопроизводительности 30 Вт. Работы в этом направлении продолжаются.

Производилось исследование сверхпроводящих резонаторов с NbTi -покрытием как на моделях, так и на рабочих резонаторах в стендовых криостатах. Максимальная добротность резонатора кольцетрона с механическим стыком составляет  $2.10^6$ . В настоящее время изучаются модельные резонаторы с индиевым стыком и планируется использование других вариантов стыка с тем, чтобы добиться возможно большей их добротности. Помимо этого, экспериментально исследуется вопрос о наиболее выгодном соотношении компонент в покрытиях типа NbTi.

Исследовались возможности использования замедляющих структур в качестве устройства, фазирующего одиночные сгустки. Расчеты показали, что такая система может обеспечить эффективность захвата 90%. С этой целью исследуется спиральная замедляющая система.



Руководящие  
и консультативные  
органы  
Международные  
связи



## Деятельность руководящих и консультативных органов

XXXIII сессия Ученого совета Объединенного института ядерных исследований состоялась 9-12 января 1973 года. Члены Ученого совета заслушали отчеты о выполнении решений XXXI и XXXII сессий Совета о научно-исследовательской деятельности лабораторий в 1972 году, информацию о решениях ученых советов по теоретической физике, физике высоких и низких энергий, о международном сотрудничестве и связях ОИЯИ в 1972 году и планах на 1973 год.

Дирекция Объединенного института представила доклад о проекте предложений ОИЯИ по перспективному /1976 - 1990 гг./ и пятилетнему /1976-1980 гг./ планам развития Института и порядке подготовки этих планов.

На сессии был обсужден доклад "Будущие ускорители и задачи физики элементарных частиц".

Сессия приняла решение о преобразовании Комитета по ядерной физике в два комитета: Комитет по структуре ядра и Комитет по физике тяжелых ионов. Внесены исправления и дополнения в "Положение о специализированных комитетах Ученого совета Объединенного института ядерных исследований".

Состоялись выборы на должности заместителей директоров лабораторий Института.

*Комитет Полномочных Представителей* /13-14 февраля 1973 года/ одобрил работу Института по выполнению научно-исследовательской программы 1972 года и по международному сотрудничеству Объединенного института ядерных исследований. Одобрены планы сотрудничества с лабораториями и институтами стран-участниц на 1973 год и план проведения научных совещаний, организуемых ОИЯИ в 1973 году.

Комитет Полномочных Представителей утвердил проблемно-тематический план научно-исследовательских работ

Института на 1973 год и определил главные задачи на этот год.

Комитет Полномочных Представителей утвердил отчет об исполнении бюджета Института за 1971 год, принял к сведению сообщение дирекции об исполнении бюджета Института за 1972 год, утвердил бюджет, штатную численность и план капитального строительства на 1973 год.

Вице-директорами Объединенного института ядерных исследований избраны академик Карл Ланиус и профессор Честмир Шимане.

*XXXIV сессия Ученого совета /5-7 июня 1973 года/ рассмотрела проекты проблемно-тематических планов научно-исследовательских работ лабораторий на 1974 год и проекты планов международного сотрудничества на 1974 год.*

Члены Ученого совета заслушали доклады директоров лабораторий и дирекции Института, содержащие предложения по пятилетнему /1976-1980 гг./, и перспективному плану развития ОИЯИ.

Сессия утвердила решение жюри о премиях ОИЯИ за лучшие работы, выполненные в 1972 году. Одобрено предложение дирекции о подготовке к изданию сборника "ОИЯИ и развитие физики в странах - участницах Института", посвященного 20-летию создания Объединенного института.

Участники сессии заслушали доклады представителей стран-участниц:

- Н.Коперник и развитие современной астрофизики,
- Деятельность Центра ядерной физики в Кракове,
- Развитие ядерной физики в Варшавском центре,
- Современное состояние и перспективы развития Института ядерной физики ЧСАН,
- Научная программа Физического института ЧСАН.

Состоялись выборы на должности ди-

ректоров и заместителей директоров лабораторий.

Утверждены правила процедуры Ученого совета ОИЯИ.

*Ученый совет по физике высоких энергий в 1973 году заседал дважды.*

На XVI сессии /22-25 мая/ рассматривались предложения ЛВЭ, ЛЯП, ЛВТА и ОНМУ для внесения в тематический план ОИЯИ 1974 года. Обсуждались планы сотрудничества с ИФВЭ и состояние экспериментов на серпуховском ускорителе.

Сделаны доклады по программе развития и использования электронных методов исследования и камерной методики, по плану развития ускорительного комплекса ЛВЭ, об основных направлениях исследований по физике элементарных частиц и взаимодействия частиц высоких энергий с ядрами, научно-методических работ и исследований в области ускорителей. Обсуждался план работ по коллективному методу ускорения, проект плана научно-исследовательских работ ЛВТА и предложения по использованию ЭВМ и просмотрово-измерительной аппаратуры, план международного сотрудничества.

В программу заседаний были включены научные сообщения и отчеты о работе комитетов.

На XVII сессии /20-23 ноября/ члены Ученого совета ознакомились с ходом выполнения основных работ тематического плана в 1973 году и с изменениями в тематических планах ЛВЭ, ЛЯП, ОНМУ, ЛВТА на 1974 год, заслушали доклад о совместной деятельности ОИЯИ и ИФВЭ /Серпухов/. Совет обсудил предложения по пятилетнему /1976-1980 гг./ и перспективному /1980-1990 гг./ планам развития ОИЯИ.

Были заслушаны доклады о ходе работ по созданию проекта "Нуклотрон", о проекте создания суперциклотрона, сообщения по созданию коллективного ускорителя на высокие энергии, о тенден-

циях развития ускорительной техники и об ускорительно-накопительном комплексе на энергию 2-5 ТэВ, а также о перспективах развития в ОИЯИ электронных методов исследования и камерной методики.

Комитеты, заседания которых проходили 15-17 мая и 13-15 ноября, рассмотрели вопросы, связанные с организацией сотрудничества ОИЯИ и стран-участниц в области камерной, электронной и фотоэмульсионной методики, а также предложения лабораторий по развитию соответствующих методических направлений в ОИЯИ на ближайшее пятилетие и в перспективе.

*Камерный комитет* внес рекомендации по использованию основных камерных установок ОИЯИ: двухметровой жидководородной пузырьковой камеры "Людмила", двухметровой пропановой камеры, однометровой жидководородной камеры, а также магнитно-искрового спектрометра /МИС/. На заседаниях рассматривались вопросы использования просмотрового и измерительного оборудования. Комитет поддержал предложение Пенджабского университета о совместной обработке фотографий с двухметровой пропановой камеры, а также предложение Венского университета об участии в обработке фотографий с камеры "Людмила".

*Комитет по электронным экспериментам* заслушал отчеты лабораторий ОИЯИ о проводимых в этой области работах, одобрил план ЛВТА по развитию ЭВМ БЭСМ-6, рекомендовал изменить организацию прохождения задач на ЭВМ CDC-6200 для эффективного выполнения крупных электронных экспериментов. Члены комитета одобрили план ввода в действие МИС на ускорителе в Серпухове и план пробного облучения СКМ-200 в пучках релятивистских ядер синхрофазотрона.

Внимание дирекции Института было обращено на возможность более полного

использования производственных мощностей стран-участниц для создания современной аппаратуры. Комитет рекомендовал лабораториям создавать установки с бесфильмовым съемом информации на линии с ЭВМ как наиболее перспективные в настоящее время.

*Фотоэмульсионный комитет* занимался вопросами научного сотрудничества на базе обработки фотоэмульсионного материала, облученного на синхрофазотроне ОИЯИ и на серпуховском ускорителе.

В 1973 году состоялись две сессии *Ученого совета по физике низких энергий*. Традиционными вопросами на заседаниях Совета являлись информация о выполнении решений Совета и отчеты председателей комитетов по нейтронной физике, структуре ядра и физике тяжелых ионов.

На XVI сессии /25-27 апреля/ рассматривался ход выполнения тематических планов лабораторий ОИЯИ в области физики низких энергий и структуры ядра, обсуждались проекты тематических планов и планов международного сотрудничества лабораторий на 1974 год.

Члены Совета рассмотрели перспективы развития радиоэлектроники в ОИЯИ на 1976-1980 гг. и обсудили предложения лабораторий по основным научным направлениям развития физики низких энергий в ОИЯИ на ближайшее пятилетие.

На XVII сессии /23-26 октября/ детально рассмотрена научная тематика Лаборатории ядерных реакций.

Члены Совета заслушали информацию представителей ЛНФ, ЛТФ, ЛЯР, ЛЯП и ЛВТА о ходе выполнения тематических планов в области физики низких энергий.

На сессии были сделаны сообщения о планах международного сотрудничества и связей ОИЯИ на 1974 год и о подготовке к Международной конференции по ядерной физике в Мюнхене /август 1975 г./.

Были представлены и обсуждены замечания лабораторий по пятилетнему пла-

ну развития Института в области создания базовых установок, экспериментальной и измерительной аппаратуры. Особое внимание уделялось вопросу развития ускорительной базы для физики тяжелых ионов. Совет заслушал доклады о ходе работ по созданию ускорителя тяжелых ионов, основанного на коллективном принципе, и о развитии ускорительной базы ЛЯР.

Членам Совета было представлено сообщение о ходе строительства ускорителя тяжелых ионов У-200 в Варшаве.

Комитеты по нейтронной физике, структуре ядра и физике тяжелых ионов собирались на свои заседания в Дубне дважды /17-19 апреля и 16-18 октября/.

На заседаниях Комитета по нейтронной физике были заслушаны и обсуждены: информация дирекции ЛНФ о деятельности лаборатории, ходе работ по сооружению ИБР-2 и подготовке к физическим исследованиям на нем, предложения дирекции по пятилетнему и перспективному планам развития ОИЯИ, предложения по новым экспериментам.

На заседаниях Комитета большое внимание уделялось вопросам создания Измерительно-вычислительного комплекса ИБР-2, ходу выполнения совместных работ по планам международного сотрудничества.

Комитет по структуре ядра на своих первых двух заседаниях заслушал информацию о выполнении решений комитетов, обсудил предложения дирекции ЛЯП по пятилетнему /1976-1980 гг./ плану развития ОИЯИ по основным направлениям в исследовании структуры ядра, проекты экспериментов на установке "Ф", рассмотрел вопрос о ходе методических разработок на установке ЯСНАПП-2 и дал оценку основным наиболее важным работам, выполненным в ОЯС и РХ ЛЯП, внес предложения и замечания по проектам тематического плана отдела. Комитетом рассмотрен вопрос о ходе выполне-

ния совместных работ в плане международного сотрудничества и предложения по новым экспериментам.

На заседаниях Комитета по физике тяжелых ионов сделаны сообщения о выполнении решений Комитета, заслушаны доклады о ходе экспериментов по синтезу тяжелых и сверхтяжелых элементов, проводимых в ЛЯР, обсуждены предложения дирекции лаборатории по пятилетнему /1976-1980 гг./ и перспективному плану развития ОИЯИ.

Комитет рассмотрел также вопросы применения многозарядных ионов для решения прикладных задач и перспективы развития исследований на пучках релятивистских частиц. На заседаниях Комитета была сделана информация о сооружении У-200 в ПНР, о ходе выполнения совместных работ, обсуждались замечания по проблемно-тематическому плану и международному сотрудничеству.

На заседаниях Комитета по структуре ядра и физике тяжелых ионов был дан сравнительный анализ перспектив исследований ядер, удаленных от полосы бета-стабильности, с помощью быстрых протонов и тяжелых ионов.

Заседание Финансового комитета состоялось 13-14 ноября 1973 года. Члены Комитета рассмотрели следующие вопросы:

- итоги работы Контрольной комиссии от 13 июня 1973 года,

- отчет дирекции Института Финансовому комитету о выполнении указаний Контрольной комиссии от 13 июня 1973 года,

- доклад дирекции Института об ожидаемом исполнении бюджета ОИЯИ за 1973 год, о проектах бюджета, штатной численности и плана капитального строительства на 1974 год,

- информацию о проекте преспективного плана, предложениях по перспектив-

ному и пятилетнему плану развития ОИЯИ и другие вопросы.

*Совещание ведущих ученых стран-участниц ОИЯИ по перспективам развития физики элементарных частиц и атомного ядра* проводилось в соответствии с решением Комитета Полномочных Представителей. Оно состоялось в Дубне 3-4 мая. На совещании обсуждались доклады о задачах физики элементарных частиц и будущих ускорителях, состоянии и перспективах развития физики атомного ядра, тенденции развития ускорительной техники, перспективах развития международного сотрудничества и др.

*Совещание экспертов стран-участниц по прогнозированию и планированию развития ОИЯИ* проводилось также в соответствии с решением Комитета Полномочных Представителей. Оно состоялось в Дубне 27-28 ноября. Были сделаны доклады о роли фундаментальных наук в современном обществе, тенденциях в развитии ускорителей и исследовательских реакторов, перспективах развития вычислительной техники. Обсуждены также доклады о подготовке пятилетнего /1976-1980 гг./ и перспективного /1976-1990 гг./ планов развития ОИЯИ и проблемах планирования социального развития Института.

## Премии ОИЯИ за 1972 год

На соискание премий Объединенного института ядерных исследований за 1972 год были выдвинуты лучшие научно-исследовательские и научно-методические работы, выполненные сотрудниками Института.

Решением Ученого совета ОИЯИ от 6 июня 1973 года присуждены следующие премии:

По научно-исследовательским

работам

*Первая премия:*

“Автомодельность в физике высоких энергий”.

Авторы: П.Н.Боголюбов, Э.Вицорек, З.Куист, В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, Д.Робашик.

*Две вторые премии:*

1/ “Регенерация нейтральных пионов на водороде”.

Авторы: Д.Вестергомби, А.С.Вовенко, Б.Н.Гуськов, И.М.Иванченко, В.Г.Кривохижин, В.В.Кухтин, М.Ф.Лихачев, И.А.Савин, Г.Г.Тахтамышев, П.Т.Тодоров.

2/ “Ядерноспектроскопические исследования короткоживущих изотопов по программе ЯСНАПП”.

Авторы: Р.Арльт, В.А.Быстров, К.Я.Громов, Н.Г.Зайцева, С.В.Медведь, Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф, Т.Фенеш, Х.Штрусный.

По научно-методическим работам

*Первая премия:*

“Медленный вывод ускоренного пучка из синхрофазотрона ЛВЭ”.

Авторы: Б.В.Василишин, В.И.Волков, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, С.В.Каленов, Е.М.Кулакова, С.А.Новиков, Б.Д.Омельченко, Н.И.Павлов, В.Ф.Сиколенко.

*Две вторые премии:*

1/ “Исследование новых принципов детектирования частиц и создание кристаллического нитяного счетчика”.

Автор: А.Ф.Писарев.

2/ “Развитие и повышение эффективности ЭВМ БЭСМ-6”.

Авторы: В.Е.Аниховский, А.В.Гусев, И.А.Емелин, Н.С.Заикин, О.Н.Ломидзе, И.Н.Силин, В.В.Федорин, Н.И.Чулков, В.П.Шириков, С.А.Щелев.



*Подписание протокола совещания Комитета Полномочных Представителей стран-членов ОИЯИ.*



*Визит Полномочного Представителя Монгольской Народной Республики профессора Д.Цэвэгмида директору ОИЯИ академику Н.Н.Боголюбову.*

*Полномочные Представители стран-членов ОИЯИ в Лабораториях Института.*

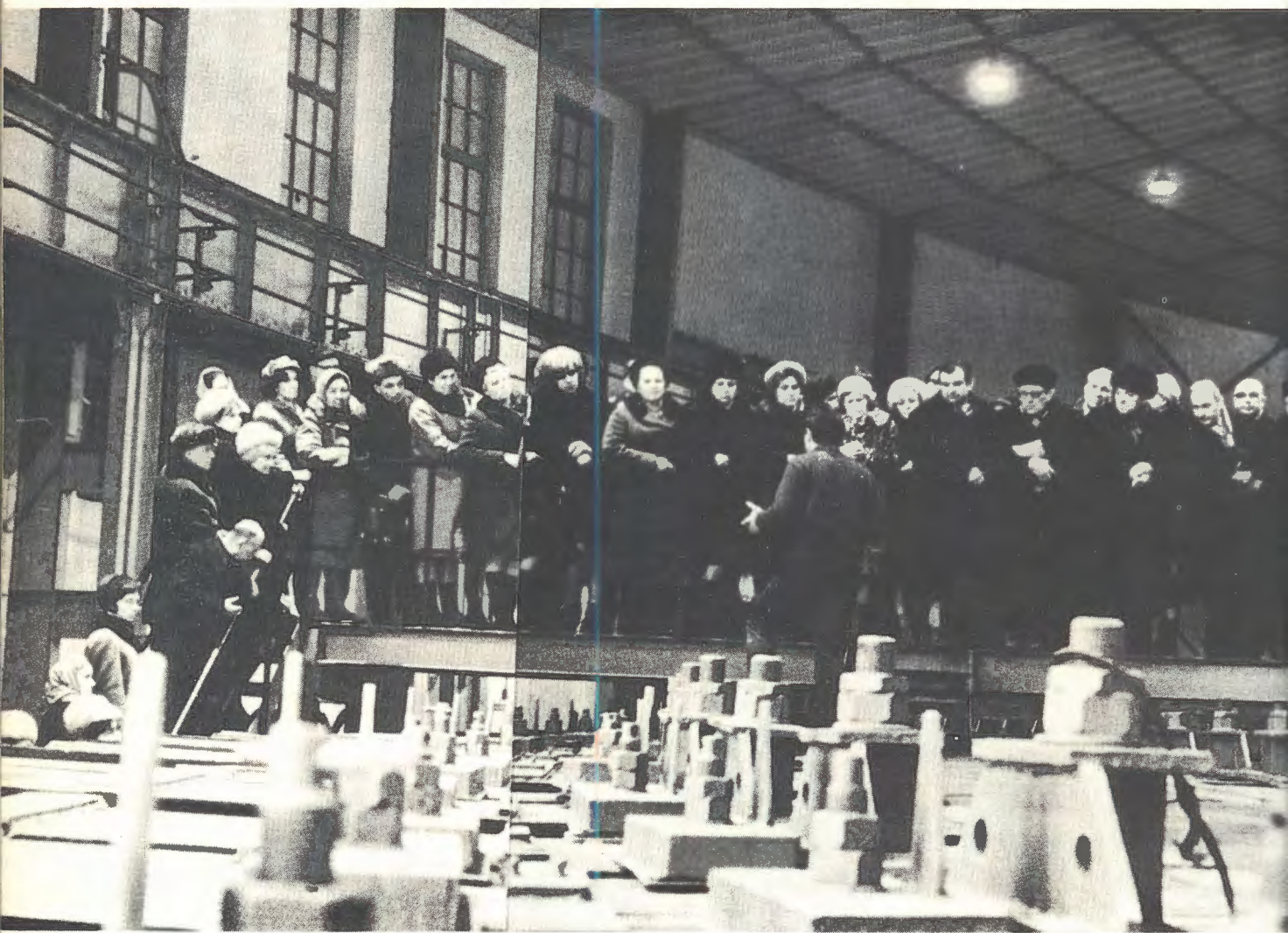


Ученые ОИЯИ участвовали в эксперименте на крупнейшем в мире ускорителе в Батавии, который проводился в рамках советско-американского соглашения. Успешно завершён первый этап работы - исследование упругого рр-рассеяния при энергиях вплоть до 400 ГэВ.

На снимке: группа советских и американских ученых при обсуждении полученных результатов.

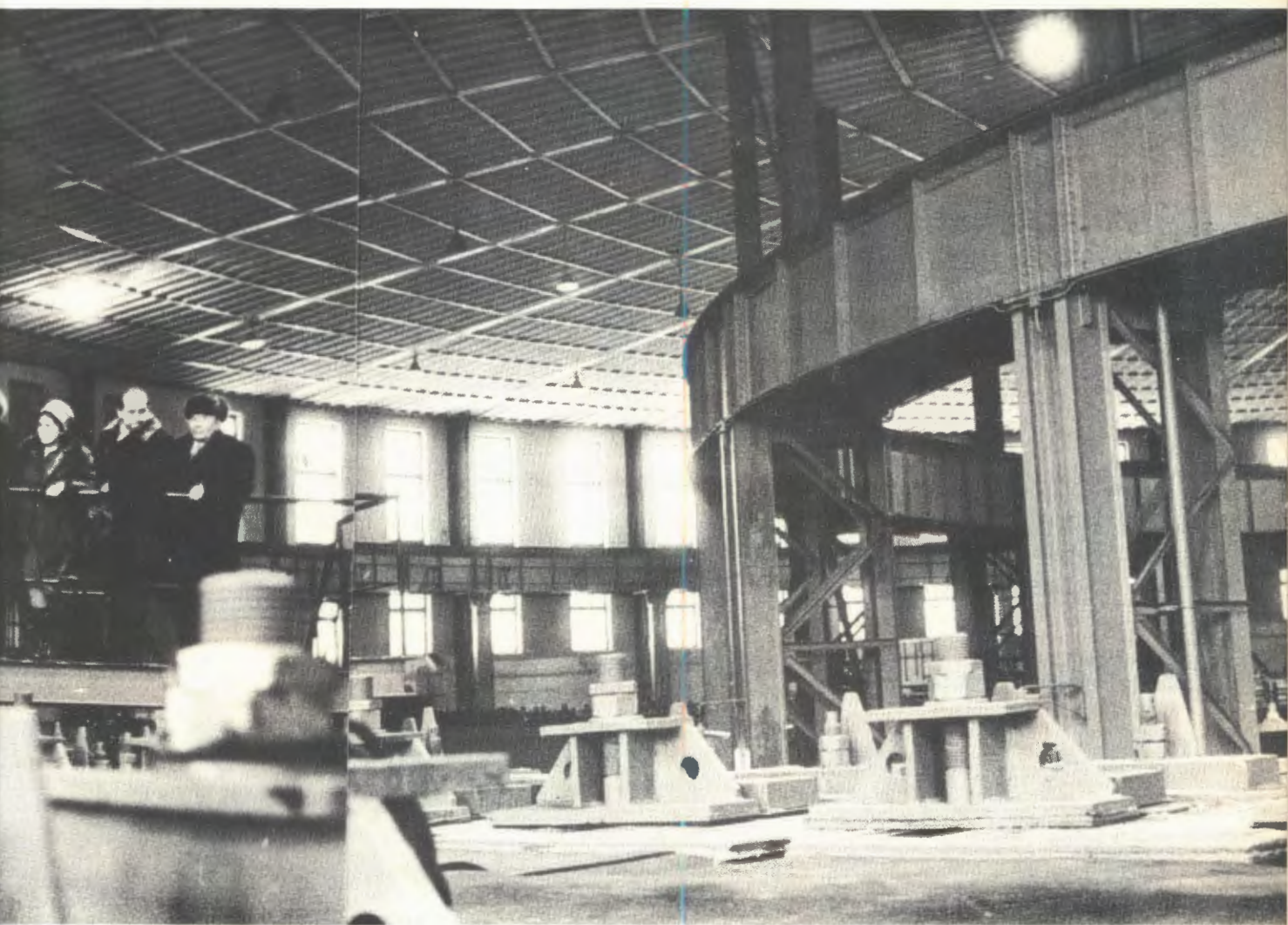


Ежегодно Объединенный институт посещают более 1000 экскурсантов. Они знакомятся с деятельностью Института, его физическими установками. На снимке: большая делегация специалистов из стран - членов ОИЯИ на кольце магнита синхрофазотрона.





VII Международный симпозиум по ядерной электронике в Венгрии. Он был организован ОИЯИ совместно с ЦИФИ ВАН и посвящен вопросам автоматизации физического эксперимента и использования малых ЭВМ. Выступает профессор Л.Пал.





Совместная работа ученых ОИЯИ, Национальной лаборатории во Фраскати и Института физики в Турине завершилась созданием и запуском во Фраскати магнитного спектрометра с гелиевой струйной камерой. Установка предназначена для исследования обратного рассеяния пионов на ядрах.

На снимке: группа ученых ОИЯИ и итальянских физиков.

Около 15 лет насчитывают научные связи ученых Объединенного института и Тбилисского государственного университета. В исследованиях ОИЯИ и ТБГУ, проводимых с помощью метровой пропановой камеры, получены новые данные о когерентных процессах рождения пионов на ядрах углерода при энергии 5 ГэВ, и ряд других.



Польская научно-техническая выставка "От солнечной системы к недрам атома" открылась в Дубне 20 июля. Экспозиция выставки посвящена деятельности Николая Коперника, она показала также достижения науки и техники Польской Народной Республики.

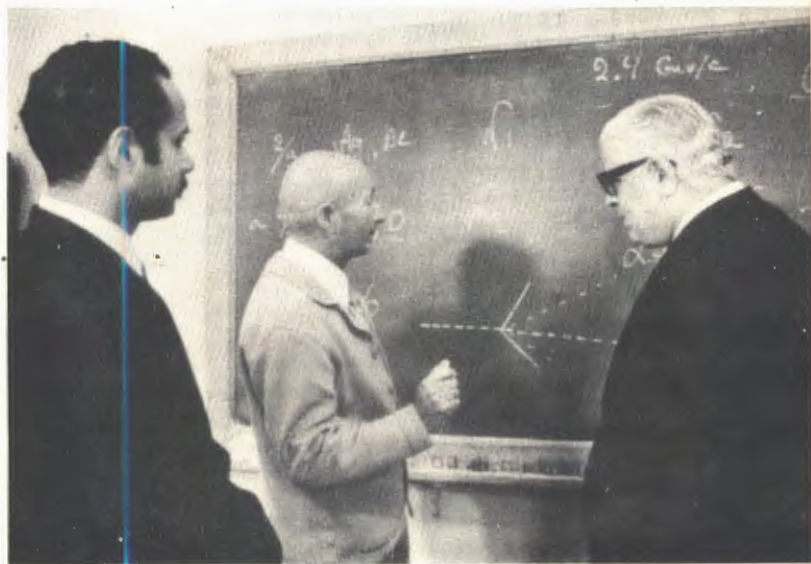
На открытии выставки присутствовали представители Главного управления по атомной энергии ПНР и дирекция ОИЯИ.





Чрезвычайный и Полномочный Посол Великобритании в Москве сэр Джон Киллик посетил Дубну /на снимке слева/. Посла приняли директор ОИЯИ Н.Н.Боголюбов и вице-директор К.Ланиус.

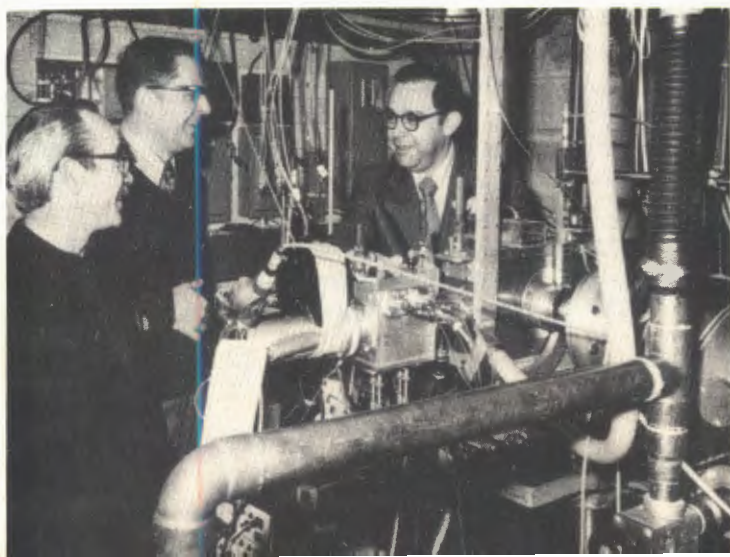
Ученые Объединенного института в течение нескольких лет ведут работы совместно с учеными Каирского университета. С помощью фотоэмульсий, облученных на серпуховском ускорителе, изучаются взаимодействия пионов и протонов с нуклонами и ядрами. В связи с проведением этих работ Дубну посетил профессор Каирского университета М.Эль-Нади /на снимке справа/.



Академик Щ.Цицейка выступает на открытии III Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Симпозиум был организован Объединенным институтом и проведен в г. Синая /Румыния/.

Сотрудник ОИЯИ И.Звара в течение нескольких месяцев работал в трансурановой лаборатории в Ок-Ридже /США/, где занимался разработкой нового метода газовой химии для трансактинидных элементов.

На снимке /слева направо/: Р.Сильва /Ок-Ридж/, И.Звара /ОИЯИ/, директор трансурановой лаборатории О.Келлер /Ок-Ридж/ в зале химической аппаратуры на циклотроне ORIC.



## Международные связи и научное сотрудничество

Основные итоги международного сотрудничества ОИЯИ за 1973 год характеризуются следующими данными:

- Институт был связан с научными центрами стран-участниц в выполнении более 250 научных и методических работ;

- в связи с этим сотрудничеством в Дубне было принято 682 специалиста из стран-участниц;

- ОИЯИ направил в страны-участницы в связи с сотрудничеством, а также для участия в научных совещаниях 417 своих сотрудников;

- было проведено 21 научно-организационное и 18 научных совещаний;

- на международные конференции и в научные центры стран-неучастниц направлено 140 специалистов;

- в течение года для обсуждения научных проблем и для участия в совещаниях ОИЯИ принято 157 специалистов из научных центров стран-неучастниц Института;

- в ОИЯИ работало 17 стипендиатов из разных стран.

### Сотрудничество Института

с научными центрами стран-участниц

Совместные работы Института с научно-исследовательскими организациями стран-участниц проводились, главным образом, на основе экспериментальных материалов, получаемых на синхрофазотроне, синхроциклотроне и других установках ОИЯИ, а также на ускорителе в Серпухове.

Особенно широкое и эффективное сотрудничество осуществлялось с ИФВЭ ГКАЭ СССР, где интернациональные группы физиков провели целый ряд важных экспериментов. На основе экспериментального материала, полученного в ИФВЭ, ОИЯИ ведет сотрудничество со

многими институтами почти всех стран-участниц.

Как и в предыдущие годы, осуществлялось широкое сотрудничество с научно-исследовательскими организациями многих стран-участниц по совместной обработке экспериментальной информации, записанной на магнитных лентах или содержащейся на снимках с двухметровой пропановой пузырьковой камеры и однометровой водородной камеры. Началось сотрудничество по обработке снимков с камеры "Людмила". Проводились совместные исследования с помощью фотоэмульсионной методики. Ряд совместных работ, а также обмен опытом осуществлялись в создании электронной аппаратуры и в разработке новых методик. Кроме того, научные организации ряда стран участвовали в решении технических вопросов.

Продолжалось сотрудничество с научными организациями Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, Советского Союза и Чехословакии в области исследования нейтрондефицитных изотопов. Научные институты и предприятия ГДР, ПНР и СССР активно участвовали в разработке таких крупных экспериментальных установок ОИЯИ, как магнитный искровой спектрометр и релятивистская искровая стримерная камера. Продолжались эксперименты на электронном ускорителе Ереванского физического института совместно с советскими и румынскими физиками, исследования рассеяния пионов на гелии-3 и гелии-4 совместно с институтами НРБ, СРР, ЧССР, а также эксперименты на легких ядрах, в которых участвовали физики из Болгарии, Монголии и Румынии. Научные организации Польши, Румынии, Советского Союза и Чехословакии участвовали в работах по реконструкции ускорителя У-120.

Осуществлялись совместные исследования по синтезу тяжелых и сверхтяжелых элементов, поиску сверхтяжелых эле-

ментов в природных материалах, в исследованиях структуры атомного ядра, в технике ускорения тяжелых ионов и разработке электронной аппаратуры. Совместно с Институтом ядерных исследований в Сверке и Варшавским университетом выполнялись работы по созданию ускорителя многозарядных ионов - циклотрона У-200 для ПНР. Велось сотрудничество в области активационного анализа с Институтом физики в Ханое. С этой целью в ОИЯИ прошли обучение и стажировку вьетнамские специалисты, работавшие на нейтронном генераторе, который передан Физическому институту в Ханое.

Развивалось сотрудничество с рядом институтов стран-участниц в исследованиях на ИБР-30 и ЭГ-5 в области физики деления, в экспериментах с ультрахолодными нейтронами, в разработке поляризованных мишеней, изучении радиационного захвата нейтронов, физики твердого тела. В нескольких странах-участницах продолжалась разработка системы управления защитой реактора ИБР-2, измерительно-вычислительного комплекса и ряда физических установок для ИБР-2.

В области теоретической физики развивались связи с теоретическими центрами стран-участниц по основным направлениям научных исследований. Ученые ОИЯИ принимали участие в организации международных научных совещаний.

По ряду научных проблем в исследованиях атомного ядра, теории элементарных частиц, физики твердого тела проводились совместные работы, а также обмен вычислительными программами /ЦИЯИ в Россендорфе, ЦИФИ в Будапеште и др./.

Расширялись связи с научными организациями ряда стран в развитии измерительно-вычислительного комплекса ОИЯИ, в создании и развитии автоматических и полуавтоматических систем, обработке फिल्मовой информации, развитии методов визуальной связи с ЭВМ при

обработке экспериментальных данных, а также в создании математического обеспечения ЭВМ и в области прикладной математики. В сотрудничестве с институтами нескольких стран-участниц завершена разработка измерительного комплекса на базе сканирующего автомата - спирального измерителя, начаты работы по измерению снимков с пузырьковых камер.

Продолжалось недавно начатое сотрудничество с научными организациями Болгарии, Венгрии, ГДР и Чехословакии с целью создания научно-технической базы, необходимой для реализации коллективного метода ускорения.

#### Научные командировки сотрудников Института в страны-участницы и специалистов из этих стран в ОИЯИ

В связи с сотрудничеством, а также для участия в совещаниях Институт принимает значительное число специалистов из научных центров стран-участниц. В 1973 году было принято 682 специалиста с целью выполнения совместных работ, обмена опытом и консультаций. Кроме того, для участия в совещаниях, организованных Институтом, приезжало 280 человек. Таким образом, в течение года в ОИЯИ побывало около 1000 специалистов из стран-участниц, кроме ученых из институтов СССР.

Значительное число ученых ОИЯИ было направлено в страны-участницы Института. ОИЯИ командировал туда 417 специалистов, в том числе 280 чел. - для участия в выполнении совместных работ, для обмена опытом, и 137 чел. - для участия в научных совещаниях. В длитель-

ных командировках побывало несколько сотрудников ОИЯИ: в ВНР - Г.Г.Тахтамышев /3 мес./ и В.Г.Тишин /2 мес./, в ГДР - И.Н.Михайлов /2,5 мес./, 18 человек выезжали в страны-участницы на месячный срок.

В странах-участницах побывали ведущие ученые Института, директора лабораторий и их заместители, начальники отделов, среди них Д.И.Блохинцев, Г.Н.Флеров, И.Звара, М.И.Соловьев и другие.

#### Научные совещания, проведенные ОИЯИ

Объединенный институт ядерных исследований провел в 1973 году 21 научно-организационное и 18 научных совещаний, в работе которых приняло участие свыше 2000 человек, в том числе 280 специалистов приезжали на эти совещания из стран-участниц ОИЯИ. 4 совещания были проведены Объединенным институтом в Венгрии, Румынии и Чехословакии.

В октябре в Румынии состоялся III международный симпозиум по физике высоких энергий и элементарных частиц. Он охватывал основные направления, в которых работают ученые ОИЯИ и научных центров стран-участниц Института в области физики высоких энергий. Этот симпозиум стал уже традиционным.

VII международный симпозиум по ядерной электронике был проведен в сентябре вместе с ЦИФИ ВАН в Венгрии. Основными вопросами, обсуждавшимися на симпозиуме, были автоматизация физического эксперимента и использование малых ЭВМ.

В Алуште /СССР/ в апреле состоялся III международный семинар по нелокальной квантовой теории поля. В нем приняли участие ведущие ученые ОИЯИ, стран-участниц и других стран.

Были также проведены важные для ОИЯИ научные совещания по глубоконе-

упругим и множественным процессам в области физики высоких энергий, по ядерной спектроскопии и теории ядра, по реконструкции циклотрона У-120, по программированию и математическим методам решения физических задач, активационному анализу и другим научным проблемам. По отдельным вопросам международного сотрудничества со странами-участницами были проведены рабочие совещания /сотрудничество на двухметровой пропановой камере, исследования нейтральных каонов и др./.

Совещания, организуемые ОИЯИ, являются эффективной формой международного сотрудничества, так как дают возможность ученым обмениваться информацией по современным вопросам физики, знакомиться с новыми достижениями, намечать наиболее перспективные направления дальнейших исследований.

#### Научные совещания, организованные другими физическими центрами

Около 300 сотрудников ОИЯИ приняли участие почти в 50 международных и национальных конференциях и совещаниях, проведенных в НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР, ЧССР. Около 90 специалистов Института участвовали в 27 конференциях и совещаниях, организованных в Англии, Австрии, Дании, Италии, Нидерландах, США, Финляндии, Франции, ФРГ, Швейцарии, Швеции, Югославии.

Объединенный институт направил представительные делегации на XXIII совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Тбилиси /СССР/, Конференцию по нейтронной физике в Киеве /СССР/, Семинар по исследованию взаимодействий быстрых нейтронов с ядрами в Гауссиге /ГДР/, VII ра-

диохимическую конференцию в Марианске Лазни /ЧССР/. Ученые ОИЯИ ездили во Францию на Международную конференцию по физике элементарных частиц, в ФРГ на Международную конференцию по ядерной физике, в Швецию на Международную конференцию по физике высоких энергий и структуре ядра и другие. Объединенный институт ядерных исследований был вместе с ЦЕРНом организатором Международной школы физиков, которая проходила в Эбельтофте, Дания.

#### Сотрудничество и связи с научными центрами стран, не являющихся членами ОИЯИ

Продолжались совместные исследования с несколькими научными центрами стран, не являющихся участниками ОИЯИ.

В течение ряда лет ОИЯИ успешно сотрудничает с Институтом физики в Турине и с национальными лабораториями во Фраскати /Италия/ по изучению упругого рассеяния пионов гелием-4 и гелием-3 на синхроциклотроне ОИЯИ.

Лаборатории нашего Института сотрудничали также с Пенджабским университетом, Институтом физики Генуезского университета, с Институтом Нильса Бора, с Сассекским университетом в Англии, с югославскими физиками в Белграде и Загребе, проводя совместные исследования на основе снимков с пузырьковых камер, ядерных эмульсий, радиоактивных изотопов и по теоретическим работам. С группой физиков ЦЕРНа совместные исследования по физике и химии мюонных атомов осуществлялись на синхроциклотроне ОИЯИ.

В течение года Объединенный институт направил 53 своих сотрудника в науч-

ные центры Дании, Италии, Франции, Финляндии, ФРГ, Австрии, Югославии, Англии, США, Швеции. В Дубне побывали 157 специалистов из Италии, Франции, ЦЕРНа, США, ФРГ, Финляндии, Югославии и других стран. В течение года в разное время в ОИЯИ работали 17 стипендиатов из Индии, Арабской Республики Египет, Австрии, Югославии и других стран.

### Экскурсии в ОИЯИ

Для ознакомления с историей Объединенного института, основными направлениями исследований и экспериментальными установками в течение года было принято 56 групп экскурсантов /1097 чел./, из них 44 группы /983 чел./ - из стран-участниц, 12 групп /114 чел./ - из других стран.

### СПРАВКА

о развитии международного сотрудничества и связей

Объединенного института ядерных исследований

за период 1968-1973 гг.

№№	Вид сотрудничества	1968	1969	1970	1971	1972	1973
1.	Количество совместных работ	210	235	250	270	285	290
2.	Количество командировок специалистов из стран-участниц в Дубну /без совещаний/	301	352	446	543	503	682
3.	Количество командировок специалистов ОИЯИ в страны-участницы	258	350	287	397	431	417
4.	Количество научных, методических и научно-организационных совещаний	23	29	28	27	29	39
5.	Количество командировок на международные конференции и в научные центры стран-неучастниц	129	147	166	139	132	140



Вид сотрудничества	1968	1969	1970	1971	1972	1973
6. Количество приездов специалистов из стран-неучастниц	49	87	176	225	226	157
7. Количество стипендиатов ОИЯИ	7	6	8	19	15	17

## ПЕРЕЧЕНЬ

научных совещаний,  
проведенных Объединенным институтом ядерных исследований  
в 1973 году

№№	Тематика совещаний	Время проведения	Место проведения	Количество участников
1	2	3	4	5

*1. Международные совещания*

1. III Международное совещание по нелокальной теории поля	23-29 апреля	Алушта, СССР	110
2. Международный семинар по глубоконеупругим и множественным процессам в области высоких энергий	7-13 июня	Дубна	154
3. III Международный симпозиум по физике высоких энергий и элементарных частиц	3-10 октября	Синая, СРР	77
4. Совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра	19-23 июня	Дубна	118
5. VII Международный симпозиум по ядерной электронике	17-23 сентября	Будапешт, ВНР	82

1	2	3	4	5
<i>2. Рабочие совещания</i>				
6.	Рабочее совещание "Съем информации с многопроводных пропорциональных камер"	27-30 марта	Дубна	29
7.	Рабочее совещание "Методы сильной связи каналов в теории ядерных реакций"	24-26 апреля	Дубна	63
8.	Совещание по реконструкции циклотрона У-120 и его использованию для решения физических проблем	10-19 мая	Ческе Будейовице, ЧССР	73
9.	Рабочее совещание по исследованию неупругих взаимодействий с импульсом 40 ГэВ/с на 2-метровой пропановой камере	29 мая-1 июня	Дубна	17
10.	Рабочее совещание К-коллаборации	14-21 августа	Дубна	10
11.	Рабочее совещание по исследованию неупругих взаимодействий с импульсом 40 ГэВ/с на 2-метровой пропановой камере	23-27 октября	Будапешт, ВНР	40
12.	Совещание по программированию и математическим методам решения физических задач	30-октября-3 ноября	Дубна	219
13.	Рабочее совещание по активационному анализу	20-23 ноября	Дубна	80

1	2	3	4	5
<i>3. Школы</i>				
14. Международная школа по физике высоких энергий /совместно с ЦЕРНом/	16-30 июня	Эбельтофт, Дания	110	
15. Школа молодых ученых ОИЯИ	25 августа-5 сентября	Гомель, СССР	121	
<i>4. Совещания экспертов</i>				
16. Совещание ведущих ученых по перспективам развития физики элементарных частиц и атомного ядра	3-6 мая	Дубна	31	
17. Совещание экспертов стран-участниц ОИЯИ по прогнозированию и планированию	27-29 ноября	Дубна	51	
18. Совещание экспертов-патентоведов стран-участниц ОИЯИ	18-21 декабря	Дубна	35	
<i>5. Научно-организационные совещания</i>				
19. Сессии Ученого совета ОИЯИ	9-12 января 29 мая-1 июня	Дубна	54 61	
20. Сессии Ученого совета по физике высоких энергий	22-25 мая 20-23 ноября	Дубна	26 26	
21. Сессии Ученого совета по физике низких энергий	24-26 апреля 23-26 октября	Дубна	40 43	
22. Сессия Ученого совета по теоретической физике	11-14 декабря	Дубна	25	
23. Совещание Контрольной комиссии Финансового комитета ОИЯИ	22-24 мая	Дубна	15	

1	2	3	4	5
24.	Совещание Финансового комитета	13-15 ноября	Дубна	19
25.	Совещания Камерного комитета	15-18 мая 13-15 ноября	Дубна	25 30
26.	Совещания Фотоэмульсионного комитета	15-18 мая 13-15 ноября	Дубна	40 37
27.	Совещания Комитета по электронным экспериментам	15-18 мая 13-15 ноября	Дубна	25 25
28.	Совещания Комитета по структуре ядра	17-19 апреля 16-18 октября	Дубна	25 25
29.	Совещания Комитета по физике тяжелых ионов	17-19 апреля 16-18 октября	Дубна	30 30
30.	Совещания Комитета по нейтринной физике ОИЯИ	17-19 апреля 16-18 октября	Дубна	35 35

ПЕРЕЧЕНЬ  
международных и национальных  
конференций, симпозиумов, семинаров, совещаний и школ,  
в которых принимали участие специалисты  
Объединенного института ядерных исследований в 1973 году

№№ пп	Наименование	Время проведения	Место проведения
1	2	3	4

*А. В странах-участницах Института*

- |   |                          |               |
|---|--------------------------|---------------|
| 1. XXIII совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра | 30 января -<br>2 февраля | Тбилиси, СССР |
|---|--------------------------|---------------|

1	2	3	4
2. Научная сессия БАН по приборостроению		29 января- 5 февраля	София, НРБ
3. Зимняя школа по взаимодействию ядерных моментов		2-19 февраля	Закопане, ПНР
4. Зимняя школа по физике ядра и элементарных частиц		16-27 февраля	Ленинград, СССР
5. X зимняя школа по теоретической физике		16 февраля- 4 марта	Закопане, ПНР
6. Весенняя школа по электронной структуре металлов		5-19 марта	Дрезден, ГДР
7. Весенняя школа по реакторной физике		2-23 марта	Папстдорф, ГДР
8. Краковско-Россендорфский семинар по ядерной физике		18-26 марта	Россендорф, ГДР
9. Совещание по разработке фильмо- вых материалов для пузырь- ковых и стримерных камер		1-8 апреля	Берлин, ГДР
10. Весенняя школа по проблемам коллективного ускорения		2-6 апреля	Россендорф, ГДР
11. Весенняя школа по ядерной физике		2-14 апреля	Россендорф, ГДР
12. VII Радиохимическая конференция		21-30 апреля	Марианске Лазни, ЧССР
13. Всесоюзный семинар по ли- нейным ускорителям заря- женных частиц		24-26 апреля	Москва, СССР
14. VI Всесоюзное совещание по математическому моделированию		24-27 апреля	Таллин, СССР
15. VI научно-техническая конфе- ренция молодых научных сотрудников		25-26 апреля	Ленинград, СССР

1	2	3	4
16. Совещание по применению быстрых нейтронов в раковой терапии		25-28 апреля	Дрезден, ГДР
17. V Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами		28-30 мая	Москва, СССР
18. Конференция по нейтронной физике		28 мая - 2 июня	Киев, СССР
19. VI конгресс ИМЕКО		16-24 июня	Дрезден, ГДР
20. Конференция по изотопным эффектам		24 июня - 2 июля	Клуж, СРР
21. XV Международная конференция по координационной химии		25-30 июня	Москва, СССР
22. III Всесоюзный семинар по комплексам программ математической физики		26 июня - 6 июля	Иркутск, СССР
23. VI Европейская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу		30 июля - 3 августа	Москва, СССР
24. Международная конференция по плотности электронов, спинов, моментов		14-18 августа	Минск, СССР
25. Международная конференция по магнетизму		22-28 августа	Москва, СССР
26. Школа по критическим явлениям и фазовым переходам		29 августа - 13 сентября	Цетниево, ПНР
27. VII Международная летняя школа по ядерной физике		1-14 сентября	Миколайки, ПНР
28. Симпозиум по корреляции нуклонов		2-12 сентября	Балатонфюред, ВНР
29. Международная школа по современным проблемам ядерной физики и физики твердого тела		7-15 сентября	Предеал, СРР

1	2	3	4
30. Семинар по взаимодействию частиц высокой энергии с ядрами и новым ядерноподобным системам		10-12 сентября	Москва, СССР
31. Семинар по методам построения систем подготовки пользователей ЭЦВМ		16-22 сентября	Симферополь, СССР
32. Международная конференция социалистических стран по физике и технике низких температур		16-26 сентября	Секешфехервар, ВНР
33. VII Всесоюзная школа по ядерной физике		21-30 сентября	Алушта, СССР
34. Конференция по современному оборудованию для исследования твердых тел		24 сентября- 1 октября	Будапешт, ВНР
35. Всесоюзная конференция по космическим лучам		25-28 сентября	Харьков, СССР
36. Осенняя школа по аксиоматическим методам в квантовой теории поля и IX рабочее совещание по элементарным частицам		2-11 октября	Ужгород, СССР
37. Всесоюзная школа молодых ученых по методам решения некорректных задач математической физики и их применению		7-20 октября	Ростов, СССР
38. Семинар по исследованию взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами		4-16 ноября	Гауссиг, ГДР
39. Международный семинар по теории элементарных частиц		5-16 ноября	Смоленицы, ЧССР
40. Школа по магнетизму и рассеянию нейтронов		5-16 ноября	Гауссиг, ГДР

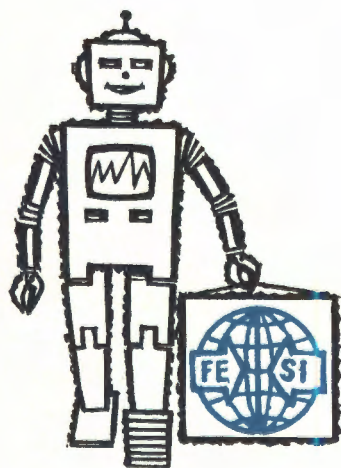
1	2	3	4
41.	Совещание по электронной структуре металлов и сплавов	9-19 ноября	Дрезден, ГДР
42.	Школа по физике элементарных частиц	19-30 ноября	Тбилиси, СССР
43.	I Всесоюзная научно-техническая конференция по криогенной технике	24-29 ноября	Москва, СССР
44.	Семинар ТЕКМО	24-ноября - 5 декабря	Фридрихроде, ГДР
45.	Национальная конференция физиков	1-11 декабря	Варна, НРБ
46.	IV Всесоюзная конференция по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях	12-14 декабря	Москва, СССР
<i>Б. В странах-неучастницах Института</i>			
47.	X Конференция по физике твердого тела	1-11 января	Манчестер, Англия
48.	Конференция по фундаментальным взаимодействиям	21-29 января	Корал-Гейблс, США
49.	Симпозиум по физике	3-16 марта	Мерибель, Франция
50.	Совещание оргкомитета Школы ЦЕРН - ОИЯИ	17-24 марта	Женева, Швейцария
51.	Национальная конференция по ускорителям частиц	4-12 марта	Сан-Франциско, США
52.	Симпозиум по применению ядерных данных в науке и технике	11-23 марта	Париж, Франция
53.	Международный съезд и выставка Института инженеров по электронике и электротехнике	21 марта - 5 апреля	Нью-Йорк, США



1	2	3	4
54. Конференция по физике средних энергий		1-15 апреля	Цуоц, Швейцария
55. Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий		6-13 мая	Фраскати, Италия
56. IV симпозиум по молекулярным кристаллам		9-29 мая	Эльмау, ФРГ
57. Советско-Бельгийско-Голландский симпозиум		21-29 мая	Петтен, Нидерланды
58. Ежегодная летняя школа по ядерной физике		9-19 июня	Лома-Коли, Финляндия
59. VIII Международная конференция по электромагнитным сепараторам		10-19 июня	Скёвде, Швеция
60. V Международная конференция по физике высоких энергий и структуре ядра		17-23 июня	Упсала, Швеция
61. Школа ОИЯИ - ЦЕРН по физике высоких энергий		17-30 июня	Эбельтофт, Дания
62. Международная конференция по ядерной физике		25 августа - 5 сентября	Мюнхен, ФРГ
63. Международный симпозиум по вычислительным машинам		25 августа - 15 сентября	Давос, Швейцария
64. Конференция по редкоземельным материалам		28 августа - 2 сентября	Эльсинор, Дания
65. XXIV конгресс ИЮПАК и VII Международный симпозиум по химии горячих атомов		29 августа - 15 сентября	Гамбург и Юлих, ФРГ
66. XXIV конгресс ИЮПАК		1-11 сентября	Гамбург, ФРГ
67. X Европейская циклотронная конференция		3-13 сентября	Грёнинген, Нидерланды

1	2	3	4
68. III Международная конференция по малоугловому рассеянию нейтронов		3-15 сентября	Гренобль, Франция
69. Международная конференция по физике элементарных частиц		5-15 сентября	Экс-ан-Прованс, Франция
70. Совещание комиссии по научному сотрудничеству с Данией		6-11 сентября	Копенгаген, Дания
71. Сессия Генеральной конференции МАГАТЭ		13-17 сентября	Вена, Австрия
72. Международная школа по физике элементарных частиц		22 сентября - 6 октября	Ровинь, Югославия
73. Курсы по подготовке специалистов по математическому обеспечению CDC-6200		с 24 ноября на 3 месяца	Женева, Швейцария
74. Международный симпозиум по использованию системы КАМАК на линии с ЭВМ		3-12 декабря	Люксембург

# Научная информация



## Издательский отдел

Издательский отдел в 1973 г. отпечатал около 5 млн. оттисков. Увидели свет 676 наименований препринтов и сообщений общим объемом 720 уч.-изд.листов. По сравнению с 1972 г. объем научных публикаций возрос приблизительно на 10%. Возрос также /почти на 100 уч.-изд.л./ выпуск служебных материалов /документы сессий Ученых советов, заседаний Комитета Полномочных Представителей, инструкции по использованию программ математического обеспечения, различные заказы лабораторий и подразделений Института/. Объем этих материалов составил 487 уч.-изд.листов.

Общий объем всех публикаций, выпущенных издательским отделом в 1973 г., достиг 1207 уч.-изд.листов, т.е. на 117 листов больше, чем в 1972 г. Среди материалов различных конференций, школ и совещаний, выпущенных отделом в 1973 г., наибольший интерес у физиков вызвали сборники Школы молодых ученых по физике высоких энергий /Сухуми/, материалы III Международного совещания по нелокальной квантовой теории поля /Алушта/, Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц /Штрбске Плесо/, Совещания по изохронному циклотрону /Прага/, Рабочего совещания по полупроводниковым детекторам /Дубна/, сборник "Пропорциональные камеры" и др. Всего выпущено 13 таких сборников.

Постоянно растет число адресатов, получающих публикации Института. Список адресов, по которым рассылаются эти публикации, за 1973 год увеличился на 75 единиц. Среди них институты таких стран, как Колумбия и Кувейт, с которыми ранее обмен публикациями не производился.

Значительно возросло число статей и докладов научных сотрудников Института, направляемых в различные журналы и на конференции - с 707 в 1972 году до

824 в 1973 г. В научные журналы СССР было направлено 250 статей, в журналы других стран - 135. На международные конференции оформлено 188 докладов, на всесоюзные - 251.

Издательский отдел обслуживал лаборатории, библиотеку, Управление Института такими видами работ, как ксерокопирование, изготовление бланков для обработки экспериментальной информации, различных вспомогательных бланков и пр.

Пополнилась новым оборудованием полиграфическая база отдела.

Запуск нового брошюровально-подборочного комплекса Ординаматик-Ординаграф-Ординафолд дал возможность значительно повысить производительность труда на одном из наиболее трудоемких участков - брошюровальном. Запущена новая полуавтоматическая машина "Салби" для бесшвейного скрепления. Ее применение позволило отказаться от использования ручного труда при изготовлении переплетов для сборников материалов конференций и т.д. В практику переплетного дела введено новшество - ламинирование /т.е. покрытие пленкой/ обложек, что улучшило внешний вид изданий.



Освоенный в 1973 году листо-подборочный агрегат позволил полностью автоматизировать процесс брошюрования.

## Научно- техническая библиотека

В 1973 году число читателей научно-технической библиотеки и ее филиалов составило 5182 чел., в том числе 676 - прибывших в командировки. Ежедневно в читальных залах Центральной библиотеки и ее филиалах работало около 400 чел. Количество выданной за год литературы и просмотренной на выставках новых поступлений превысило 400 тыс. печатных единиц.

По заказам читателей за год получено по межбиблиотечному абонементу 1630 названий книг и журналов. Выполнено 475 заявок читателей 121 советских и зарубежных библиотек.

По всем источникам комплектования получено около 20 тыс. печатных единиц, в том числе по обмену - 369 названий научных монографий, 109 названий журналов, 6577 препринтов.

На 1 января 1974 года библиотечный фонд насчитывал более 300 тыс. печатных единиц.

Все поступившие в библиотеку издания своевременно обрабатывались и отражались в сводных каталогах Центральной библиотеки и в каталогах филиалов. Картотека публикаций сотрудников ОИЯИ за 1973 год пополнилась 5000 новыми карточками. Подготовлен и издан указатель публикаций сотрудников Института за 1973 год.

Велась информационно-библиографическая работа. Еженедельно выпускалась экспресс-информация о новых поступлениях: "Книги", "Препринты", "Статья", всего за год выпущено 216 номеров, включивших 23079 названий. Напечатано 116 списков на новые журналы, поступившие в библиотеку.

Было организовано 6 тематических выставок литературы к совещаниям и конференциям, проходившим в Институте. На всю эту литературу были изданы тематические списки.

Еженедельно обновлялись выставки новых поступлений. Библиографический отдел дал большое количество устных и письменных справок по запросам сотрудников Института.

#### Обмен изданиями

Всего за 1973 год в научно-техническую библиотеку ОИЯИ в порядке обмена поступило 6577 публикаций из 42 стран. Издательским отделом ОИЯИ было разослано 676 названий препринтов и сообщений по 810 адресам в 56 стран.

Кроме того, в порядке обмена в библиотеку бесплатно поступили журналы 109 названий из 21 страны.

Количество поступлений показывает следующая таблица:

Наименование страны	Препринты	Оттиски	Журналы	Книги
---------------------	-----------	---------	---------	-------

#### Страны-участницы ОИЯИ

Болгария			7	
Венгрия	76	5	5	3
ГДР	50	8	3	
КНДР			2	
Польша	141		6	7
Румыния	35		13	1
СССР	1172		32	243
ЧССР	35		6	
<b>Всего:</b>	<b>1509</b>	<b>13</b>	<b>74</b>	<b>254</b>

#### Другие страны и международные организации

Австралия	39	39	1	
Австрия	10		5	30
Аргентина	5			
Бельгия	28		3	11

1	2	3	4	5
Бразилия	41	2		
Великобритания	395	10		
Голландия	25	12		
Венесуэла	5	9		
Греция	14			
Дания	47	39	1	2
Евратом	99		2	
Западный Берлин	29			
Индия	61	2	4	6
Ирландия	7			
Испания	15			
Италия	473	131	1	6
Канада	72	61		
Малайзия	2			
Мексика	16	12		
Новая Зеландия	2			
Норвегия	32			
Арабская Республика Египет	9	10		
Пакистан	2			
Португалия	4			
США	1759	17	4	28
Финляндия	57		1	
Франция	326	76	2	2
ФРГ	655	121	5	1
Швеция	40	2		
Швейцария	23	1		2
ЦЕРН	420		2	25
Югославия	8			2
Япония	348		4	
<b>Всего:</b>	<b>5068</b>	<b>544</b>	<b>35</b>	<b>115</b>
<b>Общее количество:</b>	<b>6577</b>	<b>557</b>	<b>109</b>	<b>369</b>

## Изобретательство, рационализация, патентная служба

### Открытия

*Открытие* "103-й элемент периодической системы Д.И.Менделеева" сотрудников ОИЯИ А.Г.Демина, В.Д.Донца, В.А.Друина, Ю.С.Короткина, Ю.В.Лобанова, В.Д.Михеева, С.М.Поликанова, Г.Н.Флерова, В.А.Щеголева зарегистрировано в августе 1973 года.

*Открытие* " $\beta$ -распад пиона и закон сохранения векторного тока" авторов В.И.Петрухина, С.С.Герштейна, А.Ф.Дунайцева, Я.Б. Зельдовича, Ю.Д.Прокошкина, В.И.Рыкалина зарегистрировано в октября 1973 года.

*Вручение дипломов на открытие* "Теоретическое предсказание и экспериментальное обнаружение существования сверхтяжелого гелия" сотрудникам ОИЯИ Ю.А.Батусову, С.А.Бунятову, В.М.Сидорову состоялось в декабре 1973 года.

В Дубне проведено III совещание экспертов-патентоведов стран - членов ОИЯИ, на котором обсуждался проект положения об изобретениях.





	1973 г.	1971- 1973 гг.	1958- 1973 гг.
Всего зарегистрировано открытий	2	6	12

## Изобретения

	1973 г.	1971- 1973 гг.	1958- 1973 гг.
Получено положительных решений на изобретения	44	123	334
Внедрено изобретений	14	58	186
Средний размер авторского вознаграждения /в руб./	500	460	408

## Рационализаторские предложения

	1973 г.	1971- 1973 гг.	1958- 1973 гг.
Внедрено рационализаторских предложений	488	1360	4788
Учтенный экономический эффект в тыс. руб.	51,6	146,3	1346,3
Средний размер авторского вознаграждения в руб.	38,0	38,0	38,0

## Патентная информация

Выпущено 24 номера бюллетеня "Патенты" и 7 выпусков приложений к нему по темам:



- "Приборы и техника физического эксперимента",
- "Ускорители заряженных частиц",
- "Криогенная техника",
- "Сверхпроводимость",
- "Ядерные реакторы",
- "Дозиметрия и физика защиты".

Выпущен сборник "Открытия и изобретения сотрудников ОИЯИ" за 1970-1972гг. /часть II /.

#### Разработка правовых норм

С 18 по 21 декабря 1973 года в Дубне проведено III совещание экспертов-патентоведов государств - членов ОИЯИ, на котором был согласован проект Положения об изобретениях ОИЯИ и рекомендовано представить его на утверждение Комитету Полномочных Представителей.

### Итоги конкурсов

#### А. Внедренные изобретения

- 1 премия:* В.Д.Бартенев, П.С.Золин, В.А.Никитин, Ю.К.Пилипенко, А.А.Белушкина - "Струйная газовая мишень", авторские свидетельства №№ 330822, 336843, 3422312.
- 2 премии:* 1/ В.Н.Зубарев, Н.С.Мороз, В.И.Иванов, В.Б.Радоманов, В.С.Ставинский - "Годоскопическая установка для измерения сечений взаимодействия заряженных частиц высоких энергий", авторское свидетельство № 342150.  
2/ В.П.Зрелов, П.Шулек, Л.Колларова, Д.Коллар, П.Пав-

лович, Я.Ружичка, Н.Ф.Шабашов, Р.Яник, В.И.Сидорова - "Устройство для поиска магнитных зарядов на ускорителях высоких энергий", авторское свидетельство № 330792.

#### Б. Изобретения

- 1 премия:* В.Г.Зинов, А.Д.Конин, А.И.Мухин - "Способ определения свойств материала", авторское свидетельство № 333452.
- 2 премия:* И.М.Матора - "Магнитный накопитель нейтронов", авторское свидетельство № 341091.

#### В. Рационализаторские предложения

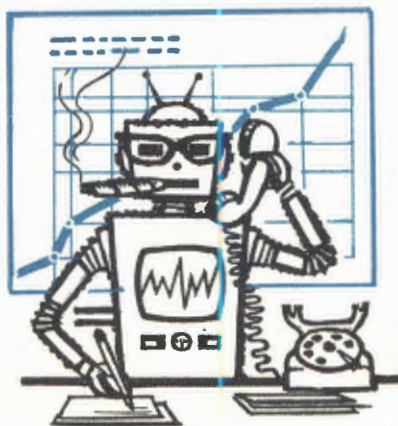
- 1 премия:* А.П.Царенков - "Система растяжки пучка на внутренние мишени в синхрофазотроне ОИЯИ".
- 2 премия:* В.М.Плотко - "Способ получения тонких графитовых фольг при помощи переоборудованной вакуумной распылительной установки."

#### Г. Прогнозы и обзоры

- 1 премия:* В.М.Лачинов - обзор "Гальваномагнитные устройства и их применение в магнитоизмерительной технике".
- 2 премия:* И.Н.Гончаров - обзор "Сверхпроводящие материалы, предназначенные для создания магнитных систем".

# Общеинститутские службы

## Административно- хозяйственная деятельность



## Отдел радиационной безопасности

Радиационный контроль заключался в систематическом наблюдении за уровнями ионизирующих излучений в контрольных точках при типичных режимах работы базовых установок ОИЯИ и в оперативных измерениях доз излучений в местах изменений радиационной обстановки. Содержание радиоактивных веществ контролировалось в рабочих помещениях и в районе расположения ядернофизических установок, а также в воде, почве и растительности. Индивидуальным контролем степени облучения было охвачено 2300 сотрудников, работающих на установках ОИЯИ. Значительное внимание уделялось разработке мероприятий, связанных с переходом на новые нормы и правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

С целью определения эффективности биологической защиты канала пучка протонов, выведенного из синхрофазотрона в экспериментальный павильон, была изучена радиационная обстановка в районе вывода пучка и установлен безопасный режим работы ускорителя. Тщательный дозиметрический контроль позволил поддерживать оптимальные условия эксплуатации синхрофазотрона и синхроциклотрона с учетом одновременного безопасного выполнения строительных работ вблизи зданий ускорителей в связи с их реконструкцией. Контроль за облучением, а также организацией ремонтных и наладочных работ на синхроциклотроне и импульсном быстром реакторе, которые являются наиболее мощными источниками остаточной радиоактивности, обеспечил выполнение этих работ без единого случая превышения регламентированных доз облучения. Выполнение прочих работ на установках Института сопряжено с облучением дозой менее 1 бэр/год в большинстве случаев / 92%/. Измерения доз основных видов излучения с помощью приборов ин-

тегрального контроля показывают, что среднегодовые мощности дозы ниже максимальных величин мощностей доз в 5-20 раз в зависимости от установки.

Среднегодовая концентрация радиоактивных веществ в рабочих помещениях и сбрасываемых водах не превышала допустимой. Содержание трития в воде, охлаждающей узлы синхротрона, составляет 0,05 от среднегодовой допустимой концентрации этого изотопа в воде для населения. Уровень радиоактивности почвы и растительности не изменился по сравнению с 1972 годом и не превысил естественного. Гамма-фон в районе ОИЯИ оставался таким же, как и в районах, не имеющих ядернофизических установок.

Тематика исследований по дозиметрии и физике защиты от излучений определялась программой реконструкции существующих и создания новых ядернофизических установок в Институте, а также дальнейшим совершенствованием методов дозиметрического контроля. Усовершенствованы и реализованы на ЭВМ методы расчета защиты ускорителей протонов на энергии менее 1 ГэВ и ускорителей электронов на энергии 0,5-10 МэВ. Выполнена экспериментальная проверка существующих способов расчета защиты при погло-

щении пучка протонов с энергией 660 МэВ в толстой мишени.

Разработан и изготовлен спектрометр релятивистских протонов для исследования этого компонента радиационного поля за защитой. Реализован на ЭВМ метод статистической регуляризации для восстановления спектров нейтронов в диапазоне энергий от 0,1 эВ до 100 МэВ.

Исследовалась возможность применения промышленной установки типа 8004-01 для стационарного дозиметрического контроля в импульсных полях нейтронов.

Изучалась степень адекватности эквивалентной дозы, определяемой по данным измерений с помощью рекомбинационного дозиметра, углеродсодержащего детектора и приборов для регистрации медленных нейтронов в замедлителях, эквивалентной дозе, получаемой человеком в смешанных полях излучений вблизи ускорителей протонов на высокие энергии. Результаты позволили уточнить коэффициенты перехода от потока релятивистских нейтронов к эквивалентной дозе.



*В Институте создан термолюминесцентный дозиметр для контроля степени гамма-облучения сотрудников. Прибор удобен и прост в работе, позволяет перекрыть большой диапазон измеряемых величин.*

# Совет по радиоэлектронике

## Международный Симпозиум по ядерной электронике

Советом по радиоэлектронике ОИЯИ совместно с Центральным институтом физических исследований Академии наук ВНР при содействии Государственного Комитета по использованию атомной энергии ВНР был подготовлен и проведен в г. Сентендре под Будапештом VII Международный симпозиум по ядерной электронике. Его задачей являлось подведение итогов работы в ОИЯИ и странах-участниках в области автоматизации физического эксперимента с использованием малых ЭВМ за последние два года, обмен опытом и дискуссии по актуальным проблемам.

В работе симпозиума приняли участие более 80 специалистов из стран-участниц Объединенного института. Обсуждавшиеся 57 докладов распределились по следующим разделам:

- электронные блоки в стандарте КАМАК,
- устройства сопряжения электронной аппаратуры с ЭВМ,
- аппаратура и методы представления экспериментальных данных,
- физические установки, работающие в реальном масштабе времени.

Учитывая значительное увеличение парка малых ЭВМ в лабораториях стран-участниц ОИЯИ и большой интерес к международному стандарту ядерной электроники - КАМАК, признано целесообразным провести следующий симпозиум в конце 1975 года с аналогичной тематикой - применение малых ЭВМ для автоматизации физических экспериментов.

### Стандартизация и текущие работы

В соответствии с протоколом о сотрудничестве между Объединенным институтом ядерных исследований и Советом Эко-

номической Взаимопомощи, подписанным 27 октября 1971 года в Москве, делегация Объединенного института приняла участие в работе двадцать пятого заседания Постоянной Комиссии СЭВ по использованию атомной энергии в мирных целях, на котором рассматривался план работы в области стандартизации ядерного приборостроения на 1974 год.

Представители ОИЯИ приняли участие в работе Первого международного симпозиума по применению КАМАК в реальном времени /Люксембург/.

На заседаниях Совета по радиоэлектронике рассматривались вопросы, связан-

ные с организацией в ЦЭМ новых технологических участков /металлизация отверстий, золочение/, обсуждались и согласовывались квартальные планы по выпуску электронных изделий в ЦЭМ, вносились рекомендации по приобретению и распределению компонентов радиоэлектроники, измерительных приборов и т.д.

В рабочих комиссиях Совета определялось соответствие стандарту КАМАК блоков, разработанных в лабораториях Института, проводилась работа по обновлению действующих в ОИЯИ номенклатур на радиоизделия, принятые к поставке и потреблению /стандарт предприятия/.

# Административно- хозяйственная деятельность

Кадры

Численность сотрудников Объединенного института ядерных исследований на 31 декабря 1973 года составила 5858 человек. Распределение по категориям показано в таблице:

Категория работников	Численность		
	в лабораториях и Управлении	в производственных подразделениях	Всего
Научные сотрудники	788	1	789
Инженеры	1065	136	1201
Техники и мастера	314	112	426
Рабочие	1474	1232	2706
Служащие	276	137	413
Младший обслуживающий персонал	137	133	270
Ученики	44	9	53
<b>Итого:</b>	<b>4098</b>	<b>1760</b>	<b>5858</b>

В ОИЯИ работают 6 академиков: Н.Н.Боголюбов, К.Ланиус, Б.М.Понтекорво, А.Ульман, Г.Н.Флеров, И.М.Франк; 8 членов-корреспондентов академий наук: А.М.Балдин, Д.И.Блохинцев, Н.Н.Говорун, В.П.Джелепов, И.Звара, М.Г.Мещеряков, И.Тодоров, Д.В.Ширков; 80 докторов наук и 369 кандидатов наук.

В 1973 году в ОИЯИ принято 617 человек:

научных сотрудников	- 125
инженеров	- 77
техников и мастеров	- 46
рабочих	- 234
учеников	- 53



служащих - 43  
 младшего обслуживающего персонала - 39

Уволено из ОИЯИ за этот же период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам - 591 человек.

В течение года учеными советами и научно-техническими советами ОИЯИ избраны на должности на новые сроки 89 научных сотрудников. Присвоены ученые звания младшего научного сотрудника 19 и звания старшего научного сотрудника 6 человекам.

В течение 1973 года защитили кандидатские диссертации 34 сотрудника, докторские - 6.

#### Финансовая деятельность

Для проведения научно-исследовательских работ и капитального строительства научно-исследовательских и других объектов Комитет Полномочных Представителей государств - членов Объединенного института ядерных исследований ассигновал на 1973 год 34482 тыс. руб.

Фактические расходы за 1973 год составили 31682 тыс. руб. /или 91,9% по отношению к годовым ассигнованиям/, распределение которых по разделам бюджета приводится в таблице.

Наименование разделов	Годовые ассигнования /в тыс. руб./	Фактические расходы	В % к плану
1	2	3	4
1. Административно-управленческие и хозяйственные расходы	3944	4186	106,1

	1	2	3	4
2. Расходы на научно-исследовательскую деятельность	18376	17388	94,6	
3. Капитальные вложения на строительство научно-исследовательских и других объектов	12162	10108	83,1	
<b>Итого</b>	<b>34482</b>	<b>31682</b>	<b>91,9</b>	

#### Капитальное строительство

Затраты на капитальное строительство научно-исследовательских и других объектов в 1973 году планировались на год в сумме 12162 тыс. руб. Выполнение годового плана по отдельным статьям капитального строительства отражено в таблице.

Структура капитальных вложений	Годовой план /в тыс. руб./	Фактическое выполнение	% выполнения
1	2	3	4
Всего капитальных вложений:	12162	10108	83,1

В том числе:

1. Строительно-монтажные работы	5281	4921	93,1
---------------------------------	------	------	------

	1	2	3	4
2. Оборудова- ние, инстру- мент и ин- вентарь		6611	4609	69,7
3. Прочие за- траты /в т.ч. проектно- изыска- тельские работы/		270	578	214,0

Введено в действие основных фон-  
дов на сумму 7475 тыс. руб.

#### Производственная деятельность

В составе Объединенного института  
ядерных исследований находятся специа-  
лизированные подразделения: экспери-  
ментальные мастерские /опытный завод/,  
отдел главного энергетика, транспорт-  
ный отдел, ремонтно-строительный участ-  
ток и другие, которые обслуживают лабо-  
ратории Института. Излишняя продукция  
и услуги реализуются сторонним органи-  
зациям.

Деятельность производственных под-  
разделений в 1973 году характеризуется  
основными показателями, приведенными  
в таблице.

Показатели	Годовой план	Факти- ческое выпол- нение	% выпол- нения
1	2	3	4
1. Объем готовой продукции, вы- полненных работ и оказанных ус- луг в тыс. руб.	7538	7793	103,3

	1	2	3	4
2. Результаты фи- нансовой дея- тельности /при- быль/ в тыс. руб./		312	1288	
в % к объему		4,1	16,5	
3. Затраты на один рубль реализован- ной продук- ции в копееч- ках		95,8	83,5	
4. Численность работающих		1681	1630	

Охрана труда,  
техника безопасности  
и производственная санитария

В 1973 году между дирекцией и проф-  
союзным комитетом Института были за-  
ключены соглашения о проведении меро-  
приятий по охране труда, технике безо-  
пасности и производственной санитарии,  
которые выполнены в установленные сро-  
ки. На выполнение этих мероприятий из-  
расходовано 73450 рублей, в том числе:

на мероприятия по предупреждению  
несчастных случаев - 15850 руб.

на предупреждение заболеваний на  
производстве - 24880 руб.

на мероприятия по общему улучшению  
условий труда - 32720 руб.

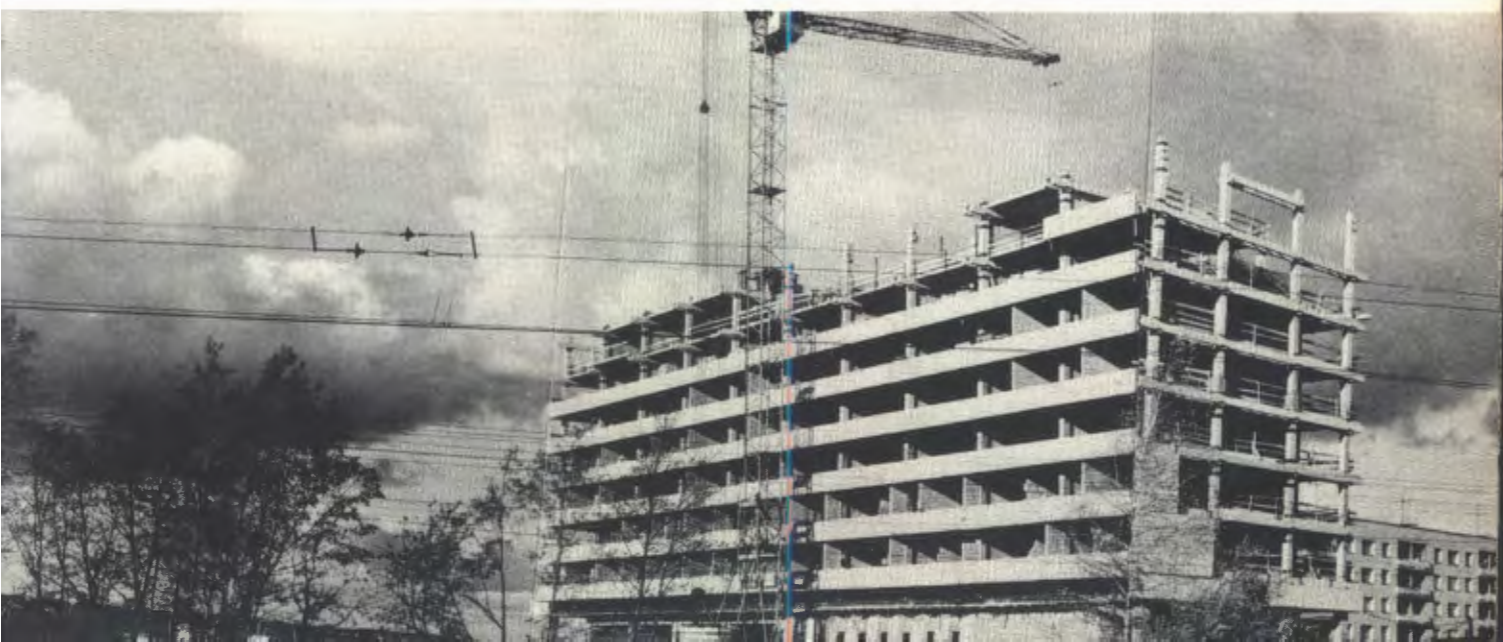
В Институте был организован и про-  
веден месячник по охране труда. В пери-  
од его проведения от сотрудников Инсти-  
тута поступило 1100 предложений, из  
них 331 было выполнено в течение месяч-  
ника.



Ведется строительство нового экспериментального павильона для работ на выведенном пучке синхрофазотрона.



В Центральных экспериментальных мастерских ОИЯИ освоено производство осциллографов со световым карандашом. Приборы изготавливаются для лабораторий ОИЯИ и физических институтов стран-участниц Объединенного института.



В связи с предстоящей реконструкцией синхроциклотрона сооружаются пристройки к зданию ускорителя.



Строится новый лабораторный корпус Лабаратории ядерных реакций.

Новостройки города Дубны.



