

СЗМ

0-292

# ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

1956-1976

YINR-9514

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ







СЗМ  
0-292

# ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
БОЛГАРИЯ

ВЕНГЕРСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
ВЬЕТНАМ

ГЕРМАНСКАЯ  
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА

НОРЕЙСКАЯ  
НАРОДНО-  
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА

МОНГОЛЬСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

ПОЛЬСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
РУМЫНИЯ

СОЮЗ  
СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

ЧЕХОСЛОВАЦКАЯ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА

ДУБНА

1956-1976

105764

Институт ядерных исследований  
Дубна





В истории Объединенного института ядерных исследований 26-е марта 1956 года является официальной датой его организации - в этот день в конференц-зале Академии наук СССР было подписано Соглашение об учреждении первого международного научного центра социалистических стран.

Послевоенное тридцатилетие в науке проходило под знаком небывало быстрого развития физики элементарных частиц и физики атомного ядра. Были подготовлены новые кадры ученых, построены новые институты, создана новая экспериментальная техника и т.д. Столь большое внимание к этой области науки обусловлено не только важным для познания мира значением результатов фундаментальных физических исследований. Огромная роль современной физики видна в развитии под ее влиянием прикладных отраслей - техники и промышленности, в ее глубоком проникновении во все естественные науки. В связи с этим во всех развитых странах расширяется область физических исследований, на эти цели выделяются значительные средства. Эксперименты, проводимые с помощью ускорителей и реакторов, тре-

буют с каждым годом все более мощной, сложной и дорогой аппаратуры. Крупные физические установки теперь часто сравнивают по размерам, сложности и стоимости с промышленными предприятиями. В этих условиях идеи объединения усилий ученых и средств нескольких стран для выполнения сложных исследований приобретают большое значение.

Двадцать лет назад был создан физический центр социалистических стран в Дубне. Уже накоплен немалый опыт его работы, и можно попытаться подвести некоторые итоги деятельности Объединенного института. Одна из главных целей организации ОИЯИ состояла в объединении средств стран - его участниц в деле создания и эксплуатации крупных исследовательских установок. При этом важное значение имело совместное использование теоретических знаний и практического опыта, имевшихся у специалистов и ученых этих стран.

Что же сделано в Институте за 20 лет? Напомним, что ОИЯИ был основан на базе двух лабораторий Ака-

демии наук СССР. В одной из них действовал ускоритель протонов - синхроциклотрон - на энергию 680 МэВ, во второй заканчивалось строительство синхрофазотрона на энергию протонов 10 ГэВ. В Объединенном институте сразу же были организованы еще три лаборатории, а позднее - шестая лаборатория и отдел новых методов ускорения, значительно расширены центральные экспериментальные мастерские. Если в 1956 году в штате Института насчитывалось 1297 человек, то к концу 1975 года /вместе с производственными подразделениями/ их уже стало более шести тысяч.

Претворение в жизнь четырех пятилетних планов научно-технических работ и капитального строительства позволило широко развить экспериментальную базу ОИЯИ. Здесь был построен самый мощный циклотрон для ускорения тяжелых ионов - У-300, а позднее - и эффективно работающий У-200. Создан уникальный импульсный исследовательский реактор - ИБР, реконструированный затем в более мощный - ИБР-30, ведется строительство комплекса нового, значительно более мощного реактора - ИБР-2. Для проведения физических экспериментов создана крупная аппаратура - метровые и двухметровые пузырьковые камеры, сложные спектрометрические системы, работающие на линии с ЭВМ, масс-сепараторы, различные мишени и т.д. В Институте действует большой измерительно-вычислительный комплекс, включающий в себя вычислительный центр, соединенный с измерительными центрами лабораторий. Этот комплекс функционирует на основе одиннадцати электронных вычислительных машин большой и средней мощности, широко используются малые ЭВМ. Построены десятки новых лабораторных и специализированных зданий. Масштабы перечисленных работ можно характеризовать производственными затратами. Если стоимость аппаратуры, оборудования и зданий ОИЯИ в 1956 г. оценивалась в 50 млн. рублей, то за двадцать лет

только капиталовложения в развитие Института составили более 143 млн. рублей.

Совместный опыт ученых стран, объединившихся для работы в ОИЯИ, дал хорошие результаты. В Дубне создан один из крупнейших теоретических коллективов, исследования которого в области физики элементарных частиц и физики ядра стали широко известны во всем мире и стимулировали развитие ряда новых направлений. В экспериментах на синхроциклотроне и синхрофазотроне получены фундаментальные данные о взаимодействии нуклонов, мезонов, а также о реакциях рождения странных частиц. Эти опыты позволили произвести проверку наиболее важных выводов современной теории. Использование ускоренных с помощью циклотронов пучков тяжелых ионов дало возможность синтезировать разные изотопы наиболее тяжелых элементов от 102 до 106. В реакциях с тяжелыми ионами также были открыты новые физические явления. Многие интересные результаты получены в исследованиях свойств ядер, а также конденсированных сред с помощью нейтронных пучков от импульсного реактора. Успешному выполнению обширной программы способствовало развитие базы вычислительной техники и автоматизации обработки экспериментальных данных. Следует отметить также широкое развитие в Институте теории и техники ускорителей. Здесь ведутся разработки и исследования высокоточных и моноэнергетических ускорителей, ускорителей тяжелых ионов, работы по модернизации серийных циклотронов, по выводу из действующих установок и сепарации пучков. В ОИЯИ предложен и исследуется новый, коллективный метод ускорения частиц.

За годы деятельности Объединенного института вырос и укрепился его научный авторитет. Ученые ОИЯИ внесли большой вклад в основные направления современной ядерно-физической науки, они являются инициаторами новых направлений исследований, ими открыт ряд физических явлений.



Основной деятельностью Института является широкое и разностороннее международное научное сотрудничество, в первую очередь - специалистов стран-участниц. Интернациональные группы ученых и инженеров работают в Дубне на всех основных направлениях исследований. Однако это - лишь одна, хотя и основная, форма сотрудничества. С каждым годом расширяется область исследований, проводимых ОИЯИ совместно с национальными лабораториями институтов стран, его участниц. Сюда относятся как различные методические разработки, так и физические исследования, все большее значение приобретает одновременная обработка в нескольких лабораториях материалов, полученных в экспериментах, - фотоэмульсий, снимков с пузырьковых камер, магнитофонных записей-измерений, проведенных с помощью электронных систем, спектров излучения изотопов, приготовленных на ускорителях в Дубне. Ученые Объединенного института вместе со своими коллегами из национальных институтов стран - членов ОИЯИ проводят эксперименты на ускорителях этих стран. Особенно важная и большая программа выполняется на крупнейшем ускорителе Советского Союза в Серпухове. В значительной степени развитию этих работ способствовало Соглашение о научно-техническом сотрудничестве, заключенное между ОИЯИ и Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР.

Здесь уместно отметить, что за годы развития сотрудничества ученых стран - членов Института произошли важные изменения в характере этого сотрудничества. Так, если двадцать лет назад во многих странах ядерная физика только еще начинала развиваться, то теперь практически везде создана сеть физических институтов и лабораторий, где исследования ведутся самостоятельно или совместно с ОИЯИ. Часто они возглавляются учеными, прошедшими школу высшей квалификации в Дубне. Теперь специалисты из этих

лабораторий нередко сами выдвигают проекты, которые затем осуществляются в ОИЯИ, или приезжают в Дубну со своей аппаратурой для проведения экспериментов на ускорителях и реакторе, участвуют в создании узлов крупных экспериментальных установок. Все это свидетельствует об успешном развитии ядерной физики в странах - участницах ОИЯИ, о росте там кадров ученых-физиков и значительном повышении их квалификации. Большую роль, которую играет в этом деятельность Объединенного института, трудно переоценить.

С целью расширения международного сотрудничества Объединенный институт поддерживает научные связи также с международными организациями и национальными физическими лабораториями стран, которые не входят в ОИЯИ. С первых лет своей деятельности Объединенный институт успешно развивает сотрудничество с Европейской организацией ядерных исследований /ЦЕРН, Женева/, поддерживает полезные научные связи с Институтом Нильса Бора в Копенгагене, с французскими исследовательскими центрами в Сакле и Орсе, с Международным теоретическим центром в Триесте. В последние годы учеными ОИЯИ выполнены интересные исследования совместно с американскими физиками на ускорителях в Серпухове и Батавии.

Многостороннее взаимное обогащение опытом умножает знания ученых разных стран, позволяет им выбрать оптимальные пути решения сложных задач, ускоряет прогресс научных исследований. В связи с этим в Объединенном институте важное значение придается научным конференциям, школам, рабочим совещаниям. ОИЯИ является организатором таких мероприятий, неизменным участником практически всех крупных международных и многих национальных встреч физиков. Ежегодно в Дубну приезжают сотни специалистов из стран - членов ОИЯИ для выполнения совместных работ, консультаций, обмена опытом, чтения лекций и т.д. Из Дубны для этих целей многие специалисты выезжают

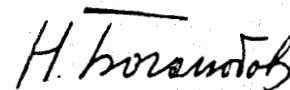
в физические центры стран-участниц. Взаимный обмен визитами происходит также между учеными ОИЯИ и институтами других стран. С каждым годом растет обмен результатами новейших исследований с помощью научных публикаций - препринтов, статей в научных журналах и др.

Заключая приведенную здесь краткую характеристику деятельности ОИЯИ, можно сказать, что за годы своего существования Институт стал одним из ведущих физических центров мира. Результаты выполненных в Дубне исследований являются крупным вкладом в ядерную физику. Институт успешно координирует программу физических исследований стран-участниц и способствует развитию этих работ, эффективно содействуя росту высококвалифицированных кадров специалистов.

Таким образом, сегодня мы можем отметить, что принятое двадцать лет тому назад в Москве решение правительств социалистических стран о создании Объединенного института принесло богатые плоды. Избранный путь всестороннего развития международных научных связей и сотрудничества как основы деятельности Института является правильным, обеспечивающим эффективное развитие современной науки.

Весь опыт деятельности Объединенного института свидетельствует о том, что он стал не только успешно функционирующим источником новых, необходимых для проникновения в природу микромира данных, но также школой сотрудничества и дружбы ученых братских социалистических стран.

*Директор  
Объединенного института  
ядерных исследований*



*академик Н.Н. БОГОЛЮБОВ*







## ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

Московским совещанием Полномочных Представителей стран-участниц, подписавшим 26 марта 1956 года Соглашение об учреждении Объединенного института ядерных исследований, единогласно была избрана первая дирекция Объединенного института: директором - член-корреспондент Академии наук СССР Д.И.Блохинцев, вице-директорами - профессор В.Вотруба /Чехословакия/ и профессор М.Даныш /Польша/. Первым поручением, которое дирекция получила от совещания Полномочных Представителей, было - подготовить проект Устава нового института.

Соглашение устанавливало, что Институт содержится и развивается на средства стран-участниц в виде долевого взноса, определенных процентной шкалой в зависимости от финансовых возможностей каждой страны, от ее национального дохода. Размер долевого взноса не влияет на степень участия того или иного государства-члена в научной деятельности и в управлении Институтом. Соглашение определило порядок вступления и

выхода государств из состава Объединенного института. Был установлен принцип выборности дирекции Института, ответственной перед правительствами государств - членов ОИЯИ, за его деятельность.

Высший орган, управляющий делами Института, - Комитет Полномочных Представителей. На первой его сессии в сентябре 1956 года в Дубне был представлен на рассмотрение Устав ОИЯИ, регламентирующий всю деятельность Института.

Цели и задачи Объединенного института определены статьей четвертой Устава:

- "обеспечение совместного проведения теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики учеными государств - членов 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 - членов Института.

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

В соответствии с Московским соглашением правительство Советского Союза безвозмездно передало ОИЯИ два института Академии наук СССР: Институт ядерных проблем, располагавший в то время одним из крупнейших ускорителей протонов - действующим шестиметровым синхротронотроном на энергию 680 МэВ, и Электрофизическую лабораторию, в которой завершалось строительство гигантского синхрофазотрона на энергию протонов 10 ГэВ. Институты были переданы со всем оборудованием, основными, вспомогательными и административными зданиями и сооружениями. Значение этого факта было огромно: ученые всех стран-участниц получили возможность немедленно приступить к работе на уникальных ускорителях. Впоследствии были построены и новые лаборатории. Но две первые, полученные “готовыми“, еще долго будут сохранять первенство в огромном мирном наступлении Дубны по широчайшему фронту ядерной физики.

### ЛАБОРАТОРИИ

Соглашение о создании ОИЯИ предусматривало развитие исследований не только в области физики высоких энергий и элементарных частиц, но и в области физики сложных ядер, нейтронной физики и теоретической физики. Начав с двух экспериментальных, Институт в настоящее время располагает шестью крупными ла-

бораториями, называемыми так скорее по традиции. На самом деле это крупные современные институты с самостоятельной областью исследований, с уникальными установками и аппаратурой, с персоналом до тысячи человек.

В сентябре 1956 года по решению первой сессии Ученого совета Объединенного института была создана *Лаборатория теоретической физики* - “мозговой центр“ - с расчетным отделом и вычислительными машинами. Руководителем новой лаборатории был избран известный советский ученый - академик Н.Н.Боголюбов. Сейчас ЛТФ - крупнейший центр теоретической физики, широко известный за пределами стран - участниц ОИЯИ. С 1964 г., после избрания академика Н.Н.Боголюбова директором ОИЯИ, лабораторию возглавляет член-корреспондент АН СССР Д.И.Блохинцев. В ее составе - 168 чел., в числе которых 1 академик, 2 члена-корреспондента, 30 докторов, 70 кандидатов наук. Исследования здесь ведутся по трем основным направлениям: физика высоких энергий и элементарных частиц, строение атомных ядер и физика конденсированных сред. Ученые ЛТФ активно участвуют в планировании экспериментов во всех лабораториях ОИЯИ, где проверяются их теоретические предсказания. Об интенсивности ведущейся в ЛТФ работы свидетельствует количество научных публикаций: почти каждые два дня в свет выходит научная статья. Тесное сотрудничество связывает теоретиков Дубны со многими научными центрами мира.

*Лаборатория ядерных проблем* - первое научное учреждение Дубны с синхроциклотроном на 680 миллионов электронвольт, который до наших дней остается лучшим среди ускорителей подобного класса по плотности пучка, универсальности и надежности в работе. Это позволило развить в лаборатории ряд крупных научных направлений и провести сотни экспериментов



в области физики высоких энергий - переднего края науки. Среди них - изучение сильных взаимодействий пионов и нуклонов, исследование электромагнитных процессов с участием пионов и мюонов, изучение слабых взаимодействий пионов и мюонов. Большой интерес ученых стран-участниц к радиохимическим и спектротрическим исследованиям изотопов на базе синхротрона привел к созданию специального отдела - ядерной спектроскопии и радиохимии. Здесь было открыто и исследовано более 100 ранее не известных изотопов. Директором Лаборатории ядерных проблем является член-корреспондент АН СССР В.П.Джелепов. В лаборатории работает около 830 человек, среди них один академик, два члена-корреспондента, секторами и научными отделами руководят 20 докторов и более 100 кандидатов наук. На счету творческого международного коллектива лаборатории /а в ней постоянно работает более трети всех сотрудников стран-участниц, приехавших в Дубну/ значительное число крупных научных результатов, открытий и методических достижений, широко известных и признанных в мировой науке.

*Лаборатория высоких энергий*, основанная выдающимся советским ученым, ныне покойным, академиком В.И.Векслером, - самая большая лаборатория Института с уникальным ускорителем протонов на энергию 10 ГэВ - синхрофазотроном. В настоящее время возглавляет ее член-корреспондент АН СССР А.М.Балдин. В штате лаборатории 1070 сотрудников, из них 16 докторов наук и около 80 кандидатов наук. Лаборатория была основана с целью создания крупнейшего в мире ускорителя и проведения фундаментальных физических исследований частиц космических энергий на его пучках. К основным направлениям физических исследований относятся: изучение структуры элементарных частиц и свойств их

сильных взаимодействий, резонансных состояний частиц и процессов слабого взаимодействия. Результат многолетних исследований сотрудников лаборатории - новые данные об основных свойствах взаимодействия частиц при высоких энергиях, процессах образования обычных и странных частиц. В 1970 году впервые экспериментально обнаружена новая частица - антисигма-минус-гиперон.

За последние годы деятельность лаборатории ознаменована крупными методическими разработками и созданием уникальной физической аппаратуры: метровой и двухметровых пузырьковых камер, струйной водородной мишени, больших спектрометров и т.д. С помощью этих установок ученые ЛВЭ в числе первых выполнили наиболее интересные эксперименты на самом мощном советском ускорителе в Серпухове, среди них - изучение упругого рассеяния протонов на малые углы и регенерации нейтральных К - мезонов. Техническая реконструкция синхрофазотрона, проведенная в последние годы, создала условия для зарождения в лаборатории новой научной области - релятивистской ядерной физики, а синхрофазотрон стал первым в мире ускорителем релятивистских ядер.

*Лаборатория нейтронной физики* организована при создании ОИЯИ в 1956 году под руководством лауреата Нобелевской премии академика И.М.Франка. В ней работает все еще единственный в мире исследовательский реактор периодического действия - ИБР-30, запущенный в 1960 году. В настоящее время ведется строительство более мощного реактора такого же типа, в создании которого участвуют многие организации и физические институты стран-участниц. В штате лаборатории 520 сотрудников, 2 доктора, 45 кандидатов наук. Основные направления работы - исследования свойств возбужденных ядер и ядерных реакций с заряженными частицами, а также исследования по физике

твердого тела. Ученым ЛНФ принадлежит приоритет в открытии нового перспективного направления - физики ультрахолодных нейтронов.

Два самых мощных в мире циклических ускорителя многозарядных ионов, запущенные в 1960 и 1968 годах, действуют в *Лаборатории ядерных реакций*, возглавляемой академиком Г.Н.Флеровым. Среди 360 сотрудников этой лаборатории 1 член-корреспондент АН ЧССР, 7 докторов и 46 кандидатов наук. Основные направления научной деятельности - синтез и поиск тяжелых трансурановых элементов и изучение их свойств, синтез и изучение нейтроноизбыточных и протононестабильных ядер, изучение высоковозбужденных состояний ядерной материи, исследование механизмов взаимодействия сложных ядер. Учеными этой лаборатории синтезированы многие изотопы элементов, занятых в таблице Менделеева клетки с номерами от 102 до 106 включительно. Ведутся исследования по синтезу других элементов, а также широкий поиск их следов в природе. Открыты новые физические явления - протонная радиоактивность и сверхбыстрое самопроизвольное деление ядер, находящихся в изомерном состоянии.

С развитием некоторых новых направлений в деятельности Института изменилась и его организационная структура. Быстро прогрессирующая автоматизация современного физического эксперимента привела к необходимости создания новой, шестой лаборатории - *Лаборатории вычислительной техники и автоматизации*, оснащенной электронными вычислительными машинами. Руководит лабораторией член-корреспондент АН СССР М.Г.Мещеряков. Сейчас штат ЛВТА насчитывает около 570 человек, в числе которых 2 члена-корреспондента, 4 доктора и 35 кандидатов наук. Здесь обеспечивается проведение огромных по объему вычислительных работ для всего Института, создаются и используются кибер-

нетические устройства для автоматизации экспериментов и обработки экспериментальных данных, разрабатываются новые математические методы обработки результатов теоретических и экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра, ведутся работы по организации и развитию измерительно-вычислительных центров в лабораториях Института.

Объединенному институту принадлежит приоритет в разработке принципиально нового - коллективного - метода ускорения. Ведется моделирование систем для ускорения многозарядных ионов на сверхвысокие энергии. *Отдел новых методов ускорения* - новый научный отдел Института, созданный в 1968 году. В его штате более 400 сотрудников, 2 доктора и 12 кандидатов наук. Руководит отделом доктор физико-математических наук В.П.Саранцев.

## ОИЯИ - ВЕДУЩИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

20-летний опыт работы Объединенного института - первой международной исследовательской организации социалистических стран - оправдал надежды ученых и правительств, принимавших участие в его создании. Физики получили возможность проводить фундаментальные исследования на уникальных установках, создание которых - результат концентрации финансовых средств и усилий квалифицированных специалистов. Результаты работы ОИЯИ за 20 лет показали высокую эффективность такого международного научного сотрудничества.

За годы своего существования Объединенный институт ядерных исследований стал известен во всем мире как ведущий исследовательский центр, ученые которого внесли фундаментальный вклад в мировую сокровищницу знаний. Важные исследования, выполненные

в области теоретической физики, физики элементарных частиц, ядерной и нейтронной физики, в области методических исследований, а также в создании ускорительной техники, принесли Институту авторитет и мировое признание.

Об эффективности работы ОИЯИ свидетельствуют следующие цифры. Учеными Института написано около 50 монографий, посвященных актуальным вопросам физики, многие из которых стали учебниками. 17 работ ученых ОИЯИ зарегистрированы как открытия Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. Это, например, явление образования изотопа  $^{102}$  элемента, протонный распад радиоактивных ядер, обнаружение новой частицы - антисигма-минус-гиперона, явление двойной перезарядки пи-мезонов, распад фи-ноль-мезона на электрон-позитронную пару и т.д. В ОИЯИ зарегистрировано около 450 изобретений, из них более 220 уже внедрено.

Исследования, выполненные сотрудниками Института, удостоены правительственных наград: восьми Ленинских и Государственных премий Советского Союза, премий Ленинского комсомола, почетных медалей СССР и других стран. Авторы многих работ награждены медалями ВДНХ СССР.

Ленинских премий удостоены: авторский коллектив во главе с академиком В.И.Векслером - за создание синхрофазотрона на энергию протонов  $10 \text{ ГэВ}$ , академик Н.Н.Боголюбов - за работы в области квантовой теории поля и теории сверхпроводимости, академик Б.М.Понтекорво - за цикл работ по физике нейтрино, авторский коллектив во главе с академиком Г.Н.Флеровым - за работы по синтезу трансураниевых элементов.

Государственные премии СССР присуждены коллективу ученых во главе с академиком И.М.Фрайнком и членом-корреспондентом АН СССР Д.И.Блохинцевым за создание импульсных реакторов на быстрых нейтронах, С.А.Карамяну в числе других авторов - за откры-

тие и исследование эффекта теней в ядерных реакциях на монокристаллах, члену-корреспонденту АН СССР А.М.Балдину, академику А.А.Логонову, профессору Л.Д.Соловьеву, академику АН ГССР А.Н.Тавхелидзе - за цикл работ "Фоторождение пи-мезонов на нуклонах", коллективу авторов во главе с академиком Г.Н.Флеровым - за цикл работ по синтезу и изучению свойств атомных ядер вблизи границы ядерной устойчивости.

### *ШКОЛА КАДРОВ ФИЗИКОВ*

ОИЯИ - прекрасная школа высшей квалификации для ученых и инженеров - посланцев стран, его участниц.

В организации Объединенного института, научном руководстве, в работе его руководящих органов и лабораторий участвовали /а большинство работает и сейчас/ крупнейшие ученые: академики Н.Н.Боголюбов, В.И.Векслер, Э.Джаков, Л.Инфельд, К.Ланиус, А.А.Логонов, М.А.Марков, Г.Наджаков, Г.Неводничански, Л.Пал, Б.М.Понтекорво, И.Е.Тамм, Г.Н.Флеров, И.М.Франк, Х.Христов, Х.Хулубей, Ш.Цицейка, Л.Яноши, профессора А.М.Балдин, Д.И.Блохинцев, Ван Ганчан, В.Вотруба, Н.Н.Говорун, М.Даныш, В.П.Джелепов, М.Г.Мещеряков, А.Михул, Г.Позе, С.М.Поликанов, Н.Содном, Т.Тэнзэсеску, А.Хрынкевич, Ф.Л.Шапиро, Ч.Шимане, Д.В.Ширков, Е.Яник и многие другие.

За годы существования Института здесь работало более трех тысяч ученых и специалистов из стран-участниц. Дух научного демократизма, равные возможности для развития всех научных направлений, общение с известными учеными, передовая экспериментальная и вычислительная техника - все это создает ту особую атмосферу, которая способствует творческому росту и научному становлению сотен молодых ученых, не имевших до этого опыта самостоятельной работы. Эту творческую атмосферу с удовольствием отмечают

все зарубежные физики, приезжающие в Дубну. Здесь приятно работать. Постоянный обмен мнениями, выводами, обсуждение публикаций, регулярные научные семинары, дискуссии и беседы, участие в международных конференциях, командировки во многие исследовательские центры помогают молодым специалистам возвращаться на родину сформировавшимися учеными, способными вести и возглавлять сложные теоретические и экспериментальные исследования. Около 70 человек защитили докторские и почти 350 - кандидатские диссертации по материалам исследований, выполненных в ОИЯИ.

Ведущие ученые Объединенного института избраны в академии своих стран. В академии наук стран-участниц действительными членами избраны 14 человек, членами-корреспондентами - 12 человек. Ряд известных ученых Института избран в зарубежные академии, удостоен почетных дипломов университетов других государств.

Теперь имена таких ученых, как И.Тодоров /НРБ/, Д.Киш /ВНР/, Нгуен Ван Хьеу /ДРВ/, Д.Чултэм /МНР/, М.Петрашку /СРР/, З.Бохнацки /ПНР/, Ю.Д.Прокошкин, Л.Д.Соловьев, И.В.Чувило /СССР/, возглавивших институты или крупные отделы институтов у себя на родине, широко известны во многих странах.

Влияние ОИЯИ на становление и развитие физики в национальных исследовательских центрах стран-участниц огромно. Свидетельство тому - награждение Института Почетным знаком ЦК КПСС, Совета Министров, Верховного Совета СССР и ВЦСПС в честь 50-летия образования СССР за заслуги в развитии науки и подготовке кадров союзных республик.

### **МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ**

Существование первой международной научной организации социалистических стран вызвало к жизни

различные формы международного сотрудничества. В первую очередь это - проведение в Дубне совместных работ на уникальных физических установках с помощью современной аппаратуры. ОИЯИ связан с научными центрами стран-участниц совместными научными и методическими работами. Ежегодно в Дубну приезжает более 600 специалистов из стран-участниц для проведения совместных работ. В Институте интернациональные группы научных сотрудников и инженеров работают сегодня практически на всех главных направлениях. Успешное развитие физики в странах-участницах привело к расширению международного сотрудничества с национальными центрами этих стран. Теперь в Институте работают национальные группы специалистов, приехавшие в Дубну со своей аппаратурой для проведения определенных экспериментов на основных установках. В настоящее время на основе эффективного кооперирования ОИЯИ и институтов стран, его членов, особо сложная аппаратура создается совместными усилиями. Широкое научное сотрудничество ОИЯИ с лабораториями стран-участниц привело к развитию особых форм деятельности Института - "физике на расстоянии": исследованиям с помощью ядерных фотоэмульсий, облученных на ускорителях Дубны и Серпухова, возможности обработки снимков ядерных событий, полученных на созданных в Дубне и работающих на пучках ускорителя в Серпухове пузырьковых камерах, изготовления аппаратуры и средств автоматизации, создания программ для использования ЭВМ и т.д.

Получила распространение методика обработки результатов сложных экспериментов несколькими научными группами в разных институтах, что позволяет ускорить получение научных результатов, а также дает возможность небольшим коллективам, не имеющим собственных ускорителей и новейшей аппаратуры, участвовать в сложных экспериментах.



Ученые ОИЯИ по приглашению Советского правительства участвуют в экспериментах на серпуховском ускорителе, выполняя около трети всей его программы, а также на ереванском синхротроне.

Подписан Протокол о характере и формах сотрудничества между ОИЯИ и Советом экономической взаимопомощи. Это существенно расширяет возможности ученых Института и его стран-участниц в мирном использовании атомной энергии.

ОИЯИ выполняет ежегодно более 170 научно-исследовательских работ совместно с физическими институтами стран-участниц, со многими заключены договоры о сотрудничестве.

Ежегодно ОИЯИ организует около 40 научных, методических и научно-организационных совещаний, в работе которых принимают участие свыше 2000 специалистов, работающих в Дубне или приехавших из других стран. Эти совещания имеют важное значение для концентрации усилий, правильной расстановки сил, целесообразности расходования средств, определения научной политики Института.

Традиционной формой общения молодых ученых с признанными корифеями науки стали международные школы. Молодые ученые слушают лекции об актуальных работах и последних достижениях в различных областях науки и техники. Дискуссии и непосредственные беседы рождают новые мысли и идеи. Популярностью пользуются ежегодные школы-семинары молодых ученых ОИЯИ и стран-участниц по вопросам физики элементарных частиц, а также школы молодых ученых ЦЕРН-ОИЯИ, проводимые раз в два года.

Взаимные посещения, научные командировки физиков из разных стран мира способствуют более тесным контактам. Ежегодно около 200 специалистов выезжа-

ют на международные конференции и в исследовательские центры стран, не участниц ОИЯИ, для обсуждения научных проблем, столько же Объединенный институт принимает в Дубне.

Труды сотрудников ОИЯИ широко публикуются, становятся достоянием специалистов всего мира. Уже через несколько месяцев после подписания Московского соглашения - в ноябре 1956 года - появились публикации первых научных работ нового Института. Сейчас препринты ОИЯИ рассылаются в 56 стран по 810 адресам. В порядке обмена за год в научно-техническую библиотеку Института поступает более 6,5 тысяч публикаций из 40 стран. Такой обмен - неиссякаемый источник научной информации. Ежегодно сотни статей направляются в периодические издания многих стран.

## УПРАВЛЕНИЕ

Устав определяет четкую систему управления Институтом с соблюдением основного принципа - международной.

Высшим органом управления является Комитет Полномочных Представителей правительств государств - членов Института, который собирается на свои сессии ежегодно. В его компетенцию входят важнейшие вопросы существования ОИЯИ: бюджет, план капитального строительства, перспективные, пятилетние и годовые научно-исследовательские планы развития Института, шкала членских взносов, прием новых государств в члены Института, избрание дирекции Института. Контроль финансовой деятельности Института осуществляет Финансовый комитет, в котором каждая страна представлена одним членом.

Постоянно действующим органом управления является дирекция ОИЯИ, она избирается Комитетом Полномочных Представителей и ответственна перед ним за всю текущую деятельность Института: научную, финансовую, административно-хозяйственную и производственную. Дирекция Института избирается сроком на 3 года. Устав не исключает повторного ее избрания.

С января 1964 года директором Объединенного института ядерных исследований является академик Н.Н.Боголюбов, выдающийся советский ученый. Вице-директорами ОИЯИ были многие известные ученые стран-участниц. В настоящее время ими являются академик К.Ланиус /ГДР/ и профессор Ч.Шимане /ЧССР/. Директор Института - одновременно и председатель Ученого совета ОИЯИ, вице-директора - его заместители и председатели секций Ученого совета в области физики высоких и физики низких энергий.

Вопросы научной деятельности ОИЯИ решает Ученый совет, сессии которого созываются два раза в год. В соответствии с Уставом каждое государство - член Института направляет на сессию Ученого совета до трех своих представителей из числа ведущих специалистов. Совет обсуждает и утверждает планы научно-исследовательских работ, рассматривает результаты их выполнения, а также результаты отдельных исследований, присуждает премии за лучшие научные работы, выполненные в Дубне. К его ведению относятся также рассмотрение и утверждение планов международного научного сотрудничества и плана совещаний, проводимых ОИЯИ, утверждение состава ученых советов лабораторий. Ученый совет Института представляет свои рекомендации Комитету Полномочных Представителей по вопросам финансирования, строительства новых объектов, избрания директоров лабораторий и их заместителей.

Жизнь подсказала идею создания специальных консультативных органов - секций Ученого совета по фи-

зике высоких энергий, физике низких энергий и по теоретической физике. Секции подробно рассматривают научные планы лабораторий по направлениям, координируют и контролируют их выполнение, представляют Ученому совету Института свои отчеты и рекомендации.

При секциях созданы специализированные комитеты по различным видам методики экспериментов. Так возникли консультативные органы при секции по физике высоких энергий: фотозмульсионный, камерный комитеты и комитет по электронным экспериментам; при секции по физике низких энергий - комитеты по структуре ядра, по физике тяжелых ионов и по нейтронной физике. Комитеты всесторонне рассматривают научные и методические вопросы определенной области физики или вопросы, связанные с использованием определенной методики, а также обеспечения научного сотрудничества между лабораториями ОИЯИ и научно-исследовательскими организациями стран-участниц. Члены комитетов и секций Ученого совета - крупные специалисты в определенной области физики или техники.

В лабораториях Института созданы научно-технические советы - консультативные органы дирекций лабораторий, осуществляющие ежеквартальный контроль за эффективностью использования основных установок, утверждающие планы научно-исследовательских и методических работ и отчеты об их выполнении.

За учеными советами лабораторий сохранены только квалификационные функции: прием к защите диссертаций, выборы на должности научного персонала.

В период подготовки пятилетних планов развития ОИЯИ проводятся совещания ведущих ученых стран-участниц с обсуждением главных тенденций в развитии теоретической и экспериментальной физики, с выделением наиболее важных направлений в деятельности Института на данный период. В связи с подготовкой перспективного плана развития ОИЯИ возрастает роль

научного прогнозирования. В последние годы в Институте ведется большая работа по созданию методики прогнозирования развития ОИЯИ. Было проведено совещание экспертов стран-участниц по прогнозированию и планированию развития ОИЯИ с целью своевременной и тщательной подготовки долгосрочных планов

с учетом гармонического сочетания возможностей стран-участниц и ОИЯИ. Рациональное распределение усилий между отдельными социалистическими странами, разработка конкретных форм сотрудничества позволят и в дальнейшем обеспечить высокую эффективность научных исследований.





Высший орган управления Объединенным институтом - Комитет Полномочных Представителей. Он собирается ежегодно и обсуждает важнейшие вопросы развития ОИЯИ: бюджет, капитальное строительство, годовые и перспективные планы развития Института, шкалу членских взносов и т.д. На снимке: директор ОИЯИ академик Н.Н.Боголюбов докладывает Полномочным Представителям стран-участниц о деятельности Института за 1973 год и задачах на 1974 год.



Объединенный институт ядерных исследований - первый международный физический центр социалистических стран Европы и Азии.





105784

Подписание Соглашения об учреждении Объединенного института ядерных исследований состоялось 26 марта 1956 года в Москве. В настоящее время в ОИЯИ работают ученые из Болгарии, Венгрии, Демократической Республики Вьетнам, Германской Демократической Республики, Корейской Народно-Демократической Республики, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии.





Активное участие в организации Объединенного института, научном руководстве, а также в работе его руководящих органов принимали и принимают выдающиеся ученые стран-участниц. На снимке: директор Института академик Н.Н.Боголюбов беседует с Полномочными Представителями Венгрии и Румынии академиком Л.Яноши и академиком Х.Хулубем /1966 год/.



Вице-директора одновременно являются и председателями ученых советов по физике высоких и физике низких энергий. На снимке: вице-директор академик К.Ланнус - председатель Ученого совета по физике высоких энергий, ученый секретарь Совета М.Г.Шафранова и профессор М.И.Соловьев в перерыве между заседаниями.

Вопросы научной деятельности ОИЯИ решает Ученый совет. Каждая страна-участница представлена на нем тремя членами из числа ведущих специалистов.



Постоянно действующим органом управления является дирекция ОИЯИ: директор и два вице-директора, избираемые Комитетом Полномочных Представителей. На снимке: вице-директор ОИЯИ профессор Ч.Шимане, заместители директора Лаборатории нейтронной физики Ю.С.Язвический и В.И.Лущиков.

Один из старейших ученых Болгарии, представляющий свою страну в качестве Полномочного Представителя, академик Г.Наджаков выступает на заседании Комитета Полномочных Представителей ОИЯИ /1969 год/.





За заслуги в развитии науки и подготовке кадров ученых-физиков для республик Советского Союза Объединенный институт награждает Юбилейным почетным знаком ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР, Совета Министров СССР и ВЦСПС в честь 50-летия образования СССР. Председатель ГКАЭ СССР профессор А.М.Петросьянц вручает награду директору ОИЯИ академику Н.Н.Боголюбову.

Известные советские ученые и специалисты возглавляют в ОИЯИ важные направления деятельности. На снимке, сделанном в перерыве между заседаниями Ученого совета летом 1965 года /слева направо/: директор ЛТФ Д.И.Блохинцев, директор ЛНФ И.М.Франк, административный директор Института В.Н.Сергиенко, директор ЛЯП В.П.Джелепов, директор ЛЯР Г.Н.Флеров, директор ЛВЭ В.И.Векслер.







Члены Ученого совета ОИЯИ профессор В.Петржилка /ЧССР/, профессор Д.Чултэм /МНР/ и профессор В.П.Джелепов /ОИЯИ/ обсуждают планы научного сотрудничества /1967 год/.



Дирекция ОИЯИ 1959-1961 гг.: профессор Э.Джаков /НРБ/, профессор Д.И.Блохинцев /СССР/ и профессор Ван Ган-чан /КНР/.

Полномочные Представители стран-участниц: Д.Цэвэгмид /МНР/, Ф.Гильберт /ГДР/ и А.М.Петросьянц /СССР/ во время посещения Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.



Члены Ученого совета во время посещения одной из лабораторий ОИЯИ.





Объединенный институт посещают многие государственные и партийные деятели разных стран. В 1969 году состоялся визит в ОИЯИ партийно-правительственной делегации Монгольской Народной Республики во главе с Ю.Цеденбалом.



В 1972 году Дубну посетил Председатель Госкомитета по науке, техническому прогрессу и высшему образованию Народной Республики Болгарии Н.Папазов.



Большую помощь и внимание Институту оказывал президент Академии наук СССР М.В.Келдыш.



С деятельностью ОИЯИ, с работой в Институте ученых из ГДР ознакомился во время своего визита в Дубну президент Академии наук ГДР Г.Кларе.



Директору ОИЯИ академику Н.Н.Боголюбову за выдающиеся научные заслуги присуждена степень Почетного доктора Вроцлавского университета Польской Народной Республики.



В 1970 году Дубну посетила член Политбюро ЦК Болгарской Коммунистической партии Цола Драгойчева. На снимке: академик И.М.Франк рассказывает тов. Ц.Драгойчевой о работах ученых Лаборатории нейтронной физики на импульсном реакторе.





Ученые ОИЯИ являются членами Научно-координационного совета Института физики высоких энергий в Серпухове. Академик Б.М.Понтекорво в перерыве между заседаниями беседует с членом Совета профессором Л.Б.Окунем.

В январе 1971 года на пучке серпуховского ускорителя запущена большая водородная камера ОИЯИ "Людмила".

Тесные научные контакты связывают ученых ОИЯИ со многими университетами и институтами стран-участниц. На снимке: ректор Вроцлавского университета ПНР профессор М.Ожеховский /в центре/ обсуждает вопросы сотрудничества во время своего визита в Дубну в 1972 году с административным директором Института В.Л.Карловским.





В становлении и развитии Объединенного института принимали активное участие известные советские ученые. На снимке слева направо : академик И.Я.Померанчук, академик С.Н.Вернов и академик В.И.Векслер.





Многолетнее научное сотрудничество связывает два международных научных центра - ОИЯИ и ЦЕРН. Обсуждение его является предметом регулярных встреч дирекций этих центров. На снимке: директор ОИЯИ академик Н.Н.Боголюбов и генеральный директор ЦЕРНа профессор В.Енчке в Дубне в июне 1971 года.

Физики ОИЯИ в рамках советско-американского сотрудничества участвовали в исследованиях на крупнейшем ускорителе в Батавии /США/.

Идет эксперимент. ▶



Во время своих визитов ученые ОИЯИ и ЦЕРНа обсуждают вопросы научного сотрудничества. Директор Лаборатории высоких энергий профессор А.М.Балдин рассказывает профессору И. Гольдшмидт - Клермону и административному директору ЦЕРН-1 Г.Х.Хемптону о программе работ ЛВЭ /октябрь 1974 года/.



В 1975 г. Объединенный институт посетил директор Национальной ускорительной лаборатории США /Батавия/ профессор Р.Вилсон. Состоялись переговоры о проведении совместных исследований учеными ОИЯИ и НАЛ. На снимке: директор НАЛ Р.Вилсон, заместитель директора ЛВЭ А.А.Кузнецов, начальник управления ГКАЭ СССР А.А.Васильев, вице-директор ОИЯИ К.Ланнус в криогенном отделе Лаборатории высоких энергий.





Ученые ОИЯИ совместно с итальянскими и румынскими физиками ведут эксперименты с помощью стримерной камеры высокого давления на синхротроне Лаборатории ядерных проблем. На снимке: один из рабочих моментов обсуждения полученных результатов.



Традиционным стало сотрудничество ученых ОИЯИ и Каирского университета. Физики АРЕ участвуют в совместных работах, выполняемых фотозумльсионным методом. На снимке: профессор Каирского университета Мохаммед Эль Нади обсуждает с руководителем группы К.Д.Толстым вопросы научного сотрудничества /1973 год/.

Первая встреча с русским снегом. Индийский стипендиат ОИЯИ д-р Д.Надкарни с супругой в Дубне.

Изучение взаимодействий антипротонов с энергией 20 ГэВ проводится с помощью двухметровой жидководородной камеры "Людмила". В работах участвуют финские ученые. На снимке: С.Льюнг /Финляндия/ и М.Шафранов /СССР/.







Среди всемирно известных ученых, посетивших Дубну, был выдающийся французский физик и общественный деятель Фредерик Жолио-Кюри /второй справа/.

Известный американский ученый Г.Сиборг во время визита в Дубну в 1972 году. На снимке: Г.Сиборг, директор Лаборатории ядерных реакций академик Г.Н.Флеров и сотрудник этой лаборатории Ю.Ц.Оганесян.



Выдающийся датский ученый Нильс Бор был гостем Объединенного института. На снимке: И.М.Франк, Нильс Бор, Я.А.Сморodinский.



Генеральный директор МАГАТЭ профессор З.Экхунд беседует с начальником Отдела новых методов ускорения ОИЯИ В.П.Саранцевым /1972 г./.





Гостем Дубны был выдающийся английский ученый П. Дирак.



Многолетнее научное сотрудничество связывает ученицу Ф. Жолио-Кюри - французского физика Жанну Лаберриг с учеными Института. Ж. Лаберриг и руководитель научной группы ОИЯИ В. Б. Флягин обсуждают результаты совместной работы.



Известный американский физик профессор Ц.-С. Ву познакомилась с группой ученых Института, руководимой В. А. Никитиным, и их работами на ускорителе ИФЭ /Серпухов/.



1964 год. В Дубне проходила Международная конференция по физике высоких энергий, в которой приняли участие ученые более 30 стран. Дискуссию в зале заседаний ведут академик И.Е.Тамм /справа/ и профессор Д.Д.Иваненко.





Участники конференции на экскурсии по Московскому морю.



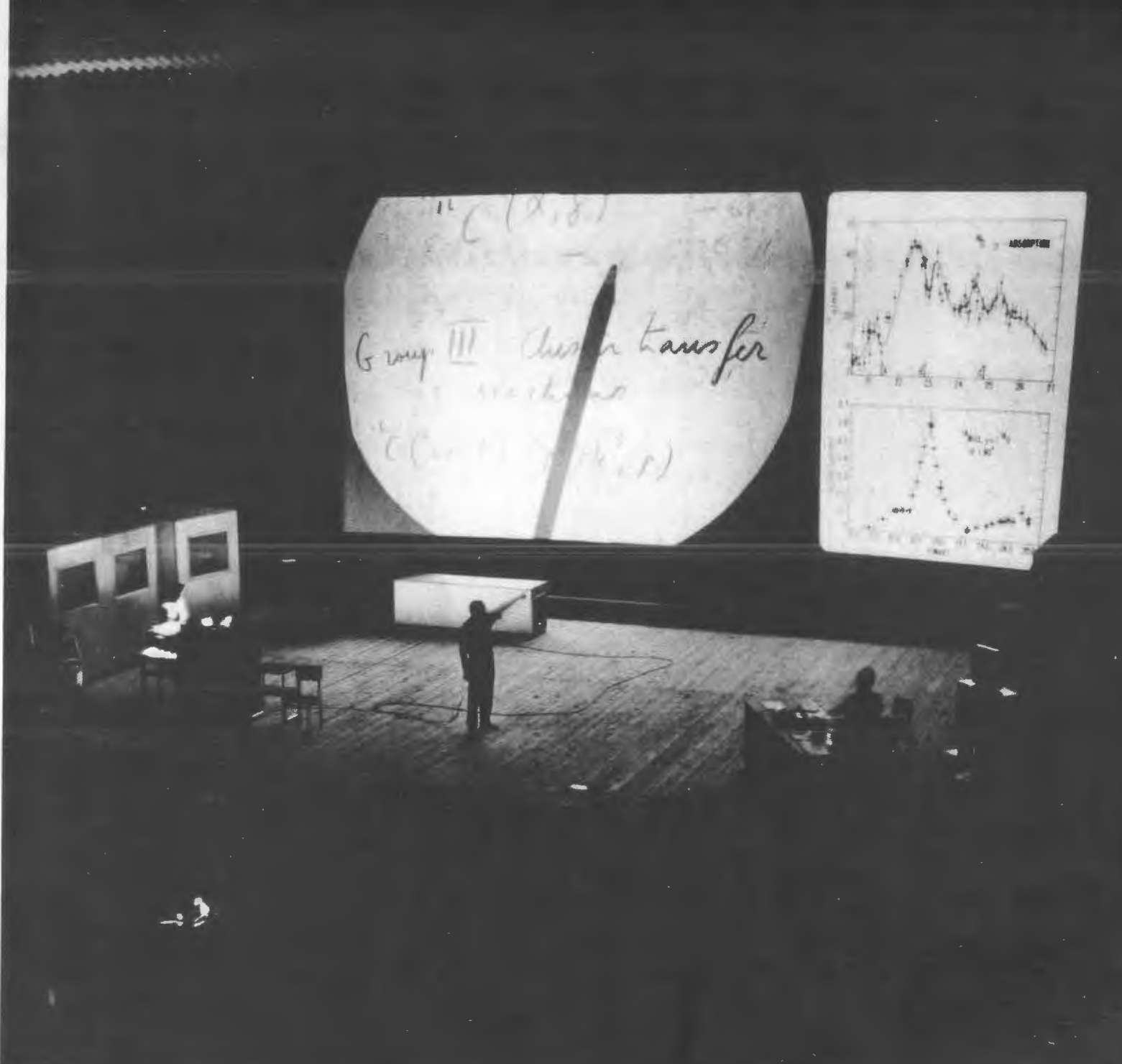
На конференции выступает директор Лаборатории высоких энергий /ныне директор Института теоретической и экспериментальной физики/ профессор И.В. Чувило.







▲ 1968 год. Междуна-  
родный симпозиум по  
структуре ядра в Дуб-  
не. ▶





Около 100 ученых ОИЯИ участвовали в работе XV Международной конференции по физике высоких энергий в Киеве в 1970 году. ОИЯИ был одним из организаторов этой конференции. Ученые Института представили 64 доклада с результатами новых исследований.





Члены Оргкомитета Международной конференции по физике высоких энергий / в центре/: Э.К.Сударшан, Р.Маршак, Н.Н.Боголюбов.



В кулуарах конференции - известные ученые: В.Вайскопф, Б.Грегори /ЦЕРН/, М.А.Марков, А.Л.Минц /СССР/.



В зале заседаний Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970 год.





Ученые ОИЯИ принимали участие в Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве в 1971 году. Выступает академик Г.Н.Флеров.



Председатель Комиссариата по атомной энергии Франции Ф.Перрен осматривает экспонаты ОИЯИ на выставке "Женева-71".



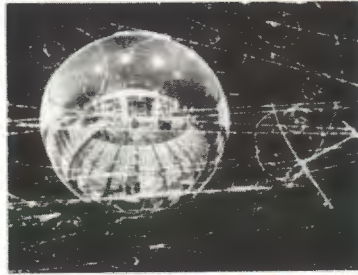
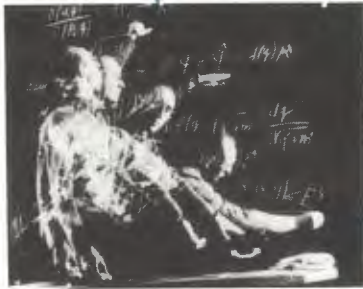
В Дубне регулярно устраиваются выставки электронной аппаратуры стран - участниц ОИЯИ. На выставке венгерского внешне-торгового предприятия МЭТРИМПЕКС в 1969 году. Экспонаты осматривают заместитель директора ЛВЭ И.Н.Семенюшкин, директор ЛВТА М.Г.Мещеряков и заместитель директора Лаборатории Н.Н.Говорун.



Выставка "Приборы системы КАМАК" была организована в Дубне в 1974 году. Ее организаторы - ОИЯИ и объединение заводов ядерного приборостроения "Полон" /ПНР/.







ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРИЯ  
ВЫСОКИХ  
ЭНЕРГИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ  
ЯДЕРНЫХ  
ПРОБЛЕМ

# В ЛАБОРАТОРИЯХ ИНСТИТУТА

ЛАБОРАТОРИЯ  
ЯДЕРНЫХ  
РЕАКЦИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ  
НЕЙТРОННОЙ  
ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРИЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

ОТДЕЛ  
НОВЫХ МЕТОДОВ  
УСКОРЕНИЯ

$$\partial(P_0, q)$$

$$P_0 = \sqrt{q^2 - U} \quad P_0 < 0$$

$$\mathcal{F}\psi = \hat{\psi} = f(q)M$$

Exam

$\psi \in \dots$

$$M = \delta(p^2 + m^2) \chi(p)$$

$\chi(p)$

$$\int \chi(q) \psi(q, -\sqrt{q^2 + m^2}) \frac{dq}{2\sqrt{q^2 + m}}$$

$$\psi \in \Omega_{\pm}^+$$

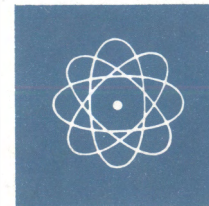
$$X = (X_0, \dots) \in E$$

Ma

$$2\sqrt{q^2 + m^2}$$

$$\mathcal{D}_{\pm}$$

**ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
ФИЗИКИ**





В момент образования Лаборатории теоретической физики в 1956 году в ней числилось всего 27 научных сотрудников, а к 1975 году их количество возросло до 140. За это время сотрудниками ЛТФ опубликовано более 20 монографий и учебников по физике элементарных частиц и физике ядра /см. перечень в конце статьи/. Три цикла работ были отмечены Ленинскими и Государственными премиями. За прошедшие годы ЛТФ стала одним из ведущих мировых центров теоретической физики. Ее публикации имеют хорошую репутацию и внимательно изучаются физиками во всех уголках земного шара.

Лаборатория теоретической физики играет постоянно возрастающую роль в организации научных исследований и подготовке специалистов-теоретиков как в Советском Союзе, так и в других странах - участницах ОИЯИ. В ЛТФ стали кандидатами и докторами наук многие ученые стран-участниц. Здесь выросли такие ученые с мировым именем, как академик А.А.Логунов /СССР/, болгарский академик И.Тодоров, заведующий кафедрой теоретической физики в Уинверситете Гумбольдта /Берлин, ГДР/ профессор Франк Кашлун, директор Института Физики в Ханое профессор Нгуен

Ван Хьеу, польские теоретики профессора З.Галясевич, В.Рыбарска, известные советские ученые - сотрудники ЛТФ профессора В.А.Мещеряков, В.Г.Соловьев, академик АН Грузинской ССР А.Н.Тавхелидзе, член-корреспондент АН СССР - Д.В.Ширков.

Лаборатория теоретической физики поддерживает плодотворные научные контакты со многими научными центрами стран - участниц ОИЯИ, а также с наиболее известными научными центрами других стран. Особенно тесный характер имеют многолетние научные связи теоретиков ЛТФ с экспериментаторами ОИЯИ.

Лаборатория теоретической физики играет исключительную роль как центр по подготовке высококвалифицированных физиков и организатор международных и все-союзных конференций, симпозиумов и школ, в том числе школ для молодых ученых, которые пользуются неизменным успехом.

Лаборатория состоит из двух отделов - отдела физики элементарных частиц и отдела теории атомного ядра. Среди основных направлений исследований можно выделить следующие общие "потоки": квантовая теория поля, теория и приложения дисперсионных соотношений, теория взаимодействия элементарных частиц при высо-



ких энергиях, теория гравитации, теория ядерной структуры, теория взаимодействия элементарных частиц и ядер с ядрами, теория конденсированных сред.

На формирование научных направлений, определивших развитие Лаборатории на многие годы, решающее влияние оказали фундаментальные работы по квантовой теории поля /КТП/, методу дисперсионных соотношений /ДС/, теории сверхтекучести и сверхпроводимости, выполненным Н.Н.Боголюбовым в середине 50-х годов.

В основу математически корректной формулировки теории перенормировок в КТП было положено понятие матрицы рассеяния, подчиняющейся основным физическим принципам - унитарности, релятивистской ковариантности и причинности. Последний играет особую важную роль в развитии теории, а его оригинальная формулировка известна как "условие микропричинности Боголюбова". В рамках основных физических принципов матрица рассеяния может быть построена во всех порядках теории возмущений. Тем самым впервые была разработана аксиоматическая теория возмущений в КТП. Впоследствии такой подход послужил отправной точкой для построения всей теории квантованных полей на новой основе - аксиоматической теории поля. Аксиоматическое построение теории возмущений показало, что основные трудности состоят в нечетких определениях, а не в коренной перестройке физических принципов. На этом пути была создана строгая теория перенормировок, получившая название "R-операция Боголюбова". Работы этого направления определили дальнейшее развитие теории и послужили основой для метода дисперсионных соотношений. Развитые в них методы являются сейчас наиболее эффективным "рабочим инструментом" для исследования новых теорий.

Один из разделов КТП - квантовая электродинамика - прекрасно описывает данные опытов по изучению взаимодействия фотонов с электронами. Рабочим аппаратом в этих исследованиях является теория возмущений. В

середине 50-х годов в рамках квантовой электродинамики был предложен метод дисперсионных соотношений, позволяющий получать соотношения между физическими величинами без использования уравнений движения. В методе ДС обобщался давно известный в оптике результат: из одной только причинности следуют определенные аналитические свойства величин, описывающих волновые процессы. В квантовой теории поля такие следствия формулируются для матричных элементов матрицы рассеяния в терминах их аналитических свойств в комплексной плоскости энергетической переменной. Анализ этих свойств позволяет получить интегральные соотношения /ДС/ между действительной /рассеяние/ и мнимой /поглощение/ частями матричных элементов. Такого рода соотношения, не основанные на применении теории возмущений, оказались особенно важными для сильных взаимодействий, где само понятие константы взаимодействия не имело однозначного смысла. Однако последовательное проведение этой программы натолкнулось на серьезные трудности математического характера.

Для ее продолжения были точно сформулированы аксиоматические основы теории, позволившие математически строго вывести дисперсионные соотношения. Основными принципами являются локальность и причинность, т.е. предположение о том, что квантовые поля соответствуют частицам, взаимодействующим в точке, а скорость распространения взаимодействия конечна. Доказательство ДС /для пион-нуклонного рассеяния/ было дано в 1956 г. на языке нового математического аппарата, находящегося на границе теории обобщенных функций и теории функций многих комплексных переменных.

Доказательство ввело в физику новый стандарт строгости математических построений, однако главное его значение состоит в том, что оно привело к возникновению в физике нового понятия об амплитуде рассеяния

как единой аналитической функции переменных рассеяния, описывающих одновременно ряд процессов. Это понятие послужило основой создания специального языка в теории сильных взаимодействий и во многом определило дальнейшее развитие теории элементарных частиц. Доказательство ДС оказало непосредственное влияние на постановку новых опытов, так как экспериментальная проверка ДС означает проверку основных принципов, заложенных при их выводе. Для доступных сегодня энергий частиц дисперсионные соотношения согласуются с экспериментальными данными и служат основой для обсуждения новых явлений. Общефизическое значение доказательств ДС для пион-нуклонного рассеяния определялось еще и тем, что оно придавало полный смысл физической величине константы мезон-нуклонного взаимодействия, которая выражалась через экспериментально наблюдаемые величины полного и дифференциального сечений.

Строгое доказательство дисперсионных соотношений поставило новый метод на прочный фундамент, и с этого времени он получил всеобщее признание, а советская школа в данном разделе физики заняла ведущее место в мировой науке.

Важная информация о свойствах амплитуд рассеяния в квантовой теории поля содержится в ряде теории возмущений. Для изучения аналитических свойств общего члена этого ряда был развит метод мажорирования диаграмм Фейнмана, позволяющий судить об области аналитичности произвольно сложной диаграммы по соответствующим областям нескольких простейших диаграмм. На этом пути получены дисперсионные соотношения по переданному импульсу, так же как и дисперсионные соотношения для парциальных волн, которые не получаются из одних только линейных постулатов КТП.

В работах академиков А.А. Логунова и В.С. Владиминова впервые сформулированы и доказаны ДС для неупругих процессов, в которых рождается большое число

вторичных частиц. Логическим развитием их является изучение аналитических свойств амплитуд многочастичных процессов по переменным одной выделенной частицы. Это направление, получившее известность как теория инклюзивных процессов, нашло в последнее время широкое применение и развитие в связи с опытами при высоких энергиях. Использование общих принципов КТП позволило получить на этом пути асимптотические ограничения на поведение сечений взаимодействий при сверхвысоких энергиях, играющие важную роль при планировании и интерпретации экспериментов на ускорителях. Эти оценки служат, так сказать, "ограничителями" фантазии теоретиков при построении ими конкретных моделей взаимодействия частиц при высоких энергиях, а экспериментальная проверка позволяет судить о справедливости основных принципов теории. Плодотворным оказалось применение ДС и в области средних энергий /область резонансов/. Большой вклад в развитие этого направления был сделан группой теоретиков Дубны, Новосибирска, Варшавы и Кракова, разработавших оригинальный метод подхода к проблеме взаимодействия и взаимосвязи процессов при этих энергиях /получивший название "Дубненский метод"/. Анализ совокупности процессов /пион-пионное, пион-нуклонное и нуклон-нуклонное рассеяние/ привел к пониманию незамкнутости чисто низкоэнергетической схемы и необходимости учета области высоких энергий. Был предложен эффективный метод учета этой информации /коротковолновое отталкивание/, на основе которого выяснена причина возникновения резонансов.

Использование идей, лежащих в основе метода ДС, позволило получить теоретикам Дубны и Серпухова интересные соотношения между процессами рассеяния при высоких и низких энергиях /так называемые дисперсионные правила сумм/, а также правила сумм при конечных энергиях, в которых резонансная физика неразсторжимо связывается с физикой высоких энергий. На

этой почве впоследствии возникли так называемые "дуальные модели".

Важный вклад в теорию и экспериментальную проверку дисперсионных соотношений внесли совместные работы теоретиков ЛТФ ОИЯИ и экспериментаторов ФИАН СССР, в которых были сформулированы, теоретически обоснованы и экспериментально проверены ДС для процессов рождения пи-мезонов при столкновении фотонов с протонами. За этот цикл исследований А.А. Логунов, Л.Д. Соловьев, А.Н. Тавхелидзе вместе с учеными ФИАН удостоены Государственной премии.

Широкую известность получило квазипотенциальное уравнение Логунова и Тавхелидзе для описания сильного взаимодействия частиц в КТП. В работах их учеников детально исследованы свойства этого уравнения и его приложений в физике элементарных частиц. Выяснилось, что оно может с успехом применяться при изучении связанных состояний и процессов взаимодействий при высоких энергиях. В совместных работах ЛТФ и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на его основе проведен анализ рассеяния пи-мезонов на нуклонах в широком интервале энергий и дан ряд экспериментально проверяемых предсказаний.

Процессы при высоких энергиях изучались в лаборатории самыми различными методами. В рамках общих исследований по квантовой теории поля в работах дубненских теоретиков был детально разработан метод функционального усреднения, в котором физические величины выражаются через обобщенные интегралы по классическим полям, т.е. по пространствам с бесконечной размерностью /эти интегралы, называемые функциональными или континуальными, являются далеко идущим обобщением обычных многократных интегралов/.

Созданные в ЛТФ асимптотические методы решения задач теории поля, основанные на использовании континуального интегрирования и связанного с ним операторного формализма, позволили эффективно исследо-

вать амплитуды высокоэнергетического рассеяния адронов. В рамках КТП на основе метода функционального усреднения удалось построить наглядную геометрическую картину процессов рассеяния при высоких энергиях частиц, естественным образом связанную с так называемой эйкональной моделью.

За цикл исследований, посвященных разработке приближенных методов квантовой теории поля в физике высоких энергий, коллектив молодых ученых ЛТФ награжден премией Ленинского комсомола.

Все эти исследования опираются на представления о локальности взаимодействий и полей, описывающих элементарные частицы. Эти представления можно считать хорошо обоснованными для расстояний порядка  $10^{-13}$  -  $10^{-14}$  см, характеризующих размеры нуклона. Размеры электрона существенно меньше этой величины, и ни один экспериментальный факт пока не противоречит представлению о нем как о точечной частице. В то же время нуклон никоим образом нельзя представлять как точечную бесструктурную частицу, о чем, в частности, свидетельствуют результаты опытов по рассеянию электронов на протонах и нейтронах /называемых нуклонами/. Важный вклад в интерпретацию этих опытов и развитие представлений о структуре нуклонов был сделан теоретиками ЛТФ, разработавшими, в частности, оптическую модель нуклона и установившими ее связь с КТП.

Актуальным является направление, связанное с введением в квантовую теорию поля идеи о "фундаментальной длине", характеризующей нарушение точечности или локальности взаимодействий элементарных частиц.

Основополагающий вклад в развитие таких теорий сделан в работах М.А. Маркова и Д.И. Блохинцева, предложивших в 40-х годах различные варианты нелокальных полей и нелокальных взаимодействий локальных полей. Теория нелокальных взаимодействий интенсивно разра-

батывалась в ЛТФ, и в настоящее время выясняется возможность построения последовательной теории нелокальных взаимодействий. В частности, предпринята интересная попытка аксиоматического построения КТП, содержащей "фундаментальную длину", а также подробно разработан математический аппарат теорий поля с нелокальными факторами.

Итоги работы по "нелокальной физике" регулярно подводятся на организуемых ЛТФ международных конференциях по "нестандартным" /нелокальным, перенормируемым и неполиномиальным/ теориям поля, в разработке которых теоретики ЛТФ играют ведущую роль в мировой теоретической физике. Возросший интерес к возможностям использования перенормируемых и неполиномиальных теорий в значительной мере стимулирован работами, выполненными в Лаборатории теоретической физики.

Значительное внимание уделяют ученые ЛТФ физике слабых взаимодействий, одним из наиболее интересных примеров которых являются взаимодействия самой неуловимой частицы - нейтрино. Несмотря на слабость таких взаимодействий, теория возмущений в этом случае неприменима. В 1957 году М.А.Марковым впервые были предложены эксперименты по изучению взаимодействия нейтрино с нуклонами в подземных экспериментах и на ускорителях высоких энергий, которые в настоящее время успешно осуществляются.

В лаборатории впервые обращают внимание на то, что слабые взаимодействия при энергиях нейтрино, больших  $300 \text{ ГэВ}$ , могут быть сравнимы с сильными, что потребует модификации теории. Другая возможность состоит в использовании новых математических методов. Оба направления активно развивались в ОИЯИ и получили известность и признание.

На основе анализа экспериментальных данных о запретах на различные слабые распады частиц в лаборатории была высказана идея о существовании двух типов

нейтрино, которая подтвердилась экспериментом. Открытие второго нейтрино существенно повлияло на развитие всей физики слабых взаимодействий. В ЛТФ предложено несколько теоретических моделей, объясняющих существование двух типов нейтрино и предсказывающих их новые взаимодействия, моделей, стимулировавших новые эксперименты в физике нейтрино.

Как уже упоминалось выше, в настоящее время широкое распространение получили представления о сложной структуре сильно взаимодействующих частиц, называемых "адронами" /примеры адронов - нуклоны, пи-мезоны и т.д./. Согласно этим представлениям, адроны, подобно тому, как ядра составлены из нуклонов, состоят из более мелких частиц, которые принято называть кварками или партонами.

Наиболее популярная сейчас составная модель, предполагающая существование трех кварков с электрическими зарядами  $1/3$  заряда электрона /дробные заряды/, успешно объясняет многие свойства адронов. Существенным вкладом в понимание электромагнитных свойств адронов явились работы теоретиков ОИЯИ на основе релятивистских уравнений для кварков, которые позволили с единой точки зрения понять большой фактический материал и выяснить ряд таких принципиальных моментов, как, например, эффективное изменение массы кварков за счет взаимодействия. Однако эта модель сталкивается с серьезными теоретическими трудностями, а соответствующие дробно-заряженные частицы /если они существуют/ до сих пор ускользают от наблюдения. В настоящее время в ЛТФ предложена модель кварков с целочисленными зарядами, свободная от этих трудностей.

К числу новейших достижений теории элементарных частиц относится принцип автомодельности /или самоподобия/ при высоких энергиях, позволяющий связывать процессы, в которых рождается большое число частиц /так называемые глубоконеупругие процессы/ при раз-

личных энергиях и углах рассеяния. Этот принцип позволяет из простых соображений размерности получать нетривиальные следствия, проверяемые на опыте. Важность его известна в физике давно и находит многочисленные применения, например, в гидродинамике при изучении точечных взрывов. Обоснование принципа автомодельности на основе общих принципов квантовой теории поля было дано в работах сотрудников ОИЯИ и МИАН СССР им. Стеклова. Исходя из свойств причинности и спектральности, ученые установили тесную связь масштабных свойств и пространственно-временной картины поведения глубоконеупругих процессов /сингулярности на световом конусе/. В последующих работах дубненских теоретиков изучены многочисленные следствия этого принципа для различных глубоконеупругих процессов. Экспериментальное подтверждение следствий принципа автомодельности в настоящее время рассматривается как серьезное указание на то, что адроны имеют сложную структуру, хорошо описываемую сравнительно небольшим числом элементарных составляющих кварков /партонов/.

Для Лаборатории теоретической физики характерна широта интересов ее сотрудников - от совершенно абстрактных теоретических построений до сугубо прикладных исследований. Одной из наиболее абстрактных теорий всегда считалась общая теория относительности /ее серьезная проверка в астрофизических наблюдениях, по существу, только начинается/. В Лаборатории проводятся глубокие исследования по общей теории относительности и близких к ней теорий. Здесь было введено понятие спина виртуального поля и на этой основе выведены теория Янга-Миллса и теория тяготения Эйнштейна. Полученный на этом пути закон общеквариантного преобразования спиноров явился одним из первых существенных случаев нелинейных реализаций групп симметрии.

Большое внимание уделяется исследованиям принципиальных вопросов квантовой теории и теории относительности. Детально изучена связь между квантовой и классической теориями, предложены новые идеи о связи между геометрией и физикой микромира, согласно которым представления о пространстве и времени на малых расстояниях должны быть принципиально изменены.

В Лаборатории установлено, что в механике столкновений частиц, изучаемых на современных ускорителях, весьма существенную роль играет геометрия Лобачевского. Теоремы этой геометрии оказались полезными как в общих теоретических вопросах, так и при непосредственном анализе экспериментальных данных.

К имеющим непосредственные экспериментальные приложения исследованиям по КТП относятся исследования по так называемому "полному опыту", в которых определен набор процессов рассеяния с поляризованными частицами, дающих возможность восстановить матрицу рассеяния при заданной энергии.

В ЛТФ предложен формализм построения матрицы рассеяния в терминах состояний с определенным значением проекции спинов частиц на их импульсы, который впоследствии получил широкую известность и специальное название "Формализм спиральных амплитуд".

Здесь была начата разработка методов оптимального прогнозирования экспериментальных данных на основе аналитических свойств амплитуд процессов.

Важное место в научной программе Лаборатории занимают исследования, проводимые в Отделе теории атомного ядра. Атомное ядро - основная структурная единица окружающего нас мира, поэтому знать его свойства и уметь теоретически предсказать его поведение в тех или иных условиях важно с точки зрения не только познавательных, но и практических задач современной науки.

Ядро представляет собой сложную систему, характеризующуюся большим числом степеней свободы. Этим



объясняется многообразие его свойств, что требует для их изучения использования различных экспериментальных методов и теоретических подходов. Недостаточно известный характер ядерных сил и сложность описания системы конечного числа сильно взаимодействующих нуклонов определяют трудности, которые имеются на пути создания теории ядра.

В становлении современной теории атомного ядра определяющую роль сыграли идеи и математические методы, развитые Н.Н.Боголюбовым при построении теории сверхтекучести и сверхпроводимости. Состояния сверхпроводящего типа могут возникать как в металлах, так и в атомных ядрах, парные взаимодействия нуклонов сверхпроводящего типа должны вообще играть важную роль в атомных ядрах. Под влиянием работ по сверхтекучести ядерной материи в Лаборатории теоретической физики создано фундаментальное направление исследований, в развитие которого решающий вклад внесли теоретики ОИЯИ под руководством В.Г.Соловьева. Ими выполнены работы, которые легли в основу так называемой сверхтекучей модели или полумикроскопической теории ядра.

Первым этапом построения теории явились работы 1958-59 гг., в которых разработана модель независимых квазичастиц. Чтобы внедрить в то время идеи сверхтекучести в ядерную физику, потребовались немалая смелость и настойчивость, так как тогда было распространено мнение, что в рамках нового подхода не может быть и речи об описании свойств конкретных ядер. Однако, вопреки "авторитетным" предсказаниям, идея сверхтекучести оказалась удивительно плодотворной и позволила понять многие не только качественные, но и количественные закономерности, обнаруженные в энергетических спектрах и других важных характеристиках структуры ядра.

Существенное развитие получили теории альфа- и бета-распадов, электромагнитных переходов, реакций

передачи нуклонов. Теперь это - материал монографий и учебников.

Теоретические выводы сотрудников отдела атомного ядра, изучавших квазичастичные состояния деформированных ядер, нашли блестящее экспериментальное подтверждение во многих лабораториях мира. Закреплению успеха теории способствовали работы, в которых были развиты методы, позволившие определять точности приближений модели, а также исследования по изучению нейтрон-протонных корреляций в ядрах.

Форма ядра как одна из его фундаментальных характеристик во многом определяет его поведение в различных процессах. Умение правильно предсказать эту характеристику является главным требованием, критерием, определяющим надежность теории. В рамках модели независимых квазичастиц были изучены новые области деформированных ядер и изомеры формы ядра. В частности, была предсказана область деформированных ядер с массовым числом  $\sim 100$ , впоследствии обнаруженная экспериментально.

Успех модели независимых квазичастиц позволил перейти к рассмотрению свойств коллективных состояний ядер, в формировании которых участвует большое число нуклонов. На основе метода приближенного второго квантования Н.Н.Боголюбова разработана теория коллективных колебаний деформированных ядер. Она связала единой основой структуру колебательных одночастичных и двухчастичных состояний ядер, что явилось важным шагом в изучении структуры ядра. Дальнейшие исследования показали, что теория правильно описывает коллективные свойства ядер. Результаты этих работ играют важную роль при интерпретации и планировании экспериментов.

Последующее развитие шло по пути расширения области исследований и включения в нее новых типов возбуждений ядра, в том числе по пути изучения структуры высоковозбужденных состояний. Были рассмотрены но-

вые виды сил, действующих между нуклонами в ядре, изучены не только деформированные, но и сферические ядра и ядра промежуточных /переходных/ областей атомных весов.

Завершение этих исследований поставило вопрос о создании единого метода описания ядерных состояний в широкой области энергий возбуждения. Показано, что взаимодействие квазичастиц с фононами приводит к фрагментации одночастичных состояний по ряду уровней ядра сложной природы. Роль механизма фрагментации оказалась ключевой для понимания структуры высоко-возбужденных состояний. Удалось описать одну из фундаментальных характеристик ядра - плотность уровней. Таким образом, были созданы предпосылки для широкого изучения ядерных состояний, включая нейтронные резонансы.

Несмотря на то, что вращательные и колебательные состояния ядер как состояния коллективного типа имеют общую природу /а иногда возбуждение вообще невозможно разделить на вращательное и колебательное/, их теоретическое изучение долгое время велось совершенно разными методами. В последние годы был создан единый метод их описания. При изучении свойств возбужденных состояний атомных ядер с нечетным числом нуклонов важную роль играют эффекты, вызванные связью вращения с другими формами движения, а также поляризационные эффекты.

В отделе теории ядра предложены, теоретически обоснованы и проверены в эксперименте методы исследования таких эффектов.

Важное место в исследованиях по теории ядра принадлежит работам, в которых изучаются силы, действующие между нуклонами.

Наряду с ядрами, имеющими хорошо определенную форму - сферическую или деформированную - известно много ядер переходной области. Их исследование требовало развития специфических методов и привело к

созданию теории, на основе которой была предложена модель для описания свойств переходных ядер.

Основную информацию о многонуклонных системах дают ядерные реакции. Проблема многих тел в этом случае дополнительно осложняется тем, что не все частицы находятся в ограниченной ядром области пространства. Долгое время при описании реакций не удавалось выйти за рамки теории возмущений и грубых разрозненных моделей. Эта задача решена лишь в последние годы созданием единой теории реакций. Ее наиболее сложный раздел - теория реакций с передачей нуклонов, а также описание развала системы на несколько фрагментов - изучен в ЛТФ. Разработаны квазиклассические методы исследования уровней среднего поля ядер и реакций взаимодействия тяжелых ионов с ядрами, включая процессы прямого деления.

Среди ядерных реакций главную роль по своей информативности играют так называемые прямые процессы. Сейчас разрабатывается теория таких процессов, в частности, предложен аналитический вариант теории рассеяния электронов ядрами, получивший название "высокоэнергетического приближения" /ВЭП/. Благодаря наглядности и простоте ВЭП широко используется как в теоретических исследованиях, так и при анализе экспериментов для извлечения информации о низколежащих состояниях ядер. В ряде исследований, выполненных в отделе, впервые обращено внимание на важность эффектов подвозбуждения коллективных состояний ядер в реакциях с передачей нуклона и построена замкнутая теория таких процессов, получивших название "многоступенчатых". Эта теория внедрена в анализ современных экспериментов по реакциям на деформированных ядрах и широко используется во многих лабораториях. Разработан аппарат, повысивший точность описания прямых процессов, благодаря чему стало возможным предсказание не только их относительных, но и абсолютных вероятностей.

До сравнительно недавнего времени наше понимание сложных квантовых объектов практически строилось на основе решения задачи двух тел. Действительно, такие теории, как модели оболочек атомов и ядер, модели независимых квазичастиц и даже теория твердого тела исходят по существу из квантовой механики движения одной частицы в поле другой. Решение задачи трех /и большего числа/ тел позволило бы пересмотреть на новой основе наши представления о строении материи. В лаборатории первые работы этого направления связаны с физикой мезомолекулярных процессов, что положило начало новому перспективному направлению исследований - мезохимии. Разработаны методы, применимые к описанию произвольных трехчастичных систем, а также сформулирована обратная задача рассеяния для  $n \geq 3$  частиц. Впервые удалось найти эффективный способ решения интегральных уравнений движения трех тел с локальными нуклон-нуклонными силами.

В связи с проведением на основных ускорителях ОИЯИ экспериментов по релятивистской ядерной физике в ЛТФ изучаются явления, которые находятся на стыке физики элементарных частиц и атомного ядра. Внесен существенный вклад в развитие мезонной теории ядерных сил и разработку метода фазовых функций. Развита модель ядерных реакций, вызываемых адронами,  $\gamma$ -квантами и легкими ядрами высокой энергии, в основе которых лежит предположение о развитии процесса реакции как каскада элементарных столкновений с последующим испарением частиц из возбужденных ядер.

В области промежуточных энергий выявлены новые закономерности, не свойственные ядерным системам при высоких и низких энергиях. Теоретиками ОИЯИ и НИИЯФ МГУ изучались процессы слабого взаимодействия мюонов с ядрами. Наиболее важным результатом этих работ явилось предсказание явления резонансного поглощения  $\mu$ -мезонов ядрами с возбуждением коллективных состояний типа гигантского резонанса. На основе

разработанных критериев явление обнаружено экспериментально - вначале в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, позднее - и в лабораториях других институтов. Дальнейшие исследования показали, что таким образом найдено универсальное свойство ядер, проявляющееся во многих процессах, протекающих при высоких энергиях.

В 1947 году Н.Н.Боголюбовым было дано корректное решение проблемы слабонеидеального Бозе-газа. Чтобы избежать применения теории возмущений в ее стандартной форме, Н.Н.Боголюбов разработал математический аппарат, широко известный теперь как метод приближенного вторичного квантования. Эти результаты составляют математический фундамент микроскопических теорий сверхтекучести и сверхпроводимости.

Поскольку при изучении неидеальных Бозе- и Ферми-систем установлена устойчивость состояния с "конденсатом" /связанные состояния виртуальных пар/, то закономерным было появление в 1961 году работы Н.Н.Боголюбова "Квазисредние в задачах статистической механики". Введенная в этой работе концепция квазисредних оказалась весьма эффективным инструментом исследования проблемы специфического упорядочения в системах многих частиц, а также проблемы так называемого спонтанного нарушения симметрии в задачах квантовой теории поля.

Широкий фронт экспериментального изучения в Лаборатории нейтронной физики конденсированных сред с помощью медленных нейтронов потребовал создания в ЛТФ нового направления исследований - теории конденсированных сред.

Развитие ядерной физики характеризуется тесной связью теории и эксперимента. Для стимулирования экспериментальных исследований и интерпретации полученных экспериментальных данных теоретические исследования должны доводиться до численного результата. Важным достижением явилось создание совместно

с Лабораторией вычислительной техники и автоматизации комплекса связанных математических программ расчетов целого ряда характеристик ядерной структуры и сечений ядерных реакций. Эти программы широко используются в странах - участницах Объединенного института ядерных исследований.

Непосредственные практические приложения имеют проводимые теоретиками ЛТФ и большим коллективом экспериментаторов Лаборатории ядерных проблем исследования по мезомолекулярным процессам, открывающие новые перспективы в химии.

Состояние важнейших областей современной статистической физики и основные тенденции ее развития за последние четверть века могут быть поняты лишь в свете замечательных исследований Н.Н.Боголюбова по неидеальным Бозе- и Ферми-системам. Конкретные результаты, образовавшие фундамент теорий сверхтекучести и сверхпроводимости, нашедших ценное применение в технике, общий метод исследований неидеальных модельных систем /в том числе характеризующих вырождением состояний статистического равновесия/, концепция квазисредних, получившая в настоящее время повсеместное распространение и применение в физике элементарных частиц "теорема о  $1/q^2$ ", являясь ценнейшим достоянием мировой науки, незаменимы при исследовании различных аспектов равновесного поведения систем многих взаимодействующих частиц.

Интернациональный коллектив Лаборатории успешно решает стоящие перед ним задачи. Заканчивая этот краткий обзор деятельности ЛТФ за 20 лет, следует особо отметить большой вклад в развитие всех основных

направлений, сделанный учеными из социалистических стран, приезжающими в ОИЯИ на различные сроки и продолжающими начатые здесь исследования у себя на родине.

Значительный вклад внесен специалистами ЛТФ в мировую библиотеку теоретической физики. В числе созданных ими книг - переведенные на многие языки и выдержавшие ряд изданий

учебники:

Д.И.Блохинцев. "Основы квантовой механики";  
Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков. "Введение в теорию квантованных полей",

монографии, подытожившие большие циклы работ и сыгравшие важную роль в развитии основных физических представлений:

Н.Н.Боголюбов. "Квазисредние в задачах статистической механики" /Дубна - 1961; 1963, Нью-Йорк - 1970, Москва - 1973/;

Д.И.Блохинцев. "Принципиальные вопросы квантовой механики" /Москва - 1966, Париж - 1967/;

И.Т.Тодоров. "Аналитические свойства диаграмм Фейнмана в квантовой теории поля" /София - 1966, Оксфорд - 1971/;

Д.В.Ширков, В.В.Серебряков, В.А.Мещеряков. "Дисперсионные теории сильных взаимодействий при низких энергиях" /Москва - 1967, Амстердам - 1969/;

Нгуен Ван Хьеу. "Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц" /Москва - 1967/;

Н.Н.Боголюбов, А.А.Логунов, И.Т.Тодоров. "Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля" /Москва - 1969, Токио - 1971/;

В.Г.Соловьев. "Теория сложных ядер" /Москва - 1971/.





Учитель и ученик.  
Академики Н.Н. Боголюбов /справа/ и  
А.А. Логунов.

Большая школа физиков-теоретиков и математиков, созданная Н.Н. Боголюбовым, известна всему научному миру. Многие талантливые ученики этой школы теперь избраны в Академию наук, возглавляют большие научные коллективы.



Работая в Объединенном институте, многие физики из стран-участниц стали кандидатами и докторами наук. На заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики. Идет защита диссертации.





Нельзя ли этот W-мезон сделать полегче? Член-корр. АН СССР Д.В.Ширков и доктор физико-математических наук В.Г.Кадышевский продолжают обсуждение интересного вопроса после семинара, посвященного теории слабых взаимодействий.





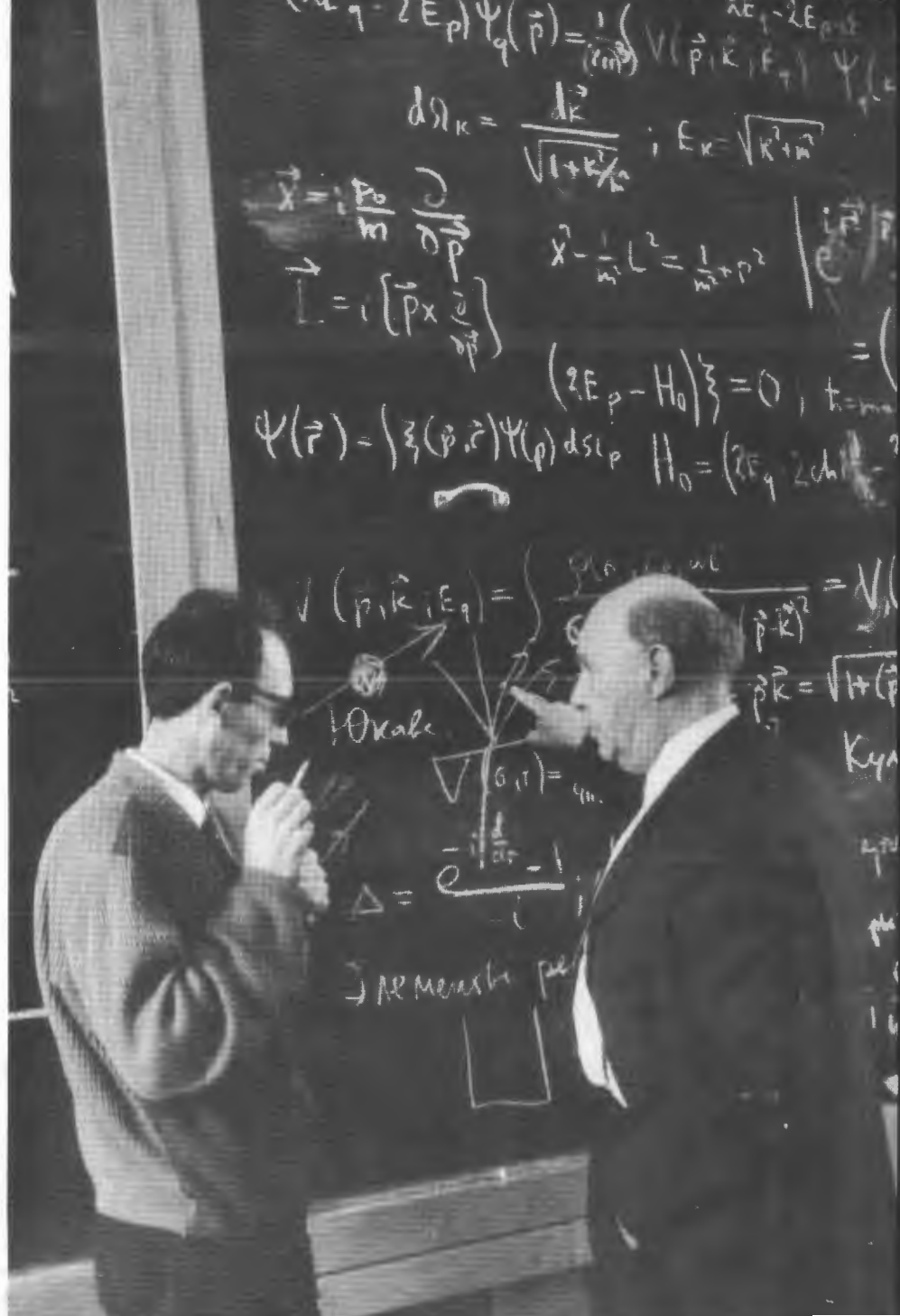
В конференц-зале Лаборатории теоретической физики во время семинара. Ставшая одним из ведущих центров теоретической мысли, Лаборатория привлекает к себе внимание ученых рождающимися здесь новыми научными направлениями, современными методами исследования. Организуемые здесь семинары - источник перспективных научных идей.



Ученые Института участвуют в разработке сложнейших философских проблем. С докладом по философским вопросам физики выступает доктор физико-математических наук Г.В.Ефимов.

При разработке фундаментальных теоретических проблем сотрудники ЛТФ стремятся обосновать важные для эксперимента методы.

Член-корреспондент АН СССР Д.И.Блохинцев и доктор физико-математических наук А.В.Ефремов за обсуждением основных положений оптической модели.





Какие новые сюрпризы готовит неуловимое нейтрино? Академик М.А.Марков при обсуждении нейтринного эксперимента в ИФВЭ. Ученые ОИЯИ внесли существенный вклад в изучение свойств этой частицы.





Ученые Института установили научные контакты со специалистами многих стран. На снимке: доктора физико-математических наук В.А.Мещеряков и Б.М.Барбашов во время встречи с профессором Хельсинского университета К.Лаурикайненом.

Теоретики Центрального института ядерных исследований ГДР и ученые ОИЯИ проводят совместную работу по изучению свойств ядер. Семинар теоретиков ЦИЯИ в Россендорфе.



В работе над трудными проблемами растут ученые. Сотрудники ЛТФ Р.Н.Фаустов и Б.А.Арбузов /теперь работает в ИФВЭ/. Молодыми специалистами приехали они в Дубну, здесь они стали докторами наук, известными теоретиками.

Многие специалисты из стран-участниц выросли как ученые в ОИЯИ. Одним из ведущих болгарских теоретиков стал академик И.Тодоров. /На снимке справа/.







Международная школа по структуре ядра в Алуште была организована по инициативе теоретиков Объединенного института. В работе школы участвовало 160 человек, среди ее лекторов были ведущие ученые ОИЯИ, СССР, НРБ, ПНР, ЦЕРНа, США, Дании, Югославии.



Важное место в программе Лаборатории теоретической физики занимают исследования свойств атомных ядер. Эти работы приобрели широкую известность в научном мире. На снимке: профессор В.Г.Соловьев проводит рабочее совещание своей группы.



Лучшей практической школой является совместная работа в Дубне молодых и высококвалифицированных специалистов. В этой школе приобрел известность, стал доктором наук молодой вьетнамский теоретик Нгуен Ван Хьеу. На снимке: профессор Нгуен Ван Хьеу и известный советский ученый профессор Я.А.Смородянский.





Какую роль играет  
сверхтекучесть в ядре?  
Идеи парного взаимодей-  
ствия нуклонов  
сверхпроводящего типа  
сыграли существенную  
роль в становлении со-  
временной теории  
атомного ядра. На  
снимке: в обсуждении  
проблем теории ядра  
у академика Н.Н.Бого-  
любова участвует дат-  
ский ученый Я.Банг  
/второй слева/.



В этом здании в Ташкенте /май, 1972 год/ состоялось Всесоюзное совещание по фундаментальным проблемам теории элементарных частиц. Совещание было организовано Академией наук Узбекской ССР при содействии ОИЯИ, в нем приняли участие многие зарубежные ученые.



В зале заседаний Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне /1964 год/ теоретики - доктора физико-математических наук В.В.Бабилов и П.С.Исаев.

На симпозиуме по структуре ядра в Дубне /июль, 1968 год/ с докладом выступает профессор Л.Д.Соловьев - один из ведущих теоретиков ОИЯИ /сейчас он директор Института физики высоких энергий в Серпухове/.



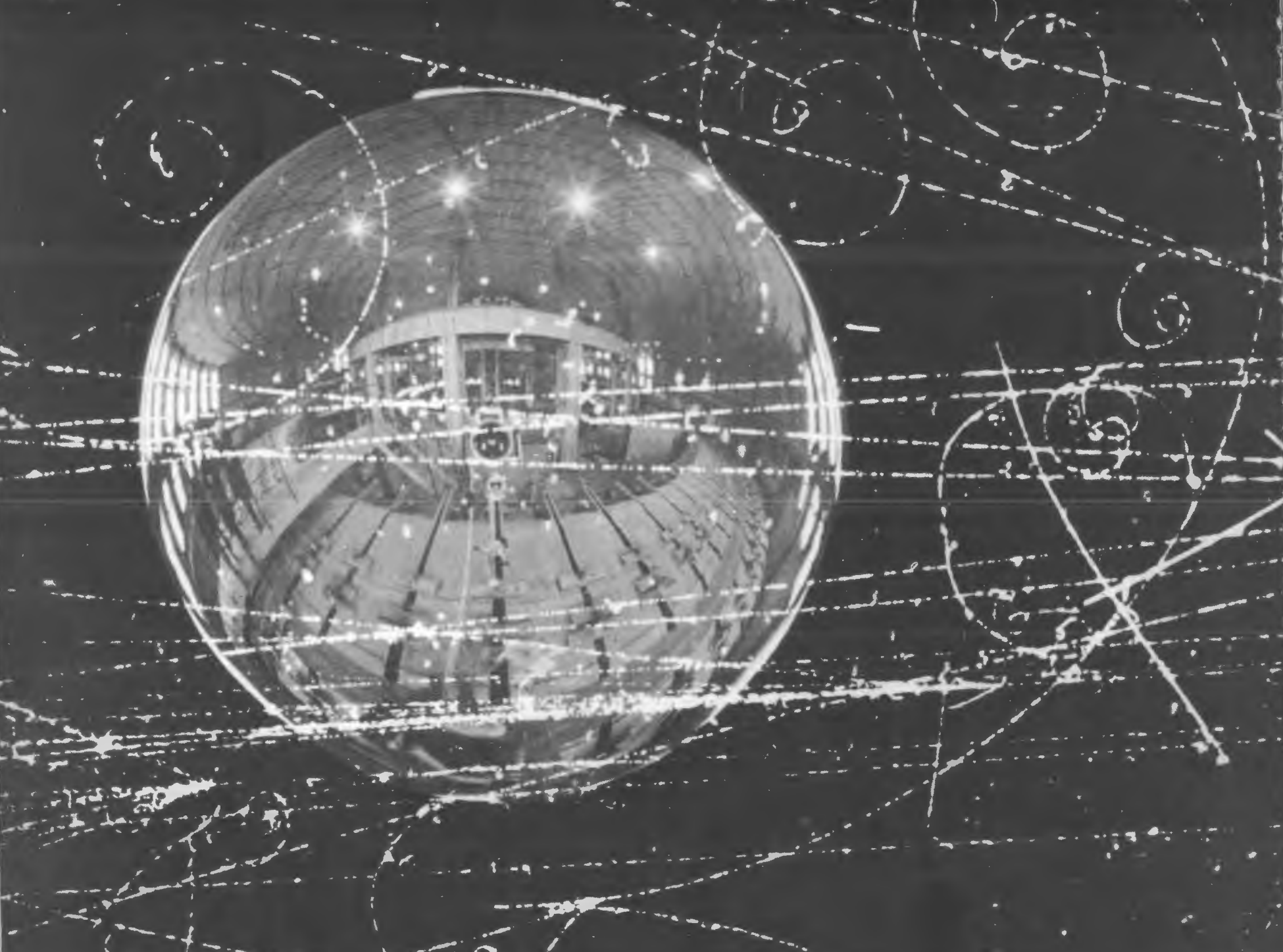


Обсуждение новых идей не кончается на пороге зала семинаров. Оно продолжается в непринужденной обстановке за чашкой чая.



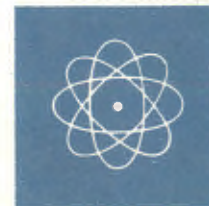
На работу в субботу. Теоретики Института активно участвуют в коммунистических субботниках.







**ЛАБОРАТОРИЯ  
ВЫСОКИХ  
ЭНЕРГИЙ**





Лаборатория высоких энергий ОИЯИ - один из ведущих научно-исследовательских центров социалистических стран в области физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики.

Многонациональным коллективом лаборатории сделано несколько важных открытий и получен ряд результатов, которые внесли заметный вклад в формирование современных представлений о структуре элементарных частиц и их свойствах.

Физика высоких энергий больше чем какая-либо другая отрасль современной науки нуждается в широко организованном международном сотрудничестве научных учреждений. И прежде всего потому, что для развития исследований в этой области нужны мощные и дорогостоящие ускорители и вычислительные машины, а также разнообразная и сложная аппаратура, с помощью которой "добывается" ценная экспериментальная информация. С другой стороны, эта информация нуждается в дальнейшей обработке, которая зачастую должна вестись не только в том центре, где были получены данные, но и в других научных коллективах /уже упоминавшаяся нами "физика на расстоянии"/.

Все возрастающие возможности "физики на расстоянии" создают особые формы сотрудничества, позволяя вовлекать в проведение исследований на переднем рубеже знаний даже такие коллективы, которым самостоятельное проведение исследований было бы не под силу. Вот почему усилия Лаборатории высоких энергий направлены не только на получение важных результатов исследований фундаментальных физических закономерностей и осуществление новых методических разработок, но также и на получение исходной экспериментальной информации с последующей обработкой ее в научных центрах стран - участниц ОИЯИ, на организацию научного сотрудничества по обработке этой информации и, наконец, на подготовку кадров специалистов, которые могли бы самостоятельно вести работу на местах.

Лаборатория высоких энергий - самая большая в ОИЯИ. В ее штате около 1000 специалистов: рабочих, лаборантов, техников, инженеров и научных сотрудников. Здесь постоянно работает много специалистов из стран-членов Института, кроме того, ежегодно физики этих стран приезжают в ЛВЭ на короткие сроки, получая консультации и помощь по интересующим их вопросам,

перенимают опыт, обсуждают результаты совместных исследований, увозят к себе домой полученную в экспериментах информацию для последующей обработки.

### *РАЗВИТИЕ ЛАБОРАТОРИИ ЗА 20 ЛЕТ*

Основной установкой Лаборатории высоких энергий является синхрофазотрон, ускоряющий протоны до энергии 10 ГэВ. Этот ускоритель, в свое время самый крупный в мире, начал работать в 1957 году. Его создание - материальное воплощение принципа автофазировки, открытого выдающимся советским ученым академиком В.И.Векслером, который руководил строительством ускорителя и до своей кончины в 1968 году возглавлял Лабораторию высоких энергий.

История развития ЛВЭ связана с Физическим институтом им. П.Н.Лебедева АН СССР, где была осуществлена работа по запуску модели синхрофазотрона и создан его инженерно-технический проект. Первыми сотрудниками ЛВЭ были, главным образом, молодые физики и инженеры, недавно окончившие вузы и переведенные сюда из ФИАНа.

Создание ОИЯИ придало деятельности Лаборатории международный характер и привлекло к ее строительству высококвалифицированные кадры ученых из социалистических стран.

В это время синхрофазотрон еще находился в стадии комплексной наладки. Полным ходом шла подготовка экспериментальной аппаратуры к проведению исследований на ускорителе, один за другим сдавались в эксплуатацию корпуса лаборатории. 16 апреля 1957 года синхрофазотрон дал пучок протонов, ускоренных до проектной энергии 10 ГэВ. Впервые в мире искусственно были созданы частицы такой энергии. Ученые социалистических стран получили инструмент, равного которому не имела ни одна лаборатория мира.

Известно, что физика высоких энергий является одной из наиболее бурно развивающихся областей человеческой деятельности, поэтому каждый вновь запускаемый ускоритель "держит" рекорд по параметрам пучков лишь в течение нескольких лет. Уникальность же условий эксперимента играет решающую роль в получении данных, существенно влияющих на развитие физики.

В 60-е годы в связи с вводом в строй более современных ускорителей на большие энергии /ЦЕРН, Брукхейвен, Серпухов и др./ синхрофазотрон ЛВЭ утратил свое лидерство. В то время перед коллективом лаборатории стояла трудная задача - поиск направлений исследований, которые смогли бы ответить на наиболее острые вопросы физики высоких энергий и представить ученым, ведущим работы на базе ОИЯИ, уникальные условия для эксперимента.

Одна из таких возможностей, инициированная физиками лаборатории, заключалась в выходе на другие крупнейшие ускорители мира. Практическая реализация этой возможности принесла свои плоды. В конце 60-х гг. коллективом Лаборатории за короткий срок созданы три крупные электронные установки и две пузырьковые камеры, которые были установлены на серпуховском ускорителе. Такой оперативный выход на крупнейший в мире ускоритель позволил Лаборатории не только получить ряд важных научных результатов, но и обеспечить на ближайшие годы научные группы институтов стран-участниц уникальной экспериментальной информацией. Однако основной задачей оставался поиск новых возможностей, связанных с базовой установкой ЛВЭ - синхрофазотроном.

Новые возможности синхрофазотрона открылись после того, как в 1970 году было реализовано предложение группы сотрудников ЛВЭ по ускорению ядер тяжелее водорода. Синхрофазотрон стал первым в мире ускорителем, позволившим ускорять ядра разного сорта /дейт-

перенимают опыт, обсуждают результаты совместных исследований, увозят к себе домой полученную в экспериментах информацию для последующей обработки.

### *РАЗВИТИЕ ЛАБОРАТОРИИ ЗА 20 ЛЕТ*

Основной установкой Лаборатории высоких энергий является синхрофазотрон, ускоряющий протоны до энергии 10 ГэВ. Этот ускоритель, в свое время самый крупный в мире, начал работать в 1957 году. Его создание - материальное воплощение принципа автофазировки, открытого выдающимся советским ученым академиком В.И.Векслером, который руководил строительством ускорителя и до своей кончины в 1968 году возглавлял Лабораторию высоких энергий.

История развития ЛВЭ связана с Физическим институтом им. П.Н.Лебедева АН СССР, где была осуществлена работа по запуску модели синхрофазотрона и создан его инженерно-технический проект. Первыми сотрудниками ЛВЭ были, главным образом, молодые физики и инженеры, недавно окончившие вузы и переведенные сюда из ФИАНа.

Создание ОИЯИ придало деятельности Лаборатории международный характер и привлекло к ее строительству высококвалифицированные кадры ученых из социалистических стран.

В это время синхрофазотрон еще находился в стадии комплексной наладки. Полным ходом шла подготовка экспериментальной аппаратуры к проведению исследований на ускорителе, один за другим сдавались в эксплуатацию корпуса лаборатории. 16 апреля 1957 года синхрофазотрон дал пучок протонов, ускоренных до проектной энергии 10 ГэВ. Впервые в мире искусственно были созданы частицы такой энергии. Ученые социалистических стран получили инструмент, равного которому не имела ни одна лаборатория мира.

Известно, что физика высоких энергий является одной из наиболее бурно развивающихся областей человеческой деятельности, поэтому каждый вновь запускаемый ускоритель "держит" рекорд по параметрам пучков лишь в течение нескольких лет. Уникальность же условий эксперимента играет решающую роль в получении данных, существенно влияющих на развитие физики.

В 60-е годы в связи с вводом в строй более современных ускорителей на большие энергии /ЦЕРН, Брукхейвен, Серпухов и др./ синхрофазотрон ЛВЭ утратил свое лидерство. В то время перед коллективом лаборатории стояла трудная задача - поиск направлений исследований, которые смогли бы ответить на наиболее острые вопросы физики высоких энергий и представить ученым, ведущим работы на базе ОИЯИ, уникальные условия для эксперимента.

Одна из таких возможностей, инициированная физиками лаборатории, заключалась в выходе на другие крупнейшие ускорители мира. Практическая реализация этой возможности принесла свои плоды. В конце 60-х гг. коллективом Лаборатории за короткий срок созданы три крупные электронные установки и две пузырьковые камеры, которые были установлены на серпуховском ускорителе. Такой оперативный выход на крупнейший в мире ускоритель позволил Лаборатории не только получить ряд важных научных результатов, но и обеспечить на ближайшие годы научные группы институтов стран-участниц уникальной экспериментальной информацией. Однако основной задачей оставался поиск новых возможностей, связанных с базовой установкой ЛВЭ - синхрофазотроном.

Новые возможности синхрофазотрона открылись после того, как в 1970 году было реализовано предложение группы сотрудников ЛВЭ по ускорению ядер тяжелее водорода. Синхрофазотрон стал первым в мире ускорителем, позволившим ускорять ядра разного сорта /дейт-

роны, альфа-частицы/ до релятивистских скоростей. Это обстоятельство привело к созданию нового важного научного направления - релятивистской ядерной физики.

Как показали первые эксперименты, проведенные на пучках легких ядер, ускоренных до релятивистских скоростей, столкновения их предоставляют чрезвычайно интересные возможности нетривиального подхода к одному из самых актуальных направлений в физике - множественному рождению частиц. Исследования в области релятивистской ядерной физики, начатые в ЛВЭ в 1970 году, в настоящее время подхвачены и интенсивно развиваются физиками крупнейших исследовательских центров США и Западной Европы.

### *ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ*

Интернациональный коллектив Лаборатории высоких энергий ведет физические исследования на ускорителях Дубны, Серпухова, ЦЕРНа и Батавии. Эти исследования включают в себя поиск новых закономерностей и экспериментальных фактов в области физики элементарных частиц и ядра. Основными научными направлениями исследований, выполняемых специалистами ЛВЭ, являются следующие.

#### *Изучение поведения амплитуд бинарных реакций в зависимости от энергии взаимодействующих частиц*

Наиболее общей целью исследований, выполненных в ЛВЭ по этой проблеме, была проверка дисперсионных соотношений. Как было доказано Н.Н.Боголюбовым, эти соотношения представляют собой строгие следствия

микрочинности. Поэтому их экспериментальная проверка в области высоких энергий является проверкой принципа причинности на малых расстояниях. В выполненных экспериментах проверялись и другие основные следствия современной теории сильных взаимодействий. Это традиционное для ЛВЭ направление развивалось в нескольких сериях экспериментов.

На синхрофазотроне ЛВЭ сразу же после запуска ускорителя начались измерения полных сечений взаимодействия  $K^+$ ,  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -мезонов с протонами. Было установлено, что полные сечения взаимодействия отрицательных пионов с протонами в интервале импульсов  $3,4 \div 9,2$  ГэВ/с убывают вопреки общепринятому в то время мнению об их постоянстве. В течение 1960-1962 гг. были измерены полные и неупругие сечения взаимодействия нейтронов с нуклонами и ядрами от 2 до 9 ГэВ. Эти данные получены впервые и позднее подтвердились в других экспериментах. Необходимо заметить, что для получения информации о полных сечениях нейтронов был предложен новый способ регистрации и измерения энергии нейтронов высоких энергий с использованием черенковского спектрометра /1959 г./. Выполненное недавно измерение полных сечений  $\pi^-$ -мезонов на протонах осуществлено с рекордной для такого рода экспериментов точностью: полное сечение измерено в 100 раз лучше, чем это было сделано до сих пор.

Проводились исследования амплитуд рассеяния нуклонов и пионов на нуклонах, нуклонов на дейтронах в области малых переданных импульсов. В этом цикле работ, выполненных на ускорителях Дубны и Серпухова, подробно изучено упругое протон-протонное и протон-дейтронное рассеяние на малые углы в интервале энергий от 8 до 70 ГэВ. Этим экспериментом были продемонстрированы большие возможности предложенного и осуществленного в Лаборатории нового метода исследования упругого рассеяния частиц



в области очень малых углов, основанного на регистрации угла вылета и импульса медленной частицы отдачи. Этот метод оказался весьма эффективным и для синхрофазотрона и для серпуховского ускорителя, и может быть использован в дальнейшем при постановке экспериментов на будущих ускорителях.

Наиболее важным методическим достижением в указанном цикле исследований является также разработка и создание сверхзвуковых струйных водородной и дейтериевой мишеней, расположенных непосредственно внутри камеры ускорителя. Применение этих мишеней увеличивает эффективность использования ускоренного пучка из-за многократного его прохождения через мишень. Именно благодаря этому достижению было реализовано и успешно развивается первое крупное советско-американское научное сотрудничество.

Показано, что при высоких энергиях простая дифракционная модель не соответствует природе взаимодействия частиц, так как ядерная материя характеризуется не только определенным коэффициентом поглощения, но и определенным коэффициентом преломления. Кроме того, установлено, что радиус сильного взаимодействия протона с протоном не остается величиной постоянной, а увеличивается с ростом энергии.

Вышеупомянутые исследования осуществлялись на основе международного научного сотрудничества с участием многих специалистов из стран - участниц ОИЯИ.

Дальнейшим продолжением исследований упругого рассеяния адронов на малые углы явились эксперименты на ускорителе в Батавии, проводимые в рамках советско-американского сотрудничества учеными ЛВЭ на крупнейшем в мире ускорителе.

Приобретенный ранее опыт на ускорителях Дубны и Серпухова позволил специалистам ЛВЭ не только быстро смонтировать и подготовить к работе привезенную из ОИЯИ аппаратуру на ускорителе Батавии, но и за сравнительно короткий срок получить важные экспери-

ментальные результаты в не исследованной ранее области энергий. На большом статистическом материале /десятки миллионов событий/ в интервале энергий от 8 до 400 ГэВ измерена энергетическая зависимость радиуса действия ядерных сил в протон-протонных и протон-дейтронных взаимодействиях и обнаружено новое интересное явление: коэффициент преломления в ядерном веществе зависит от энергии, причем он отрицателен в области  $8 \div 250$  ГэВ и становится положительным выше 250 ГэВ. Можно сказать, что при энергии ниже 250 ГэВ протоны отталкиваются, а при более высокой - притягиваются.

Интернациональным коллективом ЛВЭ осуществляется цикл исследований по асимптотическому поведению амплитуд упругого рассеяния вперед нейтральных каонов на нуклоне и ядрах в опытах по регенерации  $K^0$ -мезонов. В этих экспериментах исследовалась регенерация на водороде, дейтерии и углероде для нейтральных каонов с энергией до 50 ГэВ. Основным результатом, полученным в опытах с водородом, - подтверждение справедливости теоремы Померанчука об асимптотическом поведении сечений взаимодействия частиц и античастиц. В этой работе, которая продолжается на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/ и в настоящее время, участвуют многие специалисты из стран - членов Института.

На синхрофазотроне в течение 1962-1964 гг. измерялись дифференциальные сечения квазидвухчастичных реакций при энергии 4 и 4,8 ГэВ, когда в результате столкновений образуются резонансы. В частности, исследовались сечения рождения  $\pi^0$ ,  $\rho^0$ ,  $\phi^0$ ,  $\omega^0$ -мезонов. В этих опытах впервые были вместе использованы черенковские спектрометры и искровые камеры, позволяющие одновременно измерять угол вылета и энергию продуктов распада нейтральных мезонов. Результаты позволили установить зависимость дифференциальных сечений указанных выше реакций при малых значениях переданного импульса и тем самым подтвердить теоретические

предсказания о механизме образования этих квазидвухчастичных реакций в пион-нуклонных столкновениях.

В ЛВЭ выполнен цикл исследований по упругому пион-протонному и пион-ядерному рассеянию.

В первых работах /1963 г./ использовалась камера Вильсона в магнитном поле в специфическом, так называемом режиме пониженной чувствительности, когда следы отдельной пучковой частицы в камере не видны, но зато хорошо видны протоны отдачи. Это позволило пропускать через камеру потоки пионов, в 1000 раз превышающие обычные, с которыми имеют дело в случае классической камерной методики, и получить за короткое время достаточное количество интересных случаев рассеяния.

В дальнейшем /1965 г./ пион-нуклонное и пион-ядерное рассеяние проводилось полностью автоматизированной методикой искрового спектрометра, работающего на линии с ЭВМ. Это был первый спектрометр подобного рода, использованный в ОИЯИ.

В этих экспериментах получены сведения о величине и знаке вещественной части амплитуды рассеяния на малые углы пионов на протонах в интервале значений от 2 до 6 ГэВ, т.е. было доказано, что силы ядерного взаимодействия пиона с нуклоном имеют характер отталкивания /до этого господствовало мнение, что рассеяние при таких энергиях определяется только поглощением/.

Кроме опытов по изучению упругого рассеяния пионов на нуклоне на малые углы в 1962 г. физиками ЛВЭ был поставлен первый в мире эксперимент по исследованию упругого пион-нуклонного рассеяния на большие углы /около 180° / при энергии выше 1 ГэВ. Опыт по прямому измерению сечения упругого рассеяния назад положительных пионов на протонах при энергиях от 2 до 8 ГэВ дал оценки верхнего предела измеряемой величины. Эти работы положили начало широкому исследованию указанного процесса не только в ОИЯИ, но и на всех крупнейших ускорителях мира.

В этом направлении, также традиционном для ЛВЭ, выполнено и ведется в настоящее время большое количество работ, которые осуществляются на основе широкого международного сотрудничества большого числа лабораторий стран - участниц ОИЯИ. В своих исследованиях ученые используют снимки с пузырьковых камер и ядерных фотоэмульсий, экспонированные в пучках ускорителей Дубны и Серпухова.

Среди большого количества результатов исследований в этом направлении как главные можно назвать следующие.

На основе обработки снимков с 24-литровой пропановой пузырьковой камеры проведен большой цикл исследований по образованию обычных и странных частиц в пион-нуклонных и нуклон-нуклонных взаимодействиях.

Установлен ряд важных экспериментальных фактов: при энергиях выше 1 ГэВ барионы сохраняют направление своего движения, сечение рождения каонных пар в зависимости от энергии не постоянно, а растет с ростом энергий; существует два типа механизма образования странных частиц в пион-нуклонных взаимодействиях. Впервые наблюдалось рождение антипротонов в пион-нуклонных взаимодействиях и определено сечение этого процесса при энергиях 7-8 ГэВ. Кроме того, впервые открыта не известная ранее частица антисигма-минус-гиперон /в настоящее время она зарегистрирована как открытие/, а также обнаружены новые короткоживущие частицы - резонансы, как, например,  $S(1000)$ , распадающийся на два нейтральных каона; обнаружены резонансы, распадающиеся путем каскада. В числе авторов

открытия и обнаружения резонансов - физики большинства стран - участниц Института.

На основе обработки снимков с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, облученной отрицательными пионами с импульсом  $40 \text{ ГэВ/с}$  на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/, получены данные по множественному образованию заряженных и нейтральных частиц, по исследованию когерентных процессов образования обычных и странных частиц, по измерению парциальных каналов реакций с целью определения свойств и характеристик частиц и резонансов и проверки различных теоретических моделей и гипотез. В этих работах принимают активное участие физики НРБ, ВНР, ДРВ, МНР, ПНР, СРР, СССР - всего 16 лабораторий.

Сотрудничество физиков СССР, ВНР, ПНР используется для своих исследований снимки с ксеноновых пузырьковых камер. Основной научной задачей этих групп является исследование процессов множественного рождения частиц и резонансов /особенно нейтральных/ при взаимодействии пионов и каонов с тяжелым ядром. Совместно с ИТЭФ сотрудниками группы ксеноновой пузырьковой камеры ЛВЭ впервые надежно определена величина отношения вероятности распада долгоживущих каонов на два нейтральных пиона к вероятности аналогичного распада короткоживущих каонов. Это устранило противоречивость выводов ранее опубликованных экспериментальных данных.

В последнее время проблема изучения динамики рождения частиц приобрела особое значение в связи с установлением принципиально новых закономерностей, проявляющихся в процессах множественного образования /принцип масштабной инвариантности и др./. В ЛВЭ в отделах пузырьковых камер успешно развивается это направление. Коллективы физиков ЛВЭ и стран-участниц используют в своих экспериментах 2-метровую жидководородную камеру, стоящую на пучках ускорителя ИФВЭ; 2-метровую пропановую пузырьковую камеру,

которая будет облучаться пучками релятивистских ядер на синхрофазотроне; 1-метровую жидководородную камеру, стоящую /и уже облученную/ в пучке монохроматических нейтронов, получаемых в результате "обдирки" ускоренных синхрофазотроном дейтронов.

Большое количество новых результатов, полученных в исследовании механизма множественного рождения частиц, по бинарным реакциям при высоких энергиях и множественному рождению частиц в инклюзивных процессах, определило лидирующее положение лаборатории в этой области.

#### *Исследование электромагнитных взаимодействий частиц*

Проблемы электромагнитных взаимодействий относятся к числу ключевых для установления наиболее общих закономерностей физики элементарных частиц. Значение этих проблем определяется успехами в исследовании электромагнитной структуры элементарных частиц, в которых важнейшим является вопрос о взаимном превращении векторных мезонов и фотонов.

В ЛВЭ в 1964 году был поставлен решающий эксперимент, указавший на существование прямого перехода векторного мезона в фотон. Результаты этой работы - доказательство существования распадов на электрон-позитронную пару  $\rho^+$  и  $\rho^-$ -мезонов. Весь комплекс работ был осуществлен совместно с Физическим институтом АН СССР, и основной результат в 1967 г. зарегистрирован как открытие.

Среди работ ЛВЭ в этом направлении необходимо также отметить большой цикл исследований, выполненных совместно с сотрудниками ЛТФ и ФИАН по теории электромагнитных взаимодействий.

На ускорителе ИФВЭ /Серпухов/ выполнено измерение электромагнитных размеров отрицательного пиона

при упругом рассеянии этой частицы на электронах. В этой работе, кроме советских физиков, участвовали специалисты из ПНР, СРР и США. Полученные данные хорошо совпадают с результатами экспериментов /например, в ЛЯП/, выполненных другой методикой и в другой области энергий, а также подтверждают выводы некоторых теоретических положений.

Кроме того, этой же группой физиков получены новые важные данные об упругом пион-нуклонном рассеянии при высоких энергиях и поведении реальной части амплитуды упругого рассеяния с энергией выше 10 ГэВ.

Связь электромагнитных и слабых взаимодействий изучалась в процессах слабо-электромагнитных распадов  $K^+$  - и  $K^0$  мезонов и гиперонов. Возможности дальнейших исследований в этом направлении могут быть продолжены на недавно введенной в эксплуатацию новой установке - 2-метровой стримерной камере.

#### *Исследования по релятивистской ядерной физике*

В течение последних лет в ЛВЭ по инициативе А.М.Балдина и Г.Н.Флерова возникло и развивается новое научное направление - релятивистская ядерная физика. В результате реализации предложения сотрудников ЛВЭ и ЛВТА на синхрофазотроне впервые в мире были получены дейтроны и альфа-частицы, ускоренные до релятивистских энергий, а также проведены первые эксперименты. Сейчас это направление уже подхвачено рядом крупнейших лабораторий за рубежом.

Исследования представляют значительный интерес не только для изучения чисто ядерных процессов, но и для физики элементарных частиц. Столкновения ядро-ядро при высоких энергиях - это особый случай с точки

зрения проверки принципа масштабной инвариантности. Нетривиальными являются закономерности процессов множественного рождения в системе из многих частиц, представляющей собой протяженный релятивистский объект.

Кроме чисто научного, работы по релятивистской ядерной физике имеют большое прикладное значение. В частности, исследования на пучках релятивистских ядер представляют значительный интерес для программы биологических и космических исследований.

В ЛВЭ эксперименты по релятивистской ядерной физике ведутся, прежде всего, с целью изучения так называемых кумулятивных эффектов в мезонообразовании, то есть таких процессов, когда отдельным мезоном, рождающимся при столкновении ядер, передается энергия целой группы нуклонов ядра. Этот новый физический эффект, теоретически предсказанный А.М.Балдиным на основе общего принципа масштабной инвариантности, был впервые обнаружен в экспериментах ЛВЭ, в которых исследовалось взаимодействие релятивистских дейтронов с ядрами. Экспериментальные данные подтвердили теоретические оценки.

В настоящее время фронт работ на пучках релятивистских ядер на синхрофазотроне по изучению столкновений ядро-ядро и, в частности, кумулятивного эффекта в мезонообразовании, расширяется и охватывает все более широкий круг научных групп ЛВЭ.

В 1972 г. на выведенных пучках релятивистски ускоренных синхрофазотроном ядер начала работать стримерная камера СКМ-200. С помощью этой установки получено несколько сот тысяч фотографий, которые обрабатываются большим коллективом ученых стран - участниц Института.

Среди первых работ, использующих релятивистски ускоренные ядра, следует отметить выполненные совместно с ФИАН и ИТЭФ измерения сечения отрыва про-

тона от дейтрона на ядрах фотоэмульсии и работы по изучению неупругих процессов взаимодействия альфа-частиц с различными ядрами.

#### *Развитие ускорительной техники*

Среди основных научных достижений ЛВЭ следует отметить труды ее основателя - академика В.И.Векслера - по разработке новых принципов ускорения, в значительной мере определивших развитие ускорительной техники не только в Объединенном институте и в Советском Союзе, но и во всем мире.

Работая еще в ФИАНе, академик В.И.Векслер открыл принцип автофазировки, на котором основана работа синхрофазотрона и всех современных кольцевых ускорителей на высокие энергии. Уже будучи директором ЛВЭ, В.И.Векслер предложил принципиально новый метод ускорения частиц с использованием огромных атомных полей - коллективный метод ускорения.

Как уже говорилось выше, специалисты ЛВЭ предложили и осуществили ускорение ядер на синхрофазотроне. Сейчас эти работы продолжаются. В настоящее время заканчивается модернизация синхрофазотрона, введен в эксплуатацию высокоэффективный /94%/ медленный вывод частиц из ускорителя, вступил в строй новый линейный ускоритель на энергию 20 МэВ. Завершены работы по стыковке с инжектором ускорителя уникального источника ионов КРИОН, представляющего собой крупное научно-техническое достижение. Источник КРИОН превосходит в настоящее время по фактору ионизации источник Пеннинга /в основном применяемый на ускорителях многозарядных ионов/ более чем в 100 раз. На этом источнике получены полностью ионизованные ядра азота с интенсивностью, большей  $10^{10}$  частиц/импульс.

Завершение переоборудования инжекционного комплекса и создание разветвленной сети пучков на базе уже созданного медленного вывода в сооружаемый измерительный павильон создаст большие возможности для проведения специалистами ЛВЭ и стран-участниц ОИЯИ широкой и интересной научной программы.

Большими коллективами как ЛВЭ, так и учреждений Советского Союза разработано техническое предложение и физическое обоснование криогенного ускорителя релятивистских ядер - нуклотрона, который заменит синхрофазотрон и обеспечит перспективы ОИЯИ в области физики высоких энергий.

#### *Методические исследования*

Выше говорилось о большом числе первоклассных экспериментов, выполненных интернациональным коллективом Лаборатории высоких энергий. Это стало возможным только благодаря систематическому совершенствованию и созданию новых экспериментальных установок, проведению широким фронтом методических исследований.

Методические исследования ЛВЭ включают в себя следующие проблемы:

1. Развитие и внедрение в эксперимент современной электронной аппаратуры и новых методов детектирования частиц.

2. Исследовательские работы в области использования ЭВМ в экспериментальной физике.

3. Развитие криогенных систем /водородных и гелиевых ожижителей, разного типа мишеней/.

В ЛВЭ экспериментальные установки создаются с учетом современных и перспективных методов детектирования частиц, широкого использования ЭВМ в эксперименте, новейших достижений в различных областях науки, техники и радиоэлектроники.



Индустриальное изготовление бесфильмовых камер было впервые начато в ЛВЭ в 1965 году. Создание вначале малых искровых камер, а затем искровых, пропорциональных и дрейфовых камер различных размеров и управляющей ими электроники позволило существенно расширить тематику и поднять уровень научных исследований. Разработанная в ЛВЭ методика изготовления искровых камер широко используется в настоящее время в институтах СССР и других научных центрах стран-участниц ОИЯИ /например, в ПНР и ВНР/.

В ЛВЭ создана первая в странах социалистического содружества экспериментальная установка, работающая на линии с ЭВМ. Это позволило существенным образом расширить географию участия в исследованиях на ускорителях, переместив центр тяжести обработки экспериментального материала из Дубны непосредственно в страны-участницы ОИЯИ, сократить сроки получения окончательных результатов.

В настоящее время на ускорителях Дубны и Серпухова очень эффективно работают созданные в ЛВЭ крупные автоматизированные магнитные искровые спектрометры на линии с ЭВМ, использующие пропорциональные и трековые камеры большого размера /спектрометр типа "БИС"; большие комбинированные масс-спектрометры с использованием искровых камер и черенковских счетчиков полного поглощения /спектрометр типа "Фотон"/; большие /до двух метров/ стримерные камеры с различным наполнением; 2-метровые жидководородная и пропановая пузырьковые камеры и другие крупные установки.

Широко разрабатывается современная электронная аппаратура для физического эксперимента. В отделе новых научных разработок создан обширный набор блоков быстрой, спектрометрической и регистрирующей электроники на интегральных модулях, полностью освоено производство электронной аппаратуры в системе КАМАК.

Одно из важнейших мест в развитии методики ЛВЭ занимает криогенный отдел. Главная задача сотрудников отдела - разработка приборов для ядерных исследований с использованием криогенной техники.

Отдел располагает мощными ожигательными установками и хорошей исследовательской базой.

Специалистами отдела разработаны и созданы различные типы мишеней, в том числе газовая струйная водородная /и дейтериевая/, отличающиеся высокими рабочими параметрами, хорошими эксплуатационными качествами и надежностью в работе. Их можно видеть не только на ускорителях Советского Союза, но и на крупнейшем в мире ускорителе в Батавии /США/.

#### *Исследования, проводимые ЛВЭ на ускорителе в Серпухове*

Использование преимуществ, вытекающих из обладания уникальными пучками серпуховского ускорителя, - главная задача физиков не только Советского Союза, но и других социалистических стран. В период 1969-1972 гг. основные усилия ЛВЭ были направлены на выполнение большой программы экспериментов на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/. С этой целью в ЛВЭ за очень короткий срок были созданы три крупные электронные установки, две пузырьковые камеры, проведены облучения ядерных фотозмульсий и сдана в эксплуатацию установка "Мамонт" с импульсным магнитным полем. На каждой из упомянутых выше установок было выполнено большое количество экспериментов. Исследования ЛВЭ на серпуховском ускорителе успешно продолжаются.

Установка для исследования процессов упругого рассеяния протонов на протонах и дейтронах позволила осуществить первый эксперимент на ускорителе ИФВЭ,

который базировался на использовании непосредственно внутреннего пучка ускоренных протонов и не требовал наличия вторичных пучков. Методика исследования была разработана в ЛВЭ и прошла опробование в серии экспериментов на синхрофазотроне. Главной частью установки являлся годоскоп полупроводниковых детекторов с непосредственным выходом на ЭВМ. В опытах применялись как пленочная, так и сверхзвуковая струйная газовая мишени, помещаемые внутрь вакуумной камеры ускорителя. Сотрудники ЛВЭ, усовершенствовав данную установку, провели с ее помощью серию экспериментов на крупнейшем в мире ускорителе в Батавии в рамках советско-американского научного сотрудничества. В результате большого числа измерений дифференциальных сечений упругого протон-протонного и протон-дейтронного рассеяния, как в области интерференции кулоновского и ядерного рассеяний, так и в области дифракционного максимума были получены уникальные данные об энергетической зависимости параметра наклона дифракционного конуса и фазы амплитуды рассеяния. Была осуществлена экспериментальная проверка дисперсионных соотношений вплоть до энергий  $400 \text{ ГэВ} / \sim 28 \text{ ГэВ}$  в с.ц.м./ . Тем самым было показано, что основные представления о микропричинности справедливы вплоть до расстояний  $\sim 10^{-15}$  см.

Вторая крупная установка создана для исследований регенерации короткоживущих нейтральных каонов пучком долгоживущих  $K^0$ -мезонов. Основной ее частью является магнитный спектрометр с проволочными искровыми и пропорциональными камерами, непосредственно связанный с ЭВМ. В этом эксперименте изучался процесс регенерации до энергии  $50 \text{ ГэВ}/c$  и исследовалась регенерация на водороде, дейтерии и углероде. Результаты эксперимента показали, что величина разности сечения каон-нуклон и антикаон-нуклон убывает с энергией, а фаза разности амплитуд от нее не зависит, что под-

тверждает теорему Померанчука. В этих работах участвовали специалисты из НРБ, ВНР, ГДР.

Третья установка предназначалась для исследований электромагнитной структуры пионов в опытах по упругому рассеянию отрицательных пионов на электронах. Однако она обладала достаточной универсальностью для осуществления на ней измерений дифференциальных сечений упругого рассеяния пионов на протонах, а также процесса образования двух пионов и изобары в  $\pi p$ -столкновениях. Основной частью этой установки являлся соединенный с ЭВМ магнитный искровой спектрометр с проволочными искровыми и пропорциональными камерами. В экспериментах принимали участие специалисты ПНР, СРР и США. В результате совместных усилий интернациональной группой физиков получены новые данные об электромагнитном радиусе пиона, энергетическом поведении основных параметров упругого пион-нуклонного рассеяния и определено сечение рождения изобары  $\Lambda(1236)$  в  $\pi^-p$ -столкновениях при энергии  $50 \text{ ГэВ}$ .

Для совместной обработки информации, полученной с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ, облучавшейся на ускорителе в ИФВЭ, как уже отмечалось выше, организовано широкое международное сотрудничество с многочисленными лабораториями Советского Союза и исследовательскими центрами стран-участниц ОИЯИ. Такого рода сотрудничество создано и для обработки снимков с 2-метровой жидководородной камеры "Людмила". С ее помощью получены снимки в пучках протонов и антипротонов высоких энергий. Большой интерес представляет проект эксперимента по облучению этой камеры пучком поляризованных гамма-квантов высокой энергии с целью изучения фоторождения векторных мезонов. Этот эксперимент мог бы существенно продвинуть изучение связи электромагнитных и ядерных взаимодействий.

## КАДРЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ СТРАН - УЧАСТНИЦ ОИЯИ

Физики и инженеры, которые в свое время прибыли в ЛВЭ в качестве молодых специалистов, сейчас успешно трудятся в различных институтах стран - участниц ОИЯИ.

Многие из них возглавляют ответственные участки работы в своих странах. Например, Я.Седлак в настоящее время является директором ФИ ЧСАН, З.Стругальский /ПНР/ - директор Института физики Высшего Политехнического училища в Варшаве, К.Гроте - Генеральный секретарь АН ГДР, член-корреспондент АН ГДР, Нгуен Дин Ты /ДРВ/ - проректор Ханойского университета, Ким Хи Ин /КНДР/ - профессор Университета им. Ким Ир Сена в Пхеньяне, депутат Верховного Народного Собрания КНДР, П.Марков /НРБ/ - начальник отдела ИЯИЯЭ БАН, член-корреспондент БАН.

Многие специалисты из стран - членов ОИЯИ, участвовавшие в совместных работах Лаборатории высоких энергий, занимали или занимают в настоящее время ответственные посты в ОИЯИ: А.Михул /СРР/ являлся вице-директором ОИЯИ, К.Ланнус /ГДР/ - вице-директор ОИЯИ в настоящее время, З.Стругальский /ПНР/, П.Марков /НРБ/, З.Новак /ГДР/ были заместителями директора ЛВЭ по науке, О.Балеа /СРР/ - зам. директора Лаборатории в настоящее время.

За выдающиеся научные результаты, полученные в совместных экспериментах с сотрудниками ЛВЭ, некоторые ученые стран-участниц удостоены национальных государственных и академических премий.

## НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Большая роль, которую играет Лаборатория высоких энергий и то влияние, которое она оказывает на деятельность научно-исследовательских центров социалистических стран, связаны с очень широкой программой международного научного сотрудничества, в первую очередь со странами - участницами ОИЯИ, успешно осуществляемого Лабораторией.

Это сотрудничество имеет уже развитые многолетние традиции. Основные его направления: проведение совместных исследований на синхротроне и крупнейших ускорителях мира, совместная обработка и анализ экспериментальных данных, обмен опытом и осуществление консультаций с учреждениями стран - участниц ОИЯИ, подготовка и воспитание высококвалифицированных научных и инженерных кадров для них. Широкую базу для такого сотрудничества в ЛВЭ составляют: синхротрон с разветвленной сетью вторичных пучков частиц и ускоренных ядер в широком диапазоне энергий, современная экспериментальная аппаратура для проведения исследований на ускорителях, большой объем экспериментальной информации для последующего анализа, записанной на магнитные ленты во время эксперимента, а также информация, содержащаяся на ядерных фотозмультсиях и снимках с пузырьковых камер, и, наконец, самое главное - высококвалифицированные кадры научных сотрудников, инженеров, техников, лаборантов и рабочих.

## СОТРУДНИКИ ЛВЭ - АВТОРЫ ОТКРЫТИЙ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1/ В.И.Векслер. "Автофазировка в циклических ускорителях".

2/ Ван Ган-чан, Ван Цу-цзен, В.И.Векслер, Дин Да-цао, Ким Хи Ин, Е.Н.Кладницкая, А.А.Кузнецов, А.Михул, Нгуен Дин Ты, М.И.Соловьев и др. "Антисигма-минус-гиперон".

3/ А.М.Балдин, И.В.Чувило, Я.Гладки, М.Н.Хачатурян, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин и др. "Распад фи-ноль-мезона на электрон-позитронную пару".

**СОТРУДНИКИ ЛВЭ -  
ЛАУРЕАТЫ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕМИЙ  
СТРАН - УЧАСТНИЦ ОИЯИ**

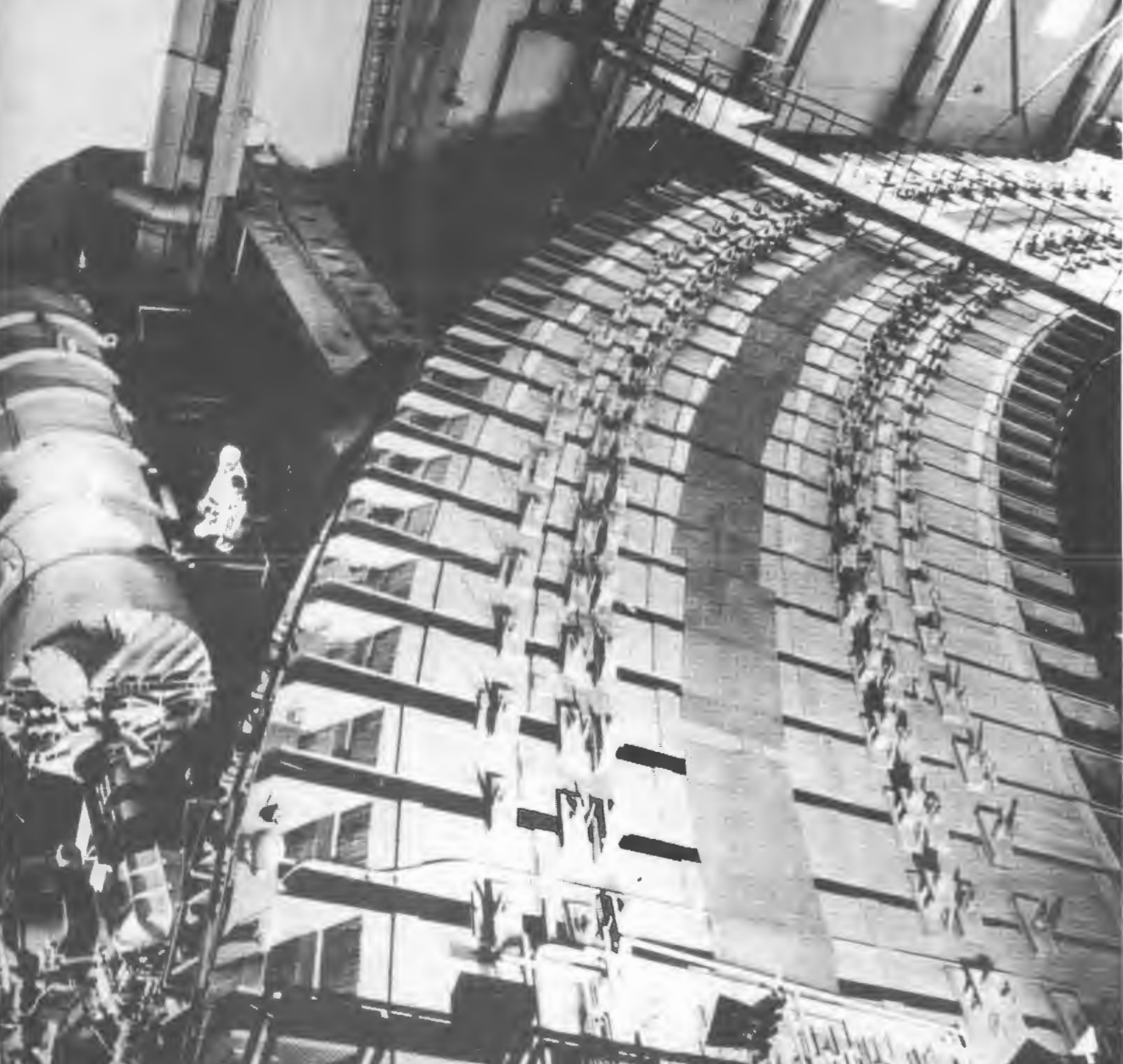
*Первая премия Венгерской Академии наук*  
Д.Вестергомби,  
Д.Киш,  
Э.Надь.

*Премия Академии наук ГДР*  
К.-Ф.Альбрехт,  
А.Майер.

*Ленинская премия /СССР/*  
В.И.Векслер,  
В.А.Петухов,  
Л.П.Зиновьев,  
А.Г.Зельдович.

*Государственная премия /СССР/*  
А.М.Балдин,  
И.В.Чувило,  
А.Г.Зельдович.





Крупнейший ускоритель Института - синхрофазотрон. На снимке фрагмент магнита синхрофазотрона. Средний диаметр ускорительной камеры - около 60 метров. Слева на снимке виден линейный ускоритель-инжектор.

Здание, в котором расположен синхрофазотрон. ▶

В отдельном здании расположены пульт управления синхрофазотроном и зал генераторов тока для питания магнита ускорителя. На снимке пульт управления. ▶



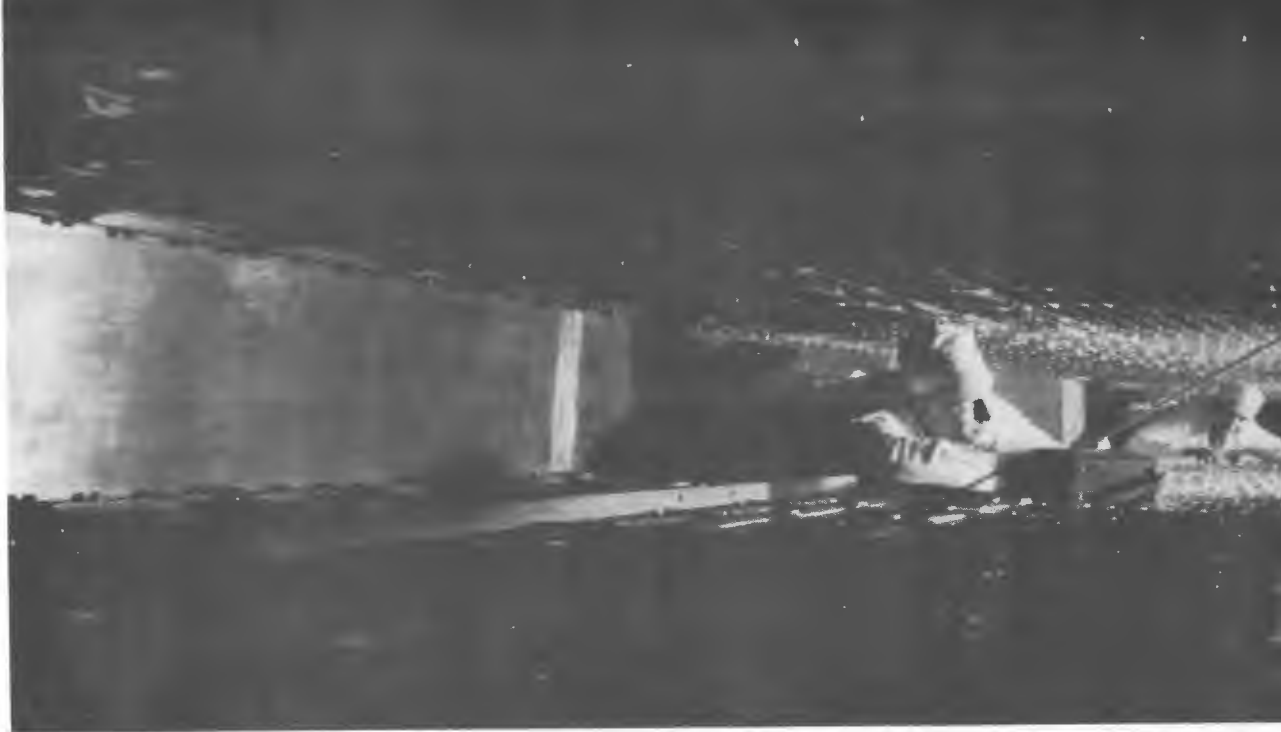
Директор Лаборатории высоких энергий А.М.Балдин, заместитель директора З.Новак и начальник научно-экспериментального отдела И.А.Савин.



Центральная часть ускорителя.

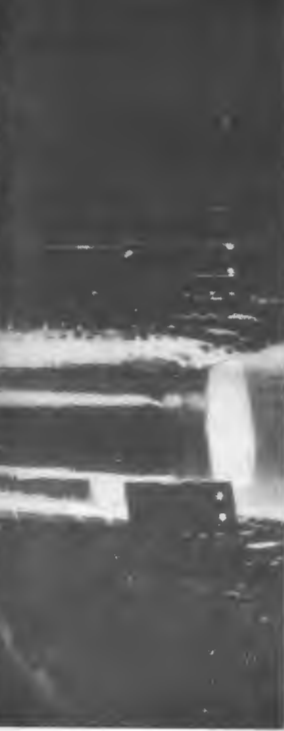






Экспериментальный павильон для криогенных исследований. Его большие размеры позволяют проводить испытания крупных установок.






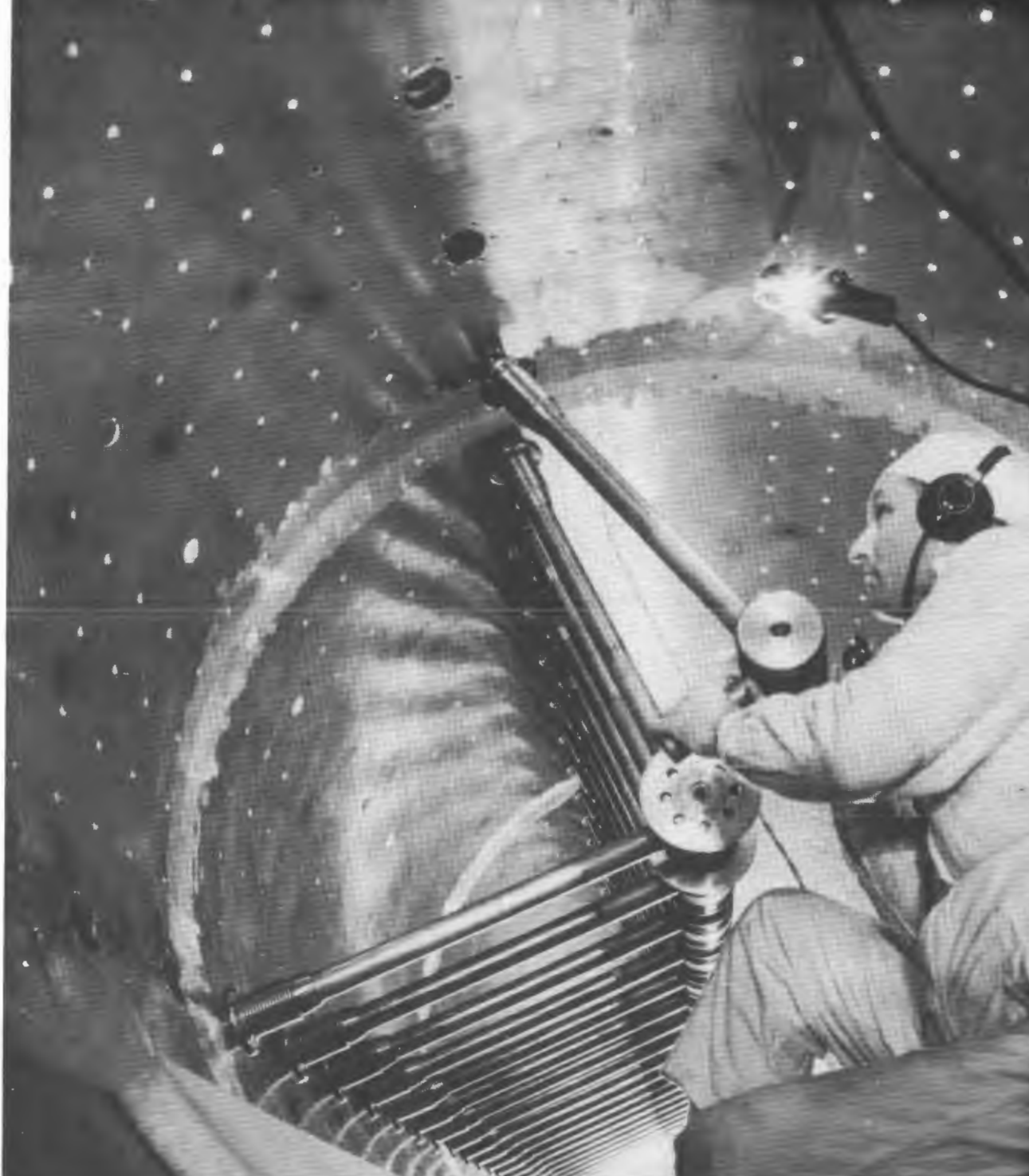
Ускорительная камера синхрофазотрона имеет солидные размеры - в ней при необходимости осмотра или ремонта может поместиться человек.



Внутри линейного ускорителя протонов ЛУ-9, имеющего форму цилиндра, устанавливаются специально изготовленные ускоряющие секции.



На пути выведенных из ускорителя частиц и ядер сооружается громадный экспериментальный павильон, в котором будет находиться около десяти каналов вторичных частиц.





Интернациональным коллективом физиков по руководством академика В.И.Векслера в 1960 году было сделано важное научное открытие - экспериментально обнаружена новая частица - антисигма-минус-гиперон. Группа авторов открытия /слева направо/: В.И.Векслер /СССР/, Дин Да-цзю /КНР/, Ким Хи Ин /КНДР/, Нгуен Дин Ты /ДРВ/, А.Михул /СРР/.

В Институте сооружена большая стримерная камера длиной 2 метра для работы в магнитном поле на пучках протонов и легких ядер.



Для проведения современных физических экспериментов часто требуются детекторы частиц большого размера. На снимке: стендовые испытанные искровой камеры размером  $2 \times 1 \text{ м}^2$ .



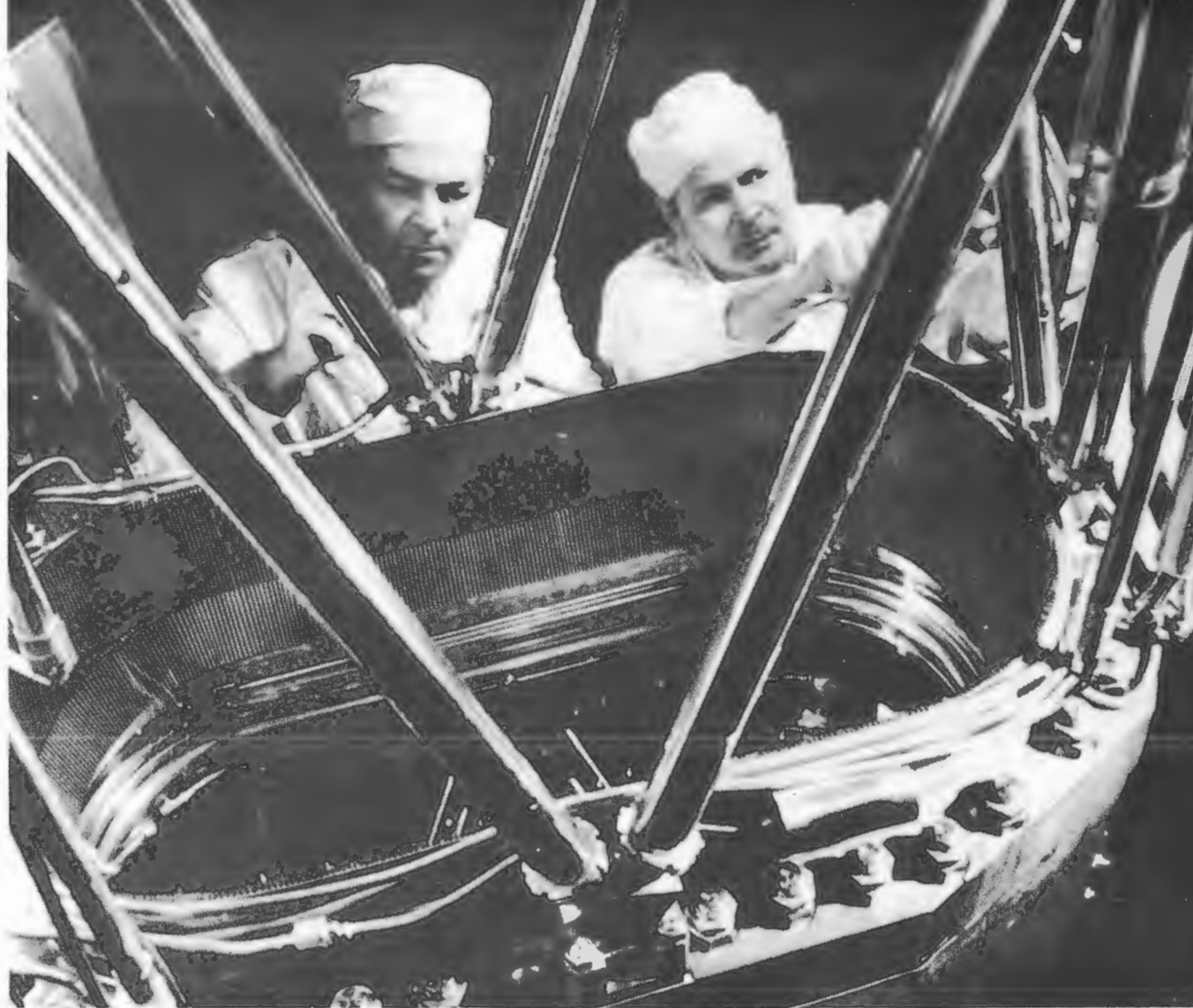


Большой цикл исследований выполнен учеными лаборатории с помощью пропановых пузырьковых камер. В экспериментальном зале ведут обсуждение предстоящих экспериментов руководитель группы З. Стругальский, научные сотрудники И. А. Ивановская и Т. Канарек.

В экспериментах на синхрофазотроне эффективно работает метровая жидководородная пузырьковая камера. С ее помощью выполнены многие исследования. Механики Ю. С. Чуркин и И. А. Сычков ведут подготовку камеры к облучению в пучке пионов.



В ОИЯИ разработан оригинальный метод измерения угла рассеяния релятивистских частиц по смещению излучения Вавилова-Черенкова. Этим методом измерены с высокой точностью полные сечения взаимодействия пионов с протонами.





Закончено сооружение большой комплексной установки - черенковского масс-спектрометра /установка "Фотон"/. Многоцелевой спектрометр предназначен для исследования сильных, слабых и электромагнитных процессов.



Для изучения регенерации нейтральных каонов на водороде была создана трехметровая жидководородная мишень. На снимке: начальник сектора Л.Б. Голованов производит пробное охлаждение мишени жидким азотом.

Производится сборка жидководородной мишени с минимальным количеством вещества на пути частиц для установки "Фотон". Работу ведет инженер А.П. Цвинев.



Регистрация гамма-квантов, которые образуются при распаде резонансов, в установке "Фотон" осуществляется с помощью 90-канального гамма-спектрометра.





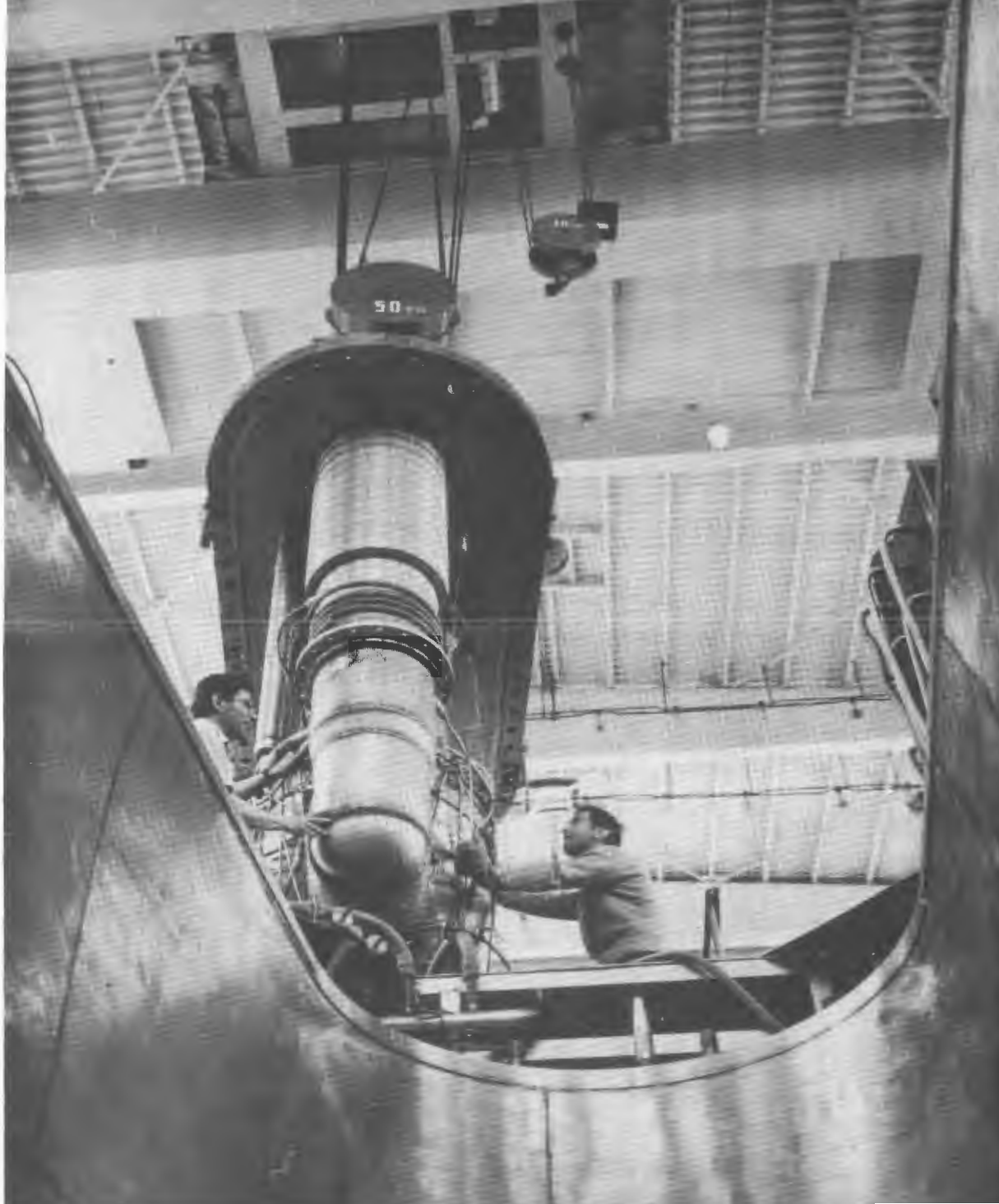


Изображения треков заряженных частиц в двухметровой жидководородной камере "Людмила" фиксируются с помощью системы трех фотоаппаратов. На снимке: инженеры В.Т.Толмачев и С.Высокочил проверяют работу лентопотяжных механизмов.

Монтаж корпуса камеры "Людмила".

Высокая точность в измерениях полных сечений пион-протонных взаимодействий была достигнута с помощью прецизионной жидководородной мишени.

Для экспериментов на серпуховском ускорителе в ОИЯИ была создана установка с двухметровой жидководородной камерой "Людмила". Камера работает в специальном здании на пучке антипротонов.







Одним из первых на крупнейшем советском ускорителе ИФЭ /Серпухов/ был поставлен эксперимент ученых ОИЯИ с использованием фотоэмульсионной методики. На снимке: пробник для облучения фотоэмульсий в кольцевой камере ускорителя.

Ученые и инженеры Института для исследования упругого рассеяния протонов создали мишень принципиально нового типа - струйную водородную. Она использовалась в опытах на серпуховском ускорителе, а затем на американском ускорителе в Батавии. Инженер ИФЭ В.В.Смелянский готовит мишень к испытаниям. ▶

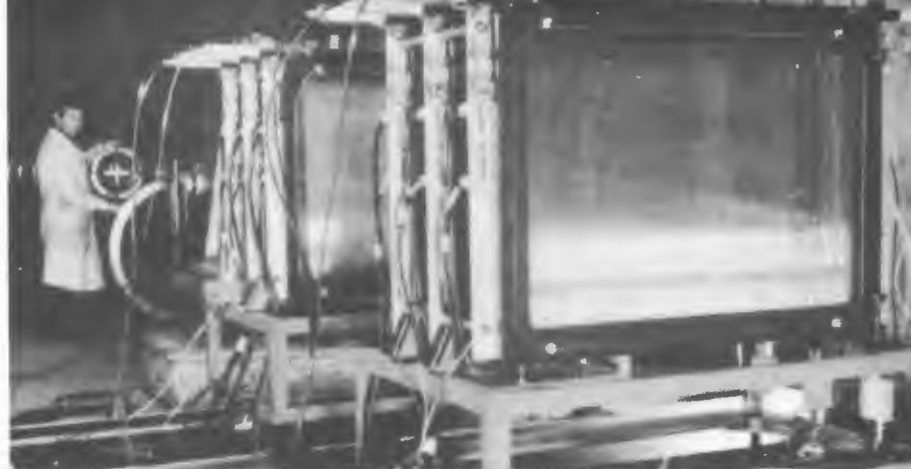


Оригинальная методика исследования упругого рассеяния протонов протонами была использована в опытах на синхрофазотроне в Дубне, а затем на серпуховском ускорителе. Руководитель эксперимента В.А.Никитин и техник А.А.Кукушкин готовят аппаратуру к эксперименту на внутреннем пучке ускорителя в Серпухове.





Ученые ОИЯИ выполняют на серпуховском ускорителе широкую программу исследования свойств нейтральных каонов при высоких энергиях. Для изучения явления регенерации нейтральных каонов на водороде, дейтерии и других ядрах сооружен большой искровой спектрометр, работающий на линии с ЭВМ.



В пучке отрицательных пионов ускорителя ИФЭ проведено облучение созданной в Дубне двухметровой пропановой камеры.

Физический эксперимент по определению электромагнитного радиуса пиона проведен совместно учеными ОИЯИ и США на серпуховском ускорителе. На снимке участники работы: Д.Дрики /США/, М.Турала и Э.Н.Цыганов /ОИЯИ/ за установкой искровых камер.



Пульт системы газообеспечения.



Электронная система управления спектрометром.



$$d\mu + p \rightarrow \pi^+ \mu \rightarrow {}^3\text{He} + \mu^-$$

$$\pi^+ \rightarrow \pi^+ e^+ \nu_e$$

$$\pi^+ \rightarrow \pi^+ p \rightarrow \pi^0 + n$$
$$\pi^+ \rightarrow \pi^+ p \rightarrow \pi^+ + p$$

$$\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e e^+$$

$$\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{B} + n$$
$$\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He} + p$$

**ЛАБОРАТОРИЯ  
ЯДЕРНЫХ  
ПРОБЛЕМ**





Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ /ранее Институт ядерных проблем АН СССР/ вошла в 1956 году в состав Объединенного института ядерных исследований, имея богатый опыт работы на одном из наиболее современных ускорителей - шестиметровом синхроциклотроне, ускорявшем протоны до энергии 680 МэВ. Иницирующая роль в создании синхроциклотрона в Дубне и в организации на его базе первого в Советском Союзе национального центра ядерных исследований принадлежит И.В.Курчатову. В своем первоначальном развитии лаборатория опиралась на поддержку руководимого им Института атомной энергии, филиалом которого она являлась до 1953 года. За 20 лет деятельности ОИЯИ лаборатория превратилась в один из ведущих ядерных центров мира в домиллиардной области энергий, а ее основная базовая установка - синхроциклотрон - приобрела новые качества. Усовершенствования последних лет сделали синхроциклотрон Лаборатории ядерных проблем лучшим ускорителем этого типа в мире по интенсивности ускоренных частиц и надежности работы. Если при создании ОИЯИ ток ускоренных протонов в синхроциклотроне составлял 0,25 мкА, то к 1962 году средняя интенсивность ускоренных протонов была увеличена

примерно в 8 раз, а недавно достигла 3,5 мкА /2,1.10 протонов/с/.

В истории лаборатории был период, когда признавалось целесообразным ускорять не только протоны, но и другие легкие ядра. В это время синхроциклотроном работал, ускоряя дейтроны и альфа-частицы. В исследованиях с этими частицами получен ряд ценных результатов.

Высокая надежность синхроциклотрона обеспечивает проведение физических исследований в течение 155-160 часов в неделю. В таком режиме ускоритель работает с 1957 года. На синхроциклотроне имеется 17 различных пучков протонов, нейтронов, пионов и мю-мезонов, на каждом из которых созданы возможности для проведения одновременно нескольких экспериментов. Это позволяет вести на нем исследовательские работы широким фронтом.

Эффективно работающий ускоритель, высокие параметры его пучков, находящиеся в течение многих лет на мировом уровне и превышающие его, доброжелательная атмосфера в лаборатории - все это привлекает к ней внимание выдающихся физиков и молодых ученых. В течение 20 лет на синхроциклотроне проводят эксперимен-

ты сотрудники многих институтов стран - членов ОИЯИ. Со времени организации ОИЯИ в лаборатории регулярно работает около трети всех его сотрудников, приехавших в Советский Союз из других стран - участниц Института.

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### *Упругое рассеяние нуклонов нуклонами*

Это направление исследований является традиционным для лаборатории. Наиболее известные работы, получившие мировое признание, выполнены сотрудниками лаборатории именно в этой области.

Полученные в Дубне первые данные о рассеянии нейтронов высоких энергий протонами оказались в свое время совершенно неожиданными и обратили на себя внимание физиков. Наиболее полно и прецизионно на синхроциклотроне было изучено рассеяние протонов протонами в широкой области энергий - от 300 до 670 МэВ. Цель этих экспериментов состояла в определении амплитуды рассеяния и ее отдельных компонент. Были измерены с высокой точностью не только сечения упругого и неупругого взаимодействия неполяризованных частиц, но и детально изучены поляризационные характеристики рассеяния. Результаты поляризационных экспериментов являются весьма информативными. Эти опыты принадлежат к числу весьма трудных из-за необходимости наблюдать акты двойного и тройного рассеяния частиц. Были разработаны специальные методы, в том числе получивший широкое распространение оригинальный способ получения сверхнизких температур, позволивший построить поляризованные мишени, с которыми удалось выполнить эксперименты с точностью, ранее не доступной.

Другим подходом к изучению спиновой зависимости ядерных сил явилось изучение столкновений нуклонов

с ядрами дейтрона, где нуклоны находятся как бы в поляризованной мишени.

В результате осуществления широкой программы опытов, выполненных силами большого коллектива сотрудников лаборатории, а также сотрудников ИТЭФ, на основе полученных экспериментальных данных удалось провести детальный феноменологический анализ нуклон-нуклонных взаимодействий, однозначно определить амплитуду протон-протонного рассеяния и восстановить важнейшие характеристики взаимодействия нейтронов с протонами в изученной области энергий.

Сведения об амплитудах и фазах пион-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния позволили независимыми путями определить одну из фундаментальных констант физики элементарных частиц - константу пион-нуклонного взаимодействия, характеризующую мезонный заряд нуклона.

Большое значение имеет экспериментальная проверка общих принципов симметрии, лежащих в основе сильного взаимодействия частиц. Путем сравнения полученных опытных данных об упругом рассеянии нуклонов нуклонами экспериментально проверен один из таких принципов - зарядовая симметрия ядерных сил. Для этого в лаборатории были проведены уникальные эксперименты по изучению рассеяния нейтронов высоких энергий нейтронами.

В специально поставленных опытах с высокой точностью удалось показать также справедливость другого фундаментального свойства нуклон-нуклонных взаимодействий - их обратимость во времени.

### *Мезообразование в соударениях нуклонов с нуклонами и пион-нуклонное взаимодействие*

Очень важная информация о характере взаимодействия частиц микромира может быть получена при ис-



следовании излучений, сопровождающих столкновение частиц. Для сильных взаимодействий роль такого излучения играют процессы образования новых частиц - пионов. Исследование процессов, приводящих к образованию пионов при столкновениях протонов, нейтронов и пионов с протонами и атомными ядрами - второе крупное традиционное направление исследований. Кратко характеризуя главные и широко известные результаты этой большой работы, следует отметить два из них. Первое - наиболее непосредственное и точное доказательство изотопической инвариантности сильных взаимодействий при высоких энергиях. Второе - получение подробных и надежных опытных данных о рождении пионов в нуклон-нуклонных соударениях. Полученные результаты позволили позднее построить на их основе резонансную модель, объясняющую закономерности рождения мезонов в догигаваттной области энергий.

В лаборатории был проведен анализ спектров заряженных и нейтральных  $\pi$ -мезонов, образованных в нуклон-ядерных соударениях при энергии 660 МэВ. В этих экспериментах обнаружены зависимость спектров  $\pi$ -мезонов от размеров облучаемых ядер и эффект интенсивной перезарядки  $\pi$ -мезонов в ядре.

Изучение взаимодействия двух нестабильных частиц, которыми являются кванты сильного взаимодействия - пионы, представляет собой актуальную и сложную задачу. С этой целью в лаборатории совместно с физиками НРБ, МНР, СРР фотозмульсионным методом проведено исследование процессов образования пионов пионами вблизи энергетического порога их рождения и определены длины пион-пионного взаимодействия.

В Лаборатории ядерных проблем проведено систематическое изучение пион-протонного взаимодействия в области энергий частиц до 370 МэВ. Осуществление большой программы опытов дало возможность определить полные и дифференциальные сечения различных процессов рассеяния и-перезарядки пионов, а также

поляризацию в пион-протонном рассеянии. В результате удалось провести прямую экспериментальную проверку справедливости дисперсионных соотношений, строго обоснованных Н.Н.Боголюбовым. Фундаментальность значения этой проверки определяется тем, что дисперсионные соотношения базируются на таких основных принципах теории поля, как микропричинность, унитарность и локальность.

Важные результаты получены при исследовании электромагнитных процессов с участием пионов и нуклонов. Эти эксперименты были начаты в 1961 году на созданной в лаборатории с участием физиков из ГДР жидководородной пузырьковой камере. Изучение процесса тормозного излучения пионов, рассеиваемых протонами, позволило впервые определить константу, характеризующую трудно поддающийся экспериментально исследованию процесс фоторождения пионов на пионах.

#### *Структура элементарных частиц*

В определенной области переданного импульса структура пионов, нуклонов и 3,3-резонанса может быть исследована только в процессе обратного электророжения пиона  $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + p$  и недоступна для исследования в других процессах. С помощью специально созданной сложной и очень эффективной электронной установки в лаборатории получены отсутствовавшие ранее экспериментальные данные о формфакторах нуклона и пиона в области малых значений времениподобной передачи импульса.

Несколько лет назад оказалось, что электрический радиус протона определен недостаточно надежно. Сведения о радиусе протона извлекались из экспериментальных данных с некоторыми предположениями, так как отсутствовали результаты непосредственно в обла-

сти малых значений переданного импульса в процессе упругого  $e-p$  -рассеяния. Оригинальное исследование, в котором полупроводниковые детекторы регистрировали частицы отдачи малых энергий, было проведено совместными усилиями физиков Дубны, Еревана и Бухареста на ускорителе ЕрФИ. Опытным путем удалось определить зарядовый радиус протона непосредственно по экспериментальным данным о  $e-p$  -рассеянии на предельно малые углы без предположений о зависимости формфактора протона в области больших значений переданного импульса.

Аналогичные исследования рассеяния электронов высоких энергий дейтронами позволили непосредственно определить электрический радиус дейтрона.

#### *Слабые взаимодействия*

Ряд выдающихся научных результатов получен в Лаборатории при изучении слабых взаимодействий. Прежде всего - открытие бета-распада пи-мезона, осуществленное с помощью исключительно тонкой методики. Экспериментально был доказан фундаментальный закон теории слабого взаимодействия - закон сохранения векторного тока, предсказанный советскими теоретиками.

Крупным научным событием явилось обоснование возможности существования нового типа нейтрино - мюонного, и предложение эксперимента по его обнаружению на ускорителях высоких энергий. Соответствующие опыты, выполненные в США и ЦЕРНе, позволили открыть мюонное нейтрино.

В опытах по захвату отрицательных мюонов в гелии-3, проведенных в лаборатории, впервые наблюдался эффект отдачи от мюонного нейтрино. Опыты позволили оценить верхний предел его массы. Результаты эксперимента доказали принципиально важный факт тождественности свойств мюона и электрона в слабом взаимодействии.

Значительный интерес для физики слабого взаимодействия представляет точное количественное изучение процесса ядерного захвата отрицательных мюонов протонами. С этой целью в ЛЯП с помощью электронной методики и газовой водородной мишени выполнен трудный эксперимент, в котором с хорошей точностью определена основная характеристика процесса - его вероятность. Результаты опыта наиболее непосредственно доказывают справедливость теории универсального слабого взаимодействия Ферми и дают ценные сведения о константах этого взаимодействия.

Само существование или отсутствие некоторых процессов распада частиц представляет собой важный источник сведений о коренных законах симметрии слабых взаимодействий. С целью непосредственной проверки справедливости закона сохранения лептонов проведены тщательные поиски ряда редких, до сих пор не обнаруженных процессов, таких, например, как распад мю-мезонов на электрон и гамма-квант, распад мюона на три электрона и др. В лаборатории получены наиболее точные данные об указанных процессах. В том же цикле экспериментов получены оценки верхней границы вероятности таких процессов, как  $\pi \rightarrow e e e \nu$ , которые показали, что возможность существования необычно слабых взаимодействий маловероятна. Эти результаты занесены в международные таблицы данных о свойствах частиц.

Недавно оригинально поставленный эксперимент физиков лаборатории пополнил эти таблицы новыми, рекордными по точности данными о времени жизни мю-мезона. Полученные результаты позволяют наиболее точно определить значение константы слабого взаимодействия и подойти к исследованию радиационных поправок в процессах слабого взаимодействия. Важность подобных исследований, как показала новейшая история современной физики /обнаружение лэмбовского сдвига уровней атома водорода и дейтерия, определение

аномального магнитного момента электрона и мю-мезона/, трудно переоценить.

Первым нейтринным экспериментом, выполненным на ускорителях, стал опыт, проведенный в 1961 году на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Эксперименты в Дубне были проведены в связи с поднятым теоретиками вопросом о возможности существования при высоких энергиях аномально большого сечения взаимодействия нейтрино с веществом. В результате опытной проверки это интересное теоретическое предположение было исключено.

Очень богатой неожиданностями оказалась физика нейтральных К-мезонов. Исследования распадов  $K^0$ -мезонов, начиная с 1959 года, проводились совместно Лабораторией ядерных проблем и Лабораторией высоких энергий. Позднее к ним присоединилась группа физиков из Грузии и СРР. Широкий цикл исследований охватил все основные проблемы физики нейтральных К-мезонов. В результате работ, проведенных методикой камер Вильсона, определены варианты слабого взаимодействия, приводящего к полулептонному распаду К-мезонов, а также степень запрета слабых взаимодействий с участием нейтральных токов для переходов с изменением странности.

#### *Неупругие взаимодействия при энергии 5 ГэВ*

В 1958 году в лаборатории была разработана и создана комплексная установка с 200-литровой пропановой пузырьковой камерой в магнитном поле напряженностью 17 кГс. Цикл работ по сооружению и пуску этой камеры отмечен премией ОИЯИ.

В последующие годы на этой установке совместно с физиками из ЧССР были выполнены многочисленные исследования по изучению процессов образования групп

нескольких странных и обычных нейтральных частиц и резонансов, детально исследовался процесс дифракционной диссоциации пионов на ядрах, что позволило изучить свойства  $A_1$ -мезона.

#### *Физика мезоатомов*

Известно, что непосредственно ядерному захвату мюона предшествует стадия, когда мюон вместе с одним из атомов окружающей его среды образует новую систему - мю-мезоатом. В Лаборатории ядерных проблем наиболее детально изучались мю-мезоатомы изотопов водорода. Для получения надежных данных о ядерном захвате мюона протоном весьма важно иметь количественную информацию о процессах, протекающих на мезоатомной стадии. Необходимо выяснить, из каких состояний мезоатома или мезомолекулы водорода происходит ядерный захват мюона, определить скорости образования мезомолекул для различных протонов водорода, измерить сечения упругого рассеяния мезоатомов водорода протонами и дейтронами, исследовать скорости перехвата мюонов от протонов дейтронами и сложными ядрами, определить скорости реакций синтеза, катализируемых мюонами, и т.д. Весь этот сложный комплекс вопросов был детально изучен в обширной серии экспериментов, выполненных с использованием различных методик. Основой для постановки опытов явились работы советских теоретиков. Многие результаты представляют большой самостоятельный интерес, как, например, обнаружение резонансной зависимости сечения рассеяния  $\mu p$ -атомов на протонах или существование резонансного по энергии мю-атома дейтерия механизма образования мезомолекул дейтерия. Новые опытные данные стимулировали дальнейшее теоретическое изучение проблемы.

*Структура ядер.  
Механизм ядерных реакций*

Изучение в экспериментах на синхроциклотроне взаимодействия пионов с ядрами привело к обнаружению не известного ранее процесса двойной перезарядки пионов на ядрах. Этот результат зарегистрирован как открытие Государственным Комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. Обнаружение наиболее тяжелого из всех известных изотопов гелия - ядра гелия-8 и определение его характеристик также зарегистрировано как открытие.

В тематике Лаборатории важное место занимает изучение проблемы внутриядерных ассоциаций нуклонов - так называемой кластерной структуры ядер. Здесь впервые наблюдалось квазиупругое рассеяние протонов с энергией  $\sim 660$  МэВ двухнуклонными ассоциациями в легких ядрах: выбивание из ядер дейтронов с энергиями в сотни МэВ. В других экспериментах посредством магнитного анализа спектров вторичных протонов были получены количественные данные об импульсных распределениях нуклонов внутри ядер бериллия и углерода. Детальное изучение упругого рассеяния на малые углы протонов на ядрах углерода позволило определить величины важнейших физических характеристик этого процесса - спиновой и бесспиновой амплитуд рассеяния и показало, что с ростом энергии протонов относительная интенсивность ядерного спин-орбитального взаимодействия убывает. Впоследствии были обнаружены и изучены значительно более редкие процессы квазиупругого рассеяния протонов трех- и четырехчастичными ассоциациями в ядрах /выбивание ядер  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$  с импульсами  $1800 \div 1900$  МэВ/с/, значительно повышена точность данных, расширена область изученных импульсов вылетающих частиц. В результате тщательных исследований экспериментально определены вероятности ассоциирования нуклонов в легких ядрах

и энергетическая зависимость сечения квазиупругого рассеяния протонов на двухнуклонных ассоциациях. Впервые выявлены процессы мезообразования на двухнуклонных ассоциациях в легких ядрах. Указания о кластерной структуре ядер получены также в опытах по исследованию испускания ядер  $^2\text{H}$  и  $^3\text{H}$  сравнительно больших энергий при захвате отрицательных пионов и мюонов различными ядрами. Новые исследования проводятся в этом направлении физиками из Венгрии, ГДР.

Ценным вкладом в исследование механизма ядерных реакций при высоких энергиях явились новые эксперименты с поляризованным пучком протонов, результаты которых сильно зависят от первоначальных предположений о механизме взаимодействия. В лаборатории обнаружено явление резонансного возбуждения ядер в реакции поглощения мю-мезонов, которое открывает новые возможности для исследования квазистационарных состояний и механизма ядерных реакций при высоких энергиях.

С помощью оригинальной установки со стримерной камерой высокого давления с участием румынских и итальянских физиков проведена широкая программа исследований взаимодействия пионов с ядрами  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$  в области 3,3-резонанса. Исследования с ядрами  $^3\text{He}$  уникальны. Они представляют особый интерес в связи с развитием теоретических представлений о взаимодействии малонуклонных систем.

Исследования взаимодействия пионов обоих знаков с ядрами  $^4\text{He}$  представляют интерес с точки зрения получения независимых сведений об электромагнитном радиусе  $\pi$ -мезона.

*Ядерная спектроскопия  
и радиохимия*

Интенсивное развитие ядерно-спектроскопических исследований изотопов, получаемых при облучении ми-

шеней на синхроциклотроне ЛЯП, началось в 1956 году. Успеху этих работ в большой мере способствовали два фактора: повышение почти на порядок интенсивности пучка протонов синхроциклотрона и разработка методов быстрого радиохимического выделения из мишеней весом в несколько граммов без носителя и без существенных потерь радиоактивных веществ в количествах  $10^{-10}$  г, а также создание способов изготовления источников малой толщины с большой полной и удельной активностью. Решение задачи осложнялось тем, что исходные мишени обычно имели высокую активность - 5-10 грамм-эквивалент Ra.

Для исследований спектров ядерных излучений в лаборатории совместными усилиями физиков многих стран - участниц ОИЯИ создан целый арсенал современной аппаратуры. Он включает магнитные спектрометры бета- и альфа-излучения: бета-спектрометр с двойной двукратной фокусировкой пучка /создан совместно с физиками НРБ и ЧССР/, бета-спектрографы с постоянным магнитным полем /совместно с физиками Узбекистана/, двукратный магнитный альфа-спектрометр /совместно с физиками НРБ/. Разработаны /совместно с физиками ГДР/ сцинтилляционные детекторы для гамма-спектрометрии и отвечающие лучшим мировым стандартам полупроводниковые детекторы гамма- и бета-излучений /совместно с физиками НРБ/, а также высокосветосильный бета-спектрометр типа "Апельсин" /совместно с физиками ПНР/. С участием физиков и специалистов по электронике из НРБ, ГДР, ЧССР разработана совершенная электронная аппаратура и развиты методы анализа сложных спектров с использованием ЭВМ.

На построенных в лаборатории совместно со специалистами из ГДР электромагнитных масс-сепараторах впервые начато систематическое разделение радиоактивных изотопов.

Разработан и создан оригинальный высокоэффективный источник ионов.

В 1966-1970 гг. создан комплекс аппаратуры для исследований короткоживущих /  $T_{1/2} \approx 1$  мин /, удаленных от полосы бета-стабильности, изотопов - установка ЯСНАПП.

Среди наиболее важных физических результатов, полученных в области исследований по ядерной спектроскопии, следует отметить:

- обнаружение свыше 100 новых радиоактивных изотопов и исследование их свойств;
- измерение параметров деформации ядер ряда редкоземельных элементов /  $150 < A < 190$  /;
- обнаружение эффекта эмиссии смещенного электронного рентгеновского излучения при образовании мезонных атомов тяжелых элементов /совместно с физиками ГДР и ПНР/;
- обнаружение и подробное исследование тонкой структуры альфа-спектров в области редкоземельных элементов.

При исследовании распада деформированных ядер с нечетным массовым числом идентифицированы уровни одночастичной, многочастичной и коллективной природы. Полученные данные хорошо подтвердили выводы обобщенной модели и сверхтекучей модели ядра и явились основой для их дальнейшего развития.

Работы по ядерной спектроскопии дважды отмечались премиями ОИЯИ. Премией ОИЯИ отмечены также работы по радиохимии лантанидов. Разработка методов получения высокоактивных препаратов отмечена медалью ВДНХ /1973 г./.

#### *Теоретические работы*

Особенностью теоретических работ, выполненных в лаборатории, является близость их тематики экспе-

риментальным исследованиям, проводимым на мощных ускорителях. Совместно с ЛТФ введено и развито с многочисленными применениями понятие полного опыта, необходимого для однозначного восстановления амплитуды процесса взаимодействия частиц. Этот цикл работ отмечен премией ОИЯИ.

Указаны возможности проверки справедливости P-, T- и C-инвариантности при высоких энергиях в экспериментах с поляризованными частицами. Предложена и осуществлена тщательная проверка изотопической инвариантности сильных взаимодействий. Работы этого цикла отмечены премией ОИЯИ.

В связи со значительной программой экспериментальных исследований взаимодействий частиц высоких энергий с ядрами развита совместно с теоретиками МНР и Армении теория ряда процессов и общий метод, обобщающий известные результаты Глаубера. Изучены поляризационные явления для ряда процессов при высоких энергиях. Предсказан процесс двойной перезарядки K-мезонов на ядрах. Работы этого направления отмечены в 1974 году премией комсомола Армении.

Разработана основанная на дисперсионных соотношениях теория рассеяния  $\gamma$ -квантов нуклонами в широкой области энергий. Установлена зависимость знака амплитуды распада нейтрального пиона на два  $\gamma$ -кванта от модели взаимодействия. Получены правила сумм для магнитного и электрического дипольного моментов нуклона. Впервые дана теоретическая оценка магнитной поляризуемости протона.

Проанализированы данные об упругом и неупругом  $e-p$  и  $\mu-p$  взаимодействиях. Получены точные данные о формфакторах нуклонов. Предложены новые опыты, осуществление которых должно существенно уточнить сведения о мюон-электронной универсальности, а также о справедливости скейлинга для структурных функций протона.

## Мезохимические исследования

Аналоги обычных атомов и молекул - их мезонные эквиваленты - явились фундаментом одного из новых направлений исследований, дающего принципиально новые возможности для исследования электронной структуры вещества. Основополагающими для этого направления, названного позже мезохимическим, явились выполненные в ЛЯП ОИЯИ работы с  $\pi^-$ - и  $\mu^-$ -мезонами, в которых впервые достоверно установлено, что процесс перехода отрицательно заряженных мезонов в связанное состояние чувствителен к электронной структуре вещества, в котором происходит остановка мезона. В опытах с  $\mu^-$ -мезонами обнаружена периодическая зависимость вероятности атомного захвата в окислах и изменение структуры мезорентгеновских серий элементов в зависимости от их химического окружения.

Структура мезорентгеновских спектров оказалась очень чувствительной к различным процессам с участием мезонов. Практическим результатом этих работ явилось оформление авторского свидетельства на новый способ определения свойств вещества. Сравнительно высокая энергия мезорентгеновского излучения элементов и, следовательно, их большая проникающая способность дают возможность изучать физико-химические свойства любых участков крупных объектов без их разрушения. Это же относится к отдельным органам живого организма. Последнее обстоятельство нашло практическое применение в медицине /совместная работа с Институтом медико-биологических проблем/.

Еще большие по масштабу эффекты влияния химического состояния элементов проявляются при захвате медленных отрицательных пионов связанным водородом, обнаруженном на синхроциклотроне ЛЯП. Интерпретация этого явления потребовала введения в научный обиход совершенно новых объектов - больших мезомолекул,



образующихся на начальной стадии перехода мезона в связанное состояние.

Дальнейшие работы в этом направлении дали первые в мезохимии количественные оценки соотношений между величинами, характеризующими захват пионов связанным водородом, и физико-химическими свойствами вещества. В газовых смесях водорода с другими газами в лаборатории обнаружен перехват  $\pi^-$ -мезонов и проведены его первые исследования.

Перечисленный выше цикл экспериментов отмечен в 1972 году первой премией ОИЯИ по разделу научно-исследовательских работ.

Значительные успехи достигнуты в области изучения кинетики химических реакций. В основе метода лежит использование процессов деполяризации мезонов в мюонии и  $\mu^-$ -мезоатомах. Дело в том, что мюоний -  $\mu^+ e^-$  - система - является аналогом не существующего в природе атомарного водорода. Изучая поведение мюония, можно получить уникальную информацию о химических процессах с участием атомарного водорода, имеющую большое теоретическое и прикладное значение.

Открытие в Лаборатории ядерных проблем химических реакций, в которых участвуют мезоатомы, создало широкие возможности изучения в случае деполяризации  $\mu^-$ -мезона в  $\mu^-$ -мезоатомах химических процессов с участием элементов в атомарном состоянии, которое обычными способами реализовать практически невозможно ввиду чрезвычайно высокой химической активности атомов в этом состоянии.

### *Высокие энергии*

С вводом в строй серпуховского ускорителя на энергию 76 ГэВ для ученых всех социалистических стран открылись новые возможности проведения исследований в ранее не доступной области высоких энергий

частиц и развития международного научного сотрудничества.

Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ выбрала в качестве основного направления своих исследований на этом ускорителе ряд принципиально важных научных задач, для которых именно экспериментирование с частицами высоких энергий является решающим.

Монополю Дирака. В течение ряда лет теоретиками мира обсуждается вопрос о возможности существования своеобразных источников магнитного поля - магнитных монополей. Существование монополей изменило бы всю картину электромагнитных взаимодействий и нарушило причинность в микромире. На различных ускорителях мира в разное время было поставлено много экспериментов по поиску монополей. В отличие от них, в оригинальном эксперименте, проведенном физиками лаборатории совместно с коллегами из ЧССР, использовалось указанное И.М.Франком различие в поляризации черенковского излучения монополей по сравнению с черенковским излучением других частиц. Проведенный опыт достоверно показал отсутствие магнитного монополя.

Антивещество, предсказываемое современной теорией, до сих пор экспериментально представлено в мире ядер лишь такими "представителями", как антипротон, антинейтрон, антигиперон и антитейтрон. С пуском ускорителя на энергию 76 ГэВ физиками ИФВЭ открыто ядро антигелия. Существенным моментом в этом принципиально важном направлении явилось открытие ядра антитрития в прецизионном и сложном эксперименте по поиску антиядер и новых тяжелых частиц, проведенном совместно с группой Лаборатории ядерных проблем. Это новый крупный шаг в исследовании антивещества.

Поляризационные явления при взаимодействии частиц высоких энергий дают непосредственную экспериментальную информацию о спиновой зависимости взаимодействия и поэтому особенно интересны при коли-

чественном исследовании сильных взаимодействий. Физики лаборатории в совместном исследовании с физиками ИФВЭ, Сакле /Франция/ и ИТЭФ осуществляют большую программу исследований поляризационных эффектов в упругом рассеянии пионов, К-мезонов, протонов и антипротонов протонами при энергиях 40-45 ГэВ - максимальных энергиях, при которых такие тонкие эффекты экспериментально изучались.

Большие перспективы для исследований неупругих взаимодействий при энергиях в десятки ГэВ открываются перед лабораторией благодаря созданию /по инициативе физиков Польши/ и вводу в действие в 1974 году пятиметрового магнитного искрового спектрометра. Программа первых исследований посвящена изучению дифракционной диссоциации частиц.

#### *Электронная аппаратура для физических исследований*

Большинство современных физических экспериментов, проводимых на ускорителях ядерных частиц, выполняется с помощью электронной аппаратуры.

Специфика физических исследований на синхротроне, а именно - проведение экспериментов как по физике элементарных частиц, так и по физике атомного ядра, определяет характер разработок электронной аппаратуры.

Для регистрации импульсов от сцинтилляционных детекторов и выделения исследуемых событий широко применяется система логических блоков наносекундного диапазона, разработанная в лаборатории. В состав системы входят блоки 40 наименований. Быстродействие их достигает 100 МГц, а разрешение схем совпадений - 1 нс. С помощью этих блоков можно создавать логические регистрирующие устройства практически любой сложности, а также временные спектрометрические

тракты, работающие от сцинтилляционных детекторов. Такие блоки используются практически во всех экспериментах, проводимых в лаборатории.

В лаборатории получили распространение проволочные искровые камеры с регистрацией информации на ферритовых сердечниках. Для них разработаны системы считывания информации и ее передачи в ЭВМ.

Значительные успехи достигнуты в разработках, совместно со специалистами из ГДР, прецизионной спектрометрической аппаратуры для полупроводниковых детекторов. Разработанные зарядочувствительные преусилители позволяют одновременно проводить как амплитудные, так и временные спектрометрические измерения.

Создается счетная и управляющая аппаратура для регистрации информации и ее передачи в ЭВМ в стандарте КАМАК. Разработаны счетчики, регистры, управляющие и проверочные блоки около 50 наименований, в том числе счетчики на 150 МГц. Счетные системы в стандарте КАМАК успешно используются в ряде экспериментов.

В лаборатории создана успешно работающая полуавтоматическая система для обработки снимков с пузырьковых камер, имеющая двустороннюю связь с ЭВМ "Минск-22" и обеспечивающая одновременную работу нескольких полуавтоматов.

Современный физический эксперимент немислим без широкого применения вычислительной техники как непосредственно в процессе эксперимента, так и при обработке результатов после его окончания. Поэтому неотъемлемой частью общелабораторного оборудования стал центр накопления и обработки информации. В его основу положены малые ЭВМ и промышленные многомерные анализаторы, соответствующим образом модернизированные и связанные в единую автоматизированную систему. К этой системе подключается электронная аппаратура, используемая в эксперименте. Система

связана с большой ЭВМ БЭСМ-6, входящей в состав центрального вычислительного комплекса ОИЯИ.

### *Прикладные исследования на синхроциклотроне*

Помимо фундаментальных - чисто физических исследований - на синхроциклотроне успешно проводятся работы, имеющие важное прикладное значение или дающие выход в смежные области науки.

Работы с мюонами и отрицательными пионами /мезохимия/ - один из примеров "выхода" физики элементарных частиц в современную химию и физику твердого тела.

Большое значение для существенного повышения эффективности лучевого лечения онкологических больных имеют работы по применению тяжелых частиц высоких энергий от синхроциклотрона для медицинских и биологических целей.

Протонное облучение отличается от всех применявшихся ранее видов лучевой терапии тем, что, концентрируя поглощенную энергию излучения в мишени, позволяет значительно снизить лучевую нагрузку на окружающие опухоль здоровые ткани.

Начиная с 1967 года, в Лаборатории ядерных проблем совместно с Институтом экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР пучки протонов высоких энергий используются для радиобиологических исследований и при лечении людей, больных раком.

С этой целью на синхроциклотроне в 1966 году создан протонный пучок с мощностью дозы 150 рад/мин., а в 1972-74 гг. сконструирована оригинальная мезонная линза и создан интенсивный пучок  $\pi$ -мезонов с мощностью дозы 3 рад/мин.

Создание медицинского пучка протонов и необходимого комплекса аппаратуры для проведения работ по онкологии отмечено медалями ВДНХ.

### *Разработка и развитие методов детектирования частиц*

Не только уровнем развития ускорителя, но и в значительной степени развитием методов детектирования частиц микромира определяются возможности экспериментальных исследований. Очень большое значение имеют новые принципы регистрации частиц. Физики Лаборатории ядерных проблем всегда уделяли большое внимание развитию новых методов детектирования частиц.

Особую роль играет использование специфического излучения релятивистских частиц - излучения Вавилова-Черенкова, которое нашло широкое применение во всех исследовательских центрах мира для детектирования частиц и измерения их энергии. Одно из первых предложений об использовании свойств свечения Вавилова-Черенкова было сделано в Дубне в 1950 году. Наиболее современные черенковские системы и тщательное измерение энергии протонов от синхроциклотрона также выполнены в лаборатории. Совместно с физиками ЧССР здесь проводится широкое исследование свойств излучения Вавилова-Черенкова, впервые изученного экспериментально при прохождении протонов сквозь кристаллы. Открыто так называемое "игольчатое" излучение. Получено экспериментальное подтверждение теории, развитой в СССР и в ЧССР.

В лаборатории проведены интересные исследования по созданию жидководородной ультразвуковой пузырьковой камеры. Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания нового трекового детектора частиц.

С первых лет развития исследований на современных ускорителях элементарных частиц возникла настоятельная потребность в новом типе трекового детектора, отличающегося от ранее известных существенно большим временным разрешением. Принцип управляемого импульсного питания газоразрядных детекторов, пред-

ложенный в ЛЯП для нитяных счетчиков, положил начало развитию целого направления в методике детектирования треков частиц.

Высокая точность измерения координат достигнута исследователями, реализовавшими принцип управляемого импульсного питания для плоских искровых счетчиков. Составленные из таких счетчиков искровые камеры получили широкое распространение во всех лабораториях, изучающих физику высоких энергий. Большое внимание уделено изучению и дальнейшему совершенствованию искровых камер с разрядом вдоль трека, наклонного к направлению электрического поля, и разрядных камер в проекционном режиме регистрации.

В Лаборатории ядерных проблем показано, что достаточно быстрое нарастание электрического поля в камере с металлическими электродами и средней величиной зазора /20 мм/ обеспечивает получение разряда вдоль трека частиц до углов наклона  $45^\circ$ . Созданная в лаборатории 9-электродная камера была первой камерой такого типа, примененной в физическом эксперименте.

Новый способ создания полностью изотропной разрядной камеры предложен и осуществлен в ЛЯП. Необходимая локализация разряда достигнута при этом за счет использования незавершенного разряда при пониженном напряжении, подаваемом на камеру. Резкая потеря светимости разряда компенсируется применением электронно-оптического усилителя света.

В лаборатории осуществлено дальнейшее усовершенствование стримерной камеры. Здесь впервые создана стримерная камера высокого давления, показана возможность осуществления стримерного режима работы в гелиевой и гелиево-водородной камере. Это усовершенствование позволило использовать стримерную камеру в качестве прибора, соединяющего в себе свойства трекового детектора и газовой мишени.

Одной из важных проблем регистрации частиц является сочетание быстродействующего электронного детектора с более плотной, чем в камере высокого давления, окружающей средой.

В 1964 году в лаборатории предложен метод исследования процессов при малых передачах импульса, в котором частицы отдачи с энергиями около 1 МэВ детектировались полупроводниковыми детекторами. Этот метод использовался сотрудниками ЛЯП и ЛВЭ для исследования  $p$ - $p$ -рассеяния на синхрофазотроне.

Газоразрядные пропорциональные счетчики использовались в качестве быстродействующих детекторов частиц в первых опытах на ускорителях. Однако необходимость применения при этом сложных и громоздких усилителей препятствовала значительному увеличению числа каналов в таких установках. Начало возрождению методики систем из нитяных пропорциональных счетчиков положили предложения, высказанные независимо в ЦЕРНе и в ОИЯИ в 1968 году. Появление проволочных пропорциональных камер многими специалистами рассматривается как революция в технике детектирования частиц. Преимущества этой методики, сочетающей высокое быстродействие с большой точностью измерения координат треков частиц, настолько значительны, что эти системы используются и создаются во всех лабораториях физики высоких энергий.

#### *Научно-исследовательские работы в области новых ускорителей*

Важным и успешно развивающимся направлением научной деятельности Лаборатории ядерных проблем являются исследования по созданию новых типов сильноточных ускорителей частиц высоких энергий с пространственной вариацией стационарного магнитного поля.

Отделом новых ускорителей выполнен обширный цикл теоретических исследований и созданы исследовательские установки для моделирования основных физических процессов, происходящих в новых ускорителях, предложенных и разрабатываемых в лаборатории.

В 1959 году в ЛЯП был запущен первый в мире изохронный циклотрон со спиральной структурой магнитного поля. На этом циклотроне проверены основные теоретические результаты линейной и нелинейной теории движения частиц в магнитных полях с крутоспиральной структурой, а также показана возможность ускорения частиц в изохронном режиме в течение нескольких тысяч оборотов. Эти работы удостоены премии ОИЯИ.

В отделе новых ускорителей лаборатории был выполнен большой комплекс теоретических исследований по динамике частиц; разработаны совершенные методы расчета формирования сложных структур магнитного поля в широком диапазоне индукций; разработана и изготовлена серия приборов и устройств с рекордными по чувствительности и точности для измерения и стабилизации магнитных полей характеристиками; созданы новые высокочастотные системы для ускорительных установок; разработаны современные системы управления ускорителем.

В 1968 году введен в действие электронный кольцевой циклотрон с жесткой фокусировкой, на котором экспериментально подтверждена обнаруженная сотрудниками лаборатории возможность совмещения изохронизма орбит различных энергий и жесткой фокусировки.

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования на этом электронном циклотроне эффектов пространственного заряда пучка позволили сделать фундаментальный вывод о возможности ускорения в протонных кольцевых циклотронах с жесткой фокусировкой токов вплоть до сотен миллиампер с энергией протонов до 1 ГэВ.

В результате теоретических исследований по динамике частиц созданы линейная и нелинейная теории движения заряженных частиц в магнитных полях с пространственной вариацией. Таким образом показана возможность использования спиральных структур магнитного поля в действующих синхроциклотронах с целью увеличения в десятки раз /примерно до 50 мкА/ интенсивности внутреннего пучка и совместно с проектными организациями разработан и осуществляется проект реконструкции синхроциклотрона лаборатории в сверхточный фазотрон на энергию 700 МэВ. Благодаря применению новых методов вывода интенсивность полученных пучков протонов и мезонов после реконструкции ускорителя возрастает примерно в 100 раз.

Рассмотрены динамические процессы в изохронном циклотроне с широким диапазоном регулирования по энергии для различных ионов ( $p, d, {}^4\text{He}, {}^3\text{He}$ ) и высоким качеством выведенного пучка. Такой ускоритель создается лабораторией на базе электромагнита стандартного циклотрона У-120 и будет передан в ИЯФ ЧСАН.

### *ШКОЛА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КАДРОВ*

За 20 лет деятельности ОИЯИ Лаборатория ядерных проблем выросла в крупный научный центр. Значительный вклад в ее развитие внесли научные сотрудники стран - участниц Института: Ж.Желев /НРБ/; Т.Фенеш /ВНР/; Нго Куанг Зуй /ДРВ/; Р.Ляйсте, Г.Музиоль, Г.Позе /ГДР/; Зу А За /КНДР/; Ч.Цэрэн /МНР/; Т.Крогульски, Г.Лизурей /ПНР/; М.Петрашку, А.Михул /СРР/; И.Адам, И.Звольски, Г.Мартинска, П.Павлович, М.Фингер /ЧССР/; И.Я.Померанчук, Б.М.Понтекорво, Б.С.Джелепов, М.Г.Мещеряков, С.М.Поликанов, В.П.Дмитриевский, Б.И.Замолотчиков, Ю.М.Казаринов, М.С.Козодаев, Л.И.Лапидус, Я.А.Сморodinский, А.А.Тяпкин /СССР/.

В достижениях лаборатории - труд большого коллектива рабочих, техников, инженеров, конструкторов. всех стран-участниц ОИЯИ.

Со времени создания ОИЯИ советские сотрудники лаборатории защитили 24 докторских и более 95 кандидатских диссертаций, более 40 сотрудников из других стран-участниц стали кандидатами и докторами наук.

Специалисты лаборатории, ее воспитанники пользуются высоким научным авторитетом и признанием. Целый ряд крупных физиков, воспитанных здесь, возглавляют значительные научные коллективы и проводят большую работу в крупнейших центрах стран-участниц ОИЯИ. В Болгарии успешно работает на посту заместителя директора Института ядерных исследований и ядерной энергетики БАН Ж.Желев, который продолжительное время работал в Лаборатории ядерных проблем заместителем директора. В Венгрии известны работы Т.Фенеша и его товарищей. В ГДР руководит институтом К.Александр, который был заместителем директора лаборатории, успешно работают проректор Технического университета /Дрезден/ Г.Музиоль, У.Кундт, Г.Либман, К.Андерт. В ДРВ успешно трудится воспитанник лаборатории Нго Куанг Зуй, в Монголии - Н.Содном, Ч.Цэрэн. В Румынии вице-директором Института атомной физики работает М.Петрашку.

Во вновь созданном и получившем широкую известность Институте физики высоких энергий в Серпухове руководящую основу составляют физики, прошедшие школу Лаборатории ядерных проблем.

Успехи коллектива лаборатории в ядерно-физических исследованиях, в создании совершенных современных

ускорителей, разработке оригинальной аппаратуры и техники физического эксперимента, а также ее роль в воспитании научно-технических кадров получили широкое признание.

Четыре крупных научных достижения лаборатории зарегистрированы в СССР как открытия:

- двойная перезарядка пионов при их взаимодействии с атомными ядрами /отмечено также медалью ВДНХ/;
- явление безрадиационного захвата мюонов тяжелыми ядрами /совместно с ИТЭФ и ИАЭ/;
- обнаружение тяжелого изотопа ядра гелия  $^8\text{He}$ ;
- сохранение векторного тока в слабых взаимодействиях.

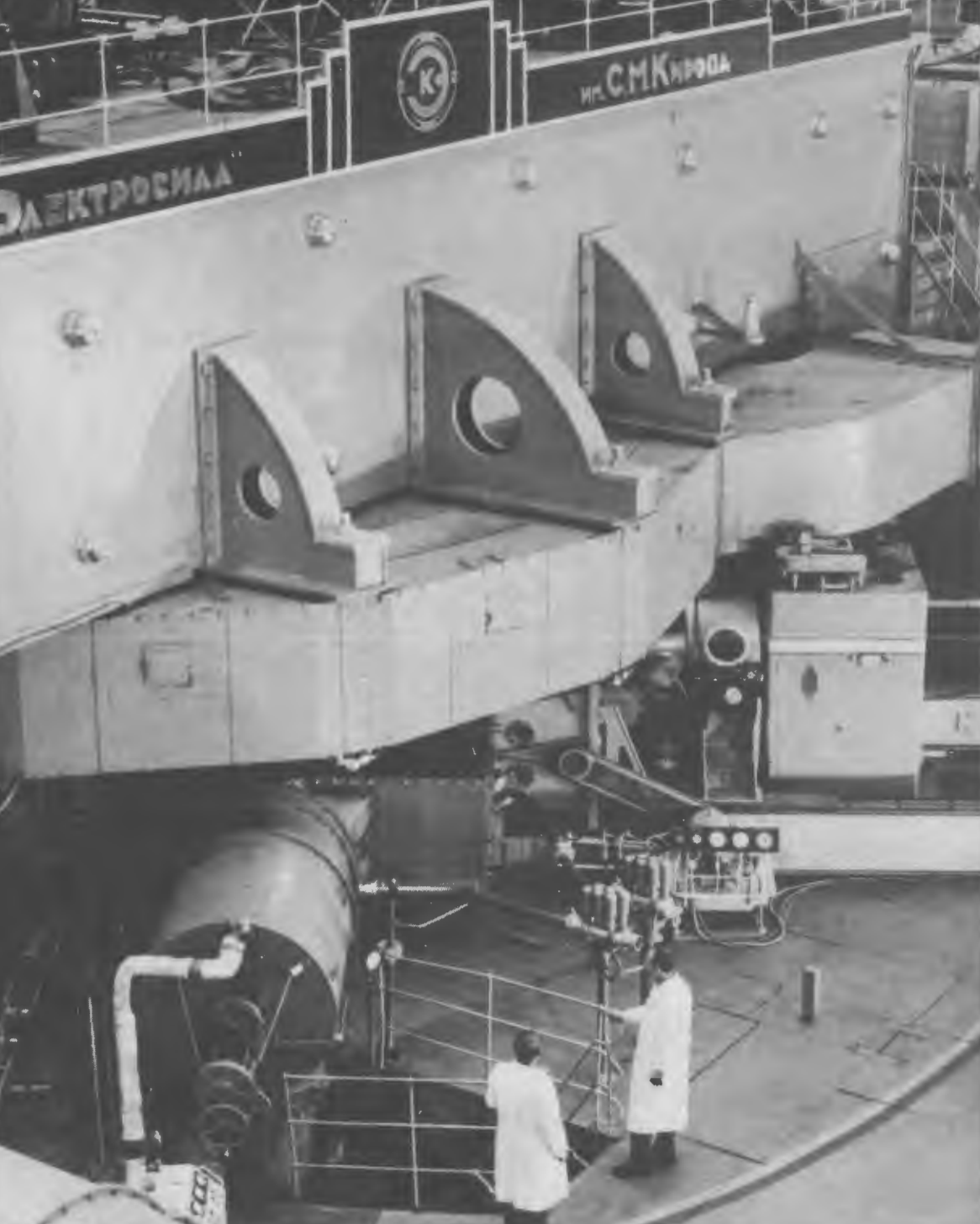
Академик Б.М.Понтекорво за исследования в области слабых взаимодействий и физики нейтрино удостоен звания лауреата Ленинской премии. Группа сотрудников в составе Ю.Д.Прокошкина, В.И.Петрухина, А.Ф.Дунайцева, В.И.Рыкалина за открытие явления бета-распада  $\pi^-$ -мезона награждена медалью и премией имени И.В.Курчатова.

Совместные работы физиков ЛЯП и СРР по мезопереходам в тяжелых атомах /А.Михул, М.Петрашку, А.Е.Игнатенко/ отмечены премией СРР. Значительное число научных сотрудников, инженеров и рабочих лаборатории награждены орденами и медалями Советского Союза и других социалистических стран.

Двадцать три работы Лаборатории ядерных проблем удостоены премий и дипломов Объединенного института ядерных исследований.



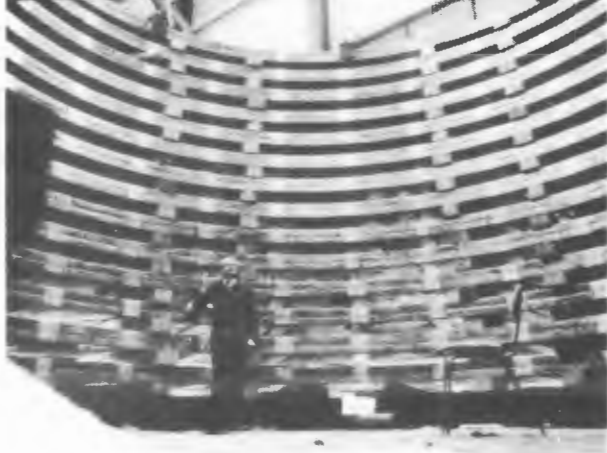




Первый ускоритель Дубны - синхроциклотрон. Благодаря постоянному усовершенствованию ускоритель в течение 25 лет занимает одно из первых мест среди лучших машин этого класса. Ток внутреннего пучка протонов с энергией 680 МэВ достигает 3 мкА. Оригинальные системы медленного вывода протонного и мезонного пучков обеспечивают высокую эффективность проведения экспериментов. Ежегодно синхроциклотрон работает в течение 6 тысяч часов.

В этом здании расположен синхроциклотрон Лаборатории ядерных проблем, здесь же находятся экспериментальные лаборатории. ▶





Начаты работы по реконструкции синхротрона в сильно-точный фазотрон, что откроет новые возможности для исследований в области физики средних энергий. На снимке: секции новой обмотки, готовые для монтажа на ускорителе.



В ОИЯИ был создан первый циклотрон со спиральной вариацией магнитного поля. Руководители работ В. П. Желепов, В. П. Дмитриевский и Б. И. Замолдчиков обсуждают вопросы сооружения циклотрона.



На базе серийного ускорителя в ОИЯИ разрабатывается прототип изохронного циклотрона У-120М.



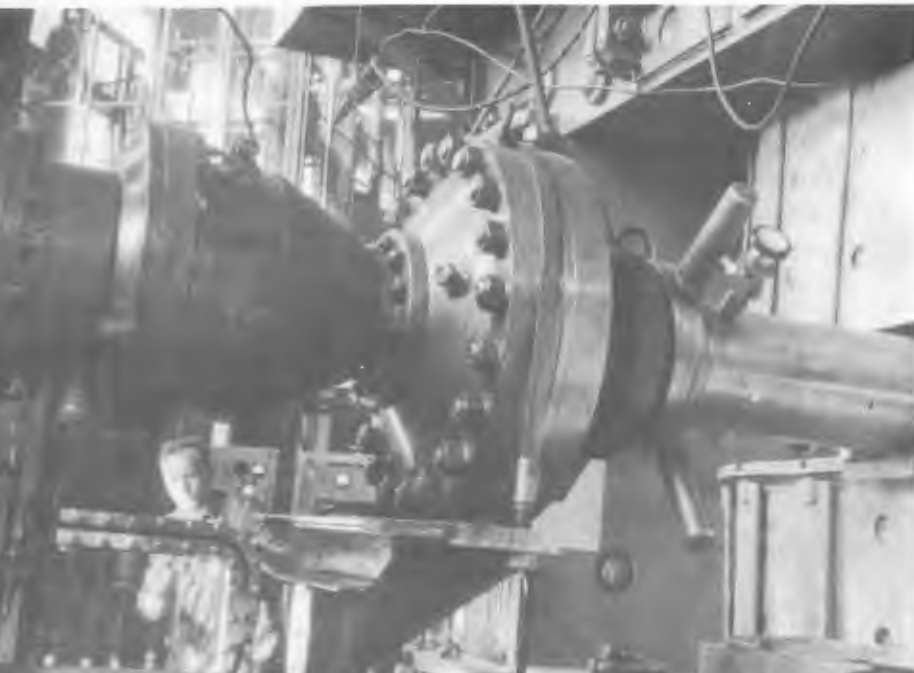
В Институте изучаются возможности создания сверхсильно-точного циклотрона с жесткой фокусировкой. Исследования, ведущиеся на специально созданной электронной модели такого циклотрона, подтвердили возможность получения выведенного из камеры ускорителя пучка протонов с энергией до 1 ГэВ при мощности в пучке несколько десятков МВт.





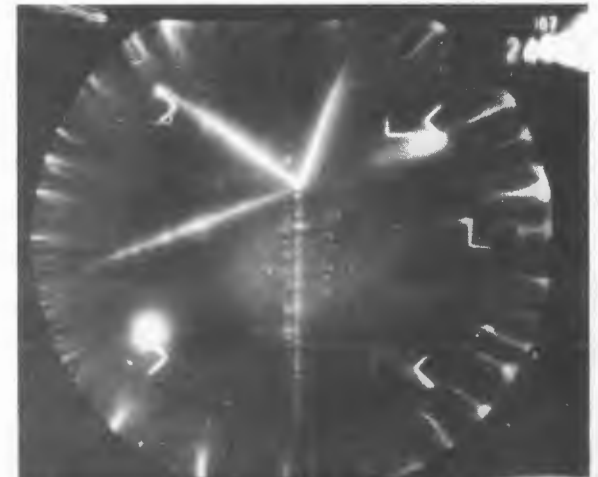
Открытие явления двойной перезарядки пи-мезонов и экспериментальное доказательство существования ядра гелия-8 создали новые возможности для поиска ядер с большим избытком нейтронов и протонов. На снимке - авторы этих открытий /слева направо/: С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, Ю.А. Батусов, В.А. Ярба.

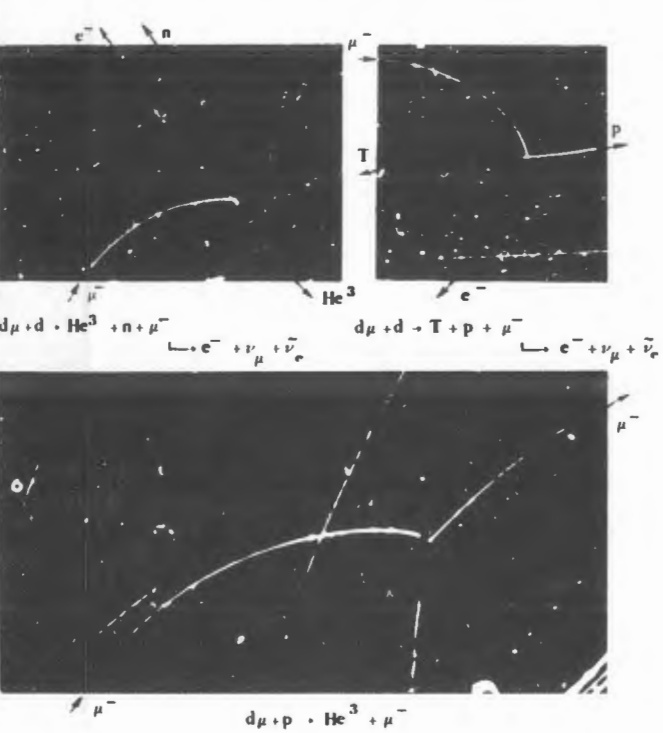
Большой цикл исследований мю-мезонных процессов на изотопах водорода выполнен учеными Института с помощью диффузионной камеры высокого давления в магнитном поле.



200-литровая пропановая пузырьковая камера в магнитном поле напряженностью 17 тыс. эрстед используется в опытах на синхрофазотроне. Большие размеры камеры и высокая плотность заполняющего ее вещества позволили исследовать ранее не изучавшиеся процессы.

Первые опыты по изучению упругого и неупругого рассеяния пионов на ядрах гелия-3 выполнены на синхроциклотроне с помощью стримерной камеры высокого давления. На фотографии показан развал ядра гелия-3 под действием налетающего пиона.

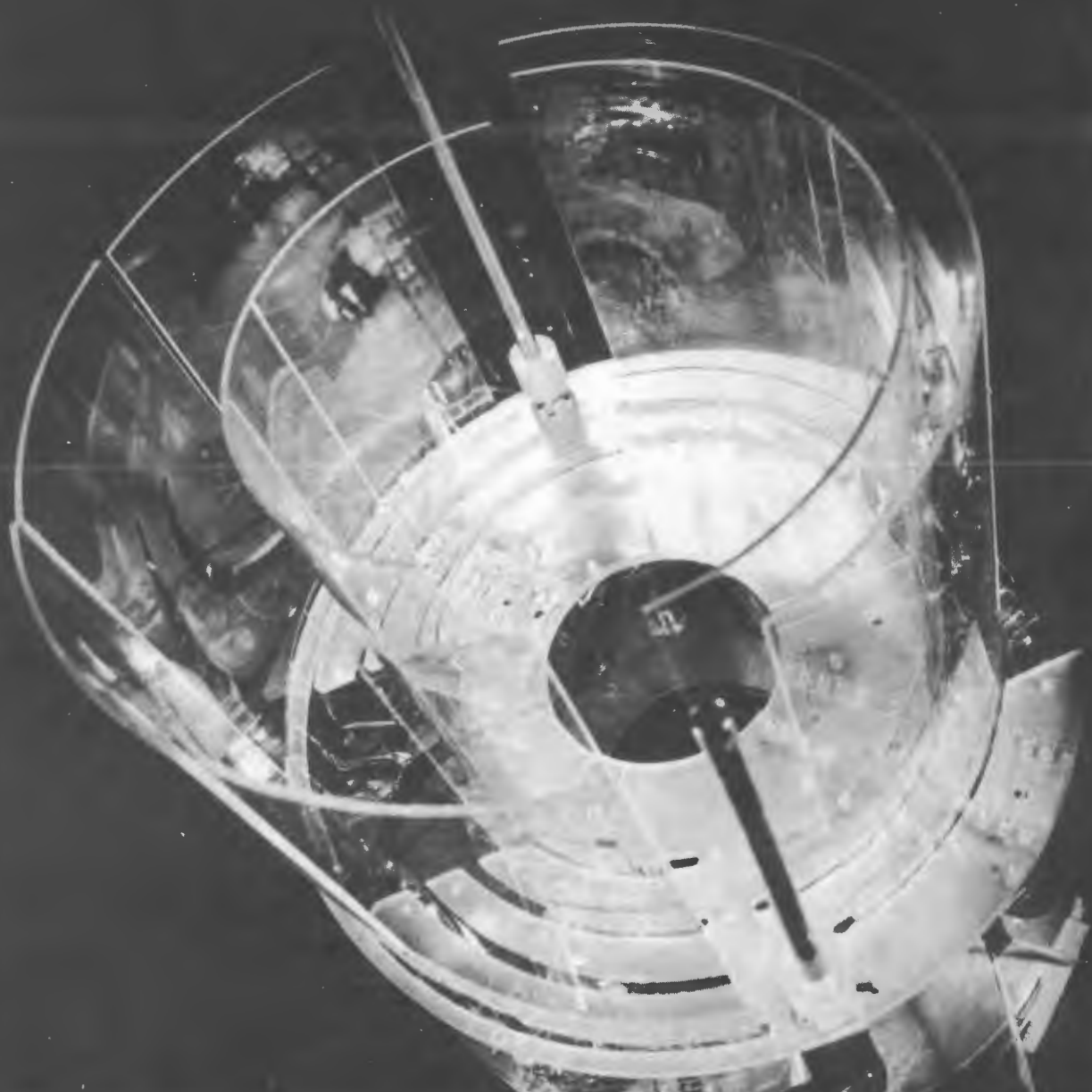




Фотография двухконусного излучения Вавилова-Черенкова, возникающего при прохождении протонов с энергией 660 МэВ через кристалл исландского шпата.

В ОИЯИ создана гелиевая стримерная камера высокого давления, управляемая сцинтилляционным годоскопом.





Сцинтиляционный годоскоп магнитного искрового спектрометра цилиндрической геометрии.

В Дубне получены наиболее точные физические результаты в исследованиях редких распадов пионов и мюонов. Эксперименты проводились на синхротроне с помощью цилиндрической искровой камеры в магнитном поле, управляемой сцинтиляционным годоскопом. Руководитель сектора С.М.Коренченко и научный сотрудник К.Г.Некрасов во время сборки искровой камеры.







Митинг в экспериментальных механических мастерских Лаборатории ядерных проблем, посвященный итогам социалистического соревнования между производственными отделами ОИЯИ.

Конкурсы "Устройства ядерной электроники, разработанные в лабораториях Института", проводит Совет по ядерной электронике ОИЯИ. Выставку работ, представленных на конкурс, осматривают начальник отдела новых научных разработок ЛЯП А.Н.Синаев и сотрудники отдела А.Петров, Б.Хан, Нгуен Мань Шат.



Ученые Института впервые наблюдали "автограф" мюонного нейтрино. Снимок сделан в диффузионной камере высокого давления, наполненной гелием.



Группа физиков Института выполняла на мезонном тракте синхроциклотрона самые точные измерения времени жизни положительно заряженного пиона. На снимке: руководитель этой работы В.Г.Зинов проверяет монтаж экспериментальной установки.







Опыты на синхротроне дали сведения об электромагнитной структуре пions и нуклона во времениподобной области переданных импульсов. Подготовку аппаратуры для измерения характеристик процесса обратного электро-рождения пионов вед-дут Г.Г.Мкртчян, ру-ководитель сектора Л.Л.Неменов и А.В.Куп-цов.



На синхротроне создан специальный протонный пучок и процедурные помещения с оборудованием для медико-биологических исследований и лечения онкологических больных. Ученые Академии медицинских наук СССР провели большой цикл экспериментов по изучению проблем лучевой терапии. На снимке: делегация польских специалистов во главе с вице-президентом Ведомства по атомной энергии ПНР М.Совинским /в центре/ знакомится с оборудованием. Пояснения дает сотрудник Лаборатории О.В.Савченко.

В 1965 году в Дубне был создан прецизионный альфа-спектрограф для изучения альфа-распада с образованием возбужденных состояний ядер редкоземельных элементов. Физики Ж.Желев, В.Г.Чумни и механик А.М.Озеров за измерением магнитного поля спектрографа.



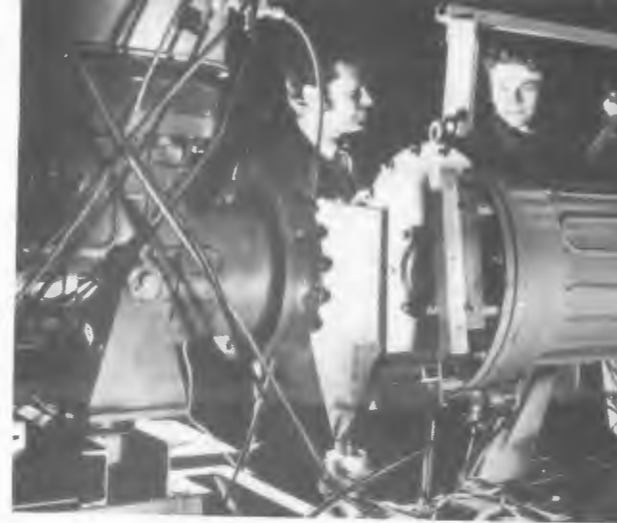
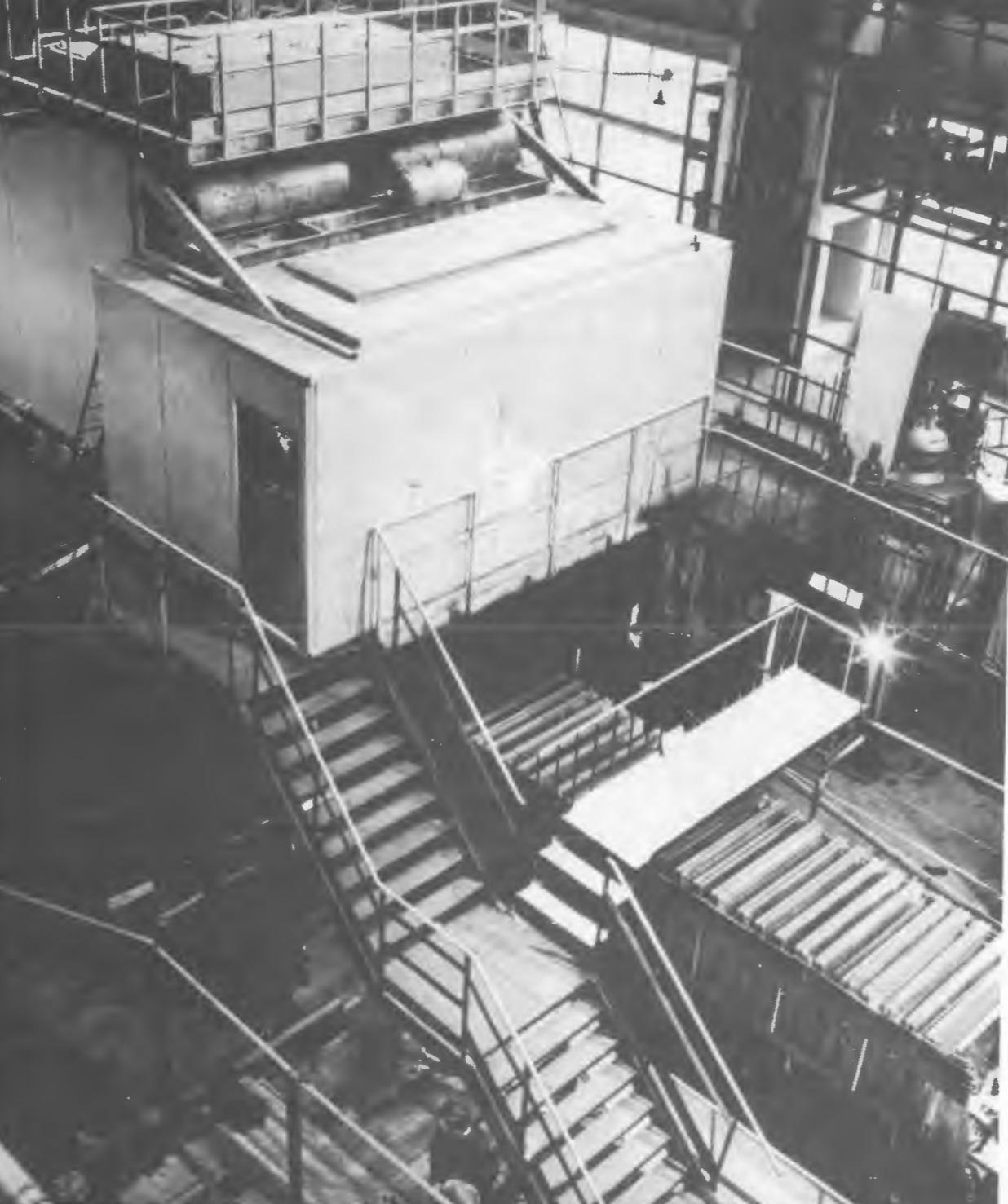


**ЯСНАПП** - ядерная спектроскопия на пучке протонов - это большая программа исследований свойств радиоактивных ядер, выполняемых на синхротроне.

На снимках слева: участники экспериментов по программе ЯСНАПП Х.Тыррофф /вверху/, Р.Арльт и М.Яхим /в центре/, Г.Байер /внизу/.

В Польской Народной Республике для Объединенного института построен бета-спектрометр типа "Апельсин", обладающий уникальными возможностями получения информации об излучении короткоживущих атомных ядер. Сотрудник Института ядерной физики /Краков/ М.Яницки за сборкой спектрометра. ▶





◀ Пятиметровый магнитный искровой спектрометр создан в Дубне для исследования неупругих взаимодействий частиц высоких энергий на ускорителе ИФВЭ.



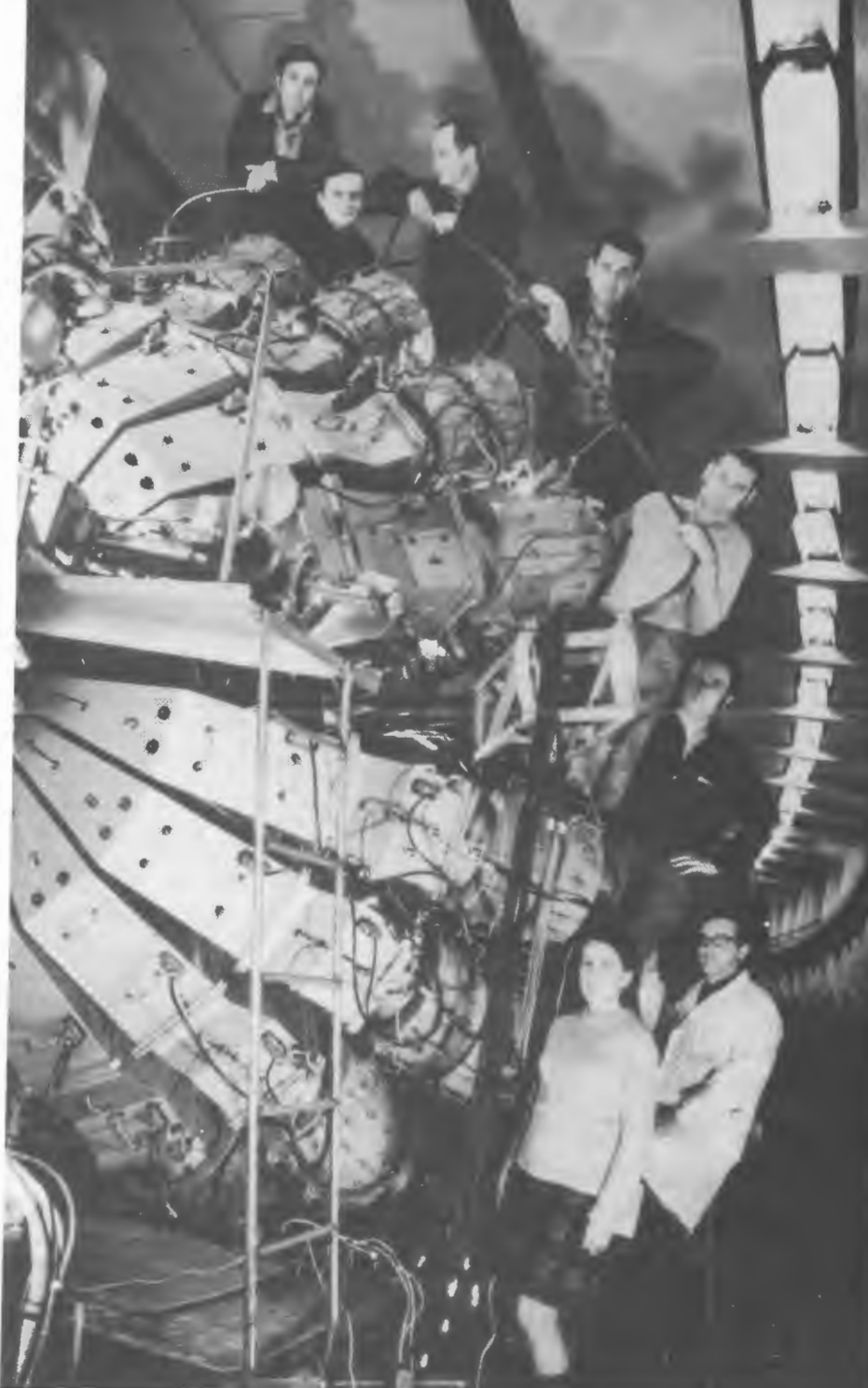


Новый шаг в исследовании антивещества сделан в эксперименте по поиску тяжелых частиц и антиядер. С помощью созданной в ОИЯИ и ИФВЭ сложной многопараметрической установки обнаружено новое, ранее не известное ядро антивещества - ядро антигитрия. Руководители эксперимента В.И.Петрухин /ОИЯИ/ и В.И.Рыкалин /ИФВЭ/.

Оригинальная установка создана в ОИЯИ для поиска монополя Дирака на пучке серпуховского протонного синхротрона. С помощью этой установки с высокой точностью показано отсутствие в природе магнитных зарядов с массами от 3 до 5,5 протонных масс и временем жизни вплоть до  $3 \cdot 10^{-11}$  с. На снимке: участники эксперимента /сверху вниз/ В.Н.Сошников, В.П.Луписьцев, М.Ф.Шабашов, Д.Коллар, Р.Яник, П.Павлович, В.П.Зрелов, Л.Колларова.



Поляризационные явления при упругом рассеянии пионов, К-мезонов, протонов и антипротонов ядрами водорода изучаются на серпуховском ускорителе совместно учеными ОИЯИ, Сакле/Франция/, ИФВЭ и ИТЭФ. На снимке слева направо: Ю.М.Казаринов /ОИЯИ/, С.Б.Нурушев /ИФВЭ/, Ж.П.Мерло /Сакле/.





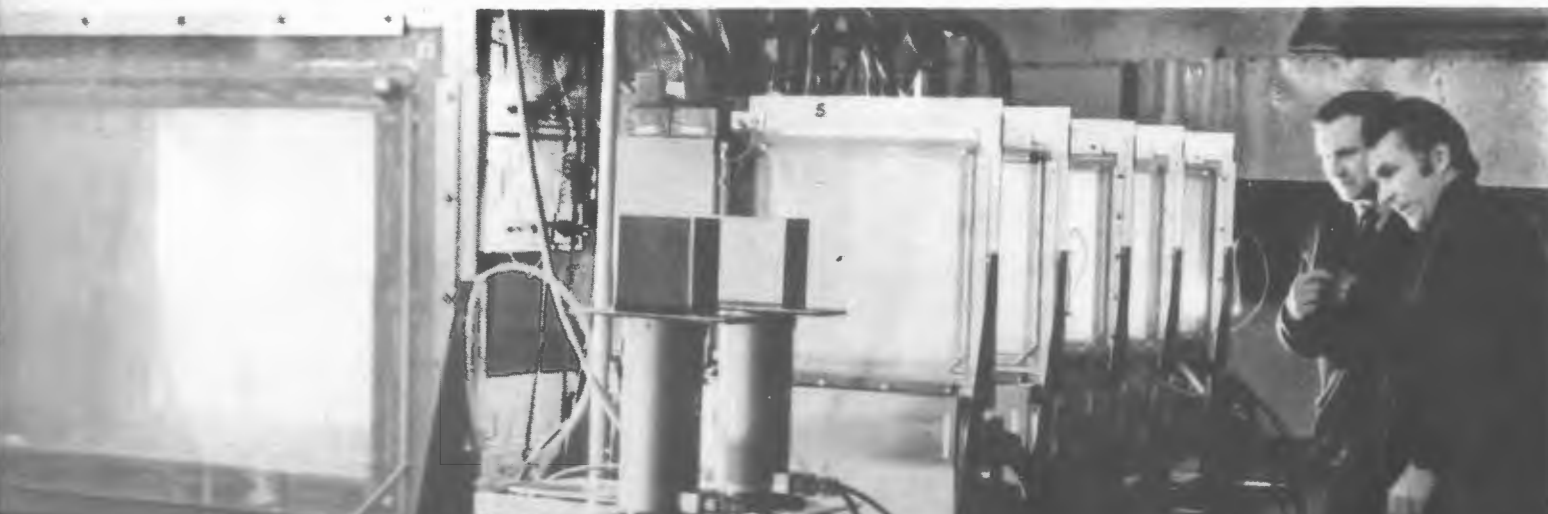
В ОИЯИ совместно с институтами стран-участниц создана высокопроизводительная сканирующая система "Спиральный измеритель", предназначенная для обработки снимков с трековых камер. На снимке: разработчики этой системы В.М.Котов, Р.Поэ, И.И.Скрыль, А.Е.Селиванов, В.Н.Лысыков. ▶



Программист М.Женей просматривает картину события, обработанного на спиральном измерителе, перед фильтрацией результатов сканирования. ◀



Сканирующий автомат типа НРД предназначен для проведения массовых измерений фотографий с пузырьковых и искровых камер. Прибор управляется ЭВМ среднего класса, его производительность соответствует производительности 15-20 полуавтоматов ПУОС.



Для исследования ядерных реакций на синхрофазотроне создан магнитный спектрометр с проволочными искровыми камерами и сцинтилляционными счетчиками. Установка работает на линии с ЭВМ.





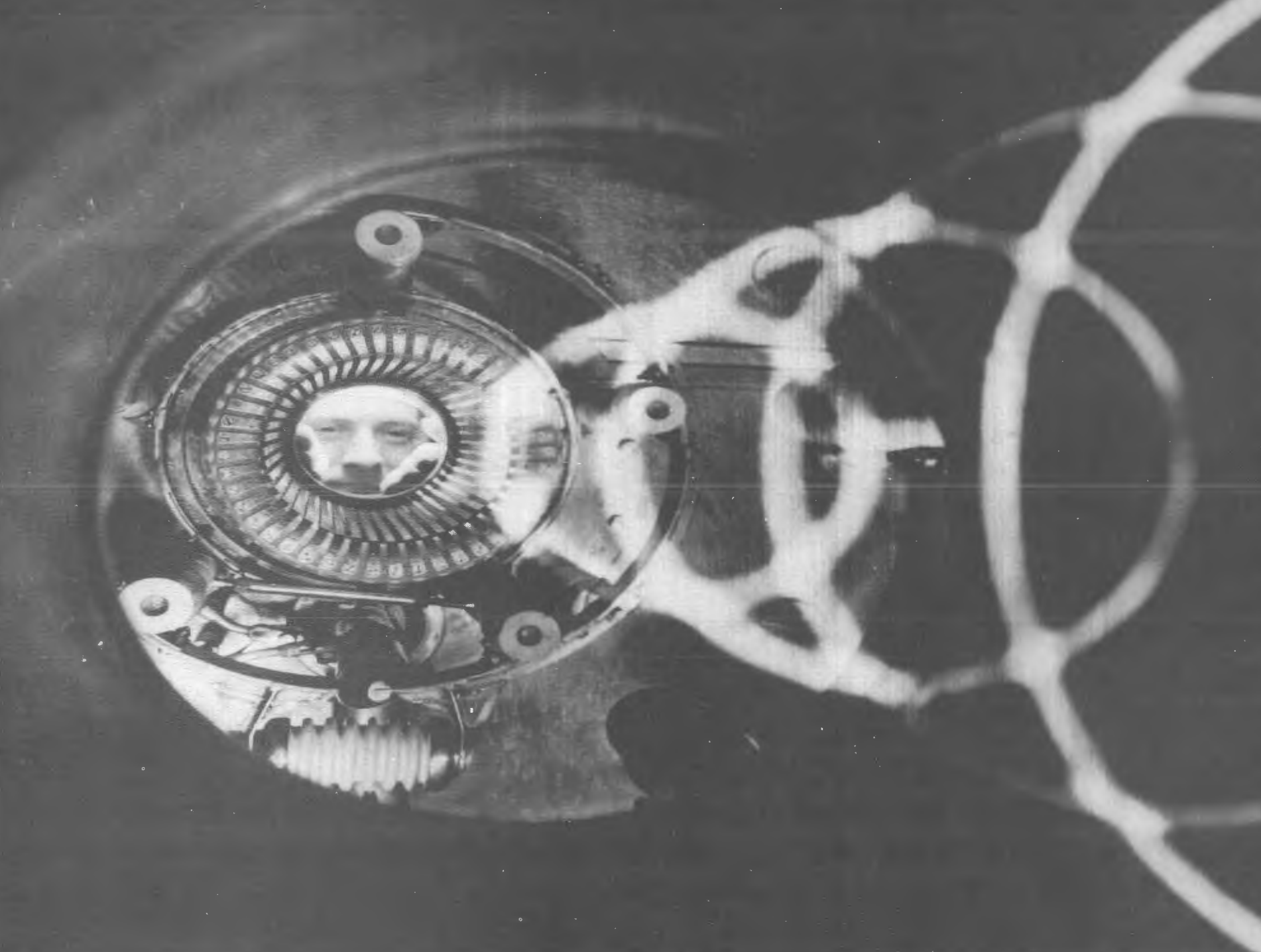
Венгерские инженеры М.Калло и В.Рус из группы обслуживания малых вычислительных машин ведут наладку аппаратуры.



Сканирующий автомат АЭЛТ-1 используется для обработки снимков с искровых камер. На переднем плане: оператор ведет "разговор" с ЭВМ, используя дисплей-монитор, на заднем плане - ЭВМ БЭСМ-4, управляющая работой автомата.

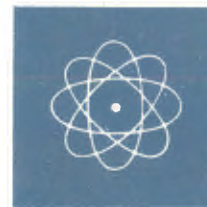
В Вычислительном центре Объединенного института прошла стажировку группа инженеров и математиков из ГДР. На снимке: инженер В.Е.Аниховский дает пояснения немецким коллегам, изучающим опыт работы на ЭВМ БЭСМ-6.







**ЛАБОРАТОРИЯ  
ЯДЕРНЫХ  
РЕАКЦИЙ**





Исследование процессов, происходящих при столкновениях сложных ядер, и фундаментальная проблема синтеза новых элементов представляют собой совершенно новую область ядерной физики, которая получила развитие в 50-х гг. и в настоящее время является одним из основных направлений современной ядерной физики. Чем же обусловлен огромный интерес, проявляемый учеными различных стран к пучкам тяжелых ионов?

Многолетний опыт человека в изучении природы свидетельствует о том, что наиболее интересные, фундаментальные свойства вещества проявляются в предельных формах его существования. В ядерной физике наибольшего успеха можно ожидать на пути изучения ядерной материи в различных необычных, экстремальных состояниях, при открытии и анализе свойств новых элементов и изотопов, новых видов радиоактивного распада и т.д.

Именно тяжелые ионы представляют уникальную возможность проникнуть в неизведанные и, по-видимому, недостижимые другим путем области ядерной физики,

связанные с изучением свойств сверхтяжелых трансурановых элементов и короткоживущих ядерных систем, состоящих из ~300 нуклонов. Основой этих исследований явилось развитие методов получения и ускорения многократно заряженных ионов тяжелых элементов, так как для исследований с тяжелыми ионами необходим специальный ускоритель. Одним из главных инициаторов развития исследований на пучках тяжелых ионов является академик Г.Н.Флеров.

В 1957 году в Объединенном институте ядерных исследований было начато строительство циклического ускорителя многозарядных ионов У-300 и создана Лаборатория ядерных реакций.

Создание новой лаборатории в международном научном центре социалистических стран позволило привлечь к новой области исследований научный потенциал этих стран, обеспечить специалистов социалистического сотрудничества лучшей в мире экспериментальной базой и начать систематические фундаментальные исследования.

Основными научными направлениями Лаборатории ядерных реакций являются:

- синтез на ускорителях, поиск в природе тяжелых трансурановых элементов и изучение их свойств;
- синтез нейтроноизбыточных и протонно-радиоактивных ядер;
- изучение спонтанно делящихся изомеров;
- исследование механизма взаимодействия сложных ядер;
- изучение структуры ядер спектротрическими методами;
- использование пучков тяжелых ионов в смежных областях науки и техники.

С первых дней работы лаборатории большое внимание уделяется совершенствованию ускорителей, разработке все более мощных и уникальных источников многозарядных ионов, разработке радиоэлектронной аппаратуры и созданию физико-химических методов экспрессного выделения неизвестных продуктов реакции и их идентификации.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ЛАБОРАТОРИИ**

Основной ускоритель, запущенный в 1960 году, - 310-сантиметровый циклотрон /У-300/ - по сей день является лучшим в мире ускорителем тяжелых ионов. Его создание явилось результатом совместных усилий коллективов НИИЭФА им. Ефремова и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

В 1968 году группой усовершенствования ускорителей ЛЯР был разработан и запущен двухметровый изохронный циклотрон У-200 с высоким уровнем магнитного поля - 20 кЭ. В работе по созданию У-200 участвовали специалисты из ЧССР и СРР, в запуске этого циклотрона принимала участие группа физиков из Франции.

Одним из важнейших узлов ускорителей является ионный источник. Дуговой источник с подогревным катодом, используемый на циклотронах У-300 и У-200, был создан под руководством академика Л.А.Арцимовича в Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова. В настоящее время он является наиболее эффективным среди всех ионных источников существующих типов. Детальное изучение процессов, происходящих при ионизации, проведенное в лаборатории, позволило повысить зарядность ионов, получаемых из источника, и в десятки раз поднять интенсивность пучков. В лаборатории разработан и внедрен плазменный источник многозарядных ионов германия и других металлов.

Сейчас на циклотронах У-300 и У-200 ускоряется до энергии выше кулоновского барьера взаимодействия ядер уникальный ассортимент ионов:  $\alpha$  - частицы, гелий-3, углерод, азот, кислород, неон, фосфор, сера, аргон, кальций, титан, ванадий, хром, марганец, железо, цинк. Интенсивность ускоренных ионов вплоть до аргона составляет  $10^{13} - 10^{14}$  част/с и является рекордной; для более тяжелых ионов интенсивность достигает  $10^{13} - 10^{14}$  част/с, что также во много раз выше, чем дает любой другой из существующих ускорителей. Вместе с тем развитие физических исследований требует получения все более тяжелых ионов. Для синтеза ядер в предполагаемой области сверхтяжелых элементов / $Z > 110$ / необходимо ускорять ионы таких элементов, как германий, криптон, ксенон и более тяжелые - вплоть до урана. С этой целью в лаборатории в 1971 году впервые в мире была применена совместная работа двух циклотронов. Вначале ионы /германий, криптон, ксенон/ ускоряются на циклотроне У-300 до сравнительно небольшой энергии -  $\sim 1$  МэВ на нуклон. Выведенные из первого ускорителя ионы по ионопроводу длиной 70 м доводятся до циклотрона У-200, проходя при этом сложную систему поворотных магнитов и фокусирующих магнитных линз. При входе



во второй циклотрон они проходят через тончайшую углеродную пленку /толщина ее составляет доли микрона/ и резко увеличивают свой заряд, теряя часть электронов в углеродной пленке. В дальнейшем высокозарядные ионы ускоряются на У-200 до энергии 7 МэВ на нуклон, что, например, для ионов ксенона составляет 0,9 ГэВ. Интенсивность ионов ксенона составляет  $2 \cdot 10^{10}$  частиц/с ионов германия и криптона -  $10^{11}$  частиц/с, что в сотни раз превышает возможности ускорителей, работающих в других странах. Ныне в ОИЯИ сооружается новый мощный циклотрон У-400 и начата разработка проекта ускорителя, который позволит ускорять все элементы вплоть до урана с интенсивностью  $10^{13}$  -  $10^{14}$  частиц/с.

В лаборатории разработаны принципиально новые источники многозарядных ионов - высоковакуумный электронно-лучевой и лазерный.

В запуске ускорителей У-300 и У-200 и в осуществлении режима совместной их работы /тандем-циклотроны/, в создании физической аппаратуры, в обеспечении условий для надежной и долговременной работы всех базовых установок решающая роль принадлежит техническим службам лаборатории: коллективам конструкторского бюро, электротехнического отдела, отдела ускорителей.

Большой вклад в изготовление отдельных узлов циклотрона и физической аппаратуры внесли высококвалифицированные механики и рабочие экспериментально-механической мастерской.

Для автоматизации физических экспериментов коллективом отдела радиоэлектроники созданы два измерительных центра на базе многоканальных анализаторов, малых ЭВМ; работает вычислительный центр с ЭВМ МИНСК-32, разработана прецизионная аппаратура для спектрометров на полупроводниковых детекторах с энергетическим разрешением лучше 300 эВ; создана серия специализированных многопараметровых анализаторов

для опытов по синтезу и идентификации трансурановых элементов с комплексом аналого-цифровых преобразователей. Мощные ускорители тяжелых ионов, совершенная физическая аппаратура, четкая организация проведения экспериментов позволили коллективу добиться выдающихся успехов.

Вот их краткая хронология.

- 1961-1962 гг. - открытие нового физического явления - спонтанного деления ядер трансурановых элементов, находящихся в изомерном состоянии. Диплом № 52 с приоритетом от 24.1.1962 года.
- 1962 г. - открытие запаздывающей протонной радиоактивности нейтронодефицитных ядер. Диплом № 35 с приоритетом от 12.VII.1962 года.
- 1963-1966 гг. - открытие и изучение радиоактивных и химических свойств элемента 102 /жолотий/. На открытие изотопа  $^{256}_{102}$  выдан диплом № 34 с приоритетом от 9.VII.1963 года.
- 1964-1966 гг. - открытие и изучение радиоактивных и химических свойств элемента 104 /курчатовий/. Диплом № 37 с приоритетом от 9.VII.1964 года.
- 1965-1967 гг. - открытие и исследование радиоактивных и химических свойств элемента 103. Диплом № 132 с приоритетом от 20.IV.1965 года и 10.VIII.1967 года.
- 1970 г. - открытие и изучение радиоактивных и химических свойств элемента 105 /нильсборий/. Диплом № 114 с приоритетом от 18.II.1970 года.
- 1966-1971 гг. - открытие явления запаздывающего деления атомных ядер. Диплом № 160 с приоритетом от 12.VI.1971 года.

В 1969-1970 гг. получены экзотические нейтроно-обогащенные изотопы легких элементов, такие как углерод-20, азот-21, кислород-24, фтор-25, неон-26, В 1974 году - открытие и изучение радиоактивных свойств элемента 106.

В лаборатории проведен большой цикл работ по изучению механизма взаимодействия сложных ядер: реакций, протекающих с образованием составного ядра, многонуклонных передач, деления возбужденных ядер. Были экспериментально измерены ультракороткие времена жизни ядер /до  $10^{-18}$  с / с энергией возбуждения до 100 МэВ и изучены свойства высоковозбужденных ядерных состояний с большим угловым моментом.

Каждое из приведенных выше исследований и открытий является самостоятельным направлением, изучаемым различными способами во многих лабораториях мира.

### СИНТЕЗ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Из всего многообразия возможных направлений исследований, проводимых на пучках тяжелых ионов, синтез трансуранических элементов является наиболее фундаментальной и сложной проблемой.

Традиционные методы синтеза трансуранических элементов с помощью реакторов и подземных ядерных взрывов полностью себя исчерпали на фермии /100-й элемент/. Приоритет в открытии элементов 102, 103, 104, 105, 106 принадлежит Объединенному институту ядерных исследований. С помощью тяжелых ионов можно увеличивать порядковый номер элемента, из которого изготовлена мишень, на 10, 20, 30 единиц, и нет, по-видимому, принципиальных ограничений на получение элементов с любым порядковым номером. Однако про-

цесс образования новых тяжелых элементов имеет очень малую вероятность. Объясняется это тем, что при слиянии тяжелых ионов с ядрами мишени образуется "горячее" составное ядро, имеющее энергию возбуждения в несколько десятков МэВ. Ядра трансуранических элементов обладают большой делимостью, поэтому примерно лишь одна миллиардная часть образующихся составных ядер полностью "остывает" за счет испарения нейтронов и испускания гамма-квантов. В то же время другие каналы взаимодействия приводят к большому разнообразию реакций, создающих фоновые альфа- и спонтанно делящиеся активности. Выход этих активностей в сотни миллионов раз превышает сечение образования новых трансуранических ядер, что сильно усложняет идентификацию новых излучателей.

Важным условием успешного синтеза новых элементов является разработка в лаборатории физико-химических методов экспрессного выделения неизвестных продуктов реакции и их идентификации. Для синтеза новых трансуранических элементов за основу были взяты реакции полного слияния ядер, в которых за счет большого импульса, переданного тяжелым ионом, атомы нового элемента летят почти строго вперед, и их пробег в веществе мишени составляет примерно 0,5 - 1 мг/см<sup>2</sup>. Применяя мишени толщиной, не превышающей величины пробега ядер отдачи, можно обеспечить практически полное их выбивание. На основе механизма отдачи в лаборатории был разработан ряд уникальных быстродействующих методик. Это - механические системы - ленточные и дисковые транспортеры-сборники, позволяющие изучать изотопы с временами жизни до  $10^{-4}$  с, время-пролетные методики - с быстродействием до  $10^{-8}$  с и др. Большое значение для работ по синтезу трансуранических элементов имело создание высокочувствительных твердотельных трековых детекторов осколков спонтанного деления. Развиваются методы обработки природной слюды и фосфатного стекла, позволившие сни-

В 1969-1970 гг. получены экзотические нейтроно-обогащенные изотопы легких элементов, такие как углерод-20, азот-21, кислород-24, фтор-25, неон-26, В 1974 году - открытие и изучение радиоактивных свойств элемента 106.

В лаборатории проведен большой цикл работ по изучению механизма взаимодействия сложных ядер: реакций, протекающих с образованием составного ядра, многонуклонных передач, деления возбужденных ядер. Были экспериментально измерены ультракороткие времена жизни ядер /до  $10^{-18}$  с / с энергией возбуждения до 100 МэВ и изучены свойства высоковозбужденных ядерных состояний с большим угловым моментом.

Каждое из приведенных выше исследований и открытий является самостоятельным направлением, изучаемым различными способами во многих лабораториях мира.

### СИНТЕЗ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Из всего многообразия возможных направлений исследований, проводимых на пучках тяжелых ионов, синтез трансуранических элементов является наиболее фундаментальной и сложной проблемой.

Традиционные методы синтеза трансуранических элементов с помощью реакторов и подземных ядерных взрывов полностью себя исчерпали на фермии /100-й элемент/. Приоритет в открытии элементов 102, 103, 104, 105, 106 принадлежит Объединенному институту ядерных исследований. С помощью тяжелых ионов можно увеличивать порядковый номер элемента, из которого изготовлена мишень, на 10, 20, 30 единиц, и нет, по-видимому, принципиальных ограничений на получение элементов с любым порядковым номером. Однако про-

цесс образования новых тяжелых элементов имеет очень малую вероятность. Объясняется это тем, что при слиянии тяжелых ионов с ядрами мишени образуется "горячее" составное ядро, имеющее энергию возбуждения в несколько десятков МэВ. Ядра трансуранических элементов обладают большой делимостью, поэтому примерно лишь одна миллиардная часть образующихся составных ядер полностью "остывает" за счет испарения нейтронов и испускания гамма-квантов. В то же время другие каналы взаимодействия приводят к большому разнообразию реакций, создающих фоновые альфа- и спонтанно делящиеся активности. Выход этих активностей в сотни миллионов раз превышает сечение образования новых трансуранических ядер, что сильно усложняет идентификацию новых излучателей.

Важным условием успешного синтеза новых элементов является разработка в лаборатории физико-химических методов экспрессного выделения неизвестных продуктов реакции и их идентификации. Для синтеза новых трансуранических элементов за основу были взяты реакции полного слияния ядер, в которых за счет большого импульса, переданного тяжелым ионом, атомы нового элемента летят почти строго вперед, и их пробег в веществе мишени составляет примерно 0,5 - 1 мг/см<sup>2</sup>. Применяя мишени толщиной, не превышающей величины пробега ядер отдачи, можно обеспечить практически полное их выбивание. На основе механизма отдачи в лаборатории был разработан ряд уникальных быстродействующих методик. Это - механические системы - ленточные и дисковые транспортеры-сборники, позволяющие изучать изотопы с временами жизни до  $10^{-4}$  с, время-пролетные методики - с быстродействием до  $10^{-8}$  с и др. Большое значение для работ по синтезу трансуранических элементов имело создание высокочувствительных твердотельных трековых детекторов осколков спонтанного деления. Развиваются методы обработки природной слюды и фосфатного стекла, позволившие сни-

зять собственный фон детекторов до уровня одного следа от осколка за несколько десятков суток непрерывной работы аппаратуры. При этом удается надежно отделить треки, оставляемые осколками деления, от следов рассеянных тяжелых ионов.

Основой успеха лаборатории в работах по синтезу трансурановых элементов явилась тщательная разработка ядерно-физических способов идентификации изотопов, включающих классический метод перекрестных реакций, измерение зависимости выхода от энергий бомбардирующих частиц /функции возбуждения/, изучение угловых распределений продуктов взаимодействия, установление генетической связи неизвестных продуктов с известными изотопами, "задержанные совпадения" альфа-частиц и др. В лаборатории разработан оригинальный метод экспрессной газовой хроматографии для выделения трансактиноидных элементов с  $Z > 103$ . В этой работе принимали активное участие химики из ЧССР.

Таким образом, создание уникального ускорителя и источника тяжелых ионов, тщательное изучение природы фона и возможностей его снижения, разработка ядерно-физических и химических методов идентификации элементов позволили коллективу лаборатории успешно синтезировать новые элементы с порядковыми номерами 102, 103, 104, 105 и 106.

Все работы по синтезу новых элементов велись под непосредственным руководством Г.Н.Флерова и обеспечивались всеми научными и техническими подразделениями лаборатории.

Ярким примером исследований, проведенных в предельных по чувствительности и экспрессности условиях, является открытие 104 и 105 элементов и изучение их физических и химических свойств. Эти исследования имели фундаментальное научное значение, так как позволили предсказать, насколько далеко можно продвигаться в исследованиях более тяжелых элементов. Дан-

ные о химических свойствах элементов 104 и 105 оказались чрезвычайно важными для предсказания свойств более тяжелых элементов периодической системы Д.И.Менделеева.

104 элемент предложено назвать "Курчатовий" /символ  $Ku$ / в честь выдающегося ученого академика И.В.Курчатова, сыгравшего большую роль в развитии работ по синтезу новых элементов. Элемент 102 предложено назвать "Жолиотием" /символ  $Jl$ /, а 105 - "Нильсборием" /символ  $Ns$ / в честь выдающихся физиков Ф.Жолио-Кюри и Нильса Бора.

В лаборатории предложен новый метод синтеза тяжелых элементов. Экспериментально было показано, что при взаимодействии ионов с массой  $\geq 40$  а.е. /титан, хром, железо/ с ядрами  $^{208}Pb$  и его соседей, образуются составные ядра с малой энергией возбуждения 15-25 МэВ, которые с большой вероятностью переходят в основное состояние, испуская 1-3 нейтрона. Если использовать свинец в качестве мишени при синтезе трансфермиевых элементов вместо редких и сильно активных изотопов плутония, кюрия и калифорния, то полностью исключается фон спонтанного деления продуктов ядерных реакций, что позволяет применять высокочувствительную и экспрессную методику для обнаружения новых трансурановых элементов по спонтанному делению. Были синтезированы новые изотопы: фермия, 102 элемента, курчатовия с массовыми числами 253, 254, 255, 256, нильсбория с массовыми числами 255, 257, что позволило построить новую систематику спонтанного деления.

В 1974 году в лаборатории синтезированы изотопы элемента с атомным номером 106 и массовыми числами 257, 259 в реакциях слияния ядер свинца с ускоренными ионами хрома и получены первые результаты по свойствам их радиоактивного распада, ведутся опыты по синтезу 107 и 108 элементов. Открытие каждого после-

дующего элемента требует экспериментальной виртуозности, поскольку увеличивается нестабильность тяжелых ядер и резко уменьшается их время жизни.

### **РАБОТЫ ПО СИНТЕЗУ И ПОИСКУ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Прогресс, достигнутый в физике атомного ядра за последнее десятилетие, привел ученых к одной из важнейших и интереснейших в истории ядерной физики гипотез - предположению о том, что Периодическая система химических элементов, открытая Д.И. Менделеевым, не ограничивается известными в настоящее время элементами. Тщательное и систематическое изучение ядер трансурановых элементов, расчеты, проведенные теоретиками разных стран, показали, что своеобразная периодичность в свойствах ядер может привести к тому, что элементы с атомными номерами 114-126 снова могут оказаться сравнительно стабильными. Более того, расчеты приводят к неожиданному выводу: 114 элемент или его ближайшие соседи могут быть настолько устойчивыми, что имеет смысл не только синтезировать их на ускорителях, но и проводить поиски в природе. По оценкам, периоды полураспада таких ядер могут достигать  $10^8 - 10^9$  лет, что сравнимо с возрастом Солнечной системы, и, следовательно, возможно их обнаружение в земных минералах или космических лучах.

В связи с этим наметились два экспериментальных подхода к проблеме сверхтяжелых элементов: синтез в ядерных реакциях с тяжелыми ионами и поиск наиболее долгоживущих элементов в природе. Ученые лаборатории в 1968 году первыми в мире широким фронтом развернули работы по проблеме сверхтяжелых элементов. При этом было ясно, что если сверхтяжелые ядра и существуют, то получить их будет чрезвычайно трудно, и исследова-

тели должны быть готовы иметь дело на первых порах со считанными атомами. Следовало с самого начала создать уникальную сверхчувствительную измерительную аппаратуру.

В лаборатории были созданы большие пропорциональные счетчики и детекторы множественного рождения нейтронов с рекордной чувствительностью, а также установки, позволяющие одновременно измерять кинетическую энергию осколков спонтанного деления и среднее число нейтронов деления.

В химическом отделе лаборатории разработана специальная методика химической идентификации порядкового номера элемента. Работы по синтезу сверхтяжелых элементов на ускорителях проводились по двум направлениям.

В первом использовались реакции, идущие через стадию составного ядра с последующим испарением нейтронов. Были поставлены эксперименты по синтезу 125 элемента на пучке ускоренных ионов цинка и 122 элемента и его соседей на пучках ионов германия. Изготовленная аппаратура позволяла регистрировать новые спонтанно делящиеся ядра с периодом полураспада от  $10^{-3}$  с до 100 дней при условии, что сечение их образования больше  $10^{-34}$  см<sup>2</sup>, что на 6 порядков ниже теоретических оценок образования элементов с  $Z > 110$  в этих реакциях. Однако в результате экспериментов удалось лишь показать, что сечение образования элементов с  $Z > 110$  меньше, чем  $10^{-34}$  см<sup>2</sup>. Следует подчеркнуть, однако, что отсутствие эффекта не обязательно указывает на малую стабильность сверхтяжелых ядер. Вполне возможно, что в процессе образования составного ядра в указанных реакциях и его "охлаждения" играют роль факторы, значительно уменьшающие сечение образования нового элемента.

В 1964 году Г.Н. Флеровым был предложен иной метод синтеза сверхтяжелых элементов - получение ядер

таких элементов в качестве осколков, образующихся при делении очень тяжелых возбужденных ядер. В этом случае синтез сверхтяжелых ядер может происходить, минуя классическую стадию образования составного ядра. Для экспериментальной проверки метода было проведено систематическое изучение процесса деления возбужденных составных ядер в широком диапазоне масс и зарядов взаимодействующих частиц.

Эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов в качестве осколков деления были нацелены на синтез относительно долгоживущих ядер. В результате длительных облучений урановой мишени ионами ксенона-136 обнаружен неизвестный излучатель спонтанного деления с периодом полураспада около 150 дней, который может быть отнесен к одному из изотопов сверхтяжелых элементов. Однако из-за чрезвычайно малого эффекта /1 событие в 10 суток/ эти эксперименты можно будет продолжить только после существенного повышения интенсивности ионов ксенона.

Работы по синтезу сверхтяжелых элементов на пучках тяжелых ионов только начинаются. Не исключено, что для проникновения в новую область потребуются более мощные ускорители и пучки ионов тяжелее ксенона. Однако сложность задачи не останавливает исследователей, и работы по синтезу сверхтяжелых ядер начинают проводиться все более широким фронтом не только в ОИЯИ, но и в институтах США, ФРГ, Франции.

Для решения принципиально важной проблемы поиска сверхтяжелых элементов в природе необходимо было объединить усилия многих специалистов: физиков, химиков, геологов, геохимиков, минерологов, океанологов. Поэтому к работам были привлечены многие институты стран - участниц ОИЯИ.

Для идентификации спонтанно делящихся активностей использовались большие пропорциональные счетчики и

детектор с  $^3\text{He}$ -счетчиками, позволяющий определить присутствие неизвестной активности в ничтожных количествах - до  $10^{-16}$  весовых долей. Для защиты от космического излучения нейтронный детектор был помещен в соляной шахте в Закарпатье на глубину 1100 м водного эквивалента. Изучены сотни различных образцов, в которых содержатся химические аналоги предполагаемых сверхтяжелых элементов: свинцовые сульфидные руды и другие полиметаллические с сульфидами мышьяка и сурьмы; промышленные возгоны каменного литья, возгоны высокотемпературных фумарол вулканического происхождения. Исследованы также алюмосиликаты, обогащенные редкими щелочными элементами и таллием. Для поисков возможных объектов концентрации сверхтяжелых элементов были организованы специальные экспедиции. Из различных районов дна Тихого океана с глубины 5000 м во время экспедиции научно-исследовательского судна "Витязь" было добыто 9 тонн железомарганцевых конкреций. Для изучения состава осадков некоторых пресных арктических озер и возможного присутствия сверхтяжелых элементов была организована экспедиция на остров Хейса, исследованы термальные воды с полуостровов Челекен и Камчатки. Проанализирован состав ряда метеоритов, в которых предполагалось присутствие сверхтяжелых элементов.

К настоящему времени в опытах по поиску сверхтяжелых элементов получены лишь косвенные указания на их существование в природе. Необходимы дальнейшие методические усовершенствования, включающие химическую переработку больших количеств исследуемых руд, минералов и метеоритов для обогащения сверхтяжелыми элементами. Вместе с тем проводимые работы и уже созданные методики наряду с проблемой поиска сверхтяжелых элементов позволяют решать ряд принципиальных задач для геологии, геохимии, космохимии.



## СПОНТАННО ДЕЛЯЩИЕСЯ ИЗОМЕРЫ

В 1962 году в лаборатории в процессе работ по синтезу 104 элемента был открыт новый вид ядерной изомерии: спонтанно делящиеся изомеры. Ядро спонтанно делящегося изотопа в таком изомерном состоянии имеет вероятность деления в  $10^{25}$  раз больше, чем в основном состоянии. В 1965 году была выдвинута гипотеза о том, что столь резкое изменение свойств ядер связано с большой деформацией их в изомерном состоянии. Явление было названо "изомерией формы", но его природа оставалась загадкой. Открытие вызвало большой интерес ученых в СССР, Румынии, Дании, США, ФРГ и Англии, однако роль Лаборатории ядерных реакций в этих исследованиях осталась ведущей. Работы, проведенные здесь, позволили глубже проникнуть в механизм как спонтанного, так и вынужденного деления ядер, привели к гипотезе о сложной структуре барьера. В настоящее время известно уже более 30 спонтанно делящихся изомеров, которые детально исследуются в различных национальных центрах. В этих работах участвовали специалисты из большинства стран - участниц ОИЯИ: ВНР, ДРВ, ГДР, МНР, СРР, СССР.

В 1966-1971 гг., изучая спонтанное деление трансурановых элементов, ученые лаборатории обнаружили новое интересное явление: запаздывающее деление атомных ядер. Образующиеся в результате ядерных реакций нейтронодефицитные изотопы, удаленные от линии  $\beta$ -стабильности, испытывают  $\beta^+$ -распад. Часть дочерних атомных ядер образуется в возбужденном состоянии с энергией, превышающей потенциальный барьер деления, и испытывает деление. К настоящему времени синтезировано 4 изотопа, испытывающие запаздывающее деление после К-захвата. В ближайшее время предполагается проводить более широкие исследования этого явления.

Заканчивая обзор работ, выполненных в лаборатории по синтезу далеких трансурановых ядер и изучению свойств их распада, необходимо отметить, что эти работы получили широкое признание во всем мире, и лаборатория по праву считается лидером в этих исследованиях.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ ПРОТОНОВ

В 1962 году учеными лаборатории была открыта новая разновидность радиоактивного распада ядер - эмиссия запаздывающих протонов. Это явление характерно для значительного числа изотопов, перенасыщенных протонами. Пучки тяжелых ионов являются наиболее эффективным средством для синтеза таких изотопов. Процесс распада состоит из двух ступеней. Сначала испускается позитрон, часть энергии распада остается в ядре и передается протону, который имеет слабую связь с ядром. Протон посредством "туннельного" механизма проходит сквозь кулоновский барьер и вылетает из ядра. Вот примеры излучателей запаздывающих протонов:  $^{109}\text{Te}$ ,  $^{116}\text{Cs}$ ,  $^{119}\text{Ba}$ .

Совместно с физиками из ВНР сотрудники лаборатории провели широкий круг исследований, продемонстрировавших, что новое явление может быть с успехом использовано для получения важной информации о ядре, которую не дают другие методы /изучение особенностей бета-распада с высокой энергией, измерение массы изотопов, удаленных от долины стабильности и плотности возбужденных состояний в зависимости от энергии и т.п./. Были разработаны конкретные методы извлечения этой информации.

В настоящее время в экспериментах с запаздывающими протонами на пучке циклотрона тяжелых ионов - БЭМС-2 - используется специально разработанный в лаборатории быстродействующий масс-сепаратор.

Прибор обеспечивает непрерывное экспрессное выделение радиоактивных изотопов с заданным массовым числом и изучение свойств их радиоактивного распада. По своим параметрам он превосходит известные образцы.

Вслед за Лабораторией ядерных реакций в исследовании с протонными излучателями включились различные лаборатории в Канаде, США, ЦЕРНе. К настоящему времени подробно изучено около 30 протонно-активных изотопов. Число возможных протонных излучателей - не менее 200. Исследования радиоактивного распада с испусканием протонов - это новое направление ядерной физики. Оно уже дало важные сведения о структуре ядра. Следует ожидать, что развитие его в ближайшие годы приведет к новым интересным результатам.

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИЗОТОПОВ ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРЕДЕЛЬНО БОЛЬШИМ ИЗБЫТКОМ НЕЙТРОНОВ**

В ЛЯР впервые для получения легких ядер с большим избытком нейтронов были применены реакции передачи на тяжелых ионах. В результате экспериментов, начатых весной 1969 года, получены все известные до этого самые тяжелые изотопы легких элементов от  $^8\text{He}$  до  $^{40}\text{Cl}$  и синтезировано 29 новых нейтроноизбыточных изотопов; среди них такие, как  $^{20}\text{C}$ ,  $^{21}\text{N}$ ,  $^{24}\text{O}$ ,  $^{25}\text{F}$ ,  $^{26}\text{Ne}$ . В этих работах принимали участие физики из ВНР и ПНР. Показано, что выход тяжелых изотопов легких элементов в реакциях передачи с тяжелыми ионами в десятки и сотни раз больше, чем на пучках протонов высоких энергий, которые использовались до этого как наиболее эффективный метод получения таких

нуклидов. Были начаты эксперименты по более детальному изучению свойств этих изотопов и оценке границы ядерной устойчивости - одной из фундаментальных проблем ядерной физики: измерены массы тяжелых изотопов кислорода  $^{21}\text{O}$ ,  $^{22}\text{O}$ , продемонстрирована ядерная неустойчивость  $^{10}\text{Ne}$  и  $^{13}\text{Be}$ . Таким образом показано, что  $^8\text{He}$  является последним устойчивым ядром среди изотопов гелия. При проведении этих экспериментов использовалась новая экспериментальная методика регистрации продуктов реакций с тяжелыми ионами - комбинация магнитного анализа и метода, в котором с помощью полупроводниковых детекторов измеряются удельная ионизация и энергия частиц.

Радиоактивный распад легких нейтронообогащенных ядер исследовался с помощью электромагнитного масс-сепаратора, действующего непосредственно на пучке циклотрона У-300. С помощью этой установки изучены основные характеристики радиоактивного распада новых изотопов  $^{25}\text{Ne}$  и  $^{41}\text{Cl}$  и уточнена схема распада  $^{22}\text{F}$ .

### **ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТАВНЫХ ЯДЕР**

В 1969 году в Лаборатории ядерных реакций начат новый цикл исследований, связанных с измерением ультракоротких времен жизни возбужденных ядерных состояний. Реакции с тяжелыми ионами дают уникальные возможности проведения таких работ, поскольку продукты реакций - возбужденные ядра - движутся с высокой скоростью /2-3% скорости света/, что позволяет измерять время жизни состояний методом его сравнения с временем пролета ядром какого-либо малого расстояния. Выполнены измерения времен жизни тяжелых делящихся составных ядер в диапазоне  $/10^{-17} - 10^{-18} /$  с

с использованием метода, предложенного А.Ф.Тулиновым /МГУ/ и основанного на наблюдении эффекта теней в ядерных реакциях на монокристаллических мишенях. В этом методе время жизни состояния сравнивается с временем пролета ядром отдачи расстояния, близкого или меньшего, чем расстояние между упорядоченными цепочками атомов в монокристалле.

### УЧАСТИЕ В РЕШЕНИИ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Высокий уровень методических разработок и большой опыт, накопленный в лаборатории при решении научных проблем, позволил уделить значительное внимание использованию методов, аппаратуры и базовых установок для решения различных прикладных задач. Эти работы ведутся в нескольких направлениях.

В лаборатории разработана технология производства "ядерных фильтров" с диаметрами пор субмикронных размеров и пористостью до 20%. При производстве таких фильтров используются эффекты, возникающие во время прохождения энергичных тяжелых частиц через слой полимера. Вдоль трека частицы образуются нарушения материала, сохраняющиеся достаточно длительное время. При соответствующей химической обработке происходит избирательное травление материала вдоль треков с образованием пор. Применение ускорителя тяжелых ионов дает ряд существенных преимуществ в производительности и по целому ряду других качеств.

Важнейшим направлением использования научного потенциала лаборатории для решения народнохозяйственных задач является разработка методов радиоактивного анализа. Уникальное физическое и электронное оборудование позволило решать такие задачи, как проблема контроля загрязнения окружающей среды, изу-

чение роли микроэлементов в биологии, анализ геологических образцов.

### МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

С момента организации лаборатории вся ее научно-исследовательская деятельность осуществлялась в тесном контакте с институтами стран - участниц ОИЯИ: Институтом ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской АН и Университетом в Софии, Институтом атомной физики в Бухаресте и Центральным институтом физических исследований в Будапеште, Институтом физики в Ханое, Центральным институтом ядерных исследований в Россендорфе /ГДР/, Монгольским государственным университетом, университетами в Варшаве и Кракове, Институтом ядерной физики в Кракове.

Совместно с сотрудниками Института ядерных исследований и ядерной энергетики БАН /София/ с помощью метода, использующего эффект доплеровского смещения энергии гамма-излучения движущихся ядер, проводятся эксперименты по измерению времен жизни вращательных уровней нейтронодефицитных ядер, образующихся в реакциях с тяжелыми ионами. Определены времена жизни высокоспиновых возбужденных уровней изотопов иттербия с массовыми числами от 160 до 166 во временном диапазоне от  $10^{-9}$  до  $10^{-12}$  с. Для этих исследований разработан комплекс спектрометрической аппаратуры с полупроводниковыми детекторами.

Отделом радиоэлектроники лаборатории совместно с сотрудниками Центрального института физических исследований /ВНР/ проведен цикл работ по использованию малых ЭВМ в физических экспериментах.

Более 10 лет в лаборатории проводит эксперименты группа физиков из Центрального института ядерных исследований в Россендорфе /ГДР/. Они развивают методы спектроскопических исследований атомных ядер

на пучках ускоренных тяжелых ионов. Проведенные ими работы позволили получить новую информацию о свойствах высокоспиновых возбужденных состояний сферических и деформированных ядер, а также уровней сложной конфигурации в ядрах, которые могут иметь при небольшом возбуждении разную величину деформации.

Эта группа занимается также другой актуальной проблемой физики тяжелых ионов. С помощью высокоэффективной методики для спектроскопии рентгеновских лучей и мягких  $\gamma$ -квантов изучаются рентгеновские лучи, возникающие в процессах столкновения очень тяжелых ионов с атомами мишени с образованием квази-молекулярных состояний /в предельном случае квази-атомов/, в которых наблюдаются электронные оболочки атомов с суммарным зарядом -рассеивающихся ядер. При этом могут кратковременно наблюдаться электронные оболочки квазиатомов с порядковым номером значительно большим, чем 100. Такие исследования могут дать сведения об электронных состояниях очень тяжелых, не встречающихся в природе, квазиатомов. В частности, в будущем это может дать возможность экспериментальной проверки основ квантовой электродинамики в условиях сверхсильных полей.

С 1966 года в лаборатории работает группа физиков из Варшавского университета. Безжелезный тороидальный бета-спектрометр, а также электронная аппаратура к нему, изготовленная в Польше, были установлены на пучке тяжелых ионов.

Выполнены два интересных цикла работ. Первый - поиски ядер, предсказанных теоретиками, с отрицательной деформацией в области  $50 \leq Z \leq 82$ , в частности, в изотопах  $^{120-124}\text{Cs}$ . Второй - исследование ядер из области дважды замкнутых оболочек с  $Z=82; N=126$ . Ядра в этой области особенно удобны для проверки разных вариантов оболочечной модели. В результате исследований был обнаружен ряд новых изотопов и изо-

меров, получена важная информация для теоретических расчетов.

Группа польских физиков из Института ядерной физики в Кракове в течение ряда лет проводила изучение схем распада и характеристик возбужденных состояний ядер в широком диапазоне элементов Периодической системы Д.И.Менделеева. Ею проведен ряд экспериментов по определению частоты ларморовской прецессии магнитных моментов возбужденных состояний ядер во внутренних магнитных полях кристаллических решеток железа, кобальта и никеля.

Большой группой сотрудников лаборатории и специалистов стран - участниц Института проведен цикл работ по изучению выходов продуктов деления возбужденных ядер и реакций передач в широкой области масс и зарядов.

В работах по поиску сверхтяжелых элементов в природе приняли широкое участие ученые различных институтов НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СССР.

Лаборатория плодотворно сотрудничает со специалистами Монгольского государственного университета в области применения диэлектрических детекторов в физике, геологии и биологии. На базе полученного из ВНР нейтронного генератора НГ-160 большая и важная работа велась учеными ДРВ по исследованию ядерных реакций для применения их в активационном анализе.

Специалисты лаборатории и физики ВНР, ГДР, ПНР и СРР проводят совместные работы по совершенствованию базовых установок в этих странах. Особенно нужно отметить эффективное и плодотворное сотрудничество лаборатории с Варшавским центром ядерной физики в создании для польских физиков нового изохронного циклотрона тяжелых ионов У-200. Большая помощь, оказываемая специалистами лаборатории в создании этого ускорителя, позволит в кратчайшие сроки расширить экспериментальную базу стран-участниц для исследований на пучках тяжелых ионов. Вопросами техники

ускорения тяжелых ионов интересуются и другие научные центры стран - участниц ОИЯИ.

Большая часть совместных работ сопровождается командировками специалистов лаборатории в страны-участницы, где проводятся обсуждения, консультации, а также эксперименты непосредственно на установках.

Приезд в ОИЯИ специалистов из этих стран позволяет использовать их помощь и консультацию в работах, проводимых в ЛЯР, а также стимулировать развитие исследований, проводимых в странах-участницах.

Лаборатория сотрудничает с Институтом ядерной физики в Орсе /Франция/ в области изучения свойств тяжелых и сверхтяжелых ядер с помощью многозарядных ионов. Продолжается сотрудничество с Институтом Н.Бора в Копенгагене, с научными центрами ФРГ и других стран.

Значительные успехи лаборатории стали возможны только благодаря концентрации усилий коллектива на основных направлениях, тесному взаимодействию научных и технических подразделений и широкому международному сотрудничеству.

За синтез курчатовия и изучение его физических и химических свойств, за открытие спонтанно делящихся изомеров Г.Н.Флерову, В.А.Друину, И.Зваре, С.М.Поликанову в 1967 году была присуждена Ленинская премия. За синтез и изучение свойств атомных ядер вблизи границы ядерной устойчивости Г.Н.Флерову, В.З.Белову, В.В.Волкову, В.А.Карнаухову, Ю.В.Лобано-

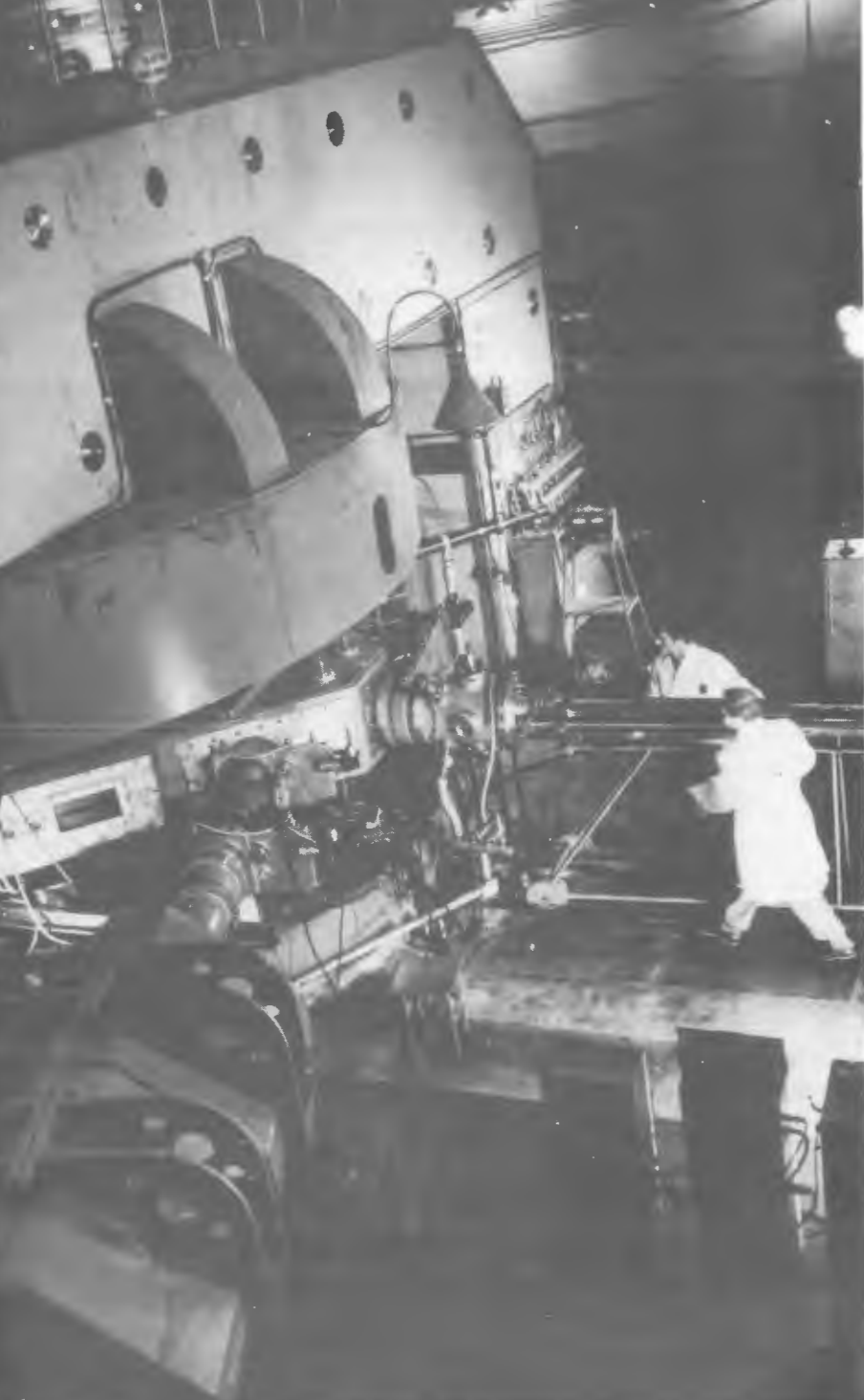
ву, В.Л.Михееву, Ю.Ц.Оганесяну, А.С.Пасюку, Л.А.Петрову, В.М.Плотко, Г.М.Тер-Акопяну была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники за 1975 год. Лауреатами Государственной премии являются Ю.П.Гангрский /1968 г./ и С.А.Карамян /1972 г./. За работу по изучению особенностей образования и распада тяжелых трансурановых ядер в реакциях с тяжелыми ионами в 1967 году группе сотрудников Лаборатории была присуждена премия Ленинского комсомола.

Дипломами Государственного Комитета Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий были отмечены выдающиеся научные достижения 30 сотрудников лаборатории.

Помимо ученых, удостоенных Ленинской и Государственной премий, существенный вклад в научные достижения лаборатории внесли В.С.Барашенков, И.В.Колесов, Б.В.Фефилов /СССР/, К.Каун /ГДР/, С.Хойнацки /ПНР/, Б.Бочев /НРБ/, И.Ланг /ВНР/, Фам Зуй Хиен /ДРВ/, Ом Зай Хун /КНДР/, Г.Индреаш /СРР/, О.Отгонсурен /МНР/.

В выполнении программы научно-исследовательских и научно-технических работ лаборатории принимали участие специалисты институтов стран-участниц ОИЯИ: А.С.Карамян, Б.М.Маков, В.М.Струтинский /СССР/, К.Александр /ГДР/, А.Хрынкевич /ПНР/, Н.Вылков /СРР/ и другие.





Лаборатория ядерных реакций

В Институте действует мощный циклический ускоритель много-  
← зарядных ионов - циклотрон У-300.

Группа ученых Института удостоена Ленинской  
премии за цикл работ по синтезу и исследованию  
трансурановых элементов. На снимке: лауреаты  
Ленинской премии Г.Н.Флеров, С.М.Поликанов,  
И.Звара, В.А.Друин.







Уникальные ускорители Дубны служат базой для многих совместных работ ОИЯИ и национальных институтов стран - членов ОИЯИ. Польский ученый А.Хрынкевич возглавил исследования схем распада и характеристик возбужденных ядер в широком диапазоне элементов. Эксперименты проводились на ускорителе тяжелых ионов У-300. Участники работ /слева направо/: К.Крулас, А.Баланда, А.Хрынкевич.



Впервые в ускорительной технике осуществлено тандемное соединение циклотронов У-300 и У-200, что позволило ускорить тяжелые ионы германия, криптона, ксенона до энергии  $\sim 8$  МэВ на нуклон. Получены пучки интенсивностью до  $10^{11}$  частиц/с.

Объединенный институт оказывает помощь Варшавскому центру ядерной физики в создании изохронного циклотрона У-200. На снимке: заместитель директора Лаборатории ядерных реакций С.Хойнацкий и заместитель начальника отдела ускорителей В.С.Алфеев осматривают узлы действующего в Дубне циклотрона У-200.





Успеху работ по синтезу новых элементов способствовало создание в Институте физических и химических методов экспрессного выделения продуктов ядерных реакций и их идентификации.

Наладку установки для исследования короткоживущих альфа-радиоактивных трансфермиевых элементов ведет научный сотрудник Ю.В.Лобанов.



Установка для синтеза спонтанно делящихся изотопов фермия, курчатовия и нового, 106-го элемента. Инженер Н.А.Данилов и механик В.М.Плотко готовят аппаратуру к работе.



Радиохимик В.З.Белов производит установку мишени в газохроматографической системе для экспрессного химического анализа продуктов ядерных реакций.

Для получения легких ядер с большим избытком нейтронов применены реакции передачи на тяжелых ионах. В новом методе используются тонкие полупроводниковые детекторы и электромагнитный анализатор продуктов ядерных реакций.

Научные сотрудники Г.Ф.Гриднев, В.Л.Михеев, А.Г.Артюх, Я.Вильчински и лаборант А.Н.Золкин за наладкой аппаратуры.

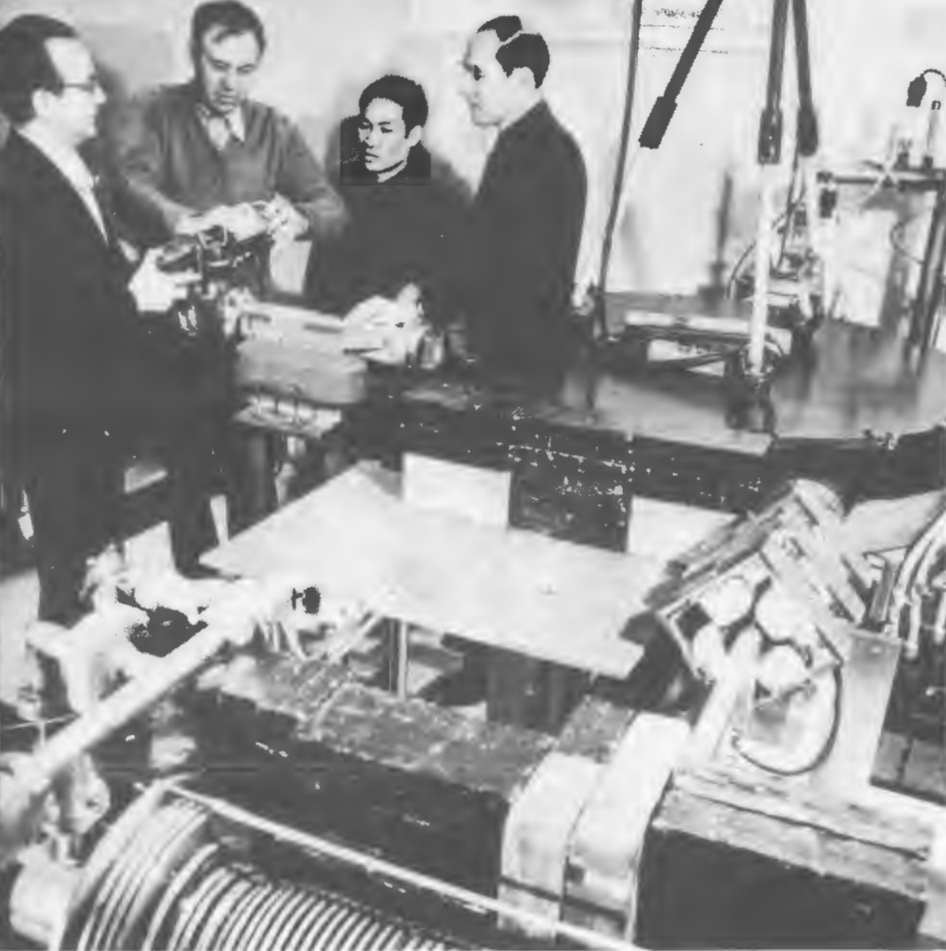


Камера специальной конструкции, входящая в экспериментальную установку /изготовлена в Венгрии/.

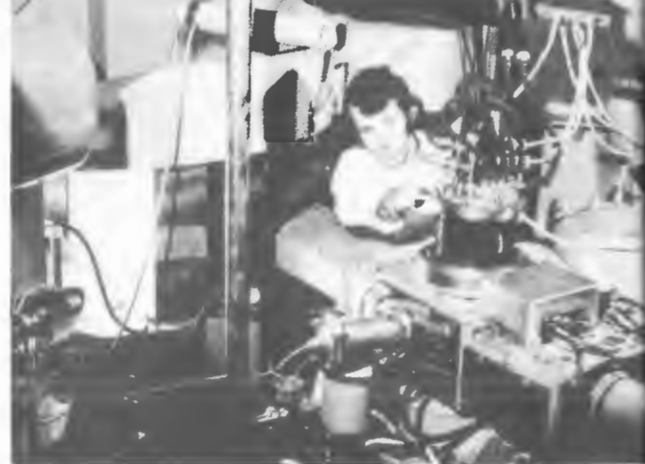


На пучке тяжелых ионов установлен безжелезный торондальный бета-спектрометр, изготовленный в Варшавском университете. С его помощью группа польских физиков ведет поиск ядер специфических форм. Научные сотрудники Т.Морек, К.Дростэ и лаборант Ю.Н.Графов за сборкой спектрометра.





Для исследований спонтанно делящихся изотопов используется микротрон на энергию электронов 15 МэВ. Подготовку к эксперименту ведут А.Г.Белов, Б.Н.Марков, Нгуен Конг Хань и начальник сектора Ю.П.Гангрский.



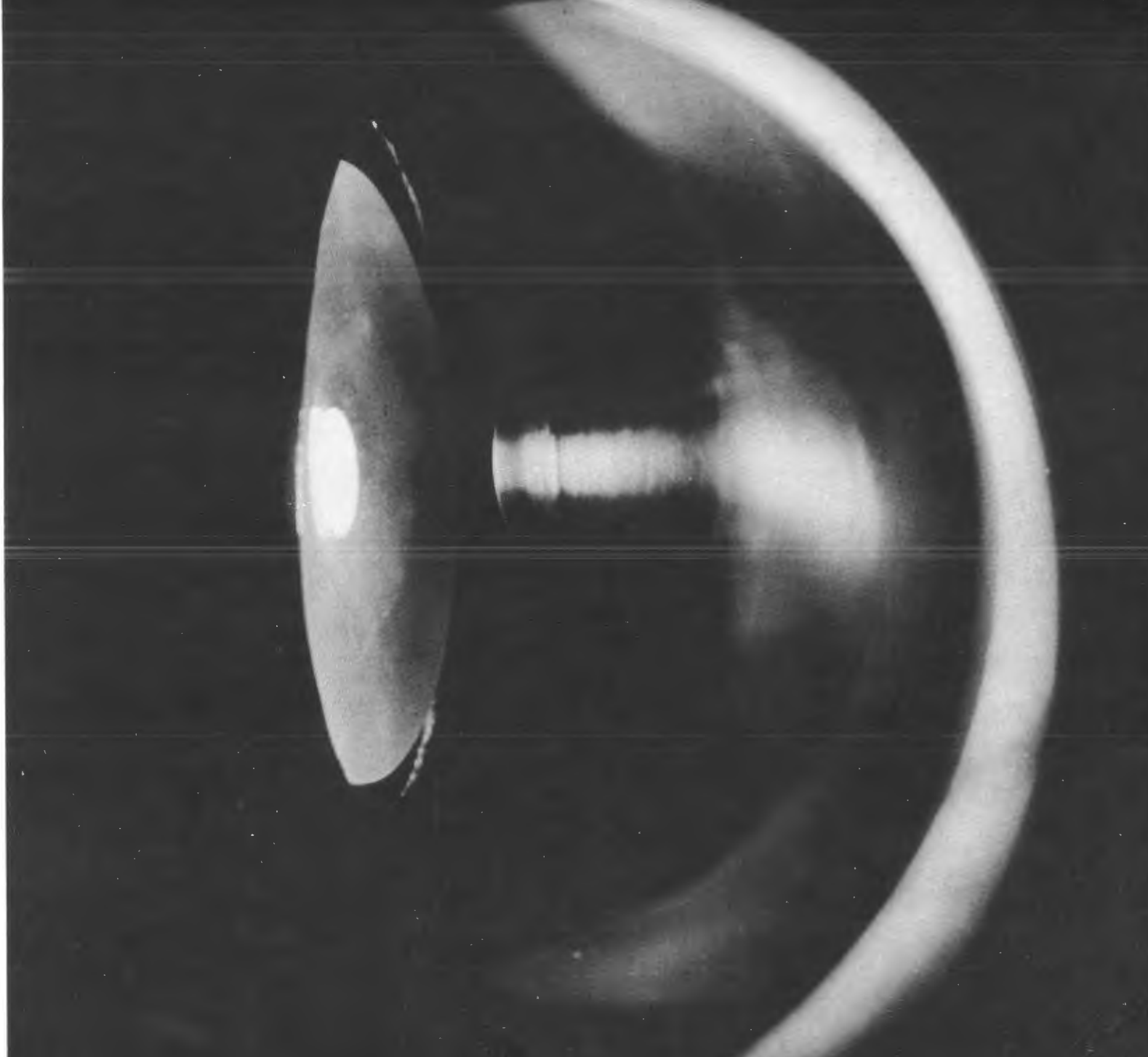
Быстродействующий масс-сепаратор на пучке ускоренных ионов используется для изучения протонной радиоактивности ядер. Научный сотрудник Д.Д.Богданов готовит установку к работе.

Научные сотрудницы П.Гинппер и В.Нойберт ведут подготовку аппаратуры для измерения мгновенных и запаздывающих гамма-спектров, возникающих в ядерных реакциях с тяжелыми ионами.



Совместные эксперименты ученые ОИЯИ и Лаборатории имени Р.Бернаса /Орсэ, Франция/ провели на пучке тяжелых ионов дубнейского циклотрона. Работы выполнялись с помощью французского масс-сепаратора. Группа участников эксперимента: научный сотрудник ОИЯИ Ю.Э.Пеннонжевич и французские ученые профессор Р.Клапш, Д.Июкоз, В.Рейсдорф, Р.Фержо.





Ионный источник. ▶





Цикл работ по изучению характерных времен жизни ядерных состояний был проведен Б. Бочевым, С. А. Карамяном, Т. Бочевой, В. В. Каманиным, М. Титиричем.



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  $10^{-9}$  с.







Радиохимические работы занимают важное место в исследованиях ядерных реакций, происходящих под действием тяжелых ионов. Научные сотрудники Ю.С.Короткин и К.А.Гаврилов проводят радиохимическое разделение облученной мишени.



В Дубне на базе изготовленного в Венгрии нейтронного генератора ученые из ДРВ выполнили исследования ядерных реакций для применения полученных данных в активационном анализе.

Радиохимики Ким Де Ен, Нгуен Монг Шинь и А.Ададек.





Ученые Объединенного института ведут широкий поиск сверхтяжелых элементов в природе. Следы этих элементов ищут в старинных образцах хрусталя и свинцового стекла, метеоритах, подземных водах, железомарганцевых конкрециях.

Научные сотрудники В.П.Перельгин и О.Отгонсурен изучают возможность выявления и идентификации следов сверхтяжелых космических ядер в минералах из метеоритов Липовский Хутор и Марьялахти.



Следы тяжелых ядер первичных космических лучей в оливине из метеорита Липовский Хутор.

В соляную шахту на глубину 1100 метров водного эквивалента был помещен для защиты от космического излучения нейтронный спектрометр. Этот прибор позволяет определить присутствие неизвестных активностей в ничтожных количествах - до  $10^{-16}$  весовых долей.

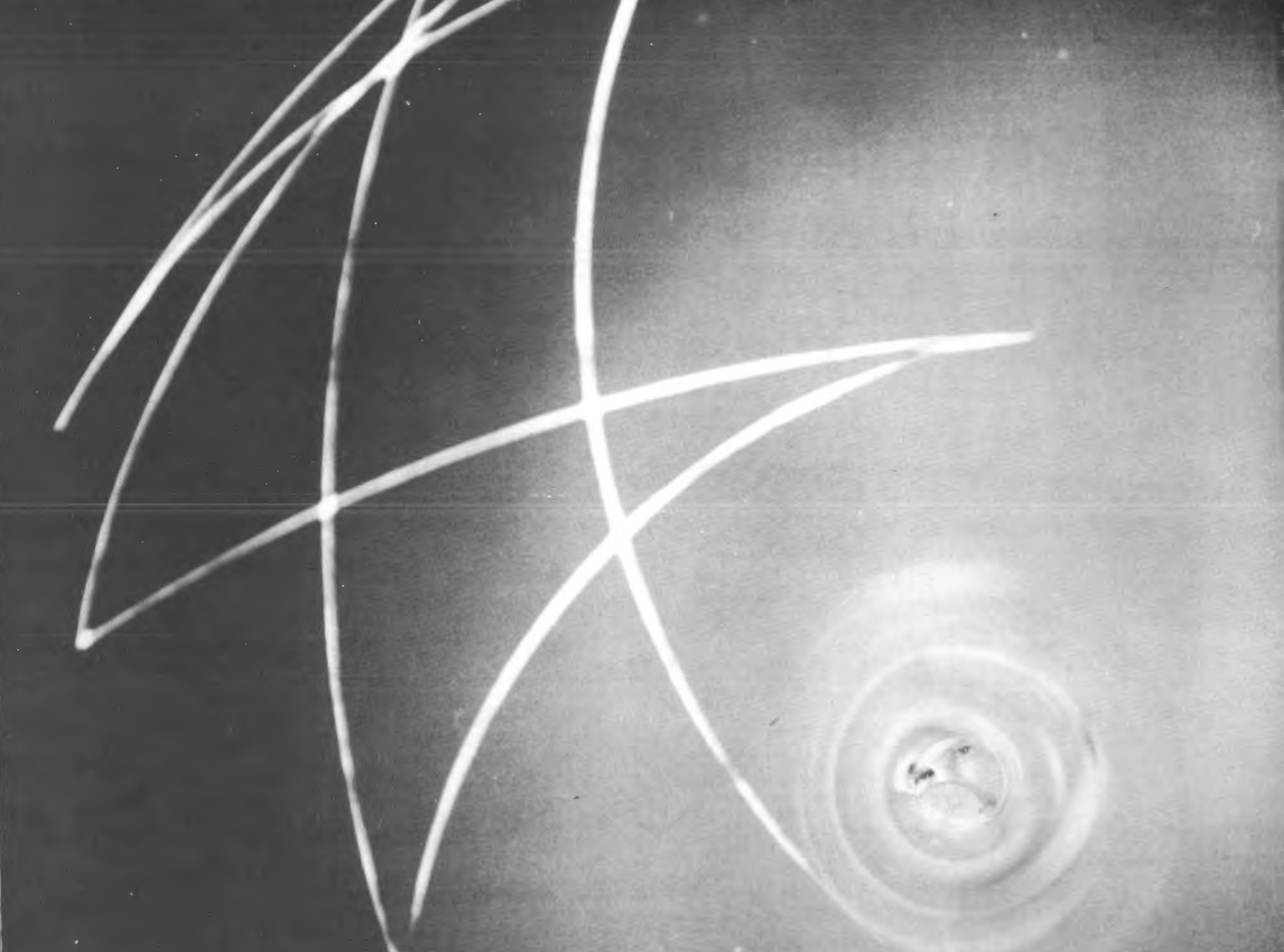




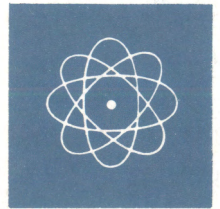
На полуострове Челекен /Каспийское море/ в районе глубинного разлома земной коры ученые исследовали подземные воды, содержащие аналоги сверхтяжелых элементов - свинец, ртуть, таллий.

Дубненские физики приняли участие в экспедиции советского научно-исследовательского судна "Витязь", на котором из разных районов Тихого океана с глубины 5 тыс. метров доставлены железомарганцевые конкреции.





**ЛАБОРАТОРИЯ  
НЕЙТРОННОЙ  
ФИЗИКИ**





## БАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

Базовой установкой Лаборатории нейтронной физики /ЛНФ/ является импульсный реактор на быстрых нейтронах - ИБР, запущенный в 1960 году. До сих пор он является единственным в мире импульсным реактором периодического действия.

Основная часть активной зоны реактора состоит из плутониевых стержней, вспомогательная /вкладыш из урана-235/ помещена на вращающийся диск. Благодаря этому реактор создает мощные вспышки - импульсы нейтронного излучения с частотами повторения от ста до четырех в секунду. Возможен режим более редких импульсов. Длительность нейтронных вспышек реактора составляет  $\sim 60$  мкс и не зависит от частоты их повторения. В моменты импульсов реактор находится в надкритическом состоянии, и его мощность достигает  $100$  МВт при 4 вспышках в секунду со средней тепловой мощностью всего  $25$  кВт. Таким образом, средняя мощность реактора настолько мала, что для отвода тепла достаточно воздушного охлаждения, а это значительно упрощает конструкцию реактора. Опыт длительной

эксплуатации показал, что ИБР является высокостабильным, надежным и безопасным в работе аппаратом, эффективным в физических исследованиях. Из зала реактора для проведения экспериментов выведены 8 пучков /нейтроноводов/, по одному из которых нейтроны летят в вакууме на расстояние  $1$  км.

Для проведения экспериментов, требующих более коротких, чем  $60$  мкс, импульсов, используется режим работы реактора с инжектором - линейным ускорителем электронов на  $40$  МэВ ЛУЭ-40. Пучок электронов выведен на дополнительную урановую мишень, помещенную внутри активной зоны реактора. Нейтроны, получаемые в мишени в результате фотоядерной реакции в течение короткого / $2$  мкс/ импульса, умножаются в  $100$  или  $200$  раз в реакторе, работающем в подкритическом режиме. Реактор в этом случае используется как импульсный бустер, в котором все размножение нейтронов происходит только на мгновенных нейтронах деления. Это позволяет умножать в сотни раз число нейтронов без затяжки импульса, связанной с запаздывающими нейтронами. Такая система импульсного бустера, до сих пор единственного, была введена в действие в 1964 году.



Помимо ИБР и ЛУЭ-40, в число установок, работающих в ЛНФ, входят два электростатических ускорителя ЭГ-5 и ЭГ-2 типа Ван-де-Граафа. На установке ЭГ-5 ускоряются протоны, дейтроны и ионы гелия-3 до энергии 5 МэВ. На ЭГ-2 ускоряется тритий. ЭГ-5 имеет 6 пучков, выведенных в два экспериментальных зала.

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Название лаборатории как нельзя лучше передает сущность проводимых здесь исследований - исследований с помощью нейтронов. Особенностью нейтрона, определяющей его преимущество для широчайшего круга экспериментов, является отсутствие электрического заряда. Он способен в силу этого проникать в любые ядра и при любой энергии. При взаимодействии с ядрами так называемых резонансных нейтронов, энергию которых можно очень точно измерить /она лежит в пределах от 1 эВ до 10 кэВ/ образуются компаунд-состояния - ядерные уровни с энергией возбуждения 6-10 МэВ /нейтронные резонансы/. Интерес представляют различные квантовые характеристики этих уровней: ширина, электромагнитный момент, спин. Будучи незаряженным, нейтрон обладает магнитным моментом, притом энергия медленных /"тепловых"/ нейтронов близка к энергии атомных и внутримолекулярных движений в твердых телах и жидкостях. Благодаря этому нейтрон является уникальным зондом для изучения магнитных свойств, структуры и динамики конденсированных сред. Сам нейтрон, как элементарная частица, также служит объектом изучения, вызывая пристальный интерес физиков.

Все названные особенности этой частицы находят отражение в исследованиях лаборатории, которые ведутся в областях:

- ядерной физики /нейтронная спектроскопия ядер/;

- физики элементарных частиц /фундаментальные свойства нейтрона/;

- физики твердого тела /исследования конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов и эффекта Мессбауэра/.

Реактор ИБР с инжектором представляет большие возможности для одновременного проведения исследований в названных областях, так как он сочетает в себе преимущества как реакторов - большую светосилу, так и ускорительных установок - импульсность. В лаборатории ведутся также исследования легких ядер с помощью заряженных частиц, ускоренных посредством электростатических генераторов.

### РАЗВИТИЕ ИБРА

Принцип импульсного реактора ИБР был предложен первым директором ОИЯИ Д.И.Блохинцевым. Разработка проекта реактора была начата еще в Физико-энергетическом институте Госкомитета по использованию атомной энергии СССР. В последующем работы проводились совместно с ОИЯИ. Первый вариант реактора, запущенный 23 июня 1960 года, был рассчитан для работы на средней мощности 1 кВт, однако оказалось, что он способен обеспечивать мощность 3 кВт, что и использовалось в большинстве экспериментов. Первым инжектором ИБРа для использования его в качестве импульсного бустера по предложению И.М.Франка и Ф.Л.Шапиро служил ускоритель электронов - микротрон, построенный в 1964 году в сотрудничестве с Институтом физических проблем АН СССР. 10 июня 1969 года был введен в действие ИБР-30 - новый модифицированный вариант реактора ИБР с улучшенной конструкцией ряда узлов и новой системой воздушного охлаждения. Средняя мощность

реактора выросла в 8 раз и составила 25 кВт. 24 марта 1970 года вступил в строй новый инжектор к реактору - линейный ускоритель электронов на энергию 40 МэВ с импульсным током 200 мА.

В 1971 году за создание исследовательского реактора ИБР и реактора ИБР с инжектором Д.И.Блохинцев, И.М.Матора, С.К.Николаев, В.Т.Руденко, И.М.Франк, Е.П.Шабалин, Ф.Л.Шапиро были удостоены Государственной премии СССР.

С 1970 года в лаборатории началось строительство мощного импульсного реактора на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением. Реактор получил название ИБР-2, проектируемая величина его средней тепловой мощности составляет 4 МВт. Проектируется и более мощный инжектор к будущему реактору - ускоритель электронов индукционного типа на энергию 30 МэВ, с током в импульсе до 250 А.

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Все эксперименты на ИБРе ведутся по методу времени пролета. Любой реактор дает сплошной энергетический спектр нейтронов, однако ИБР испускает их импульсами, обеспечивая эффективную возможность спектроскопии по времени пролета. Каждая вспышка реактора - это начало отсчета времени, относительно которого измеряется момент регистрации нейтрона, пролетевшего заданное расстояние от реактора до детектора. Время пролета измеряется с помощью сложных радиоэлектронных приборов - многоканальных временных анализаторов. В Лаборатории нейтронной физики был создан измерительно-вычислительный центр, позволивший накапливать и обрабатывать экспериментальные данные централизованно. Здесь сосредото-

чены многоканальные анализаторы разного типа и устройства вывода информации на бумажную ленту, графопостроитель и в вычислительную машину БЭСМ-4. Измерительный центр связан с более мощными машинами ЛВТА посредством фортранной станции.

### НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛНФ ЗА 20 ЛЕТ

#### Нейтронная спектроскопия ядер

Научные публикации сотрудников Лаборатории нейтронной физики, посвященные результатам исследования свойств ядер на ИБРе, впервые увидели свет в 1962 году. Были получены подробные данные о свойствах индивидуальных ядерных уровней, в особенности об их спинах и радиационных ширинах, имеющие большое научное и прикладное значение. В измерениях широко применялись разделенные изотопы, предоставлявшиеся Госфондом стабильных изотопов СССР. Для делящихся ядер были измерены важные для ядерной энергетики характеристики, включая энергетическую зависимость отношения поглощения к делению. Эти работы внесли существенный вклад в классическую нейтронную спектрометрию, так как их результаты обогатили имевшиеся представления о статистических свойствах ядер, о нейтронной силовой функции, о систематике радиационных ширин резонансов. Измеренные характеристики нейтронных резонансов вошли в международную сокровищницу экспериментальных данных - "Атлас нейтронных поперечных сечений". Лаборатория нейтронной физики быстро приобрела известность как один из мировых центров исследований в области нейтронной физики.

### *Поляризованные нейтроны и ядра*

При взаимодействии медленных нейтронов с ядрами, содержащими нечетное число протонов или нейтронов, возникают два класса состояний, отличающихся друг от друга по спину. Для того чтобы определить спин нейтронного резонанса, обычно используют косвенные методы. Прямым способом определения спинов могут служить измерения с поляризованными нейтронами и поляризованными ядрами. Метод получения пучков поляризованных нейтронов в резонансной области энергий впервые был разработан в ЛНФ. Им явился метод пропускания нейтронов через поляризованную протонную мишень, предложенный в 1963 году и реализованный в установке для динамической поляризации протонов. Плодотворность его была продемонстрирована при измерении спинов резонансов гольмия. Метод был предметом обсуждения на Международной конференции по нейтронной физике в Антверпене в 1965 году и в дальнейшем стал широко применяться. Одновременно с получением поляризованных нейтронов была создана и поляризованная дейтронная мишень. Эксперимент с поляризованными нейтронами и дейтронами решил старый спор физиков-теоретиков о характере спиновой зависимости амплитуд нейтрон-дейтронного рассеяния.

### *Магнитные моменты компунд-состояний*

Магнитные моменты высоковозбужденных компунд-состояний ядер /нейтронных резонансов/ до недавнего времени не измерялись. И дело было не в отсутствии научного интереса или

любопытности физиков, а в том, что и здесь не было известно, как это сделать, поскольку время жизни ядра в возбужденном состоянии очень малое - менее  $10^{-14}$  с. В 1967 году в ЛНФ предложили измерять магнитные моменты с помощью наблюдения сдвига нейтронных резонансов ядер, охлажденных до сверхнизких температур в присутствии очень сильного магнитного поля. Для этой цели использовались внутренние магнитные поля, создаваемые самими атомами. Магнитные моменты были измерены для нескольких резонансов эрбия и диспрозия. Теоретики Дубны, предсказавшие порядок величины моментов высоковозбужденных состояний, оказались правы: экспериментальные величины близки к значениям магнитных моментов низколежащих ядерных уровней.

### *Альфа-распад компунд-состояний*

Альфа-распад ядер изучается давно, со времени открытия радиоактивности, однако альфа-распад ядер, находящихся в высоковозбужденных компунд-состояниях, не наблюдался. В 1966 году физики ЛНФ первыми опубликовали результаты по альфа-распаду нейтронных резонансов неодима и самария. Трудность эксперимента заключалась в том, что время жизни ядер в таких возбужденных состояниях настолько мало, что альфа-распад, как правило, не успевает произойти. Создав оригинальные детекторы высокой чувствительности и используя мощные нейтронные потоки реактора ИБР, ученые ЛНФ под руководством Ю.П.Попова осуществили эксперименты, в которых удалось среди миллиона случаев испусканий гам-

ма-лучей, возникающих при захвате нейтрона, зарегистрировать появление одной альфа-частицы. В дальнейшем удалось не только сосчитать эти альфа-частицы, но и измерить их энергетические спектры для каждого резонанса в отдельности. Результаты получили широкую известность ввиду их перспективности для изучения высоковозбужденных состояний ядер. Совместные с ЛНФ работы по этой теме ведут институты Чехословакии и Лодзинский университет /ПНР/.

Теоретическими аспектами альфа-распада ядер из нейтронных резонансов занимаются теоретики ОИЯИ, и можно надеяться, что объединение усилий экспериментаторов и теоретиков даст свои плоды.

#### *Ультрахолодные нейтроны*

В 1959 году советский теоретик академик Я.Б.Зельдович обратил внимание на особые свойства очень медленных, со скоростями менее 10 м/с, ультрахолодных нейтронов /УХН/ и предсказал необычную возможность хранения их в замкнутых сосудах. Обнаружение ультрахолодных нейтронов оказалось весьма трудным делом, поскольку их доля в тепловом спектре нейтронов, получаемых на реакторе, составляет только одну стомиллиардную часть. В 1968 году на ИБРе под руководством проф. Ф.Л.Шапиро было осуществлено первое успешное наблюдение ультрахолодных нейтронов. В дальнейшем в совместной работе ЛНФ и Института атомной энергии им. И.В.Курчатова были проведены эксперименты по хранению УХН и остроумные опыты по измерению их спектра, в которых ультрахолодные нейтроны поднимались на заданную высоту или падали вниз. Время хранения УХН в замкнутых сосудах порядка 30 с уже достигнуто. Обнаружен эффект аномального поглощения УХН, механизм которо-

го пока не ясен. Выяснению его посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ последних лет. От исследователей ультрахолодных нейтронов ожидают результатов, которые позволят применять УХН в нейтронной оптике, в физике твердого тела и в физике элементарных частиц.

В исследования ультрахолодных нейтронов включились Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН и ряд институтов Советского Союза. Особенно перспективно измерение электрического дипольного момента самого нейтрона в эксперименте с применением УХН.

#### *Эффект Мессбауэра*

Широко известна громадная роль эффекта ядерного гамма-резонанса в современной науке и технике. Лаборатория нейтронной физики была в числе первых, начавших его изучение. Здесь под руководством Ю.М.Останевича осуществлены исследования свойств ряда сплавов, минералов, метеоритов и различных химических соединений. В 1971 году в ЛНФ освоена методика работы с цинком-67 - уникальным мессбауэровским излучателем с самой узкой линией. В экспериментах с цинком-67 получена новая оценка элементарной длины. ЛНФ помогает становлению работ по ядерному гамма-резонансу в Демократической Республике Вьетнам.

#### **ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Характерной особенностью физики последних десятилетий является рост исследований в области физики

твердого тела. Это нашло отражение и в научной программе ИБРа.

Ко времени пуска реактора в 1960 году исследования конденсированных сред для нейтронной физики были еще молодым направлением. Метод времени пролета практически не применялся, и в ЛНФ пришлось начать с его разработки. ИБР, построенный для исследований преимущественно в области ядерной физики, оказался при этом исключительно эффективным и для исследований конденсированных сред. Среди импульсных источников нейтронов он имеет оптимальную длительность импульса для таких исследований, а по плотности потока в импульсе, как уже отмечалось, сравним с лучшими исследовательскими реакторами. Особенно продуктивными оказались следующие основные методы и направления работ.

*Нейтронный дифрактометр,  
основанный на использовании метода времени пролета*

В Лаборатории предложен и в результате работ, выполненных в ЛНФ и в Варшаве в 1963 году, обоснован новый метод нейтроноструктурного анализа. Если в обычном методе задается длина волны излучения и определяется угол, удовлетворяющий условию Брэгга-Вульфа, то в данном случае задается угол, и по времени пролета определяется длина волны, удовлетворяющая этому условию. Теоретически /А. Холас, ПНР/ и экспериментально была доказана возможность таких геометрических условий, при которых происходит так называемая временная фокусировка пучка, позволяющая работать без его коллимации. Такая методика обеспечивает наиболее высокую светосилу при изучении поликристаллов, поэтому ее используют теперь даже на стационарных реакторах, пучок которых искусственно прерывается селектором.

Второй особенностью метода, определяющей его перспективность, является увеличение разрешающей способности с увеличением длины волны. В последнее время этим методом исследована с рекордной разрешающей способностью дифракция нейтронов в соединениях с довольно сложной элементарной ячейкой. Полученные результаты поставили на очередь изучение структуры сложных органических молекул - молекул живого вещества. Работы в этом направлении ведутся.

Большие перспективы открылись в исследованиях динамики магнитных структур в импульсных магнитных полях большой силы. Импульсный реактор обеспечивает уникальные возможности для изучения свойств вещества в экстремальных условиях, которые можно создавать лишь импульсами, на короткие промежутки времени.

Использование дифракции нейтронов оказалось неожиданно перспективным и для исследования проблемы физики элементарных частиц, а именно, нейтрон-электронного взаимодействия, обусловленного структурой нейтрона. Дифракционный эксперимент оказывается наиболее эффективным при условии сильного подавления ядерного рассеяния для избранного изотопа. Таким изотопом оказался вольфрам-186, с которым ныне ведутся эти исследования.

*Метод обратной геометрии  
и двойной спектрометр неупругого рассеяния*

Вторым направлением работ по физике твердого тела на ИБРе является изучение с помощью неупругого рассеяния нейтронов атомных и молекулярных процессов, в которых медленный нейтрон теряет или приобретает энергию. Использование импульсного реактора позволило разработать в ЛНФ исключительно удобный метод исследования неупругого рассеяния - так называемый метод обратной геометрии. В этом методе энергия

нейтрона после рассеяния фиксируется, например, с помощью бериллиевого фильтра, установленного перед детектором /фильтр пропускает только холодные нейтроны/, в то время как начальная энергия нейтрона, проходящего на рассеиватель, измеряется по методу времени пролета. Этот метод дает наилучшие результаты для тех видов неупругого рассеяния, при которых молекулам вещества передается сравнительно большая энергия. Для других видов рассеяния интересные результаты получены с помощью двойного спектрометра неупругого рассеяния. В этом случае начальная энергия задается селектором, открывающим пучок в определенные моменты времени после вспышки, а конечная энергия рассеянных нейтронов измеряется методом времени пролета.

Группой ученых из Физико-энергетического института /Обнинск/ на ИБРе было выполнено обширное исследование неупругого рассеяния нейтронов гидридом циркония, имеющее большое прикладное и теоретическое значение. В совместной работе ЛНФ и ФЭИ измерением рассеяния нейтронов в жидком гелии подтверждено предсказание квантовой теории о существовании Бозе-конденсата в сверхтекучем гелии. Весьма результативным оказалось изучение польскими физиками, работавшими в ЛНФ под руководством И.Натканца, динамики возбуждений молекулярных и жидких кристаллов. Проблемы магнетизма в разбавленных магнитных сплавах изучались в лаборатории группой проф. Н.Кроо /ВНР/, свойства жидкости и жидких металлов - советскими и польскими физиками. Специалисты из ГДР под руководством К.Хеннига изучают кристаллические поля в интерметаллических соединениях.

### **ФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И АППАРАТУРА**

На протяжении всех лет существования лаборатории ее сотрудники создавали и совершенствовали разнооб-

разные типы детекторов, являющихся необходимым элементом любой экспериментальной установки на ИБРе. Ныне в богатом арсенале созданных приборов можно увидеть и жидкостные сцинтилляционные детекторы нейтронов и гамма-лучей /объемом от долей литра до 500 литров/, и ионизационные и пропорциональные камеры альфа-частиц, и газовые сцинтилляционные счетчики, и германиевые и кремниевые полупроводниковые детекторы.

Для поляризации нейтронного пучка создана установка с поляризованной протонной мишенью. Протоны, входящие в состав специального монокристалла /лантан-магниевого нитрата/, поляризуются динамическим методом во внешнем магнитном поле при температуре жидкого гелия с применением высокочастотного электромагнитного поля.

Для поляризации исследуемых ядер построен специальный рефрижератор, способный создавать и круглосуточно поддерживать сверхнизкую /~30 мК/ температуру. Такой ядерный рефрижератор работает по принципу растворения гелия-3 в гелии-4.

В лаборатории имеется мессбауэровский спектрометр с гармоническим законом движения образцов, оборудованный для экспериментов в широком /4÷900 К/ диапазоне температур.

Ряд нейтронных спектрометров создан для проведения исследований по физике твердого тела. Два из них используют механические прерыватели для монохроматизации нейтронного пучка, третий - бериллиевые фильтры и монокристаллы перед детектором, четвертый - типовой двухосевой кристаллический спектрометр, оборудованный установкой для работы в импульсных магнитных полях. Разработаны установки для экспериментов по рассеянию нейтронов на малые углы и корреляционный спектрометр неупругого рассеяния.



## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Становление и развитие Лаборатории нейтронной физики проходило при активных контактах с институтами стран-участниц. Формы международного сотрудничества менялись, но ЛНФ была и остается одной из наиболее интернациональных по составу лабораторий ОИЯИ.

Первоначально основной формой сотрудничества была подготовка научных кадров в области физики ядра и ядерных методов исследования конденсированных сред. Школу научных исследований на первоклассных установках лаборатории прошли многие физики Болгарии, Венгрии, ДРВ, ГДР, КНДР, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии. Монгольскому государственному университету ЛНФ поставила электростатический нейтронный генератор и вместе с лабораториями ЛЯП и ЛЯР оказала помощь в проведении на нем первых экспериментов. Физики многих стран выполнили в ЛНФ свои диссертационные работы.

С годами в интернациональном коллективе лаборатории возрастает роль физиков различных стран, имеющих значительный опыт работы и возглавлявших те или иные направления исследований. Страны-участницы стали присылать в ОИЯИ целые группы сотрудников с аппаратурой, специально подготовленной для экспериментов в ЛНФ.

Группа проф. Н.Кроо /Венгрия/ провела нейтронные исследования некоторых проблем магнетизма с помощью построенного в Венгрии и доставленного в Дубну спектрометра, использующего принцип механического прерывания нейтронного пучка. Вторая установка этого типа была сооружена сотрудниками ФЭИ /СССР/. Работой польских физиков, изучающих атомные и молекулярные движения в твердых телах и жидкостях, на протяжении многих лет бессменно руководит проф. Е.Яник. Этой группой создан нейтронный спектрометр, носящий сим-

волическое название КДСОГ, первые две буквы которого: КД - "Краковско-Дубненский" - отражают совместный характер разработок. Гамма-распад нейтронных резонансов исследуется чехословацкими физиками. Эти исследования были начаты под научным руководством Я.Урбанца с помощью аппаратуры и германиевых полупроводниковых детекторов высокого разрешения чехословацкого производства. Физики Румынии под руководством проф. Д.Балли ныне готовятся к совместному с ЛНФ исследованию строения биологических объектов с помощью нейтронов.

В работе ЛНФ принимали участие и физики стран, не входящих в состав Института: Египта, Индии, Франции, ФРГ, Финляндии и др.

В последние годы в сотрудничестве ЛНФ с институтами стран-участниц проявилась тенденция к многосторонним совместным работам по одной большой теме, что дает наиболее интересные результаты. К числу таких тем относятся:

### *Работы по созданию комплекса ИБР-2*

Сооружение в ЛНФ комплекса ИБР-2 - наиболее разительный пример интернационального сотрудничества. Ряд институтов и проектных организаций СССР спроектировали новый комплекс и изготавливают его основные узлы и оборудование. ОИЯИ ведет строительство. Институт ядерных исследований /Сверк, Польша/ разработал и изготовил радиоэлектронные системы управления и защиты реактора. Крупные физические установки для работ на пучках реактора создаются в Венгрии /Центральный институт физических исследований/, Польше /Институт ядерных исследований, Сверк и Институт ядерной физики, Краков/, Румынии /Институт атомной физики, Бухарест/, СССР /Физико-энергетический институт, Обнинск и Ленинградский институт ядерной физики/.

Измерительно-вычислительный центр, являющийся составной частью комплекса ИБР-2, без которого не обойдется ни один будущий эксперимент, спроектирован в тесном сотрудничестве с Центральным институтом физических исследований /Венгрия/ и Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

#### *Исследования свойств ультрахолодных нейтронов*

Эти исследования проводятся Лабораторией совместно с физиками Института ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской Академии наук, Института атомной энергии им. И.В.Курчатова /Москва/, Института атомной физики Казахской Академии наук /Алма-Ата/, Института атомных реакторов /Димитровград/.

Физики заняты изучением необычных свойств ультрахолодных нейтронов, исследованием механизма их поглощения в накопительных сосудах, исследованием возможностей использования ультрахолодных нейтронов.

#### *Прикладные задачи*

В наше время, когда весьма актуальной стала проблема энергетических ресурсов, в ЛНФ разрабатываются вопросы, связанные с проблемами ядерной энергетики. В течение ряда лет продолжается интенсивное сотрудничество в области изучения взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами и ядрами материалов, используемых при конструкции

реакторов. Вместе с ЛНФ ОИЯИ в работе участвуют Физико-энергетический институт /Обнинск, СССР/ и Центральный институт ядерных исследований /Россендорф, ГДР/. Измерения с образцами, изготовленными в Обнинске, выполненные в ЛНФ на нейтронных пучках с помощью аппаратуры из Россендорфа, подтвердили правильность методов, разработанных в Россендорфе и Обнинске.

Ряд других прикладных задач, в особенности работы по активационному анализу, осуществляются в совместных работах с физиками Монголии, Венгрии и Демократической Республики Вьетнам.

#### *Альфа-распад*

Идея исследований альфа-распада нейтронных резонансов ядер как нового средства изучения особенностей природы высоковозбужденных ядерных состояний была подхвачена в Польше и Чехословакии. В совместной с ЛНФ работе по альфа-распаду ядер под действием нейтронов участвуют Лодзинский университет /ПНР/, университеты Братиславы и Праги, Институт ядерной физики в Ржеже и ряд других институтов Чехословакии. Измерения на резонансных нейтронах реактора ИБР-30 проводятся с помощью высокочувствительных регистрирующих приборов, разработанных и созданных физиками Польши и СССР. Ценным, необходимым дополнением к ним являются проводимые на реакторе в Чехословакии эксперименты по альфа-распаду, вызываемому тепловыми нейтронами, и эксперименты с быстрыми нейтронами на нейтронном генераторе в Братиславе.

### *Кристаллические поля*

Складывается и трехстороннее сотрудничество ОИЯИ - ГДР - СССР по исследованию внутрикристаллических полей металлических веществ с помощью парамагнитного рассеяния нейтронов, обещающее интересные результаты в ближайшем будущем. В этой работе от ГДР участвуют ЦИЯИ и Технический университет /Дрезден/, от СССР - кафедра кристаллографии Московского государственного университета и Государственный институт редких металлов.

### *Электроника*

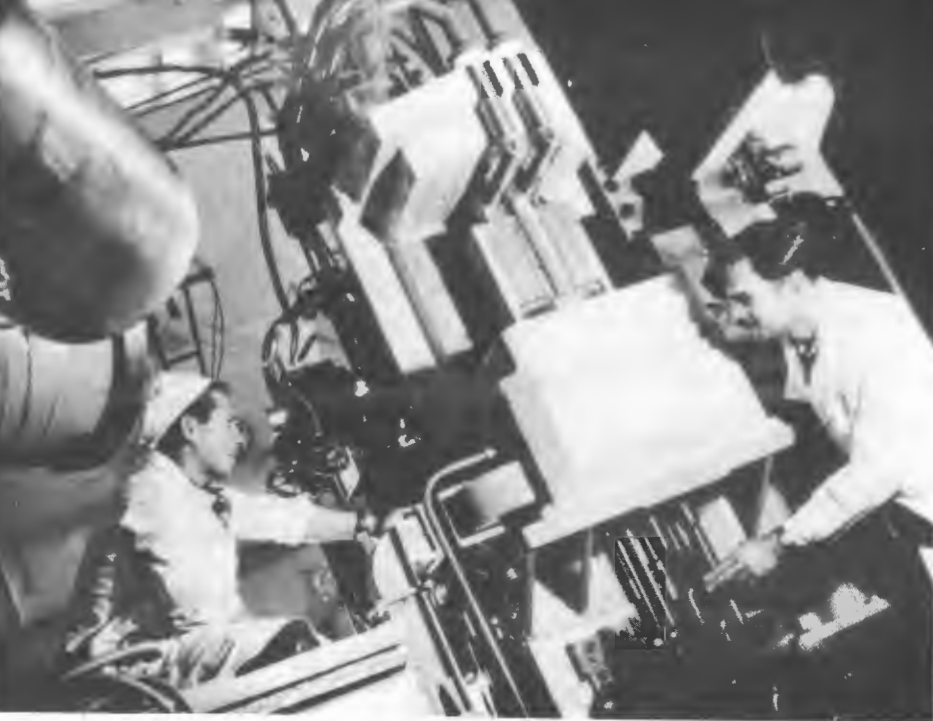
Почти со всеми странами-участницами ОИЯИ проводятся совместные исследования в области создания и развития спектрометрических приборов ядерной электроники, устройств автоматизации физического эксперимента, использования средств вычислительной техники.

### *КОМИТЕТ И ШКОЛЫ*

Большую роль в организации международного сотрудничества ЛНФ играет Комитет по нейтронной физике Ученого совета ОИЯИ по физике низких энергий. Два раза в год он собирает ведущих специалистов и ученых в области атомного ядра, конденсированных сред и радиоэлектроники. На этих заседаниях обсуждаются актуальные вопросы исследований, развитие экспериментальной базы, планы дальнейшего сотрудничества. Большое значение придается и таким формам сотрудничества, как проводимые ОИЯИ международные школы и научные совещания по нейтронной физике, а также участие в международных симпозиумах, конференциях, школах, организуемых в других странах.

В плодотворном международном сотрудничестве Лаборатория нейтронной физики видит перспективу дальнейшего развития и успешного выполнения обширной программы научных исследований будущих лет.



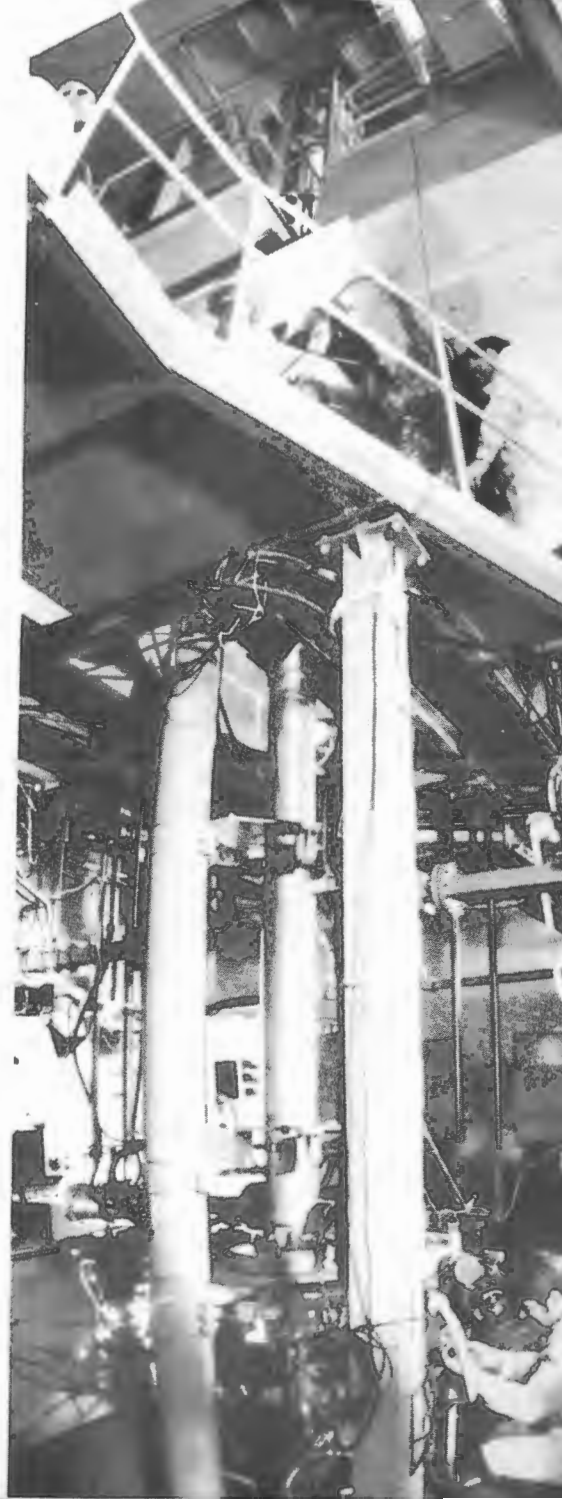


ИБР-30 - единственный в мире импульсный реактор периодического действия на быстрых нейтронах. В моменты нейтронных вспышек его мощность достигает 100 МВт при средней тепловой мощности 25 кВт. Реактор служит источником нейтронов для проведения исследований методом времени пролета.

Инжектор импульсного реактора - линейный ускоритель электронов на энергию 40 МэВ. Ускоритель размещен вертикально над залом реактора. Сочетание реактора и ускорителя дало десятикратное сокращение вспышки и соответствующее повышение разрешающей способности нейтронных спектрометров. ▶

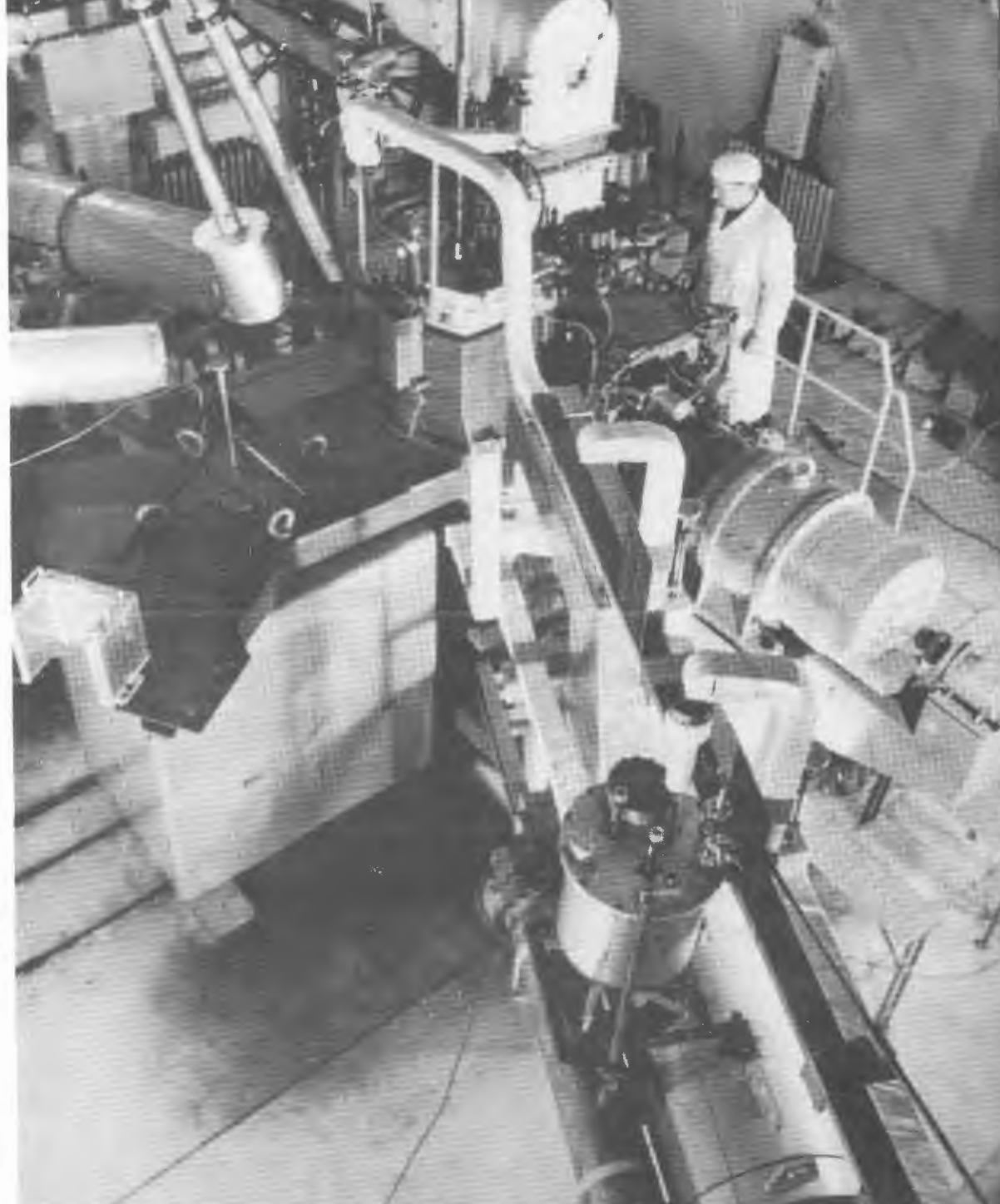


В зале реактора ИБР-30. На снимке: заместитель директора Лаборатории нейтронной физики Ф.Л.Шапиро, инженер А.И.Бабаев, начальник отдела В.Т.Руденко, директор лаборатории И.М.Франк /1968 год/.



В Объединенном институте проведены опыты по наблюдению ультрахолодных нейтронов. Канал ультрахолодных нейтронов /на переднем плане/ в зале реактора. С его помощью ультрахолодные нейтроны извлекались из активной зоны реактора и транспортировались к регистрирующей аппаратуре. ▶

Один из восьми вакуумных нейтронных реакторов. Он позволяет проводить эксперименты с нейтронами по методу времени пролета на расстоянии до 1 км от реактора.





В опытах на импульсном реакторе используется ядерный рефрижератор - криостат с растворенным жидкого гелия-3 в гелии-4, позволяющий охлаждать исследуемые образцы до температуры  $0,03\text{ K}$ .

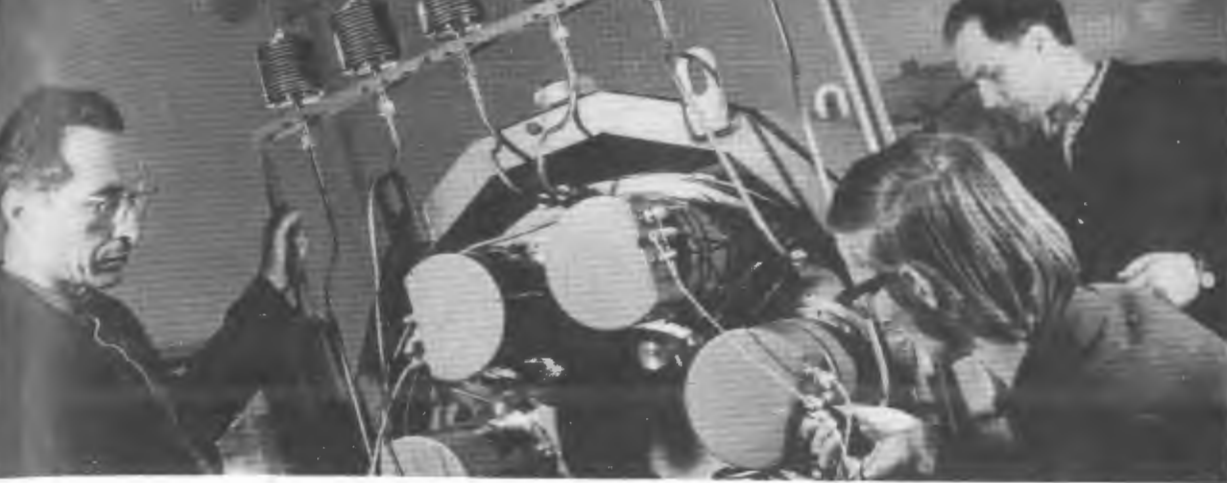
На снимке: один из создателей криостата - научный сотрудник В. П. Алфименков.

Краковско-дубненский спектрометр обратной геометрии используется для исследования свойств кристаллов и жидкостей методом неупругого рассеяния нейтронов. Прибор позволяет вести измерения нейтронных спектров одновременно для восьми углов рассеяния.

Сборка криостата.





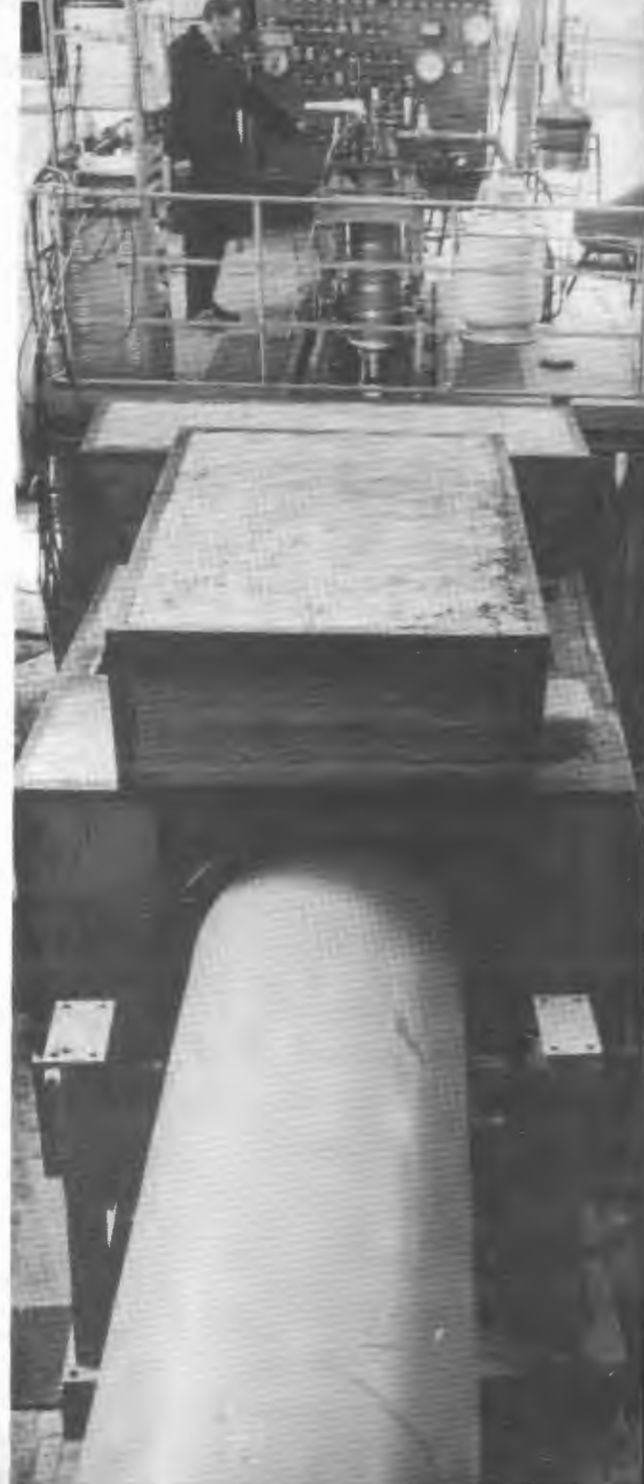


Исследования магнитных моментов атомных ядер, возбуждаемых при захвате нейтронов, ведутся с помощью секционированного жидкостного сцинтилляционного детектора объемом 250 литров. На снимке слева направо: начальник отдела Л.Б.Пикельнер, научные сотрудники Л.Ласонь и Ю.Д.Мареев.

Юстировка мишени.



В ОИЯИ предложен и реализован метод поляризации нейтронов в широком интервале энергий с помощью пропускания нейтронов через динамически поляризованную мишень. На снимке: нейтронный канал для проведения исследований с поляризованными нейтронами и поляризованными ядрами.





Большой цикл работ связан с исследованием на импульсном реакторе альфа-распада нейтронных резонансов, обнаруженного учеными Института. Регистрация альфа-частиц производится с помощью многосекционной пропорциональной камеры. На снимке: руководитель работ Ю.П.Попов, инженер Ю.М.Гледеков, научные сотрудники Ким Тхе Себ и Н.Балабаев ведут сборку камеры.



В зале электронной вычислительной машины БЭСМ-4 измерительного центра Лаборатории нейтронной физики. Здесь осуществляется накопление и обработка экспериментальных данных, поступающих с физических установок, которые расположены на пучках нейтронов реактора. Данные, требующие обработки на более мощных машинах, передаются по кабелю в Вычислительный центр Института. Прием и передача информации обеспечиваются малой вычислительной машиной типа ТРА венгерского производства.



В измерительном центре Лаборатории нейтронной физики. Сотрудники лаборатории В.И.Чивкин, Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр и начальник отдела радиоэлектроники Г.П.Жуков.

Электростатический ускоритель ЭГ-5 типа Ван-де-Граафа с напряжением 5000000 В. Ускоритель служит для исследования ядерных реакций с протонами, нейтронами и альфа-частицами.



Экспериментальный зал электростатического генератора ЭГ-5. В зал выведено шесть пучков от ускорителя. На одном из них под руководством И.В.Сизова ведутся исследования ядерных реакций, вызываемых заряженными частицами на легких ядрах.



Изучение взаимодействия нейтронов с нейтронами проводилось в совместной работе физиков ОИЯИ и ГДР на электростатических генераторах Дубны и Россендорфа. На снимке: научные сотрудники С.Паржицкий и З.Тэш готовят аппаратуру для измерения длины нейтрон-нейтронного рассеяния.



Руководители работ по созданию ИБР-2 /слева направо/: заместитель директора Лаборатории нейтронной физики Ю.С.Язвницкий, директор Лаборатории теоретической физики Д.И.Блохинцев, главный инженер ИБР-2 В.Д.Ананьев у макета подвижного отражателя реактора.

Испытания рабочего макета подвижного отражателя - одного из основных узлов ИБР-2.



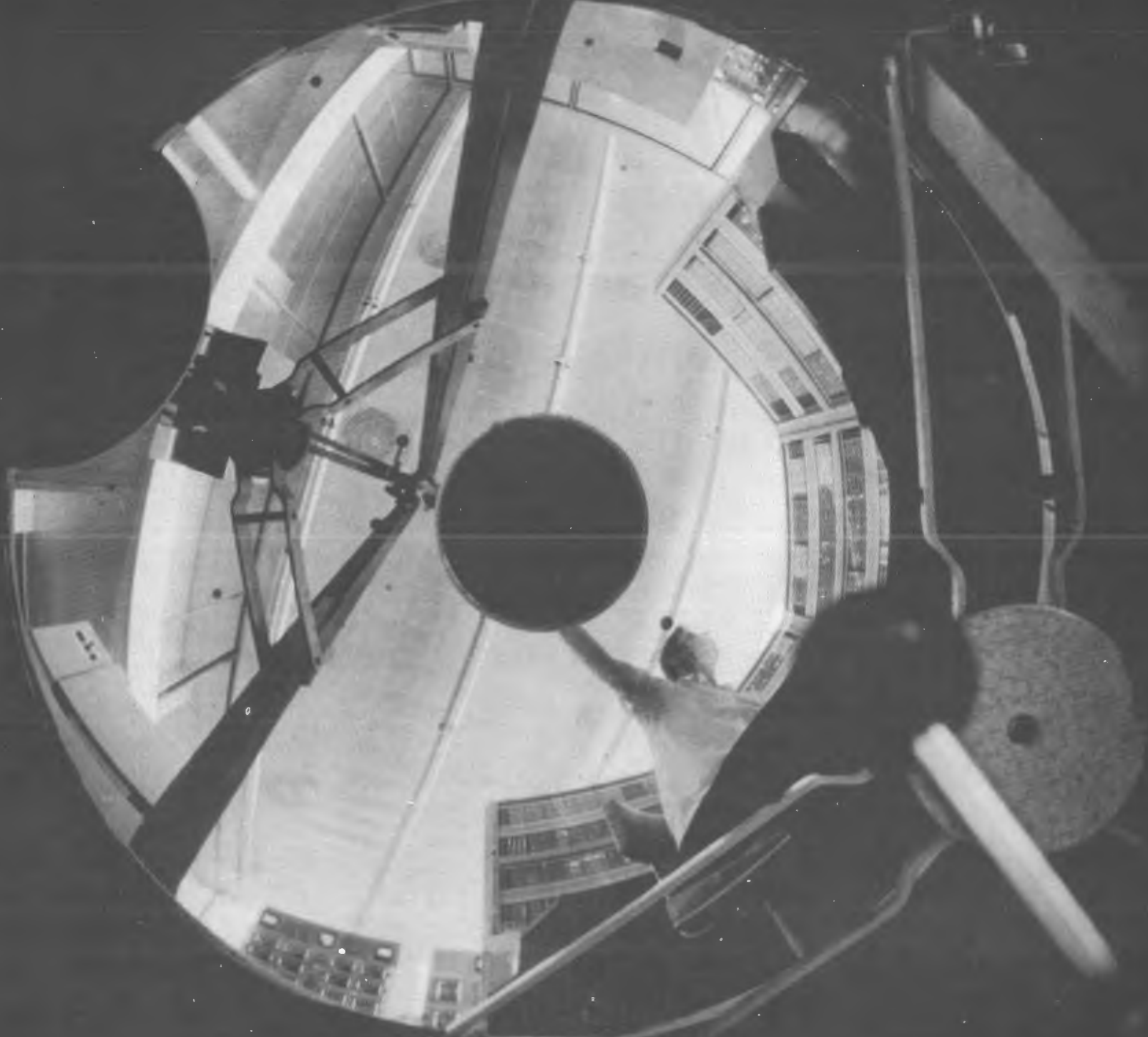


▲  
 На строительстве исследовательского комплекса ИБР-2.  
 ▼



Импульсные реакторы обеспечивают уникальные возможности для изучения свойств вещества в экстремальных условиях, создаваемых на коротких промежутки времени. Для экспериментов на строящемся реакторе ИБР-2 создается нейтронный дифрактометр по времени пролета, в котором используется сильное импульсное магнитное поле напряженностью до 350 тыс. эрстед. Аппаратура испытывается на действующем реакторе ИБР-30. Инженер А.А.Яковлев и техник Г.А.Вареник ведут установку магнита.







**ЛАБОРАТОРИЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ**





Это одна из самых молодых лабораторий Института. Она создана по решению XX сессии Ученого совета ОИЯИ в июне 1966 года, когда отмечалось 10-летие Института, на базе Вычислительного центра ОИЯИ, а также отделов и групп автоматизации и обработки экспериментальных данных Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем Института.

Основные направления научной деятельности ЛВТА связаны с разработкой проблем автоматизации исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра, а также с развитием и эксплуатацией измерительно-вычислительного комплекса, занимающегося обработкой больших массивов экспериментальных данных. Параллельно с этим интенсивно проводятся работы по численному моделированию ядерных процессов и крупных физических установок /ускорители, импульсный реактор и т.п./.

Выполнение перечисленных научно-исследовательских задач предусматривает:

- развитие и эксплуатацию центрального вычислительного комплекса ОИЯИ и его программного обеспечения;

- разработку и эксплуатацию просмотрово-измерительных и автоматических сканирующих устройств и проведение с их помощью массовой обработки снимков с пузырьковых, искровых и стримерных камер и магнитных искровых спектрометров;

- создание новых методов математической обработки результатов теоретических и экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра, а также проведение расчетов проектируемых в Институте крупных физических установок;

- разработку методов использования и математического обеспечения комплексов, состоящих из экспериментальных устройств и установок, непосредственно связанных с вычислительными машинами и предназначенных для проведения исследований на ускорителях и импульсном реакторе Института;

- координацию основных работ по организации и развитию измерительно-вычислительных центров в лабораториях Института, а также участие в реализации отдельных проектов таких центров.

## ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ИНСТИТУТА

С момента организации ОИЯИ и по настоящее время в нем непрерывно расширялись сферы применения средств вычислительной техники. Традиционным стало использование быстродействующих вычислительных машин в качестве активной части многопараметрических экспериментальных установок, что обеспечивает как оптимальный режим их работы, так и экспрессную обработку в реальном масштабе времени больших потоков информации. При помощи вычислительных машин в широких масштабах проводится численное моделирование разнообразных ядерных процессов и сооружаемых физических установок, многомерный анализ спектров ядерных излучений, обработка результатов сканирования большого количества камерных снимков и т.д. Оснащение Объединенного института мощными средствами вычислительной техники резко расширило спектр возможных физических исследований на ускорителях и импульсном реакторе.

Потребность в самом разнообразном использовании вычислительных машин предопределила создание в Объединенном институте высокопроизводительного многомашинного комплекса вычислительных средств, имеющего развитую иерархическую структуру.

Самый верхний уровень образован мощными вычислительными машинами БЭСМ-6 и СДС-6400 суммарной производительностью около 3 миллионов операций в секунду. Эти базовые машины предназначены для выполнения сложных расчетов и решения математических задач, связанных с научными исследованиями, проводимыми в лабораториях Института, а также для обработки большого объема экспериментальной информации, получаемой на ускорителях и импульсном реакторе.

Средний уровень представлен вычислительными машинами типа БЭСМ-4, СДС-1604, Минск-22, Минск-32.

Машины этого уровня приспособлены прежде всего для автономного решения задач, специфических для отдельных лабораторий. Некоторые из машин имеют непосредственную связь с базовыми ЭВМ.

Самый нижний уровень представлен малыми вычислительными машинами советского производства /М-6000, Электроника-100 и др./, а также машинами, построенными в Венгерской Народной Республике /ТРА-1, ЕС-1010 и др./.

Малые машины нашли широкое применение в системах контроля и управления работой физических установок, сканирующих устройств, а также в устройствах, повышающих эффективность доступа к машинам верхнего уровня /удаленные станции ввода-вывода, дисплейные станции и т.п./. На базе малых вычислительных машин созданы системы накопления экспериментальной информации и ее предварительной обработки. В общей сложности в Объединенном институте используется около 40 малых машин. Дешевизна, надежность, простота в эксплуатации превратили малые ЭВМ в незаменимое средство автоматизации научных исследований.

Передача информации между машинами разных уровней осуществляется через линии связи, а также путем транспортировки магнитных лент.

Создание и развитие вычислительного комплекса Института, измерительных центров в лабораториях, станций ввода-вывода, равно как и создание центра обработки камерных снимков в ЛВТА потребовало выполнения ряда крупных инженерных работ по развитию и модернизации вычислительных машин. Сюда относятся разработки быстродействующих каналов для обмена информацией, создание специальной аппаратуры передачи данных по кабельным линиям связи на большие расстояния, разработка новых устройств для подключения на линию с вычислительными машинами физических установок, работы по расширению оперативной па-

мяти и оснащению вычислительных машин дополнительными внешними устройствами, в том числе устройствами, выпускаемыми для электронных машин единой серии /ЕС ЭВМ/.

При развитии измерительно-вычислительного комплекса большое внимание уделялось и уделяется созданию эффективных средств общения человека с ЭВМ, в частности, средств диалога человека с вычислительной машиной при помощи экранных пультов, развитых на базе электронно-лучевых трубок /дисплей/. Внедрены в производство несколько разработанных в лаборатории типов графических дисплеев как для вычислительных машин среднего уровня, так и для малых ЭВМ. Дисплеи имеют высокие технические параметры и современное конструктивное оформление. Они нашли применение не только в Объединенном институте, но и в ряде институтов стран, его участниц.

Создание специалистами ЛВТА развитого программного обеспечения дисплеев позволило существенно расширить область их применения. В настоящее время дисплеи используются для решения таких часто возникающих задач, как расчеты электрических и магнитных полей, численное моделирование и расчет элементов физических установок, расчет систем транспортировки пучков заряженных частиц и т.п. Области, где дисплей становится привычным инструментом научного исследования, быстро расширяются. Одним из важных направлений работ по дисплейной тематике является создание удаленных дисплейных станций, развитых на базе малых вычислительных машин, оснащенных внешними устройствами и имеющих доступ к центральным ЭВМ через линии связи.

Специалисты Лаборатории вычислительной техники и автоматизации внесли существенный вклад в создание измерительных центров Лаборатории высоких энергий, Лаборатории нейтронной физики, Измерительного центра

Объединенного института на серпуховском ускорителе и общеприкладного центра обработки камерных снимков. Специалисты ЛВТА принимают участие в создании измерительных центров и других лабораторий Объединенного института.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОИЯИ**

Обработка экспериментальных данных всегда была и остается одной из основных задач, стоящих перед физиками и математиками Объединенного института, и всегда она решалась с помощью вычислительных машин. Люди, создававшие программы обработки, были вынуждены скрупулезно учитывать и характеристики самих машин /их быстродействие, объем оперативной и внешней памяти/ и особенности их входных языков, их общего математического обеспечения. На раннем этапе, когда для обработки применялись вычислительные машины первого поколения, особых требований к их обеспечению не возникало - в качестве входного языка достаточно было и автокода, т.е., по существу, языка простейших команд машины. Для реализации удобного в использовании и имеющего широкие возможности языка требовались сложные и высокопроизводительные трансляторы - программы перевода на язык команд, создать которые на маломощных машинах было практически невозможно.

Середина шестидесятых годов стала началом качественно нового этапа в машинной обработке экспериментальных данных. Тогда были введены в эксплуатацию вычислительные машины первого уровня, и стало реальным применение на этих мощных /особенно по тем временам/ машинах больших программ полной обработки данных, поступающих от экспериментаторов. В зарубежных центрах ядерных исследований к тому времени

уже сформировались библиотеки таких программ, написанные для широкого круга больших машин: программы создавались на машиннезависимом языке ФОРТРАН.

В связи с этим встала проблема "фортранизации" программирования на вычислительных машинах Объединенного института. Она начала решаться в 1966-1967 годах, когда впервые были написаны строки транслятора с ФОРТРАНа для мощной советской серийной вычислительной машины БЭСМ-6. Транслятор разрабатывался почти два года. Вместе с программистами лаборатории над ним работали математики из ГДР и ВНР. Однако уже тогда стало ясно, что одного транслятора с ФОРТРАНа будет недостаточно, и для той же БЭСМ-6 необходимо разработать программы перевода с автокода, близкого к ее "машинному" языку /в частности, чтобы готовить на автокоде тексты трансляторов с более сложных языков/, и с алгоритмического языка АЛГОЛ, который к тому времени нашел достаточно широкое применение в вычислительном мире. В связи с этим совместными усилиями математиков Объединенного института, МГУ, ИАЭ им. Курчатова, а также ИТМ и ВТ АН СССР был подготовлен для БЭСМ-6 проект целой системы программирования, получившей название "Мониторная система "Дубна". После завершения ее базового варианта она нашла широкое применение во всех организациях, использующих БЭСМ-6. Нужно сказать, что история создания математиками вычислительных центров АН ГДР транслятора с АЛГОЛа для этой системы - показательный пример сотрудничества специалистов разных стран по решению общей задачи развития современной системы программирования. Когда к 1972 году похожее программное обеспечение было сделано и для вычислительной машины БЭСМ-4, ставшей основной машиной средней мощности в Объединенном институте, проблема "фортранизации", в основном, была решена. Язык ФОРТРАН стал средством программирования не только для людей, не-

посредственно занятых обработкой экспериментальных данных. На БЭСМ-6 была создана целая библиотека программ для решения самого широкого круга задач, и ФОРТРАН стал основным языком программирования в Объединенном институте.

С момента ввода в эксплуатацию БЭСМ-6 эта вычислительная машина стала главным компьютером Института, что выдвинуло целый ряд требований к обеспечению ее надежности и эффективной эксплуатации. Был проведен ряд работ по ее модернизации. Частью этой работы явилось создание собственных вариантов "операционной системы" машины, т.е. тех ее постоянно работающих программ, которые управляют функционированием внешних устройств ЭВМ и ее линий связи, а также организуют одновременно решение в машине нескольких задач. Такие системы часто называют диспетчерами. Уже первый дубненский диспетчер образца 1971 года - ДД-71 - обеспечивал надежный режим одновременного решения на БЭСМ-6 трех задач, каждая из которых могла требовать для себя полного объема оперативной памяти машины. В результате более чем вдвое поднялась эффективность использования БЭСМ-6. Одновременно диспетчеру ДД-71 было поручено обслуживание таких внешних устройств машины, как пневмическое читающее с карт устройство, стандартный магнитофон, а также канал связи с периферийными вычислительными машинами. Этим достигалась следующая важная цель: обеспечить доступ к базовой машине вычислительного комплекса потоков информации, накапливаемой малыми и средними вычислительными машинами Института. Кроме того, значительно облегчалось решение проблемы обмена информацией с другими исследовательскими центрами и держателями программных архивов /архивы эти, как правило, хранятся на магнитных лентах/.

Канал связи БЭСМ-6 с внешними объектами был создан инженерами лаборатории в 1968 году, и програм-

мирование его работы стало одним из самых важных направлений в развитии системного обеспечения вычислительных машин Института. Та часть системного обеспечения, которая создавалась на БЭСМ-6, вошла в состав диспетчеров ДД-71 и ДД-73. Тем самым стала возможной передача целых комплексов задач в БЭСМ-6 по линиям связи с периферийных машин, специально оборудованных с помощью венгерских машин ТРА выносными станциями, равно как и передача результатов счета задач тем машинам, откуда они поступали. Таким образом, периферийные машины стали как бы вынесенными в другие подразделения Института внешними читающими, печатающими и перфорирующими устройствами БЭСМ-6. Кроме того, с помощью линий связи стал возможен и обмен информацией между вычислительными машинами в процессе одновременного проведения на них различных расчетов. Здесь интересен пример одной из работ по математическому обеспечению малых машин ТРА. В лаборатории для них была создана программа перевода с автокода на язык команд этих машин, причем программа работает на БЭСМ-6, а доступ к ней возможен, в частности, через линии связи из измерительных центров Института. Таким путем облегчается решение задачи подготовки рабочих программ малых машин /большая машина делает это значительно быстрее и на качественно более высоком уровне, чем это могли бы сделать сами малые машины/.

Для окончательного решения проблемы межмашинных обменов информации в 1974 году был закончен первый этап оснащения вычислительных машин, установленных в Институте, стандартными магнитофонами, изготовленными в НРБ. Это потребовало, конечно, и создания необходимых стандартных программ работы машин с такими устройствами.

Нужно заметить, наконец, что ввод в действие в 1972 году в ОИЯИ американской вычислительной машины СДС-6200, которая была развита впоследствии

до уровня СДС-6400, также поставил ряд задач перед разработчиками общего математического обеспечения. Прежде всего необходимо было создать общую библиотеку стандартных программ для СДС-6200 и БЭСМ-6 с тем, чтобы максимально простой стала адаптация обработочных программ, переносимых с одной машины на другую.

В основу такой общей библиотеки были положены многие программы, разработанные ранее в Объединенном институте, а также в Европейском центре ядерных исследований /ЦЕРН/ и ряде других институтов.

Сейчас актуальна задача расширения доступа из измерительных центров лабораторий Института к базовым вычислительным машинам, а именно - предоставление возможности доступа не только к периферийным машинам, но и к простым устройствам индивидуального пользования /телетайпы, экранные пульта/. Частью этой задачи является также создание обширных общих архивов программ и числовой информации. Ее решение - цель ближайших лет работы системных программистов и инженеров лаборатории.

### ***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ НА ЛИНИИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ***

Современное состояние экспериментальных исследований на больших ускорителях свойств элементарных частиц и реакций с их участием характеризуется усложнением техники эксперимента, увеличением объема получаемой информации и комплексностью анализа экспериментальных данных.

С момента организации Объединенного института в нем стали широко применяться вычислительные машины для обработки экспериментальных данных. Однако ряд операций, таких как фотографирование следов, оставляемых частицами в рабочем объеме специальных трековых камер, отбор снимков с полезными изображения-



ми, проведение промеров снимков, сопоставление изображения события с его числовым образом характеризовались широким применением длительного и малопродуктивного ручного труда.

Продвижению вычислительных машин от этапа окончательной обработки к "истокам" экспериментальной информации способствовало, с одной стороны, появление бесфильмового метода регистрации информации, с другой - развитие средств вычислительной техники и соответствующего математического обеспечения.

Характерной особенностью бесфильмового метода является то, что он позволяет миновать стадию фотографирования и получать данные на языке вычислительной машины в цифровой форме. Эта особенность сняла главный барьер на пути применения вычислительных машин как одного из главных средств автоматизации всех этапов исследования. Использование вычислительных машин на линии /в режиме непосредственной автоматической связи/ с экспериментальными физическими установками позволило исследовать многие, ранее не доступные, процессы. Для реализации потенциальных возможностей нового метода важнейшее значение имеет развитое математическое обеспечение.

В 1965 году в Институте были проведены работы, связанные с созданием математического обеспечения для экспериментов, в которых изучалось упругое  $\pi$ -рассеяние. В этих экспериментах вычислительная машина применялась на линии с установкой, состоящей из магнитострикционных искровых камер. Перед разработчиками системы стояли задачи создания компонент экспериментального комплекса, определения состава и общей организации измерительно-вычислительной системы, включающей в себя вычислительную машину, бесфильмовые детекторы элементарных частиц, устройства обмена информацией, а также средства общения человека с машиной. Решение этих задач велось совместно группами сотрудников ЛВЭ и ЛВТА. Такая система,

принадлежащая по своим параметрам к лучшим экспериментальным системам этого класса, успешно использовалась в цикле методических работ и экспериментов на пионном пучке синхрофазотрона ОИЯИ, начиная с 1966 года.

В процессе создания системы была отработана оптимальная структура математического обеспечения для решения задач сбора информации, функционального контроля экспериментального оборудования и хода эксперимента в реальном масштабе времени. Создание системы оказало большое влияние на общий прогресс в развитии и внедрении методики использования вычислительных машин в экспериментах, выполняемых на больших советских ускорителях. Опыт создания первой системы был использован и при разработке следующей, включающей ЭВМ БЭСМ-4 на линии с установкой СКИФ, работавшей на синхрофазотроне ОИЯИ.

Важный этап работ связан с реализацией в 1968-70 гг. программы первоочередных экспериментов на серпуховском ускорителе. На этом этапе сотрудники лаборатории внесли определяющий вклад в разработку и создание математического обеспечения системы регистрации, накопления и анализа экспериментальных данных на базе созданного в ЛВЭ бесфильмового многотрекового искрового спектрометра, имеющего в своем составе вычислительную машину БЭСМ-3М. Эта система широко использовалась в цикле экспериментов с нейтральными каонами высоких энергий. Особенностью системы является высокая интенсивность потока входной информации, многокомпонентность экспериментальной установки, возможность регистрации событий в условиях большой фоновой загрузки. Все это наложило свой отпечаток на основные компоненты математического обеспечения этой системы - программы сбора, сжатия и накопления данных, программы контроля аппаратуры, управляющие программы и программы автоматического опознавания полезных событий.

Среди других работ следует отметить создание сотрудниками лаборатории математического обеспечения для системы многонитяных камер МИС-5 и для установки, с помощью которой на серпуховском ускорителе проводились исследования ядерных процессов нового типа.

В последнем эксперименте удалось осуществить в реальном масштабе времени обработку данных по полной программе, позволяющей контролировать не только работу установки, но и ход эксперимента.

Новый этап работы лаборатории в этой области связан с созданием математического обеспечения для установки "Фотон", в которой устройства управления, сбора и обработки информации развиваются в системе КАМАК на базе вычислительной машины третьего поколения.

Использование средств стандартной электроники и вычислительных машин третьего поколения, обладающих развитыми периферийными устройствами, открывает широкие возможности для создания многопараметрических экспериментальных установок, предназначенных для решения широкого класса проблем.

Уже в первых экспериментальных исследованиях в ОИЯИ в области ядерной физики электронные вычислительные машины использовались для обработки спектрометрических данных. Последующее развитие экспериментальной методики привело к созданию систем обработки ядерно-спектрометрической информации, в которых электронная машина накапливала данные, поступающие в нее из экспериментальных установок по кабелям.

В 1965-1968 гг. успешно эксплуатировалась система приема, накопления и обработки данных в реальном масштабе времени, созданная совместно сотрудниками ЛВТА и ЛНФ на базе измерительного центра ЛНФ и вычислительных машин "Минск-2" и М-20, установленных в ЛВТА и организованных в двухуровневую

вычислительную систему. С 1969 года эксплуатируется и развивается аналогичная система, выполненная на основе электронной машины БЭСМ-4 и измерительного центра Лаборатории нейтронной физики.

В настоящее время в ОИЯИ создается единая система обработки спектрометрической информации. Структура ее уже трехуровневая. Система объединяет измерительно-вычислительные центры ЛНФ, ЛЯР и ЛЯП с измерительно-вычислительным комплексом ЛВТА.

На первом уровне расположены измерительные модули, в состав которых входят измерительное оборудование, малая вычислительная машина с проблемно-ориентированным математическим обеспечением. На втором находится ЭВМ более высокого класса с развитым математическим обеспечением для хранения, сортировки и предварительной обработки экспериментальных данных. На третьем уровне расположены машины высокого класса вычислительного комплекса ЛВТА, оснащенные обширной библиотекой программ обработки спектров. Роль машин этого уровня в системе обработки сводится к проведению сложных математических расчетов. Количество уровней в автоматизированной системе определяется потоком экспериментальной информации, сложностью обработки, разнообразием и количеством одновременно идущих экспериментов.

#### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАМЕРНЫХ СНИМКОВ**

В исследованиях, которые проводят физики Объединенного института, большое место занимает изучение при помощи трековых камер актов взаимодействий ускоренных частиц с веществом. След ядерной частицы, пролетевшей через камеру, фотографируется несколькими фотоаппаратами, и затем траектории вторичных частиц восстанавливаются по стереоснимкам. Однако

ми, проведение замеров снимков, сопоставление изображения события с его числовым образом характеризовались широким применением длительного и малопродуктивного ручного труда.

Продвижению вычислительных машин от этапа окончательной обработки к "истокам" экспериментальной информации способствовало, с одной стороны, появление бесфильмового метода регистрации информации, с другой - развитие средств вычислительной техники и соответствующего математического обеспечения.

Характерной особенностью бесфильмового метода является то, что он позволяет миновать стадию фотографирования и получать данные на языке вычислительной машины в цифровой форме. Эта особенность сняла главный барьер на пути применения вычислительных машин как одного из главных средств автоматизации всех этапов исследования. Использование вычислительных машин на линии /в режиме непосредственной автоматической связи/ с экспериментальными физическими установками позволило исследовать многие, ранее не доступные, процессы. Для реализации потенциальных возможностей нового метода важнейшее значение имеет развитое математическое обеспечение.

В 1965 году в Институте были проведены работы, связанные с созданием математического обеспечения для экспериментов, в которых изучалось упругое  $\pi^-p$  - рассеяние. В этих экспериментах вычислительная машина применялась на линии с установкой, состоящей из магнитострикционных искровых камер. Перед разработчиками системы стояли задачи создания компонент экспериментального комплекса, определения состава и общей организации измерительно-вычислительной системы, включающей в себя вычислительную машину, бесфильмовые детекторы элементарных частиц, устройства обмена информацией, а также средства общения человека с машиной. Решение этих задач велось совместно группами сотрудников ЛВЭ и ЛВТА. Такая система,

принадлежащая по своим параметрам к лучшим экспериментальным системам этого класса, успешно использовалась в цикле методических работ и экспериментов на псионном пучке синхрофазотрона ОИЯИ, начиная с 1966 года.

В процессе создания системы была отработана оптимальная структура математического обеспечения для решения задач сбора информации, функционального контроля экспериментального оборудования и хода эксперимента в реальном масштабе времени. Создание системы оказало большое влияние на общий прогресс в развитии и внедрении методики использования вычислительных машин в экспериментах, выполняемых на больших советских ускорителях. Опыт создания первой системы был использован и при разработке следующей, включающей ЭВМ БЭСМ-4 на линии с установкой СКИФ, работавшей на синхрофазотроне ОИЯИ.

Важный этап работ связан с реализацией в 1968-70 гг. программы первоочередных экспериментов на серпуховском ускорителе. На этом этапе сотрудники лаборатории внесли определяющий вклад в разработку и создание математического обеспечения системы регистрации, накопления и анализа экспериментальных данных на базе созданного в ЛВЭ бесфильмового многотрекового искрового спектрометра, имеющего в своем составе вычислительную машину БЭСМ-3М. Эта система широко использовалась в цикле экспериментов с нейтральными каонами высоких энергий. Особенностью системы является высокая интенсивность потока входной информации, многокомпонентность экспериментальной установки, возможность регистрации событий в условиях большой фоновой загрузки. Все это наложило свой отпечаток на основные компоненты математического обеспечения этой системы - программы сбора, сжатия и накопления данных, программы контроля аппаратуры, управляющие программы и программы автоматического опознавания полезных событий.

Среди других работ следует отметить создание сотрудниками лаборатории математического обеспечения для системы многонитяных камер МИС-5 и для установки, с помощью которой на серпуховском ускорителе проводились исследования ядерных процессов нового типа.

В последнем эксперименте удалось осуществить в реальном масштабе времени обработку данных по полной программе, позволяющей контролировать не только работу установки, но и ход эксперимента.

Новый этап работы лаборатории в этой области связан с созданием математического обеспечения для установки "Фотон", в которой устройства управления, сбора и обработки информации развиваются в системе КАМАК на базе вычислительной машины третьего поколения.

Использование средств стандартной электроники и вычислительных машин третьего поколения, обладающих развитыми периферийными устройствами, открывает широкие возможности для создания многопараметрических экспериментальных установок, предназначенных для решения широкого класса проблем.

Уже в первых экспериментальных исследованиях в ОИЯИ в области ядерной физики электронные вычислительные машины использовались для обработки спектрометрических данных. Последующее развитие экспериментальной методики привело к созданию систем обработки ядерно-спектрометрической информации, в которых электронная машина накапливала данные, поступающие в нее из экспериментальных установок по кабелям.

В 1965-1968 гг. успешно эксплуатировалась система приема, накопления и обработки данных в реальном масштабе времени, созданная совместно сотрудниками ЛВТА и ЛНФ на базе измерительного центра ЛНФ и вычислительных машин "Минск-2" и М-20, установленных в ЛВТА и организованных в двухуровневую

вычислительную систему. С 1969 года эксплуатируется и развивается аналогичная система, выполненная на основе электронной машины БЭСМ-4 и измерительного центра Лаборатории нейтронной физики.

В настоящее время в ОИЯИ создается единая система обработки спектрометрической информации. Структура ее уже трехуровневая. Система объединяет измерительно-вычислительные центры ЛНФ, ЛЯР и ЛЯП с измерительно-вычислительным комплексом ЛВТА.

На первом уровне расположены измерительные модули, в состав которых входят измерительное оборудование, малая вычислительная машина с проблемно-ориентированным математическим обеспечением. На втором находится ЭВМ более высокого класса с развитым математическим обеспечением для хранения, сортировки и предварительной обработки экспериментальных данных. На третьем уровне расположены машины высокого класса вычислительного комплекса ЛВТА, оснащенные обширной библиотекой программ обработки спектров. Роль машин этого уровня в системе обработки сводится к проведению сложных математических расчетов. Количество уровней в автоматизированной системе определяется потоком экспериментальной информации, сложностью обработки, разнообразием и количеством одновременно идущих экспериментов.

#### *АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАМЕРНЫХ СНИМКОВ*

В исследованиях, которые проводят физики Объединенного института, большое место занимает изучение при помощи трековых камер актов взаимодействий ускоренных частиц с веществом. След ядерной частицы, пролетевшей через камеру, фотографируется несколькими фотоаппаратами, и затем траектории вторичных частиц восстанавливаются по стереоснимкам. Однако

для исследования явления в целом приходится анализировать десятки, а иногда и сотни тысяч фотографий. И здесь на помощь человеку приходят кибернетические устройства, которые осуществляют автоматическую обработку фотоснимков.

Принцип считывания информации с фотоснимков в таких устройствах аналогичен передаче кинофильмов по телевидению. Световой луч, сформированный на экране электронно-лучевой трубки, просвечивает измеряемый фотоснимок. Если луч во время своего перемещения пересекается с непрозрачным следом ядерной частицы на фотоснимке, то свет сквозь фотоснимок не проходит, и это регистрирует стоящий за измеряемым снимком фоточувствительный элемент. Вырабатываемые фотозлементом электрические сигналы, несущие информацию о координатах точек пересечения, поступают в память электронной вычислительной машины. "Просмотрев" таким образом весь фотоснимок, кибернетическое устройство - сканирующий автомат - отдает команду обработать считанную с фотоснимка информацию и восстановить траекторию пролетевшей частицы.

В процессе считывания информации с фотоснимка или при ее обработке вычислительная машина может встретиться с ситуациями, которые не предусмотрены программой. Это может быть, например, помеха на фотоснимке в виде случайной царапины или что-либо другое. Поскольку вычислительная машина принципиально неспособна "творчески относиться" к порученной ей работе, то в затруднительных ситуациях ей на помощь приходит человек. Для этого в составе кибернетического устройства имеется специальный набор технических средств диалога с вычислительной машиной /дисплей со световым карандашом, оптический вывод фотоснимка и др./ . Подавляющее большинство измерений производится автоматически, лишь изредка требуется участие оператора. В ЛВТА уже несколько лет эксплуатируется построенный по описанному принципу скани-

рующий автомат, предназначенный для обработки снимков с искровых камер /этот автомат назван АЭЛТ-1/. За первый год эксплуатации на нем было измерено 60 тыс. событий. Возможности автомата при круглосуточной загрузке - обработка до 300 тыс. событий в год. По тому же принципу, с использованием новейших достижений техники, построен новый высокопроизводительный сканирующий автомат АЭЛТ-2, предназначенный для обработки событий на снимках больших форматов.

Другой разновидностью прибора для автоматической обработки камерных снимков является сканирующее устройство с "бегущим лучом". Оно предназначено в основном для обработки снимков с пузырьковых камер. Оптико-механическая часть сканирующего устройства, имеющегося в ЛВТА, приобретена у зарубежной фирмы, выпускающей аналогичные приборы; электронная часть изготовлена в ОИЯИ. Это сканирующее устройство работает на линии со специальной вычислительной машиной среднего класса. Для проведения автоматического сканирования, помимо просмотра и отбора соответствующего типа событий, подлежащих обработке, необходим предварительный промер снимков, задающих автомату общую картину каждого обрабатываемого события /так называемая "маска"/. Заготовка масок выполняется на шести специальных просмотрно-измерительных столах, связанных с малой вычислительной машиной. Производительность сканирующего устройства - около 200 тыс. событий в год.

Еще одной автоматизированной сканирующей установкой, имеющейся в ЛВТА, является прибор со спиральной разверткой /"Спиральный измеритель"/. В этом приборе удачно используется характерная особенность ядерных взаимодействий, состоящая в том, что для большого класса изучаемых событий взаимодействия имеют вид нескольких следов частиц, выходящих из одной точки, называемой вершиной события. Если вер-

шину такого события совместить с центром спиральной развертки и затем осуществить сканирование снимка тонким лучом света по спирали увеличивающегося радиуса, то за время выполнения спиральной развертки можно зарегистрировать все треки, выходящие из данной вершины. Таким образом, при спиральном сканировании скорость измерения не зависит от числа треков, выходящих из вершины. Кроме того, применение для сканирования радиальной щели, ориентированной на вершину события, позволяет существенно сократить количество информации о следах, не исходящих из данной вершины, что является важным достоинством этого устройства. Производительность прибора при круглосуточной работе - просмотр около 100 тыс. событий в год.

Описанные выше три автоматических устройства для обработки снимков хотя и требуют участия человека в процессе обработки каждого события, однако основную часть времени работают в автоматическом режиме. Тем не менее, почти всегда существует некоторая доля событий, которые по тем или иным причинам не поддаются обработке ни одним из описанных автоматических устройств. Для восполнения этого пробела в лаборатории используется система из 15 полуавтоматических устройств, управляемых электронной вычислительной машиной второго уровня. Каждая такая полуавтоматическая установка представляет собой прецизионный прибор, построенный на базе измерительного микроскопа с датчиками на дифракционных решетках и соответствующей электроникой, обеспечивающей прямой ввод результатов измерений в вычислительную машину и контроль получаемых данных со стороны последней. Система позволяет проводить одновременно обработку информации с различных трековых камер. Производительность системы составляет при круглосуточной работе около 200 тыс. четырехлучевых событий в год. В настоящее время планируется расширение этой системы путем включения в нее некоторого количества

измерительно-просмотровых столов САМЕТ, изготовленных в ЧССР, позволяющих совместить просмотр и измерение на одном и том же приборе, что наряду с увеличением производительности является предпочтительным в ряде физических исследований.

Современная организация обработки снимков возможна только на основе измерительно-вычислительных комплексов, оснащенных мощными электронно-вычислительными машинами и разнообразной автоматизированной аппаратурой, обеспечивающей просмотр и измерение. Разработка и создание такой аппаратуры и ее программного обеспечения является сложной научно-технической задачей, требующей объединения усилий большого количества специалистов различного профиля. Самостоятельное проведение этих разработок в большинстве случаев не по силам отдельным институтам и лабораториям, поэтому все описанные системы созданы в сотрудничестве со многими институтами и организациями стран - участниц ОИЯИ. Имеет место постоянный обмен опытом в этой области с другими зарубежными физическими институтами, в частности, с Европейским центром ядерных исследований.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наличие в лаборатории мощного вычислительного комплекса и большого парка просмотрово-измерительных и сканирующих устройств позволяет ее специалистам активно участвовать в исследованиях по физике высоких энергий. Научные интересы лаборатории концентрировались в следующих основных областях:

- Изучение поляризационных эффектов в неупругих протон-протонных соударениях при энергии 670 МэВ с целью получения сведений о механизме резонансного образования пионов.



- Исследование процессов выбивания дейтронов из ядер протонами с энергией 670 МэВ.

- Исследование при помощи магнитного спектрометра с проволочными искровыми камерами на линии с вычислительной машиной процессов, протекающих при взаимодействии с ядрами протонов и дейтронов с энергиями до 10 ГэВ.

- Разработка больших стримерных камер и исследование с их помощью когерентного и кумулятивного рождения частиц в ядерных процессах при релятивистских энергиях.

- Исследование процессов образования резонансных состояний в нейтрон-протонных соударениях в области от 1 до 5 ГэВ/с.

- Изучение процессов рождения странных частиц в пион-протонных взаимодействиях в области энергий от 1 до 16 ГэВ.

Эффективное решение перечисленных проблем в сжатые сроки стало возможным благодаря существенному вкладу специалистов лаборатории в развитие методов использования современных средств автоматизации ядерных исследований и вычислительной техники.

### **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ**

Появление электронных вычислительных машин произвело революцию в исследованиях физических явлений. Современная физика немыслима без использования сложного математического аппарата. Она ежедневно выдвигает перед исследователями фундаментальные математические проблемы, решение которых требует использования всего арсенала существующих, а также создания качественно новых методов математического анализа. Задачами, стоящими перед математиками ЛВТА, является создание новых математических мето-

дов и развитие путей применения существующих способов для решения научных проблем, стоящих перед Объединенным институтом. Остановимся на основных направлениях исследований, проводимых математиками Объединенного института.

Многие проблемы современной физики: анализ движения заряженных частиц и исследование поведения их сгустков в электромагнитных полях, проблемы физики плазмы, теории рассеяния, дисперсионных соотношений, нелинейной теории поля и другие, - приводят к решению нелинейных уравнений. При исследовании подобных задач большое значение имеют как аналитические и качественные методы, так и создание эффективных алгоритмов их численного решения с помощью вычислительных машин. Нередко численное решение - единственная возможность ввиду сложности математической постановки задачи. Однако если приближенные методы решения линейных задач разработаны относительно хорошо, то для решения нелинейных задач таких универсальных способов нет. Поэтому исследованию методов численного решения нелинейных задач в Объединенном институте уделяется большое внимание. Особенно актуальной эта проблема стала в связи с развитием нового метода коллективного ускорения, а также исследованием параметров ряда физических установок. Одним из основных инструментов решения нелинейных задач ядерной физики в Объединенном институте стал так называемый непрерывный аналог метода Ньютона. В широко известном методе касательных, введенном Ньютоном, осуществляется последовательное, шаг за шагом, приближение к решению путем замены на каждом из шагов кривой, изображающей нелинейную зависимость, прямой линией - касательной к этой кривой. В непрерывном аналоге метода Ньютона сделан переход от дискретной аппроксимации к непрерывной посредством введения непрерывно варьируемого параметра. Сохранено основное свойство метода Ньютона: при каждом фиксированном

значении параметра решается линейная задача, решение которой при возрастании параметра сходится к решению исходной нелинейной задачи. Важным преимуществом такого подхода является его большая универсальность по отношению к виду нелинейности.

Широкий круг физических и математических задач может быть сведен к задаче о минимизации функционалов, что всегда было актуальным. Разработанные в лаборатории алгоритмы и программы минимизации функционалов нашли широкое применение далеко за пределами Института.

Целый ряд задач физики относится к так называемым некорректным задачам, в которых малые искажения входной информации приводят к большим ошибкам в результате. В последние годы в связи с запросами практики интенсивно развиваются предложенные академиком А.Н.Тихоновым методы регуляризации некорректных задач. Математики лаборатории занимаются развитием этих методов и их применением к решению важных задач физики. Кроме того, большой цикл работ выполнен с использованием метода конечных разностей - одного из традиционных подходов к решению задач математической физики.

Одной из важнейших задач экспериментальной физики является задача планирования эксперимента. Математиками лаборатории разработаны эффективные критерии разделения гипотез, успешно применяемые во многих физических исследованиях.

Универсальным инструментом изучения сложных физических процессов является метод статистического моделирования таких процессов на вычислительных машинах /метод Монте-Карло/. Многие физические задачи - такие, как прохождение нейтронов через вещество, расчет реакторов, выбор параметров физических и измерительных установок - успешно решены в Объединенном институте. Математики ЛВТА в тесном контакте с физиками-теоретиками создали эффективные

методы и комплексы программ для численного решения задач теории ядра и теории элементарных частиц. Эти исследования были, прежде всего, направлены на создание эффективных методов решения уравнения Шредингера.

В связи с проводимыми в Объединенном институте исследованиями по коллективному методу ускорения в лаборатории выполнен цикл работ по изучению стационарных самосогласованных состояний и устойчивости релятивистских электронных колец. Задача сводится, как и в физике плазмы, к моделированию эволюции системы, состоящей из большого количества заряженных частиц. Разработаны разные методы такого моделирования. Так называемый кинетический метод или метод укрупненных частиц, при реализации которого приходится следить за поведением сотен или даже тысяч крупных сгустков частиц. Другой метод состоит в исследовании непрерывных моделей, что также часто приводит к необходимости решать системы двадцати или более интегро-дифференциальных уравнений /например, в случае задачи об устойчивости релятивистского кольца/. Естественно, что подобные исследования немислимы без привлечения мощных современных вычислительных машин и разработки сложных алгоритмов.

Сюда же примыкают работы по одной из фундаментальных проблем физики, так называемой проблеме Ферми-Паста-Улама. Эта проблема связана со стохастизацией движения в нелинейных системах. Существует целый класс уравнений, допускающих солитонные /ограниченные в пространстве/ решения и описывающих самые различные физические процессы - от нелинейных колебаний поверхности моря до квантовой теории поля. Существование невзаимодействующих солитонов /сгустков энергии/, вообще говоря, противоречит гипотезе Ферми. В работах, выполненных в лаборатории, на примере нелинейного уравнения Шредингера с самосогласованным потенциалом было показано, что даже



Установка СКМ-200 создана совместными усилиями Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ с участием Института физики высоких энергий АН КазССР. Она установлена на пучке синхротрона. Ученые Объединенного института С.О.Оконов, М.Г.Мещеряков, В.Т.Матюшин и А.Т.Матюшин обсуждают с болгарским физиком П.Марковым программу физических исследований на СКМ-200.



Малая вычислительная машина ЭВМ ТРА-1 с графическим дисплеем предназначена для обработки снимков с пузырьковых камер на сканирующих автоматах.

Результат фильтрации "полезного" события от фона следов на снимке.







Основное здание Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.



Зал электронной вычислительной машины БЭСМ-6. Мощная ЭВМ служит базовой машиной измерительно-вычислительного комплекса ОИЯИ.

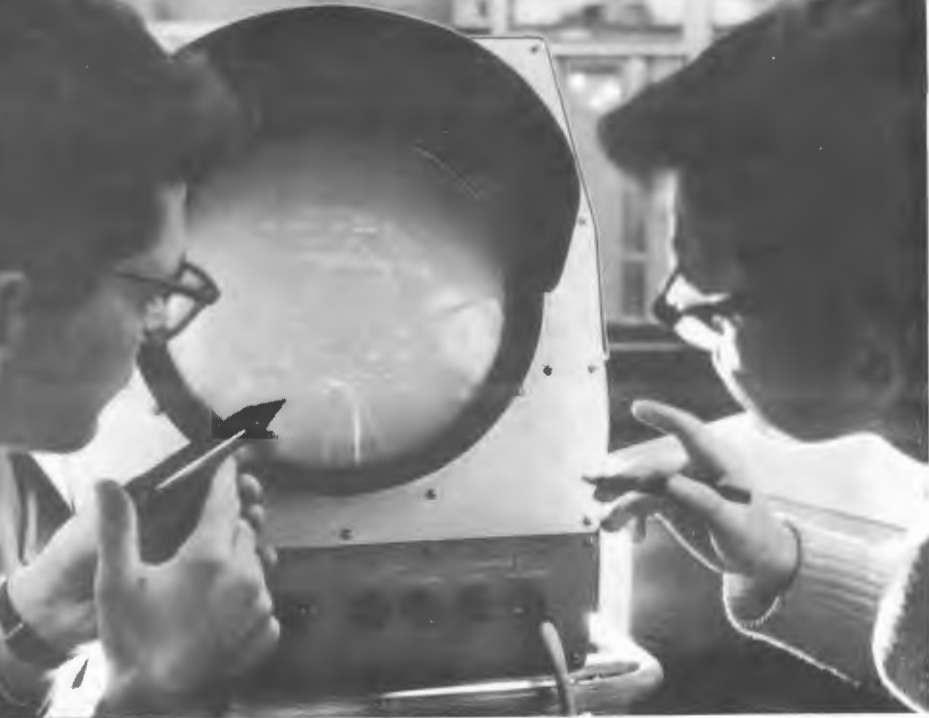
Для эффективного использования малой ЭВМ СДС-160А в системе обработки камерных снимков сотрудники Института применили фотосчитающее устройство, позволяющее быстро вводить данные в машину.



В вычислительном центре Института работает высокопроизводительная вычислительная система СДС-6400.



Зал электронных вычислительных машин БЭСМ-4 и СДС-1604А. Машины работают на линии с автоматом НРД и полуавтоматами для обработки камерных снимков.



Разработанный в ОИЯИ дисплей со световым карандашом находит широкое применение при решении задач экспериментальной физики.



Измерительный полуавтомат ПУОС. Система из 15 таких приборов, связанных непосредственно с ЭВМ БЭСМ-4, используется для обмера фотографий с действующих в Институте трековых камер. В процессе измерения можно производить анализ вводимой в машину информации и исправлять ошибки операторов или аппаратуры.







Просмотрово-измерительный стол САМЕТ, изготовленный в ЧССР, предназначен для просмотра и измерений фотографий с трековых камер. Научный сотрудник Т.Канарек ведет просмотр фотографий, сделанных в двухметровой пропановой камере на пучке серпуховского ускорителя.



Просмотрово-измерительный стол БПС-2 используется для отбора и предварительного измерения событий, полученных с пузырьковых камер. Стол функционирует на линии с малой вычислительной машиной ТРА-1001, которая регистрирует поступающие данные и осуществляет контроль за работой оператора.



Созданная в Институте выносная дисплейная станция ЭВМ БЭСМ-6 включает в себя малую ЭВМ М-6000, графический и алфавитно-цифровой дисплей, аппаратуру связи.





Установка СКМ-200 создана совместными усилиями Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ с участием Института физики высоких энергий АН КазССР. Она установлена на пучке синхрофазотрона. Ученые Объединенного института С.О.Оконов, М.Г.Мещеряков, В.Т.Матюшин и А.Т.Матюшин обсуждают с болгарским физиком П.Марковым программу физических исследований на СКМ-200.



Малая вычислительная машина ЭВМ ТРА-1 с графическим дисплеем предназначена для обработки снимков с пузырьковых камер на сканирующих автоматах.

Результат фильтрации "полезного" события от фона следов на снимке.



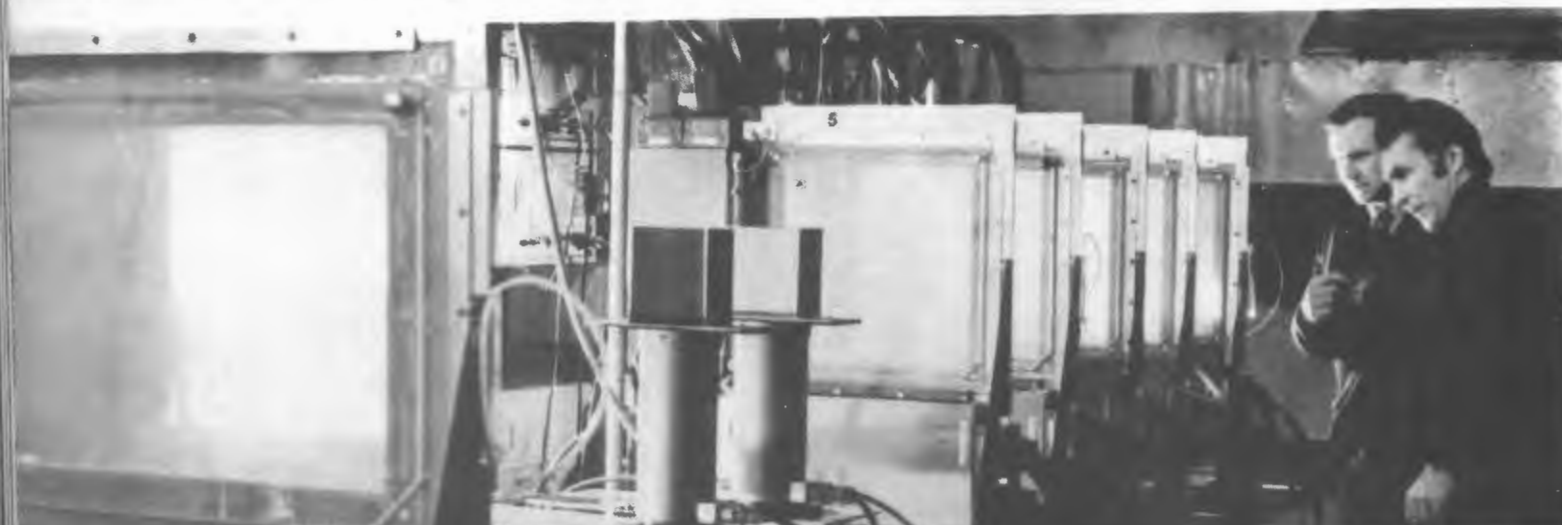
В ОИЯИ совместно с институтами стран-участниц создана высокопроизводительная сканирующая система "Спиральный измеритель", предназначенная для обработки снимков с трековых камер. На снимке: разработчики этой системы В.М.Котов, Р.Поле, И.И.Скрыль, А.Е.Селиванов, В.Н.Лысиков.



Программист М.Женей просматривает картину события, обработанного на спиральном измерителе, перед фильтрацией результатов сканирования.



Сканирующий автомат типа НРД предназначен для проведения массовых измерений фотографий с пузырьковых и искровых камер. Прибор управляется ЭВМ среднего класса, его производительность соответствует производительности 15÷20 полуавтоматов ПУОС.



Для исследования ядерных реакций на синхрофазотроне создан магнитный спектрометр с проволочными искровыми камерами и сцинтиляционными счетчиками. Установка работает на линии с ЭВМ.



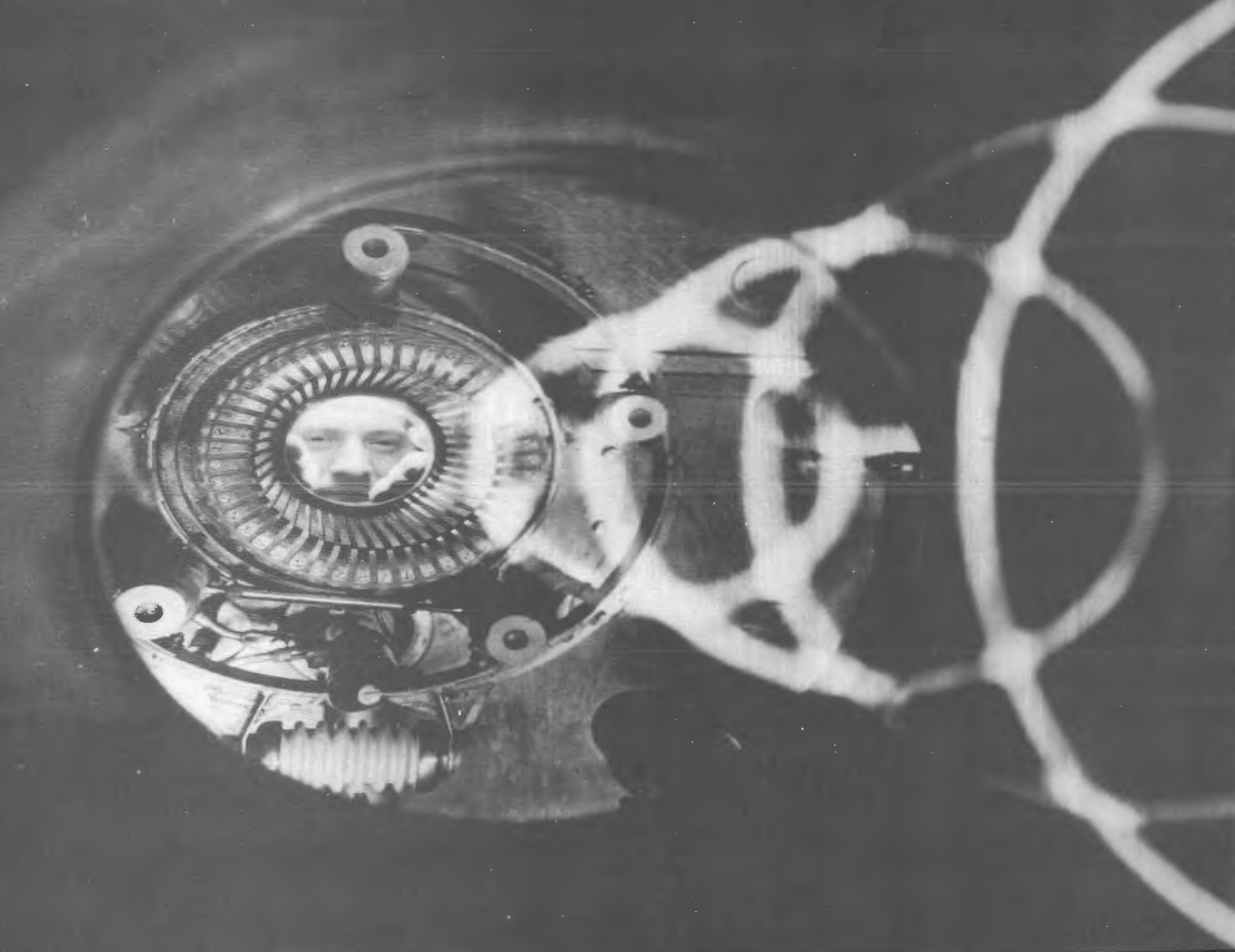
Венгерские инженеры М.Калло и В.Рус из группы обслуживания малых вычислительных машин ведут наладку аппаратуры.



Сканирующий автомат АЭЛТ-1 используется для обработки снимков с искровых камер. На переднем плане: оператор ведет "разговор" с ЭВМ, используя дисплей-монитор, на заднем плане - ЭВМ БЭСМ-4, управляющая работой автомата.

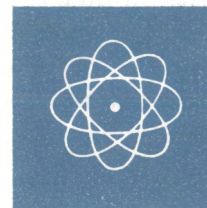
В Вычислительном центре Объединенного института прошла стажировку группа инженеров и математиков из ГДР. На снимке: инженер В.Е.Аниховский дает пояснения немецким коллегам, изучающим опыт работы на ЭВМ БЭСМ-6.







**ОТДЕЛ  
НОВЫХ МЕТОДОВ  
УСКОРЕНИЯ**





Отдел новых методов ускорения, возникший в 1962 году в составе ЛВЭ, - один из самых молодых научных коллективов ОИЯИ. В отделе за короткий срок выполнен ряд работ, получивших признание мировой научной общественности. Само его название уже говорит о том, что работы отдела связаны с развитием новых методов ускорения.

Основателем отдела был академик В.И.Векслер, и основной задачей, поставленной перед ОНМУ, являлось создание ускорителей, основанных на коллективном методе ускорения.

### ЧТО ТАКОЕ КОЛЛЕКТИВНЫЙ МЕТОД УСКОРЕНИЯ?

В.И.Векслер предложил различные варианты реализации коллективного метода: ударное ускорение, когерентное и радиационное. В 1962 году он сформулировал основы коллективного метода ускорения электронно-ионных колец. В том же году были начаты экспериментальные и теоретические исследования новой схемы формирования плотных релятивистских колец в установ-

ке, предложенной В.И.Векслером и В.П.Саранцевым и названной адгезатором /адиабатический генератор заряженных торондов/. Для развития метода большое значение имели работы О.И.Яркового, который заложил основы теории формирования и ускорения электронно-ионных колец.

В коллективном ускорителе тяжелые частицы /протоны, ионы/ удерживаются и ускоряются вместе с электронным кольцом. Напряженность электрических полей в кольцах может достигать  $10 \text{ МВ/см}$ . Для того чтобы сформировать кольцо, высокоэнергетичный электронный пучок инжектируется в адгезатор, где под действием магнитного поля он сворачивается. Затем магнитное поле медленно /адиабатически/ нарастает. Кольцо при этом сжимается, размеры его поперечного сечения уменьшаются, а энергия электронов растет. В сжатое кольцо вводятся нейтральные атомы, ионизируются, захватываются им и ускоряются вместе с кольцом. Поскольку электроны и ионы в направлении ускорения движутся с одной скоростью, то ионы, обладающие большей массой, чем электроны, приобретают и большую энергию. Таким образом, кольцо как целое можно ускорять

в электрических полях так, что тяжелые частицы приобретут энергию большую, чем при прямом их ускорении в тех же полях.

Расчеты показывают, что коллективный ускоритель сможет ускорять ионы различных элементов. Сейчас представляется, что такая установка будет иметь значительные преимущества по сравнению с традиционными типами ускорителей. Некоторые дополнительные особенности нового ускорителя /короткий сброс пучка на мишень, возможность получения глубоко ионизированных, а в перспективе и полностью лишенных электронов пучков атомов/ могут открыть пути для постановки совершенно новых экспериментов или применения новых, существенно более эффективных методик исследования уже известных проблем как в области ядерной физики, так и в области таких фундаментальных разделов физики, как, например, квантовая электродинамика.

Строительство ускорителя тяжелых ионов является сейчас основной задачей Отдела новых методов ускорения.

### *НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ОТДЕЛА*

Центральной проблемой при создании коллективного ускорителя является получение сгустков заряженных частиц высокой плотности, что представлялось вначале принципиально неразрешимой задачей - ведь речь шла о преодолении столь же больших кулоновских полей, какие предполагалось использовать. В Отделе новых методов ускорения был найден способ формирования сгустков в виде электронных колец. Это явилось настолько принципиальным, что сейчас существует другое название коллективного ускорителя: ускоритель с электронными кольцами.

Столь же важной является разработка вопросов компрессии кольца после инъекции. Действительно, происходящее при этом возрастание энергии электронов ком-

пенсирует кулоновские силы расталкивания, что обеспечивает магнитное стягивание кольца в поперечном направлении и приводит к увеличению ускоряющей силы, действующей на ионы, примерно в 100 раз. В результате таких находок родилась схема адгезатора, которая применяется сейчас во всех установках, основанных на коллективном методе.

Идея адгезатора оказалась плодотворной по двум причинам. С одной стороны, она позволила использовать достижения техники классических ускорителей, поскольку адгезатор, по сути, - бетатрон с переменной орбитой. С другой стороны, плотный электронный пучок, нагруженный ионами, представляет собой плазменное образование. Таким образом, новый метод занял промежуточное положение между физикой классических ускорителей и физикой плазмы, но плазмы специфической релятивистской и, что существенно, - безграничной.

Все это не могло не привлечь внимания специалистов к новому методу. Решение проблемы требовало большого объема теоретических разработок. В ОНМУ впервые решены такие задачи, как определение стационарных форм электронного кольца, основные инварианты в процессе компрессии, условия заполнения электронного кольца ионами. Важным этапом развития коллективного метода явились исследования вопросов устойчивости электронного кольца. Были найдены критерии устойчивости кольца по отношению к классическим ускорительным и плазменным неустойчивостям, условия устойчивого существования кольца, экранированного стенками адгезатора. Решение большинства этих проблем, а также оригинальные способы фокусировки кольца при его ускорении /например, фокусировка силами изображения/ стали общепринятыми и легли в основу физического обоснования коллективного метода ускорения. В ОНМУ были выполнены эксперименты, позволившие развернуть широким фронтом работы по коллективному методу ускорения.

Успешный запуск линейного индукционного ускорителя ЛИУ-3000, созданного в НИИЭФА им. Ефремова, - самого мощного среди ускорителей своего типа, позволил построить модель коллективного ускорителя. В 1969 году электронное кольцо было сформировано и после компрессии выведено из медианной плоскости. Этим самым была продемонстрирована работоспособность адгезатора и подтверждены идеи компрессии электронных колец.

Большой успех выпал на долю коллектива ОНМУ в 1970 году, когда были зарегистрированы ускоренные в модели коллективного ускорителя  $\alpha$ -частицы. Параметры кольца обеспечили ускоряющую силу  $40 \text{ МэВ/м}$  в пересчете на один заряд. Успех этого эксперимента означал, что идеи, заложенные в основу метода, себя оправдали, и приоритет теоретических и экспериментальных принципов коллективного метода ускорения принадлежит ОИЯИ.

Первоначально главной задачей было получение частиц сверхвысоких энергий, но первым практическим использованием метода, безусловно, является сооружение ускорителя тяжелых ионов. Для этого требовался более мощный ускоритель электронов, чем ЛИУ-3000, и в ОНМУ началось его строительство.

Сооружение любого ускорителя предполагает решение ряда сложных технических задач. Если же речь идет о создании нового, принципиально отличного от других, ускорителя, то круг таких проблем значительно расширяется. Сложнейшими задачами являются при этом создание не только сильноточных линейных ускорителей, но также и систем питания адгезатора, способов формирования магнитных полей и разработка ускоряющих систем. Эти и другие технические проблемы, связанные с практической реализацией коллективного метода, решает Отдел новых методов ускорения.

В ОНМУ разработаны способы формирования импульсов высокого напряжения на ускорителе электронов с использованием нелинейных свойств феррита, созданы надежные сильноточные коммутаторы, отработана методика формирования необходимых градиентов магнитных полей в месте нахождения электронного кольца в процессе его сжатия. Практическое осуществление формирования импульсного магнитного поля потребовало разработки магнитометров большой точности, большого количества специальной электронной аппаратуры, работающей на линии с ЭВМ. Успешно развиваются методы диагностики электронного кольца и вопросы управления будущим ускорителем.

Особое место в коллективном ускорителе отводится ускоряющей системе. Она может быть выполнена в виде соленоида со спадающим магнитным полем, в виде высокочастотных резонаторов или в виде импульсной линии. По всем этим направлениям ведутся широкие исследования. Перспективным может оказаться применение криогенных систем для ускорения электронных колец. Поэтому совместно с криогенным отделом ЛВЭ и при участии ЦЭМ сооружается кольцетрон - система из 4-х ускоряющихся криогенных резонаторов и ряда сверхпроводящих магнитов. В процессе постройки кольцетрона решаются сложные технические проблемы, такие, как, например, нанесение сверхпроводящей пленки на внутреннюю поверхность резонаторов большого объема. Накоплен опыт охлаждения сверхпроводящих резонаторов и соленоидов больших объемов, отработана методика определения характеристик резонаторов в рабочем состоянии.

С 1967 года Отдел является активным участником всех крупных конференций по ускорителям. Показательно, что проходивший в 1972 году в Дубне Симпозиум по коллективным методам ускорения собрал более 200 участников. Обзорные доклады по развитию этого метода представили научно-исследовательские организации

СССР, США, ФРГ, Франции, Японии. Образованы экспериментальные группы в Италии, Канаде. Это говорит о признании коллективного метода, который родился и развивается в ОИЯИ.

### СОТРУДНИЧЕСТВО С НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ СТРАН-УЧАСТНИЦ

Создание современного ускорителя требует решения большого числа научно-технических проблем, организации производственной базы, освоения сложных технологических процессов. Все это невозможно без сотрудничества с соответствующими научными центрами. Отдел новых методов ускорения установил широкие связи с целым рядом исследовательских институтов стран-участниц ОИЯИ. Высокий уровень развития соответствующих областей техники и накопленная в этих институтах культура проведения измерений способствуют выполнению разработки коллективного метода ускорения в ОНМУ. Часть совместных работ имеет целью создать в ОНМУ научно-техническую базу. Среди них следует отметить сотрудничество с Электротехническим институтом Словацкой Академии наук и институтами Венгерской Академии наук в Будапеште /Центральный институт физических исследований и Исследовательский институт вычислительной техники и автоматизации Венгерской Академии наук/.

Совместно с ЭТИ САН разработаны методы прецизионного измерения постоянных и импульсных магнитных полей, разработана и введена в эксплуатацию автоматизированная, действующая на линии с ЭВМ, установка для измерения и формирования магнитных полей в системах коллективного ускорителя.

В сотрудничестве с Исследовательским институтом вычислительной техники и автоматизации Венгерской

Академии наук создана база для производства электронных блоков, в основе которой лежат разработанные этим институтом автоматизированные установки для производства печатных плат. В Центральном институте физических исследований разработан и осуществляется совместно с ОНМУ проект автоматизированной системы управления ускорителем тяжелых ионов на базе созданной в этом институте электронно-вычислительной машины.

Польские физики из Института ядерной физики /Краков /участвуют в создании системы диагностики пучков, физики из Народной Республики Болгарии консультировали разработку проекта получения глубокого вакуума в адгезаторе ускорителя, в институтах ЧССР проведено обсуждение вопросов создания диэлектрической камеры адгезатора.

Часть совместных работ проводится с ускорительными лабораториями стран-участниц и связана непосредственно с исследованием отдельных проблем коллективного метода ускорения.

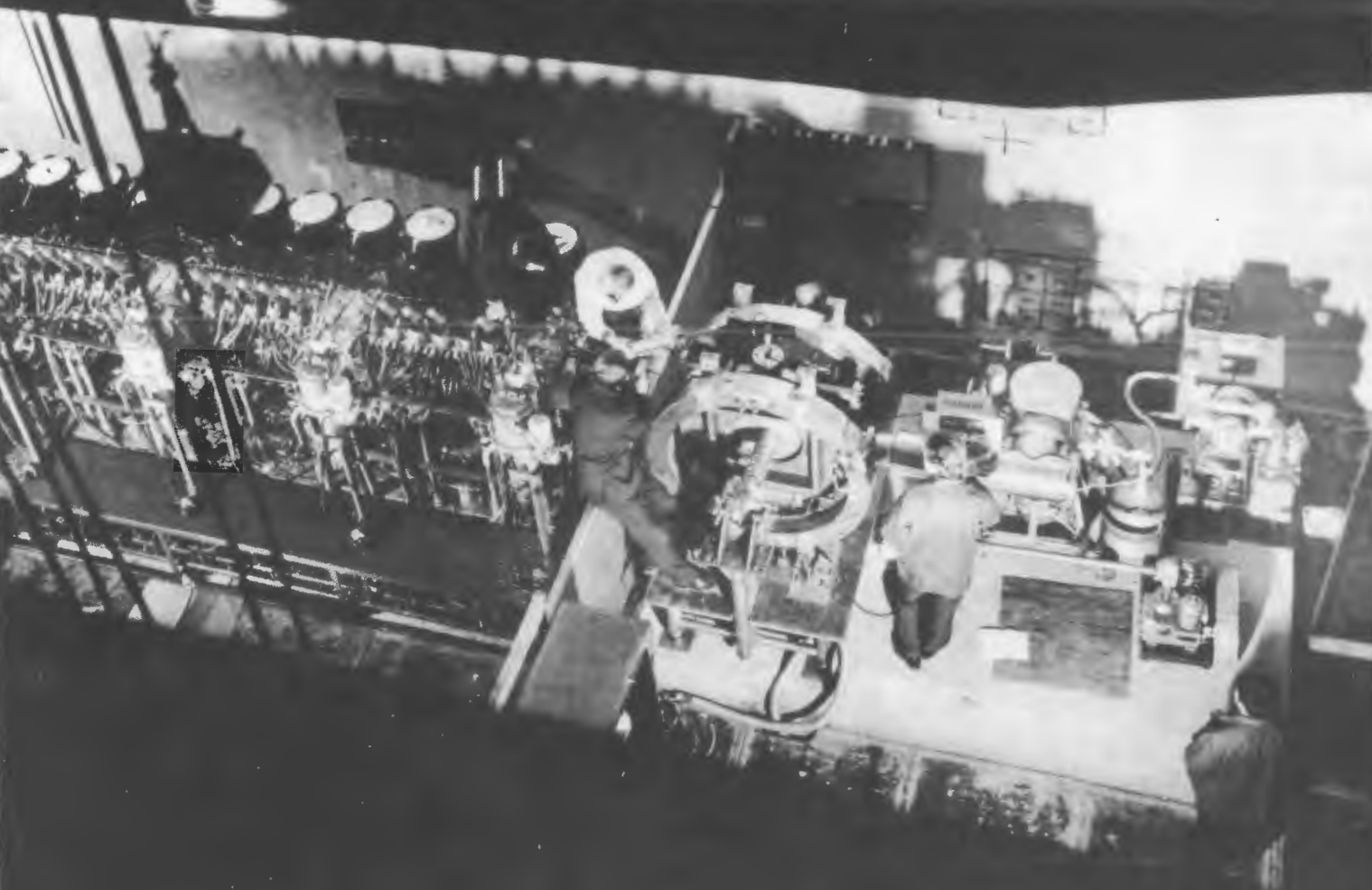
Сотрудничество ОНМУ с научными центрами стран-участниц ОИЯИ, а также завершение в 1974 году комплекса сооружений Отдела новых методов ускорения позволили широко развернуть работы по реализации этого перспективного метода ускорения заряженных частиц.

Разработка коллективного метода ускорения ведется под руководством В.П.Саранцева. Важнейший вклад в работу Отдела новых методов ускорения внесли И.А.Голутвин, Г.В.Долбилов, Э.А.Перельштейн, В.П.Рашевский, Н.Б.Рубин, В.А.Свиридов.

Активное участие в работах Отдела принимали и принимают специалисты из других стран-участниц ОИЯИ: И.Габанец /ЧССР/, А.Кухарчик /ПНР/, Д.Париш /ВНР/, З.Хикманн /ГДР/ и другие.



В Объединенном институте ядерных исследований предложен новый метод ускорения заряженных частиц - коллективный. Ученые ведут исследования на модели коллективного ускорителя. На снимке: линейный ускоритель электронов СИЛУНД и адгезатор.



Один из этапов усовершенствования камеры адгезатора: на образце тонколистовой камеры, армированной плитами из дельта-древесины, исследовалось поведение тонких стенок под давлением, а также характер деформирования импульсных магнитных полей стенками.





Одна из секций  
СИЛУНДА.

Директор Института  
Н.Н.Боголюбов и уче-  
ный секретарь Ю.А.Шер-  
баков у адгезатора,  
в котором впервые были  
ускорены коллектив-  
ным методом альфа-  
частицы. Пояснения  
дает начальник отдела  
В.П.Саранцев.

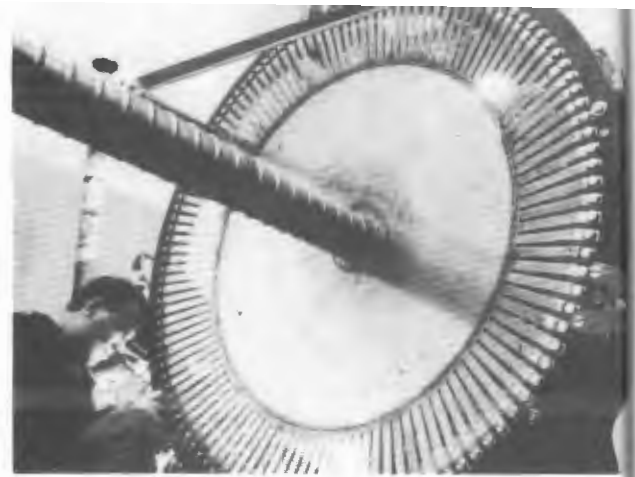
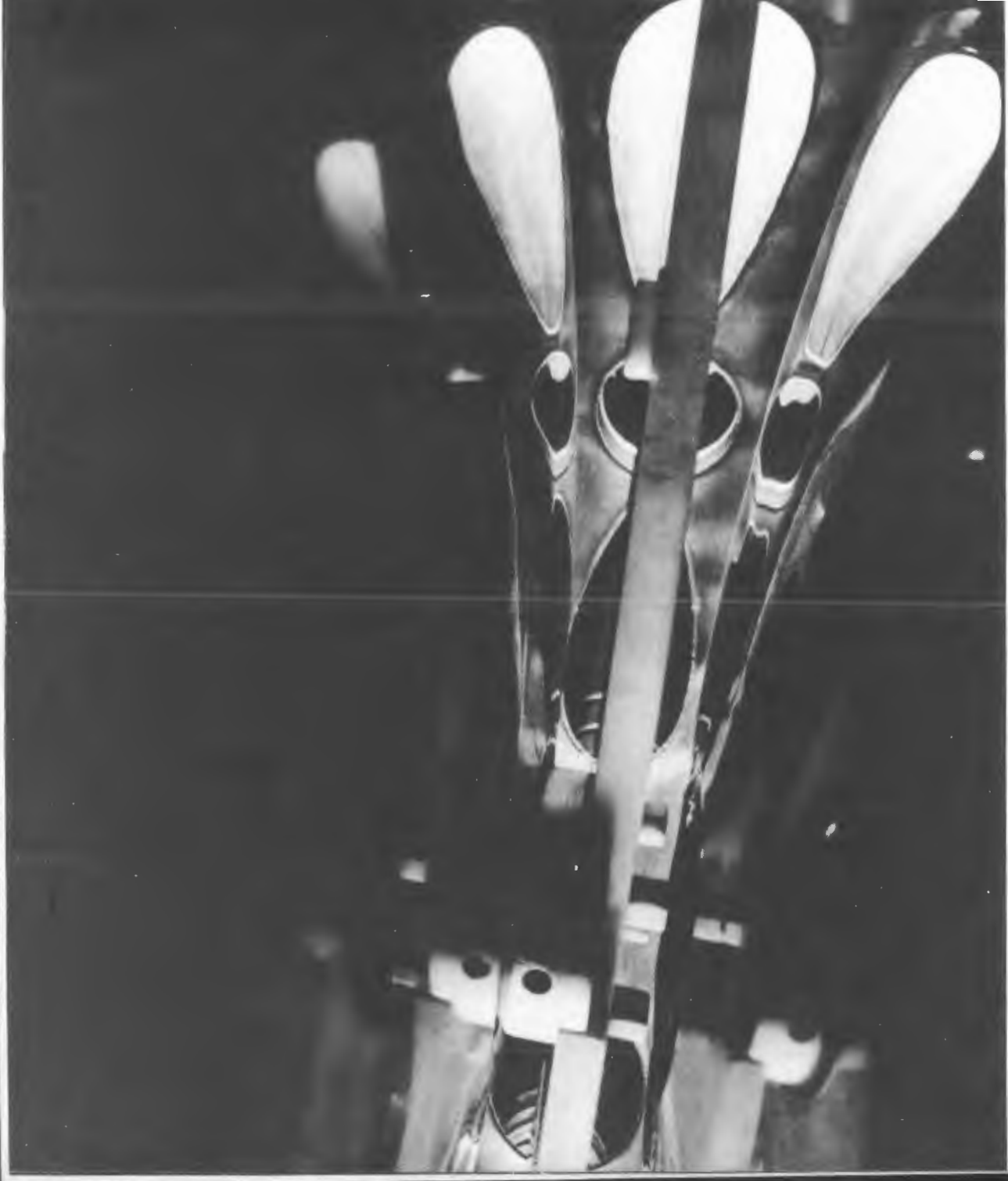


Адгезатор - цент-  
ральная часть коллек-  
тивного ускорителя.  
Здесь формируется  
кольцевой сгусток час-  
тиц.



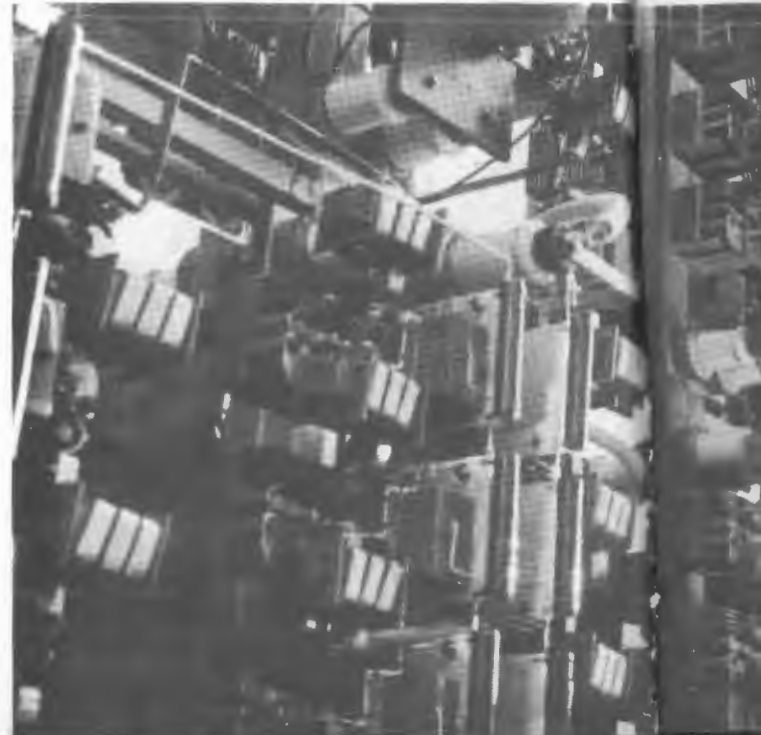
В Институте создана  
меморальная комна-  
та академика В.И.Век-  
слера. Он внес больш-  
шой вклад в развитие  
ускорительной техни-  
ки, ему принадлежит  
идея коллективного ме-  
тода ускорения.





Тонколистовая камера адгезатора. Модель выдерживает давление в 10 тонн. В этой камере сформировано импульсное магнитное поле, необходимое для захвата и сжатия кольца электронов.

◀ Внутри камеры адгезатора.



Ст  
элект  
Внутр  
со ш  
щены  
поле.  
30 кл

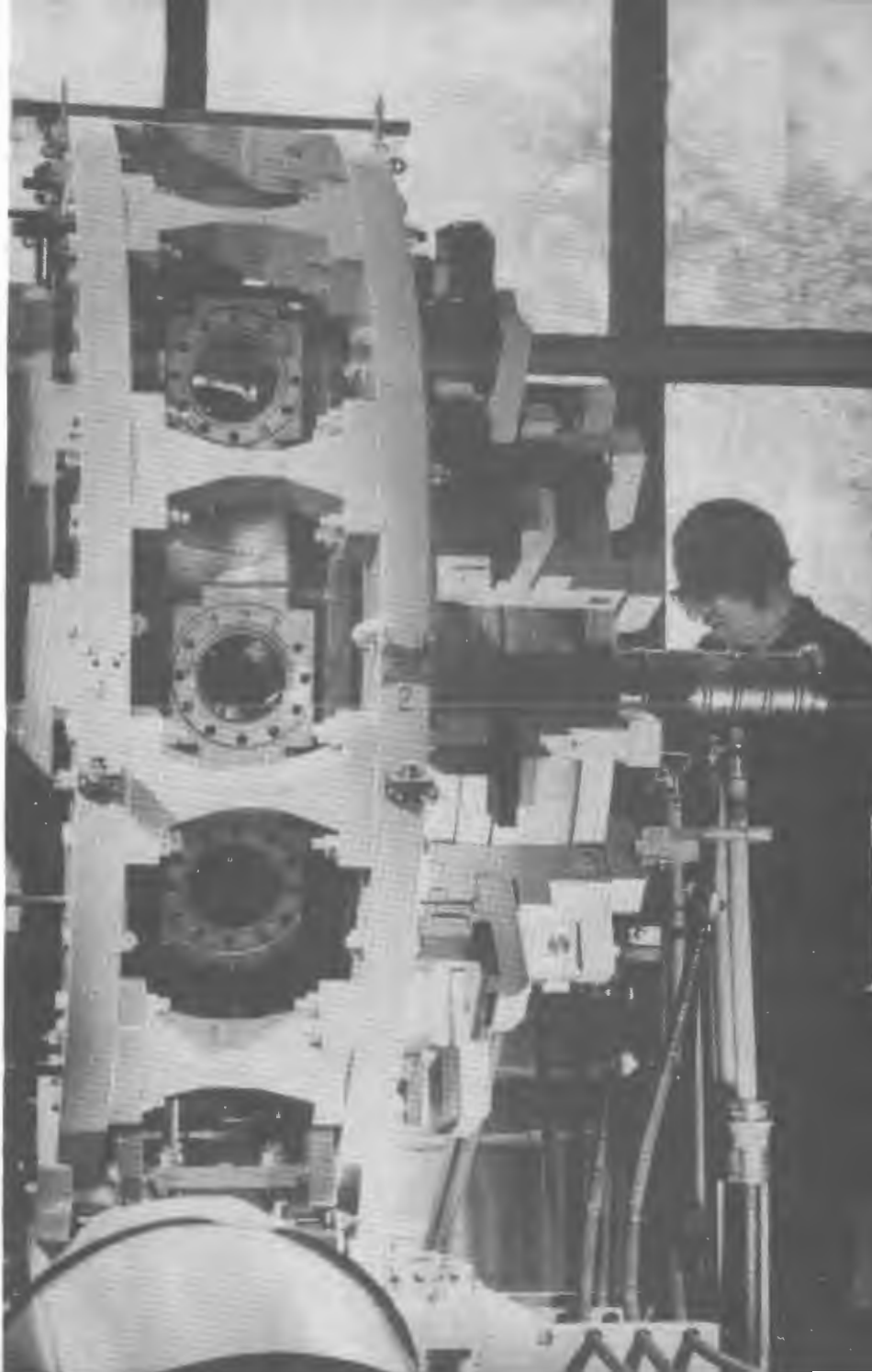


Система: тонколи-  
стовая камера адге-  
затора - стапель в  
сборе. ▶

Стапель адгезатора, способный выдержать электродинамические удары силой в десятки тонн. Внутри стапеля находятся тонколистовая камера со шпангоутами и растяжками. На стапеле размещены обмотки, создающие импульсное магнитное поле. На обмотки подается ток 6 кА при напряжении 30 кВ.



Для питания катушек, создающих импульсное магнитное поле, созданы коммутаторы мощных электрических импульсов.





Сверхпроводящий соленоид кольцетрона. Он позволяет получить магнитное поле напряженностью в 2 Тл. ▶



◀ Криогенная ускорительная секция «Кольцетрон» предназначена для отработки систем ускорения. В ней используются сверхпроводящие соленоиды для создания ведущего магнитного поля и сверхпроводящие резонаторы для создания высокочастотного ускоряющего поля. ▼



На базе ЭВМ типа М-6000 создан измерительный центр. Аппаратура хорошо зарекомендовала себя в сложных и тонких магнитных измерениях. ▶



Ведутся разработки методов напыления в вакууме тонких пленок из сверхпроводящих сплавов на внутреннюю поверхность резонаторов. Для этих работ изготовлены специальные камеры. ▶





# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЛУЖБЫ ИНСТИТУТА



Издательский отдел ОИЯИ насчитывает более 40 специалистов - представителей практически всех полиграфических и редакционных профессий. Отсюда публикации ученых Дубны в виде препринтов и сообщений рассылаются физикам 56 стран мира. За год отдел издает около 1000 наименований различных брошюр.

Отделение фотонабора. Здесь начинается процесс превращения машинописной рукописи в изящную брошюру.







В порядке обмена в научно-техническую библиотеку за год поступает более 6,5 тыс. публикаций из 40 стран мира. Такой обмен - неиссякаемый источник научной информации. На снимке - один из читальных залов библиотеки.

Листоподборочно-брошуровальная линия выполняет три операции - подборку, фальцовку и шитье. ▶

Офсетные машины печатного отделения. Более 5 млн черно-белых и цветных оттисков изготавливается ежегодно с их помощью. ◀

Фотопроцессор для изготовления офсетных форм.



# ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МАСТЕРСКИЕ



Производственные корпуса.



Центральные экспериментальные мастерские изготавливают для Института устройства, приборы, узлы базовых установок и физической аппаратуры.

Узлы линейного ускорителя, циклотронов У-120М, У-200 и У-400, реакторов ИБР-30 и ИБР-2, секции "Кольцетрона" и "СИЛУНДа", жидководородная камера "Людмила", узлы магнитного искрового спектрометра, двухметровой стримерной камеры, установки "Фотон", большие просмотровые столы - примеры наиболее важных работ.

В ЦЭМе освоено изготовление свыше 200 видов электронных блоков и приборов, деталей для радиоаппаратуры. Ряд изделий ЦЭМ используется в физических институтах стран - участниц ОИЯИ.

Главный корпус ЦЭМ.



Перед испытанием опытной секции кольцетрона. Слева направо: начальник ЦЭМ М.А.Либерман, начальник криогенного отдела ЛВЭ А.Г.Зельдович, начальник отдела ОНМУ Н.Б.Рубин.



Директор Лаборатории ядерных реакций Г.Н.Флеров рассказывает об особенностях конструкции новой вакуумной камеры ускорителя У-200.



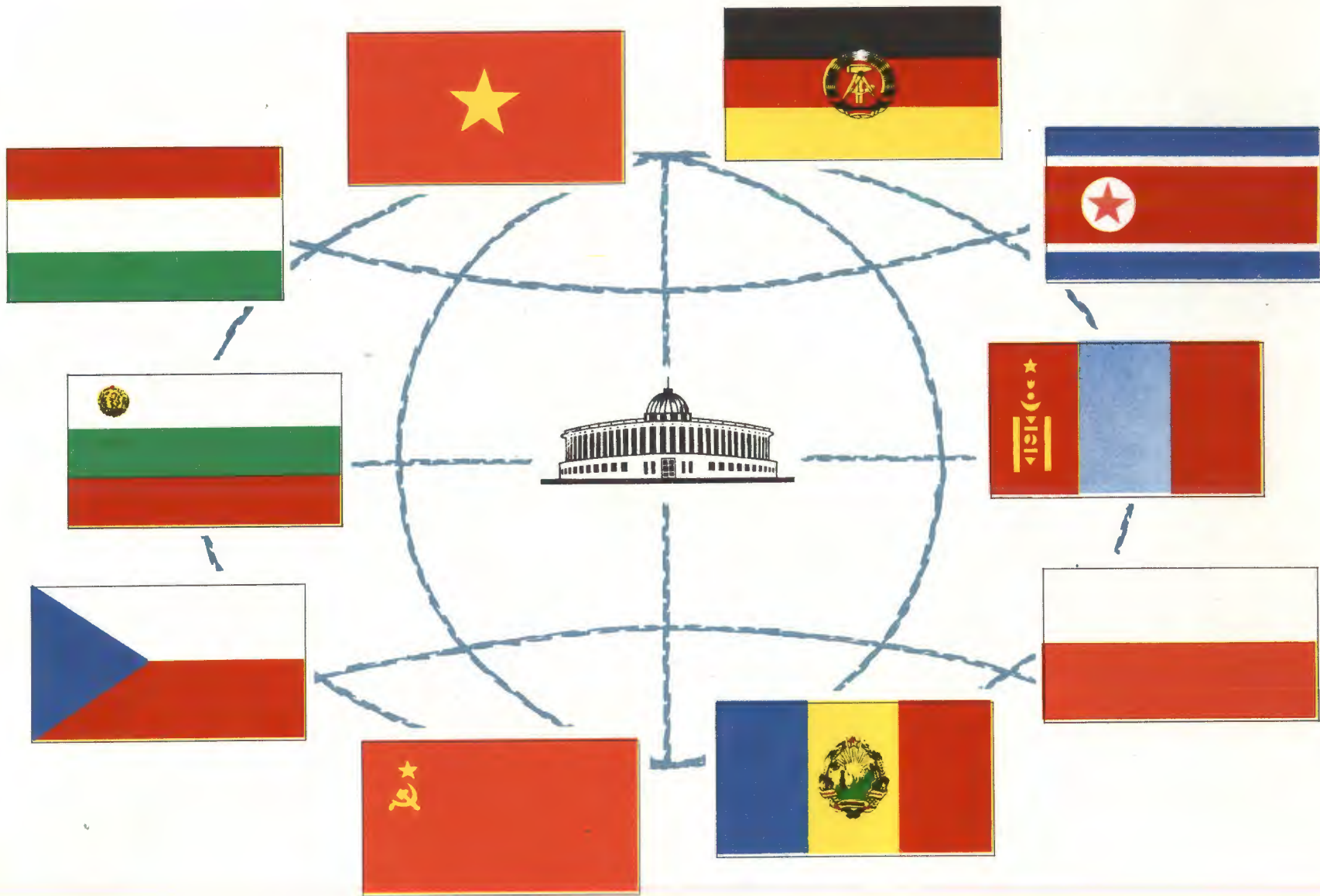
Контрольная сборка пи-мезонной линзы.



Осциллографы со световым карандашом.



Магнитно-искровой спектрометр.



# СОТРУДНИЧЕСТВО С НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ СТРАН-УЧАСТНИЦ

НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
БОЛГАРИЯ

ВЕНГЕРСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
ВЬЕТНАМ

ГЕРМАНСКАЯ  
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА

НОРЕЙСКАЯ  
НАРОДНО-  
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА

МОНГОЛЬСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

ПОЛЬСКАЯ  
НАРОДНАЯ  
РЕСПУБЛИКА

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА  
РУМЫНИЯ

СОЮЗ  
СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

ЧЕХОСЛОВАЦКАЯ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ  
РЕСПУБЛИКА



Ускоренное развитие народного хозяйства социалистических стран явилось результатом самоотверженного труда народов этих стран, а также широкого взаимного экономического и научно-технического сотрудничества, способствующего наиболее рациональному использованию природных, трудовых и материальных ресурсов.

Современный этап технического прогресса требует от стран огромных организационных усилий, материальных и финансовых затрат, мобилизации всех творческих сил. Все это подчеркивает важность задачи интеграции научно-технического потенциала социалистических стран, определяющего в целом ряде областей наивысший мировой уровень развития науки и техники. Особенность нынешнего этапа состоит в осуществлении все большей взаимосвязи и взаимопроникновения фундаментальных и прикладных наук и их приближения к производству.

Осуществление в этих условиях все более крупных технических проектов силами отдельных стран становится делом затруднительным. Необходимость концентрации ученых и специалистов, финансовых средств и специальных материалов для организации современных

научных исследований вызывается быстрым развитием процессов научно-технической интеграции.

Мощные и хорошо оснащенные научно-исследовательские коллективы, институты и лаборатории, организация их работы во все более тесной взаимной кооперации и со все большей степенью специализации позволяют социалистическим странам уверенно идти в первых рядах мирового научно-технического прогресса.

Самой природой мировой социалистической системы, основанной на тесных связях между нашими братскими странами во всех сферах политической, общественной, экономической и научной жизни, обуславливается объективная возможность и необходимость широкого развития научно-технического сотрудничества, которое осуществляется в соответствии с принципами интернационализма, на основе уважения государственного суверенитета, независимости и национальных интересов, невмешательства во внутренние дела стран, полного равноправия, взаимной выгоды и товарищеской взаимопомощи.

Сейчас для социалистических стран все большее значение приобретает развитие научно-технической ин-



теграции, являющейся важнейшим звеном общего процесса социалистической экономической интеграции. Ее развитие - важная предпосылка соединения достижений научно-технической революции с преимуществами социализма.

Социалистическая экономическая интеграция является именно тем решающим фактором, который обеспечивает реализацию преимуществ социализма как мировой хозяйственной системы. Она планомерно направляется коммунистическими и рабочими партиями и правительствами социалистических стран.

Социалистическая экономическая интеграция направлена на рост благосостояния трудящихся, выравнивание уровней экономического и научно-технического развития, дальнейшее хозяйственное сближение и политическую консолидацию социалистических стран.

В 1955 году советским правительством было принято решение об оказании научно-технической и производственной помощи другим государствам в создании научно-исследовательских баз для развития работ в области ядерной физики и использования атомной энергии в мирных целях. Были подписаны соглашения с социалистическими странами об оказании научно-технической помощи и сотрудничестве в области мирного использования атомной энергии. Советский Союз оказал этим странам широкую помощь в создании национальной базы ядерных исследований.

Для строительства, монтажа, пуска и наладки исследовательских установок и аппаратуры в братские страны социализма было командировано свыше 1000 советских специалистов, а более 3000 специалистов и молодых ученых из этих стран прошли обучение и стажировку в Советском Союзе.

Создание современной научно-экспериментальной базы позволило социалистическим странам в сжатые сроки выйти в атомной науке на мировой уровень. Это сотрудничество содействовало организации в со-

циалистических странах в короткие сроки ядерных научно-исследовательских центров, оснащенных современным научно-экспериментальным оборудованием, что способствовало широкому развитию в этих странах научных исследований и инженерных разработок, созданию новых институтов и лабораторий, а также предприятий и организаций по использованию атомной энергии в различных отраслях народного хозяйства. Были сооружены и введены в действие исследовательские атомные реакторы, циклотроны, радиохимические и физические лаборатории, оснащенные современным оборудованием, установками и приборами.

Заложенные при создании Объединенного института ядерных исследований в Дубне в его структуру и организацию принципы обеспечивают возможность самого широкого международного научного сотрудничества в рамках бурно развивающегося процесса экономической интеграции социалистических стран.

Проводимая Объединенным институтом значительная работа по реализации научного сотрудничества и связей с исследовательскими организациями и научными центрами стран-членов имеет большое значение для всех его участников. Она способствует успешному выполнению программы научных исследований Института, привлекая научные и технические кадры этих стран к совместной работе над разрешением поставленных Комитетом Полномочных Представителей и Ученым советом перед коллективом Института задач, дает прекрасную возможность эффективного использования в экспериментальных исследованиях и инженерных разработках научно-технических достижений социалистических стран.

В настоящее время сотрудничество ОИЯИ с ядерно-физическими центрами и научно-исследовательскими организациями стран-участниц осуществляется в форме совместных теоретических и экспериментальных ис-

следований в области физики высоких энергий, ядерной физики и физики конденсированных сред;

- в виде широкой кооперации в обработке и интерпретации большого экспериментального материала, получаемого на физических установках Объединенного института и ИФВЭ в Серпухове, с использованием ЭВМ;

- разработки и изготовления в странах-участницах экспериментальных установок и аппаратуры для совместных научных исследований;

- в форме разработки и совместного использования новых вычислительных программ;

- обмена опытом, оказания помощи в наладке аппаратуры;

- чтения циклов лекций в институтах стран-участниц по их заявкам;

- широкого участия в международных и национальных конференциях, школах и совещаниях, как проводимых в странах-участницах, так и организуемых Объединенным институтом.

При осуществлении всех видов сотрудничества со странами-участницами основное внимание уделяется выполнению совместных работ, обеспечивающих наибольшие научные результаты и охватывающих крупные научно-технические проблемы.

Совместные научные исследования и разработки научно-исследовательскими центрами стран-участниц ведутся на базовых установках Объединенного института, а также ИФВЭ в Серпухове и представляют собой физические и методические исследования, создание экспериментальных установок и аппаратуры.

Объединенный институт ядерных исследований явился не только мощной экспериментальной базой для совместного проведения исследований, но и кузницей высококвалифицированных кадров.

Участие специалистов стран-участниц Института в выполнении совместных научных и методических работ, подготовка научно-технических кадров и обмен

опытом оказывают большое влияние на уровень и развитие ядерной физики, физики элементарных частиц и ядерной техники. Все это обеспечивает ОИЯИ роль ведущего центра содружества социалистических стран в этой области науки.

Ценные научные и технические результаты, получаемые в ОИЯИ, оказывают сильное влияние на развитие в странах - участницах Института как фундаментальных, так и прикладных исследований и, таким образом, - на народное хозяйство всех социалистических стран в целом.

Развитию физики в Демократической Республике Вьетнам во многом способствует многосторонняя помощь Объединенного института ядерных исследований и других научных учреждений социалистических стран. Эта помощь принесла хорошие результаты и содействовала дальнейшему укреплению дружбы, братского сотрудничества между вьетнамскими физиками и физиками других социалистических стран.

В последние годы лаборатории Ханойского университета, лаборатории Института физики и других институтов ДРВ ведут много совместных работ с лабораториями ОИЯИ и лабораториями стран - участниц ОИЯИ. Благодаря этому сотрудничеству молодые вьетнамские физики получают возможность участвовать в исследовательских работах по актуальным проблемам ядерной и теоретической физики, проводимых на высоком уровне.

Физический факультет Ханойского университета сотрудничает с ЛВЭ ОИЯИ в области изучения сильных взаимодействий при высоких энергиях. Лаборатория теоретической физики Института физики ДРВ проводит совместно с ЛТФ ОИЯИ исследования по симметрии элементарных частиц и квантовой теории поля. Лаборатория ядерной физики Института физики сотрудничает с ЛЯР, ЛНФ и ЛЯП ОИЯИ в исследованиях по эксперименталь-

ной ядерной физике. Лаборатория электроники Института физики ДРВ сотрудничает с различными группами лабораторий Объединенного института ядерных исследований в проектировании и изготовлении электронных приборов ядерной физики. Вычислительный центр Государственного Комитета по науке и технике ДРВ сотрудничает с ЛВТА ОИЯИ в области применения вычислительных машин. Вьетнамские физики принимали активное участие в работах по изучению спонтанно делящихся изомеров, исследованию механизма взаимодействия сложных ядер.

В течение двадцатилетнего срока деятельности Объединенного института в Дубну направлялись на работу многие ученые и специалисты из Корейской Народно-Демократической Республики. Они вели научные исследования во всех основных направлениях, развиваемых в Институте, - в области физики элементарных частиц, ядерной физики, методики физического эксперимента. Они не только приобрели большой опыт научно-исследовательской работы, но также внесли большой вклад в научные достижения ОИЯИ. Среди многих работ, в которых творчески участвовали физики из КНДР, широко известная поисковая работа, завершившаяся открытием новой частицы - антисигма-минус-гиперона. Большой многолетний цикл работ по изучению рассеяния нуклонов и пионов на нуклонах и дейтронах также проводился с участием корейских ученых.

Специалисты из национальных научных учреждений КНДР развивают сотрудничество с лабораториями ОИЯИ, в том числе в области электроники и вычислительной техники. Совместно с сотрудниками Объединенного института они разрабатывают стандартные цифровые модули для преобразования информации и сопряжения с ЭВМ, блоки электроники для детекторов, используемых в экспериментах на ускорителях, участвуют в разработках многоканальных систем для амплитудного и временного анализа. Многие специалисты из

КНДР прошли стажировку в Дубне, работая на электронных вычислительных машинах.

С созданием Объединенного института ядерных исследований перед монгольскими физиками открылись широкие возможности работы в одной из самых передовых областей современной науки - в области ядерной физики. Для этого в Объединенном институте были созданы самые благоприятные условия. Объединенный институт ядерных исследований с первых дней существования стал одним из центров подготовки национальных научных кадров МНР в области физики.

Молодые специалисты из Монголии под руководством советских ученых вместе с высококвалифицированными сотрудниками из других братских стран включились в исследования новых для них проблем.

Основной формой сотрудничества монгольских специалистов в рамках ОИЯИ в первые годы его работы было их участие в экспериментальных исследованиях, проводимых в лабораториях Института.

Монгольские ученые участвовали в ряде важных экспериментов, посвященных изучению закономерностей и свойств микромира. В качестве примера можно назвать исследования взаимодействий пионов и нуклонов с нуклонами и ядрами при энергиях в несколько десятков миллиардов электронвольт. Эти исследования велись с помощью ядерных фотозмульсий и пузырьковых камер на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и протонном синхротроне под Серпуховом. Монгольские физики участвовали в исследованиях атомного и ядерного захвата мюонов, двойной перезарядки и ядерного поглощения ионов, проведенных на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ; в исследованиях спонтанно делящихся ядерных изомеров и поиске сверхтяжелых элементов в природе, проводившихся в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ; в исследованиях взаимодействий медленных нейтронов с ядрами и реакций между легкими ядрами, выполненных

в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, участвовали в совместных теоретических исследованиях, посвященных ядерным реакциям и структуре атомных ядер, а также в области процессов взаимодействия элементарных частиц с ядрами, в частности, процессов двойной перезарядки странных частиц.

Монгольские инженеры и математики, работающие в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, принимали активное участие в создании программ обработки экспериментальных данных, решении некоторых прикладных задач, создании разнообразных электронных устройств.

Дальнейшее развитие ОИЯИ стимулировало и развитие форм сотрудничества ученых стран-участниц. Кроме совместного проведения экспериментальных исследований непосредственно в лабораториях Дубны, оказалось целесообразным проводить обработку экспериментального материала в национальных институтах стран-участниц. Для осуществления такой формы сотрудничества при непосредственной помощи ОИЯИ в Монголии были организованы две лаборатории: Лаборатория высоких энергий в Физико-техническом институте Академии наук МНР, где проводится обработка данных ядерных фотозмульсий и снимков с пузырьковых камер, и Лаборатория ядерных исследований Монгольского государственного университета, сотрудники которой занимаются ядерной спектроскопией и активационным анализом.

Лаборатория высоких энергий ФТИ АН МНР оборудована полуавтоматическими измерительными и просмотровыми устройствами для обработки пленочного материала, и после ввода в эксплуатацию ЭВМ-М-222 ее возможности значительно увеличатся. Осуществляя сотрудничество с Лабораторией высоких энергий, Серпуховским научно-экспериментальным отделом и Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ и получая облученные материалы, лаборатория

участвует в их обработке, анализе и подготовке публикаций.

В Лаборатории ядерных исследований Монгольского государственного университета выполняются совместные исследования с Лабораторией нейтронной физики, Лабораторией ядерных проблем, Лабораторией ядерных реакций и Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ; здесь получают облученные на установках ОИЯИ радиоактивные изотопы, производят измерения, разрабатывают спектрометрическую аппаратуру, создают программы обработки спектрометрической информации, готовят совместные публикации.

Большая часть имеющегося в лаборатории оборудования была создана в результате совместных работ с Лабораторией нейтронной физики и Лабораторией ядерных проблем. Сотрудники Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и Лаборатории ядерных исследований Монгольского университета участвуют в совместном поиске тяжелых и сверхтяжелых элементов в минералах, извлекаемых из метеоритов.

Для МНР в ЛЯР с участием монгольских специалистов разработана методика экспрессного рентгенофлюоресцентного анализа молибдено-медных руд из месторождения Эрцонет, МНР.

Центры ядерной физики в Болгарии широко и прочно связаны со всеми лабораториями и отделами Объединенного института.

С Лабораторией теоретической физики ОИЯИ многих болгарских ученых связывает многолетнее и плодотворное сотрудничество. Первые успехи болгарских теоретиков в Дубне относятся к исследованиям, связанным с доказательством и применением дисперсионных соотношений в квантовой теории поля, которые проводились в лаборатории под научным руководством академика Н.Н. Боголюбова. Мировой известностью пользуется монография "Основы аксиоматического подхода

в квантовой теории поля“ Н.Н.Боголюбова, А.А.Логунова и болгарского теоретика И.Т.Тодорова, изданная на нескольких языках. С развитием лаборатории сотрудничество расширяется и углубляется, возникают новые научные проблемы и направления, в которых активное участие принимают болгарские теоретики: проблемы нелинейной и нелокальной квантовой теории поля, изучение аналитических свойств фейнмановских диаграмм, асимптотических соотношений между амплитудами рассеяния частиц и античастиц при высоких энергиях, исследование квазипотенциального подхода к проблеме взаимодействия двух и трех тел, аксиоматического подхода в квантовой теории поля векторной доминантности, конформной инвариантности в квантовой теории поля, а также ряд других задач.

Совместно с отделом теории ядра Лаборатории теоретической физики ОИЯИ болгарские ученые ведут интересные исследования по парным корреляциям в ядре, прямым ядерным реакциям, микроскопической теории вибрационных и ротационных движений, применению теории групп в физике ядра.

Успешно развивается совместная работа с Лабораторией высоких энергий. Болгарские физики активно участвовали в реализации широкой программы исследований упругого рассеяния частиц на малые углы на синхрофазотроне ОИЯИ и ускорителе ИФВЭ в Серпухове. В этих работах было обнаружено существование отрицательной действительной части амплитуды упругого  $pp$ - и  $pd$ -рассеяния при энергиях выше  $1 \text{ ГэВ}$ , показано сужение дифракционного конуса в упругом  $pp$ -и  $pd$ -рассеянии при высоких энергиях.

Эта работа велась в сотрудничестве с учеными из ДРВ, МНР, ПНР, ЧССР. На базе 40-сантиметровой жидководородной камеры проводились исследования рождения резонансов в  $\pi p$ -взаимодействиях при импульсе  $2,3 \text{ ГэВ/с}$ . Ряд болгарских сотрудников принимает участие в работе большого международного коллектива

по обработке снимков с двухметровой пропановой камеры. Началось сотрудничество в изучении процессов регенерации  $K^0$ -мезонов на крупнейшем советском ускорителе в Серпухове.

Совместная работа с Лабораторией ядерных проблем ведется в области ядерной спектроскопии. При участии болгарских специалистов был создан богатый набор спектрометрического оборудования:  $\alpha$ -спектрограф,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -спектрометры с полупроводниковыми детекторами, бесфоновые магнитные спектрометры.

Накопленный опыт, а также часть созданной аппаратуры используются в Болгарии, где ныне организована работа по той же тематике, наряду с экспериментами по гамма-корреляциям, эффекту Мёссбауэра и нейтронно-активационному анализу. Полезным оказалось сотрудничество болгарских физиков с группой по изучению полупроводниковых детекторов. В исследованиях по этой же теме принимают участие физики из Института ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской Академии наук /ИЯИЯЭ/ и физического факультета Софийского университета. С Лабораторией ядерных проблем ведутся, кроме того, совместные эксперименты по физике элементарных частиц, исследуется, например, взаимодействие нейтронов с аргоном, при котором возникают электрон-позитронные пары. В ЛЯП эти исследования проводятся на водородной стримерной камере, а в ИЯИЯЭ - на диффузионной камере Вильсона. Ведутся эксперименты по изучению взаимодействия  $\pi$ -мезонов с различными ядрами.

В Лаборатории нейтронной физики при участии болгарских ученых были исследованы различные корреляции между динамическими характеристиками осколков урана-235 и плутония-239, возникающих под действием резонансных нейтронов. Специалисты из Института электроники БАН с успехом включились в работу по созданию новых импульсных приборов в наносекундной области. Наблюдается активное сотрудничество в обла-

сти использования современной электронно-вычислительной техники для обработки физической информации.

В Лаборатории ядерных реакций проведены эксперименты по ядерной спектроскопии на выведенных пучках ускорителей тяжелых ионов. В результате этих опытов открыты новые изотопы вольфрама, рения и иридия. Болгарские ученые участвовали в работах по поиску сверхтяжелых элементов в природе, в разработке комплекса спектрометрической аппаратуры для этой цели.

На пучке тяжелых ионов ускорителя У-300 Лаборатории ядерных реакций совместно с болгарскими физиками изучаются времена жизни высокоспиновых вращательных состояний нейтродефицитных ядер с использованием прецизионного метода доплеровского смещения энергии гамма-излучения движущихся ядер.

Вычислительные комплексы Единого центра по математике и механике и Единого центра по физике и физико-техническим проблемам БАН тесно связаны с ЛВТА ОИЯИ. В ЛВТА группой болгарских специалистов создана для ОИЯИ информационно-поисковая система, совместимая с международной системой ИНИС. Болгарские теоретики, в особенности те, кто работает в области теории ядра, пользуются вычислительными машинами ЛВТА, а экспериментаторы связаны также с ЛВТА в вопросах использования просмотровой и измерительной аппаратуры Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.

Развиваются связи с Отделом новых методов ускорения, а также с Отделом новых ускорителей ЛЯП. В перспективе намечается сотрудничество на базе сверхточного ускорителя, вопросы строительства которого в НРБ сейчас обсуждаются. Совместная работа проводится с Отделом радиационной безопасности в разработке интегральных дозиметров и изучении пространственного распределения нейтронов за защитой реактора.

В Социалистической Республике Румынии систематические исследования в области ядерной физики прак-

тически начались в 1956 г., когда был создан Институт атомной физики в Бухаресте. Первыми базовыми установками этого института были реактор типа ВВР-С и циклотрон У-120, приобретенные в СССР. На них начались экспериментальные ядерно-физические исследования. Создание национального института совпало по времени с организацией международного центра в Дубне - Объединенного института ядерных исследований. Румыния является членом-основателем ОИЯИ и участвует во всех его мероприятиях. Румынские ученые и специалисты работают во всех лабораториях Объединенного института на основных направлениях исследований. Многие молодые румынские физики сформировались как ученые в Дубне.

С каждым годом развивается научное сотрудничество Объединенного института с физическими центрами Социалистической Республики Румынии. Круг совместно проводимых работ весьма широк, он охватывает области физики элементарных частиц, физики ядра, различные методические работы. На протяжении нескольких лет румынские физики принимают участие в исследованиях, проводимых на основе снимков с однометровой жидководородной камеры, облученной на синхротроне пучками пионов и нейтронов. С началом работ ученых ОИЯИ на серпуховском ускорителе их румынские коллеги приняли участие в обработке фотозмульсий, облученных пионами и нуклонами с энергией от 40 до 60 ГэВ, а также снимков с двухметровой пропановой камеры ОИЯИ, содержащих следы множественного образования частиц. На основе снимков с двухметровой жидководородной камеры ведется изучение процессов взаимодействия антипротонов с протонами. На этом же ускорителе с помощью сложной электронной установки исследовано взаимодействие пионов с электронами, изучалось также рассеяние пионов протонами.

Ученые из румынских физических институтов участвуют в опытах на синхроциклотроне ОИЯИ. Боль-



шие циклы исследований связаны с изучением процессов двойной перезарядки на ядрах фотоэмульсин, а также с экспериментами на гелиевой стримерной камере высокого давления. В течение многих лет ведутся интересные исследования физики  $\mu$ -мезонов, изучаются спектры сложных ядер, разрабатываются методы радиохимических исследований. Румынские специалисты вместе с учеными ОИЯИ провели на ереванском синхротроне эксперименты по изучению рассеяния электронов протонами, а также рассеяния электронов и гамма-квантов на водороде.

Открытие в Дубне спонтанно делящихся изомеров послужило началом совместных работ ученых ОИЯИ и их румынских коллег по исследованию нового явления. Эксперименты ведутся как в Дубне на циклотроне для ускорения тяжелых ионов, так и в Бухаресте на циклотроне Института атомной физики. Совместно изучается также механизм взаимодействия тяжелых ионов с ядрами, в том числе реакции многонуклонных передач, реакции, идущие через составное ядро и др.

Обмен опытом специалистов из ОИЯИ и румынских институтов приносит хорошие плоды в совместных разработках новой аппаратуры. Среди таких совместных работ - создание в Дубне циклотрона У-200 для ускорения тяжелых ионов, разработка головного образца изохронного циклотрона на базе серийного - У-120. Румынские ученые готовят аппаратуру для экспериментов по исследованию биологических объектов на импульсном реакторе ОИЯИ ИБР-30, создают новые физические установки для опытов на строящемся новом реакторе ИБР-2. Совместно со специалистами Объединенного института они ведут разработки пропорциональных и дрейфовых камер, электронных блоков, систем программ модульной структуры для обработки данных на больших ЭВМ.

Успешно сотрудничают теоретики СРР и ОИЯИ. Среди совместных работ ученых - исследования свойств

симметрии элементарных частиц, взаимодействия элементарных частиц, многие работы по теории ядра, теории малонуклонных систем, изучение реакций срыва и реакций альфа-распада ядер и другие.

Основными венгерскими научными учреждениями, с которыми сотрудничает ОИЯИ, являются Центральный институт физических исследований Венгерской Академии Наук в Будапеште /ЦИФИ/ и Институт ядерных исследований ВАН в Дебрецене.

Центральной темой исследований, ведущихся в ЦИФИ в области экспериментальной ядерной физики, является изучение свойств ядер и применение методов ядерной физики в других областях науки, таких, например, как физика твердого тела, биология и химия. Главные темы фундаментальных исследований в области ядерной физики - это гамма-спектроскопия, деление ядер и изучение ядерных реакций, вызванных протонами больших энергий ( $\sim 1$  ГэВ/), некоторые из них разрабатываются в тесном контакте с ОИЯИ. В частности, на исследовательском реакторе ЦИФИ были проведены совместные с Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ эксперименты по изучению спонтанно-делящихся изомеров.

Важное значение имеют ведущиеся в ЦИФИ теоретические исследования свойств элементарных частиц. Физики-теоретики разработали модели для интерпретации явлений, возникающих при слабых и сильных взаимодействиях, для описания свойств симметрии и систематики элементарных частиц.

В области использования ЭВМ для научных исследований специалисты ЦИФИ работают в тесном контакте со специалистами ОИЯИ. Ряд сотрудников ЦИФИ принял участие в создании в ЛВТА транслятора с языка ФОРТРАН для машины БЭСМ-6.

Между ЦИФИ и Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ осуществляется сотрудничество по созданию

аппаратурного и программного обеспечения экспериментов на базе малых ЭВМ и ЭВМ Минск-32.

Тематика Института ядерных исследований /ИЯИ/ в Девреце сконцентрирована вокруг проблем ядерных реакций, ядерной спектроскопии, а также прикладных задач.

Физики Девреце участвовали в совместных с ЛЯП ОИЯИ исследованиях по ядерной спектроскопии. На синхроциклотроне ЛЯП был проведен совместный, с решающим вкладом физиков ВНР, эксперимент по изучению прямых ядерных реакций в специальных условиях так называемой "полной геометрии" с современными пропорциональными камерами, изготовленными в ИЯИ.

Экспериментаторы ИЯИ успешно работали в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, где занимались изучением ядерных реакций на легких ядрах с помощью электростатического генератора, а теоретики, командированные в Лабораторию теоретической физики, исследовали свойства мезоатомов.

Полезное сотрудничество сложилось между Институтом ядерных исследований и Объединенным институтом в области ускорительной техники, физики низких температур и ядерной электроники.

Среди научных центров Польской Народной Республики, осуществляющих широкую программу сотрудничества с ОИЯИ, отметим, прежде всего, расположенный в Варшаве и ее пригороде Сверке Институт ядерных исследований.

Взаимодействия заряженных частиц с атомными ядрами исследуются при помощи линейного ускорителя протонов на энергию 10 МэВ "Анджей", который находится в Сверке. Для проведения экспериментов с заряженными частицами с энергией свыше 10 МэВ большую роль играет сотрудничество с ОИЯИ. Варшавские физики совместно с коллективом ученых ОИЯИ и коллегами из Кракова изучали в Дубне реакции, вызванные тяжелыми ионами.

Другим важным направлением сотрудничества варшавских физиков и физиков ОИЯИ являются исследования структуры ядер, особенно ядер с большим избытком нейтронов или протонов. Для этой цели в Варшаве был построен магнитный спектрометр, который в настоящее время работает в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на пучке ускорителя тяжелых ионов. Помимо исследований атомного ядра здесь проводятся эксперименты в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц. Исследования ведутся по трем основным направлениям: физика гиперядер, изучение множественного рождения частиц в соударениях при высоких энергиях и изучение взаимодействий частиц высоких энергий с ядрами. Польским физикам принадлежит приоритет в открытии гиперядер. Изучение реакций образования и свойств гиперядер традиционно занимает важное место в исследованиях варшавских ученых.

В последние годы варшавские физики принимали участие в исследовании процессов множественного рождения частиц с помощью двухметровой пузырьковой пропановой камеры ОИЯИ, облучаемой в Серпухове. Целью исследований, проводимых польскими физиками, является изучение взаимодействия частиц высоких энергий с ядрами. Часть работ проводится с помощью пузырьковых камер, в том числе однометровой камеры ОИЯИ, облучаемой пучком дейтронов, а также на внутреннем пучке синхрофазотрона с использованием техники, разработанной в ОИЯИ.

Нейтроннографические исследования структуры материалов проводятся в Институте ядерных исследований в Сверке с помощью нейтронных спектрометров, которые были там изготовлены. Такие спектрометры используются теперь в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Говоря о том важном направлении ядерной физики, каким является ядерная спектроскопия, отметим, что работающие в Польше ускорители не обладают энерги-

ей, достаточной для производства изотопов, далеких от полосы  $\beta$ -стабильности. Поэтому физики ИЯИ из Сверка проводят исследования на синхроциклотроне ЛЯП и ускорителе многозарядных ионов ЛЯР ОИЯИ.

Следует отметить, что первые нейтронодефицитные изотопы польские ученые получили из Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ уже весной 1959 года.

Особенно нужно отметить плодотворное сотрудничество Лаборатории ядерных реакций в создании для Варшавского центра ядерной физики нового изохронного циклотрона тяжелых ионов У-200П, аналогичного циклотрону У-200, разработанному и действующему в ЛЯР ОИЯИ. Создание этого ускорителя откроет широкие экспериментальные возможности для физиков Варшавы, так как У-200П позволит получать интенсивные пучки тяжелых ионов вплоть до Ag с максимальными энергиями  $\sim 20$  МэВ/нуклон.

Объединенный институт сотрудничает с расположенными в Кракове Институтом ядерной физики, Институтом физики Ягеллонского университета, а также с Институтом ядерной физики и техники Горно-металлургической академии.

Одной из тем исследований краковских физиков являются исследования рассеяния альфа-частиц на ядрах. Альфа-частицы ускоряются с помощью созданного в СССР циклотрона У-120.

Неупругое рассеяние нейтронов использовалось для исследования молекулярных кристаллов. Большую часть этих работ краковские физики выполнили в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Связь краковских ученых с Дубной особенно сильна в области спектроскопии атомных ядер. Краковско-варшавская группа проводит исследования в ОИЯИ радиоизотопов, получаемых с помощью ускорителя ионов в Лаборатории ядерных реакций. Уже много лет в Кракове исследовались нейтронодефицитные изотопы, получае-

мые в реакциях глубокого расщепления при облучении различных мишеней протонами с энергией 660 МэВ, ускоренными на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ.

В лаборатории ядерных проблем работает построенный в Кракове безжелезный тороидальный магнитный  $\beta$ -спектрометр, на котором по программе ЯСНАП исследуются короткоживущие изотопы.

Физики из ИЯФиТ широко используют материалы, получаемые на камерах ЛВЭ ОИЯИ. Сотрудничество в этой области началось уже в 1958 году, когда в Кракове впервые появились пленки с пузырьковой камеры ЛВЭ. В последние годы краковские физики принимают участие в обработке материалов с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ.

Люблинские физики из Института физики Университета имени Марии Склодовской-Кюри ведут работы по ядерной спектроскопии. В этих исследованиях важным моментом является сотрудничество с Дубной, где работали и работают многие сотрудники Люблинского университета. С 1969 года в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ действует построенная в Люблине установка для изучения угловых  $\gamma\gamma$ -корреляций.

В Институте физики Люблинского университета проводятся работы по изучению реакций нейтронов с атомными ядрами. Исследования в этой области ведутся также лодзинскими физиками в сотрудничестве с Лабораторией нейтронной физики ОИЯИ.

Многие польские физики-теоретики стажировались в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. Среди них известные своими работами сотрудники Института теоретической физики Варшавского университета и Лаборатории теоретической физики ИЯИ.

Крупный центр теоретической физики в Польше - это Вроцлавский университет. В тесном сотрудничестве с Лабораторией теоретической физики ОИЯИ там ведутся теоретические работы по структуре ядра и ядерной спектроскопии. Ученые Вроцлавского университета ус-

пешно разрабатывают также проблемы квантовой теории поля.

Центральным научно-исследовательским учреждением ЧССР, в котором ведутся фундаментальные исследования в области ядерной физики низких энергий, является Институт ядерной физики. Он был основан в 1965 году благодаря помощи, которую оказал Чехословакии Советский Союз в деле развития ядерных исследований и мирного использования ядерной энергии. Направление деятельности Института ядерной физики и его структура выкристаллизовывались в процессе его роста.

В начале 1972 года была произведена реорганизация исследований в области ядерной физики. Прикладные направления исследований, такие, как, например, физика реакторов, ядерная энергетика, ядерная металлургия, ядерная химия объединены сейчас в Институте ядерных исследований Чехословацкой комиссии по атомной энергии. Фундаментальные исследования в области ядерной физики низких энергий, физики низких температур и техники ускорителей ведутся в Институте ядерной физики ЧСАН. Оба института поддерживают тесные связи с ОИЯИ.

Отдел физики высоких энергий в Физическом институте ЧСАН возник из отдела космического излучения, созданного в институте еще в 1952 году. Образование ОИЯИ стимулировало развитие физики элементарных частиц в ЧССР. Первые работы, осуществленные в сотрудничестве с ОИЯИ в этом направлении, были выполнены с помощью эмульсионной методики. Позже этот отдел Физического института ЧСАН переориентировался на методику пузырьковых камер.

Из институтов Словацкой Академии наук, тесно сотрудничающих с ОИЯИ, отметим, прежде всего, Физический институт и Электротехнический институт в Братиславе, Институт экспериментальной физики в Кошице. Из учебных учреждений Чехословакии - кафедры

ядерной физики и теоретической ядерной физики математико-физического факультета Карлова университета в Праге, кафедры ядерной физики и теоретической физики факультета естественных наук Университета им. Я.Коменского в Братиславе, кафедру ядерной физики факультета естественных наук Университета им. П.И.Шафарика в Кошице. В Чешском техническом университете в Праге - кафедру общей физики и кафедру ядерных реакторов ядерного и физико-инженерного факультетов, в Словацкой высшей технической школе в Братиславе - кафедру радиоэлектроники электротехнического факультета.

Чехословацкими учреждениями в сотрудничестве с ОИЯИ ведутся в настоящее время совместные работы по 70 темам.

После запуска в 1957 году синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ началось тесное сотрудничество Физического института ЧСАН и Карлова университета с Объединенным институтом в области изучения неупругих взаимодействий  $\pi$ -мезонов с протонами и нейтронами, взаимодействий протонов с нуклонами и дейтронами.

Группа чехословацких оптиков разработала технологию производства и изготовила сферический призмный растр для автоколлимационного освещения метровой пузырьковой камеры, а также зеркальный растр для двухметровой пузырьковой камеры "Людмила". Снимки, полученные на двухметровой водородной камере с помощью "черных зеркал", по качеству удовлетворяют требованиям автоматической обработки. Для камеры "Людмила" изготовлена стереограмметрическая аппаратура, широкоугольный осветитель и оптическая система для кодировки кадров. В настоящее время заканчивается изготовление стереофотограмметрической аппаратуры для эксперимента "Резонанс".

Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ сотрудничает с кафедрой ядерной физики Университета имени Я.Коменского в Братиславе. Ее сотрудники

с 1966 года занимались исследованием излучения Вавилова-Черенкова в разных кристаллических материалах. Полученные результаты использовались в дальнейшем для поиска магнитного монополя Дирака на серпуховском ускорителе.

В течение ряда лет проводится систематическое исследование взаимодействия частиц высоких энергий с протонами и атомными ядрами в совместной работе сотрудников Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и физиков кафедры ядерной физики Университета им. П.-Й. Шафарика и Института экспериментальной физики Словацкой Академии наук в Кошице. При участии чехословацких физиков проведена большая работа по изучению упругого рассеяния нуклонов нуклонами на синхротроне ЛЯП ОИЯИ и экспериментальному определению амплитуд рассеяния. Эти исследования успешно продолжались в совместных экспериментах на ускорителе ИФВЭ. Для проведения современных исследований необходимы поляризованные мишени. В этой области существен вклад физиков из Ржежа. Весьма плодотворно сотрудничество с ЛЯП ОИЯИ ученых из Ржежа и Кошице в области физики и техники низких температур. Взаимный обмен опытом в значительной степени способствует высокому уровню этих исследований как в ЧССР, так и в ОИЯИ.

Сотрудничество Института ядерной физики ЧСАН с Лабораторией нейтронной физики ОИЯИ проводится в нескольких направлениях. Прежде всего - это экспериментальные работы на импульсном реакторе ИБР-30, в которых ученые из Института в Ржеже исследуют радиационный захват резонансных нейтронов и альфа-распад ядер из высоковозбужденных состояний.

Идет подготовка совместных экспериментов в области исследования резонансных нейтронов как в Институте ядерной физики, так и в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ с помощью трековых детекторов.

Исследуется дифракция нейтронов на монокристаллах на импульсном реакторе ИБР-30 в Дубне и на стационарном реакторе в Ржеже. Цель эксперимента - изучение взаимодействия нейтрон-электрон.

С первых дней существования ОИЯИ чехословацкие физики-теоретики установили тесные контакты с Лабораторией теоретической физики. В настоящее время интенсивно сотрудничает с Лабораторией теоретической физики ОИЯИ отдел теоретической физики Института ядерной физики ЧСАН. Получены важные результаты по теории "полного опыта" для нуклон-нуклонного рассеяния, учитывающие поляризационные состояния пучка и мишени и дающие возможность получить наиболее полную информацию о силах, которые действуют в системе двух нуклонов. Важная серия работ относится к теории октапольных вибраций в тяжелых атомных ядрах: цикл работ, основанных на использовании теории групп для исследования симметрий элементарных частиц.

Интенсивно ведется сотрудничество Электротехнического института Словацкой Академии наук с Лабораторией высоких энергий ОИЯИ в области ускорительной техники и электроники для ядерной физики. Сотрудничество началось в 1959 году. На первых этапах велись совместные работы по созданию сепарированных пучков на синхрофазотроне ЛВЭ, в частности, моделированного пучка, и конструированию в Электротехническом институте Словацкой Академии наук соответствующей аппаратуры. Одна из групп занималась измерениями магнитной индукции в элементах антипротонного канала и полученные результаты использовала для расчета его ионно-оптических систем. С 1971 года в Электротехническом институте САН в сотрудничестве с ОИЯИ разрабатываются особые датчики Холла для измерения сильных магнитных полей при температуре жидкого гелия. С помощью этих датчиков измерено магнитное поле двухметровой

камеры "Людмила". Электротехнический институт САН в сотрудничестве с Отделом новых методов ускорения занимается разработкой методов измерения магнитных полей кольцетрона и использования сверхпроводников для получения сильных магнитных полей.

В настоящее время успешно развивается сотрудничество Карлова университета, Чешского технического университета в Праге с отделом ядерной спектроскопии и радиохимии, а также с отделом физики высоких энергий Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ по созданию комплекса аппаратуры, предназначенной для изучения распада короткоживущих ориентированных ядер по программе ЯСНАПП - установки СПИН. Ее реализация на реконструированном ускорителе ЛЯП откроет новые возможности для развития исследований по программе ЯСНАПП и будет способствовать дальнейшему расширению сотрудничества Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и чехословацких институтов.

Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП обеспечивает также снабжение заинтересованных групп физиков в ЧССР высокоактивными препаратами нейтронодефицитных изотопов, которые доставляются в Прагу для исследований на спектрометрических установках Института ядерной физики ЧСАН.

Отдел электроники Института ядерной физики ЧСАН ведет совместные работы с Лабораторией нейтронной физики в деле развития измерительных центров, а с Лабораторией высоких энергий на основании договора совместно использует электронные узлы системы КАМАК, предназначенные для связи экспериментальной аппаратуры с ЭВМ. С Лабораторией ядерных проблем совместно решаются вопросы, связанные с изучением магнитного резонанса и с его использованием для точных измерений магнитных полей.

Физический институт ЧСАН разработал и изготовил для ОИЯИ полуавтоматические измерительные и просмотрные устройства САМЕТ, а в настоящее время

в сотрудничестве с ЛВТА ведутся работы по внедрению режима программного автосопровождения в измерительной системе САМЕТ на линии с БЭСМ-4.

Чехословацкие сотрудники кафедры теоретической и экспериментальной электроники и кафедры радиоэлектроники электротехнического факультета Словацкой высшей технической школы в Братиславе принимали активное участие в разработке быстрой электроники для проведения экспериментов по физике элементарных частиц на современных ускорителях.

Активно сотрудничает отдел ускорителей Института ядерной физики ЧСАН и Отдел новых ускорителей Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в реконструкции циклотрона У-120 в изохронный циклотрон типа У-120М, который создается для Института ядерной физики ЧСАН. Чехословацкие сотрудники решают проблемы, связанные с вводом пучка в ускоритель, с аксиальной инжекцией, созданием регулирующих и управляющих элементов циклотрона и проблемой их связи с ЭВМ. Целью сотрудничества является также физический проект транспортировки пучка после монтажа циклотрона в Институте ядерной физики ЧСАН. Успешное окончание реконструкции циклотрона и его запуск в Институте ядерной физики ЧСАН является важным шагом в развитии чехословацкой ядерной физики и укреплении сотрудничества с ОИЯИ.

В Германской Демократической Республике имеется большое количество научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, сотрудничающих с ОИЯИ. Главными партнерами Дубны в этом сотрудничестве являются Институт физики высоких энергий АН ГДР в Цойтене близ Берлина, Центральный институт ядерных исследований Академии наук в Россендорфе близ Дрездена, Технический университет в Дрездене, Университет имени В.Гумбольдта в Берлине и Университет имени Карла Маркса в Лейпциге. Сотрудничество названных научных центров ГДР с



ОИЯИ в области ядерной физики ведется по согласованным планам и имеет богатую историю.

Институт физики высоких энергий АН ГДР в Цойтене - единственный в ГДР институт экспериментальной физики высоких энергий. Здесь имеется отдел экспериментальной физики, теоретическая группа, отдел методических разработок и отдел обработки камерных снимков.

Первым крупным совместным экспериментом после создания ОИЯИ, в котором приняли участие специалисты из ИФВЭ АН ГДР, явилось изучение взаимодействий  $\pi$ -мезонов с нуклонами и ядрами фотоэмульсий, облученных на синхрофазотроне. ОИЯИ не только предоставил для этих работ экспериментальные установки, но и стимулировал углубление сотрудничества лабораторий социалистического лагеря.

В начале 60-х годов физики ИФВЭ АН ГДР перешли к обработке фотографий с пузырьковых камер. Первым совместным экспериментом в этом направлении явились исследования взаимодействий частиц с помощью 55-сантиметровой пропановой камеры ОИЯИ, облученной на синхрофазотроне  $\pi$ -мезонами с энергией 7 ГэВ. В дальнейшем Институт физики высоких энергий участвовал в обработке фотографий с более крупных жидководородных камер. Так, например, был проведен эксперимент по изучению  $\pi$ -р-взаимодействий при энергии 5 ГэВ с помощью пузырьковой водородной камеры совместно с группами физиков ЛВЭ ОИЯИ и институтов ЧССР и СРР. Основными темами научных исследований в этом направлении явились поиск новых короткоживущих частиц /резонансов/ и анализ процессов столкновений элементарных частиц, в частности,  $\pi$ - и К-мезонов с протонами.

После запуска ускорителя в Серпухове и предоставления возможности ученым социалистических стран работать на нем, специалисты ИФВЭ в Цойтене приняли участие в обработке снимков с многокубовой пузырько-

вой камеры "Мирабель". Большую помощь в проведении соответствующих работ им оказал Серпуховский научно-экспериментальный отдел ОИЯИ.

Центральный институт ядерных исследований АН ГДР в Россендорфе /ЦИЯИ/ - наиболее крупный исследовательский институт Германской Демократической Республики в области изучения и мирного использования атомной энергии. С момента его основания в 1956 году работы в этом институте ведутся в тесном сотрудничестве с ОИЯИ и институтами других социалистических стран. В институте представлена ядерная физика, реакторная физика и техника, физика твердого тела, радиохимия, дозиметрия и целый ряд направлений по применению ядерных методов в различных областях науки и техники. Кроме того, здесь ведутся исследования по ядерной спектроскопии на пучке заряженных частиц, исследования малонуклонных систем в ядерных реакциях и исследования высокоэнергетических состояний ядер со средним атомным весом в резонансных реакциях.

В распоряжении физиков ЦИЯИ имеется комплекс крупного оборудования, поставленного в основном из СССР. Это - циклотрон У-120, исследовательский реактор ВВР-2, тандем-генератор ЭГП-10, генератор типа Ван-де-Граафа на 2 МэВ, ряд нейтронных генераторов, кольцевой реактор с нулевой мощностью, два масс-сепаратора и измерительный центр с рядом малых ЭВМ.

Исследования, ведущиеся на кафедрах ядерной физики Технического университета в Дрездене, проводятся по программам, согласованным с Центральным институтом ядерных исследований в Россендорфе, с ОИЯИ в Дубне и с ФЭИ в Обнинске. В рамках этого сотрудничества была, например, выполнена методическая работа по осуществлению режима наносекундных импульсов на советских тандем-генераторах ЭГП-10 в Обнинске и Россендорфе. Основной научной темой

физических исследований является изучение механизма ядерных и современных вопросов структуры ядра.

В течение многих лет идет плодотворное сотрудничество Лаборатории ядерных реакций и ЦИЯИ. Немецкие физики провели большой комплекс экспериментальных работ по изучению структуры высокоспиновых возбужденных состояний на пучке тяжелых ионов сферических и деформированных ядер, открыли ряд новых изомерных состояний сложной конфигурации. Успешно проводятся работы по изучению тяжелых квазиатомов  $/Z > 110 /$ , образующихся при взаимодействии ядер с  $Z > 50$ . Аппаратура для экспериментов подготавливается совместно ГДР-ОИЯИ, получена ценная физическая информация по рентгеновскому  $K^x$  излучению для систем с  $Z = 114$ . Такие исследования дают сведения об электронных состояниях очень тяжелых квазиатомов, что открывает экспериментальную возможность проверки основ квантовой электродинамики в условиях сверхсильных полей.

Исследования в области теоретической физики высоких энергий сосредоточены в двух центрах. К первому относится кафедра теории частиц и полей Университета имени Гумбольдта в Берлине и группа теоретиков в ИФВЭ в Цойтене.

Второй центр теоретической физики высоких энергий в ГДР находится в Университете имени Карла Маркса в Лейпциге. Научная программа этих теоретических центров согласована с программой исследований ЛТФ ОИЯИ. Сотрудничество ведется самым тесным образом.

Ввод в действие в 1960 году импульсного реактора в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ открыл уникальные возможности исследования конденсированных сред нейтронами.

Целый ряд научных учреждений ГДР сотрудничает с Лабораторией нейтронной физики и Лабораторией теоретической физики ОИЯИ в изучении свойств и струк-

туры конденсированных сред. Здесь ведутся совместные исследования институтов: ОИЯИ, ФЭИ /Обнинск/ и ЦИЯИ /Россендорф/, - в области изучения взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами и ядрами конструкционных материалов атомных реакторов.

Естественно, что современные исследования конденсированных сред при помощи нейтронов не могут успешно развиваться без соответствующего глубокого изучения теоретических проблем, возникающих при интерпретации экспериментальных данных. Поэтому во второй половине шестидесятых годов по инициативе академика Н.Н.Боголюбова в ЛТФ была создана научная группа, занимающаяся развитием микроскопической теории твердого тела; теоретики из ГДР и других стран приняли самое активное участие в ее работе.

Это сотрудничество существенно повлияло на становление новых направлений исследований, проводимых в университетах Дрездена и Лейпцига.

Между лабораториями ОИЯИ и научными учреждениями ГДР осуществляется большой объем совместных исследований по методическим и прикладным разработкам.

Так, в Институте физики высоких энергий АН ГДР по заказу ОИЯИ была сооружена установка для проявления ядерных фотозуммисий.

Сотрудничество между ИФВЭ АН ГДР и ОИЯИ успешно развивается и в этой области создания и усовершенствования систем для обработки снимков с трековых приборов.

В начале 60-х годов на основе созданной в Дубне системы ПУОС в ИФВЭ АН ГДР была разработана измерительная система на базе микроскопа производства предприятия "Карл Цейсс". С 1967 года ведется разработка совместного проекта "Спирального измерителя", первый образец которого испытывается в ОИЯИ.

Большая работа по созданию математического обеспечения электронной машины БЭСМ-6 была выполнена в ЛВТА в сотрудничестве с учеными из ИФВЭ АН ГДР.

Центральный институт ядерных исследований АН ГДР в Россендорфе занимается разработкой технологии изготовления полупроводниковых детекторов и созданием блоков стандартной электроники и аппаратов для измерительных центров физических институтов ГДР и ОИЯИ.

Совместно с сотрудниками Лаборатории ядерных проблем создана новая система программ ЭПОС для экспрессной обработки гамма-спектров. С помощью этой системы обработка гамма-спектров производится в 10 раз быстрее, чем это делалось с помощью программ, основанных на классическом принципе итерации.

Сотрудники кафедры молекулярной физики Лейпцигского университета исследуют методами ядерно-магнитных резонансов молекулярные структуры и магнитные свойства твердого тела при низких и сверхнизких температурах. Для этих исследований большое значение имело создание усилиями сотрудников Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории нейтронной физики уникальной аппаратуры для получения сверхнизких температур.

Сотрудничество Объединенного института - первой международной научной организации социалистических государств - с научно-исследовательскими институтами и организациями страны ее местопребывания - СССР - достигло за 20 лет существования института большого размаха. Сегодня ОИЯИ поддерживает постоянные связи более чем с 60 институтами и университетами Советского Союза.

Советские институты направили в свое время в новый научный центр в Дубне лучших своих ученых и специалистов. В проектировании и строительстве ускорителей,

реакторов и других базовых экспериментальных установок, а также в дальнейшей их реконструкции принимали и принимают участие многие ведущие институты и проектные организации Советского Союза: ИАЭ, ФИАН, НИИЭФА, РИАН, ФЭИ и др.

В свою очередь, лаборатории Объединенного института оказывали и оказывают большую научную и техническую помощь многим научно-исследовательским институтам и вузам Советского Союза и сыграли большую роль в подготовке кадров специалистов в области физики высоких энергий, ядерной спектроскопии, ускорительной техники, нейтронной физики, физики тяжелых ионов, физики твердого тела и вычислительной техники.

Расширению и углублению научных связей ОИЯИ с советскими физическими центрами способствует подписанное в 1970 году Соглашение о научно-техническом сотрудничестве между Объединенным институтом и Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР.

Трудно было бы дать исчерпывающий отчет о многообразных и многосторонних взаимосвязях лабораторий ОИЯИ с научно-исследовательскими и другими организациями Советского Союза. Об уровне и масштабах сотрудничества можно судить по следующим примерам.

В области экспериментальных исследований наиболее интенсивным и плодотворным было научное сотрудничество Лаборатории ядерных проблем с ИАЭ, ИТЭФ, ЛГУ, МИФИ и ИФВЭ, а Лаборатории высоких энергий - с ИТЭФ и ИФВЭ.

Физиками ИТЭФ на ускорителе ЛЯП изучалось рождение  $\pi^{\pm}$ -мезонов в столкновениях протонов с энергией до 680 МэВ с протонами и ядрами различных

элементов. В 1958 году впервые в СССР для изучения этих процессов группа ИТЭФ применила жидководородную 10-сантиметровую пузырьковую камеру.

Учеными ЛЯП, ИТЭФ и ИАЭ было теоретически предсказано и в 1959 году в исследованиях на пучках мезонов на ускорителе ЛЯП экспериментально обнаружено явление безрадиационного захвата  $\mu$ -мезона ядром в  $\mu$ -мезоатомах с тяжелыми ядрами. Этот результат зарегистрирован в качестве открытия. В 1962 году сотрудниками МИФИ и ЛЯП ОИЯИ изучался изотопический эффект при захвате  $\mu$ -мезонов элементами с числом изотопов более двух, а также впервые было показано существование в свободном состоянии мюонных атомов фтора.

С 1965 года в содружестве ученых ЛЯП, ИТЭФ и ИАЭ на стыке ядерной физики и физики твердого тела проводятся систематические исследования по физике и химии мюония. В экспериментах с отрицательными мюонами и пионами впервые начаты и получили широкое развитие исследования по мезохимии. Сотрудники ИАЭ достигли наивысшей точности в изучении распада  $\mu$ -мезонов, результаты которых внесены в мировые таблицы свойств элементарных частиц.

С введением в строй ускорителя ЛВЭ на 10 ГэВ ученые ОИЯИ и ИТЭФ провели совместный эксперимент по определению поляризации в упругом рассеянии протонов на протонах.

В свою очередь, запуск ускорителя ИТЭФ /7 ГэВ/ позволил физикам обоих институтов провести с помощью крупнейшей в мире 180-литровой ксеноновой пузырьковой камеры комплекс исследований редких типов распада нейтральных К-мезонов. Фундаментальное значение для изучения проблемы нарушения СР-четности в слабых взаимодействиях имело измерение вероятности распада  $K^0 \rightarrow 2\pi^0$ .

Запуск в 1967 году серпуховского ускорителя протонов на 76 ГэВ открыл новые возможности для изучения законов взаимодействия элементарных частиц при высоких энергиях.

Соглашение между ГКАЭ СССР и ОИЯИ явилось основой развития сотрудничества и позволило физикам социалистических стран вести работы на ускорителе ИФВЭ.

Приведем примеры, иллюстрирующие это сотрудничество. Одним из первых экспериментов по физике высоких энергий был поставленный ЛВЭ опыт по исследованию рассеяния протонов с энергией от 8 до 70 ГэВ на протонах и дейтронах. Применялась методика пленочных и сверхзвуковых струйных мишеней. Получены уникальные данные об энергетических зависимостях параметров наклона дифракционных конусов и фазах амплитуды рассеяния. Эти результаты важны для проверки таких фундаментальных основ теории, как дисперсионные соотношения.

Объединенными усилиями физиков из ИФВЭ, Сакле /Франция/, ЛЯП ОИЯИ и ИТЭФ на установке "Гера" изучалось упругое рассеяние протонами  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ -мезонов, антипротонов и протонов при энергии 40 ГэВ. Получены угловые распределения и измерен параметр поворота спина. Результаты этих тонких поляризованных экспериментов важны для проверки различных теоретических моделей упругого рассеяния.

Трудный эксперимент по исследованию упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов с энергией 50 ГэВ на электронах поставлен многонациональной группой физиков ЛВЭ и Калифорнийского университета /Лос-Анжелес, США/ на ускорителе ИФВЭ. В этом эксперименте принимали участие физики Ташкентского университета и ФТИ АН УзССР. Показательно, что в этом коллективе физиков было 5 "рабочих" языков. Опыт потребовал

чрезвычайно больших усилий при расшифровке результатов, значительная часть которой выполнена в ЛВЭ. Важным итогом эксперимента явилось определение электромагнитного радиуса  $\pi^-$ -мезона, оказавшегося равным  $0,78 \pm 0,10 \cdot 10^{-13}$  см.

Тем же коллективом вместе с физиками ИФВЭ исследовалось упругое рассеяние  $\pi^-$ -мезонов с энергией 40 и 50 ГэВ на протонах на малые углы. Опыт ставился для изучения интерференции ядерного и кулоновского рассеяния и позволил найти отношение реальной и мнимой частей амплитуды рассеяния вперед.

Облучая мезонами, протонами, антипротонами толстослойные фотоэмульсии и 2-метровые пропановую и жидководородную камеры, физики ЛВЭ ОИЯИ и большого коллектива институтов Серпухова /ИФВЭ/, Москвы /ФИАН/, Ленинграда /РИАН/, Ташкента /ИЯФ/, Алматы /ИФВЭ/ и других городов Советского Союза получают обильный материал о процессе множественного рождения сильновзаимодействующих частиц.

Физиками ЛЯП ОИЯИ и ИФВЭ успешно проведен оригинальный, с привлечением современной электроники с ЭВМ, эксперимент по поиску новых тяжелых частиц и антиядер, завершившийся обнаружением ядер антитрития.

Чрезвычайно важным был эксперимент коллектива ученых ЛВЭ ОИЯИ по исследованию регенерации на ядрах /водород, дейтерий и углерод/ короткоживущих  $K^0$ -мезонов пучком долгоживущих  $K^0$ -мезонов.

Энергия  $K^0$ -мезонов была доведена до 42 ГэВ. Решающий эксперимент, свидетельствующий о взаимном превращении векторных мезонов в фотон, был впервые осуществлен совместно физиками ЛВЭ и ФИАН.

Обнаружение в этих экспериментах превращения  $\phi_0$ -мезона в  $\gamma$ -квант зарегистрировано в качестве открытия.

В последние годы в ЛВЭ ОИЯИ возникло новое научное направление - релятивистская ядерная физика. Среди первых работ с релятивистскими ядрами следует отметить выполненное совместно с ФИАН и ИТЭФ измерение сечения отрыва протона от дейтрона на ядрах фотоэмульсии.

В результате сотрудничества ФИАН, МИФИ, Ереванского физического института и ОИЯИ /ЛВЭ/ впервые получено прямое экспериментальное доказательство распада  $K_2^0$ -мезона на три  $\pi^0$ -мезона.

В Дубне физики ЛВЭ и Ереванского физического института выполнили цикл исследований по экспериментальному изучению механизма образования странных частиц и резонансов во взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов с энергией 4 ГэВ с нуклонами.

Не менее обширными являются и совместные исследования физиков Дубны и других центров страны в области ядерных реакций и строения ядра. На базе ускорителя ЛЯП в течение многих лет проведено изучение свойств сотен радиоактивных ядер, включая короткоживущие, открыто более ста новых изотопов. Информация о свойствах этих ядер, периодах их распада, характеристиках частиц и изучении в квантовых числах уровней важна для понимания структуры ядра и природы ядерных сил.

При создании в ОИЯИ этого направления большую помощь оказал ряд ведущих советских институтов. Это обстоятельство в дальнейшем способствовало быстрой организации и расширению плодотворного сотрудничества. О его размахе можно судить хотя бы по далеко не полному перечню коллективов, принимающих участие в исследованиях: ЛГУ, НИИЯФ МГУ, ЛЯР Киевского университета, ЛИЯФ, ГЕОХИ АН СССР, ИЯИ АН УССР, а также физиков многих других городов /Харьков, Рига, Ташкент, Владивосток/.

Ярким примером плодотворного сотрудничества в области ядерной физики являются совместные экспери-

менты ученых ЛЯП и Радиевого института /Ленинград/, приведение к обнаружению наиболее обогащенного нейтронами тяжелого изотопа гелия -  $^8\text{He}$ . Возможность существования ядра в  $^8\text{He}$  была предсказана советскими теоретиками в совместных теоремах. Этот результат внесен в Государственный реестр открытий.

Помимо чисто физических исследований, в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ ведутся совместно с институтами СССР работы, имеющие важное прикладное значение или дающие выход в другие отрасли науки. Лаборатория ядерных проблем явилась одним из инициаторов организации и внедрения в клиническую онкологию новейших достижений ядерной физики - пучков тяжелых заряженных частиц, в первую очередь, протонных и  $\pi^-$ -мезонных. Впервые в СССР, начиная с 1967 года, совместно с Институтом экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР, а затем и с участием ИТЭФ, при поддержке Государственного комитета по науке и технике при Совете Министров СССР, эти пучки стали применяться в исследованиях по лечению раковых заболеваний. По полученным результатам работы этого направления не уступают, а в некоторых отношениях и превосходят достигнутый за рубежом уровень.

Совместно с Институтом медико-биологических проблем АМН СССР на ускорителе ЛЯП проводятся важные исследования по медико-биологическим проблемам и обеспечению радиационной безопасности космических полетов.

Обширна и география сотрудничества Лаборатории ядерных реакций. Наряду с работами по синтезу трансурановых элементов на крупнейшем в мире ускорителе атомных ядер лаборатория проводит широкие поиски сверхтяжелых элементов в природе.

При участии кафедры ядерной физики Ужгородского университета созданы счетчики нейтронов с рекордной чувствительностью. Совместно с кафедрой радио-

химии Ленинградского государственного университета и Институтом геохимии и аналитической химии имени Вернадского создана необычайно чувствительная установка для регистрации возможного  $\alpha$ -распада сверхтяжелых элементов. Открытие в ЛЯР явления аномального быстрого спонтанного деления из нестабильного состояния /"изомерия формы"/ послужило основой для совместных с Институтом физических проблем /Москва/ и Институтом ядерной физики АН УзССР исследований в этой области.

Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ тесно сотрудничает с Научно-исследовательским институтом ядерной физики МГУ в разработке метода измерения ультракоротких времен жизни возбужденных ядер /порядка  $10^{-18}\text{с}$ / с помощью эффекта теней.

Интенсивные исследования в новой области ядерной физики по взаимодействию сложных ядер приводят к разработке экспериментальных методов и приборов, которые находят широкое применение в других областях науки и в народном хозяйстве. Так, одной из тем сотрудничества с Институтом ядерной физики АН УзССР является изучение микроструктуры почв хлопковых плантаций Узбекистана для установления причин возникновения болезни хлопчатника-вильта. Эти работы основаны на достижениях сотрудников ЛЯР в разработке усовершенствованных методов прецизионного актиационного анализа.

Диэлектрические детекторы, разработанные в Лаборатории, нашли широкое применение в различных прикладных задачах - от исследования космоса до изучения океанских глубин, в геологии, археологии, палеонтологии и в других областях. В разработке таких детекторов и их применениях Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ сотрудничала с Государственным оптическим институтом киноинжекторов, Институтом биологии южных морей /Севастополь/, Московским геологоразведочным институтом и другими.



Лаборатория нейтронной физики, располагающая единственным в мире импульсным реактором на быстрых нейтронах, выполняет большую программу исследований по нейтронной физике. В экспериментах на этом реакторе участвуют многие научные центры страны.

Важное значение для энергетики ядерных реакторов имеют полученные сотрудниками ЛНФ ОИЯИ совместно с ФЭИ /Обнинск/ и ИТЭФ /Москва/ данные о сечении взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами и ядрами материалов, используемых при конструировании реакторов. В изучении свойств ультрахолодных нейтронов, обнаруженных впервые в ЛНФ, ныне участвуют ученые ИАЭ, ИЯФ АН КазССР, НИИ атомных реакторов. В опытах по изучению  $\alpha$ -распада высоковозбужденных состояний, возникающих при захвате резонансных нейтронов ядром, принимают участие физики ИЯФ АН УзССР.

Лаборатория помогла в становлении работ по применению эффекта Мессбауэра в ядерной физике, физике твердого тела, геологии и химии ряду научных центров Ленинграда, Киева, Днепропетровска, Саранска, Риги. Большой цикл совместных исследований выполнен в области изучения твердого тела с помощью нейтронов. Например, совместно с ФЭИ изучалась проблема термализации нейтронов в разных средах; специфические свойства разбавленных магнитных сплавов исследовались специалистами ОИЯИ в сотрудничестве с Институтом физики АН ГССР, динамика возбуждений в молекулярных кристаллах изучалась совместно с Институтом физики твердого тела АН СССР. В начатые в ЛНФ исследования сложных органических соединений и биологических объектов методом дифракции нейтронов включились Институт белка и Институт молекулярной биологии АН СССР.

Работы ЛВТА оказали непосредственное воздействие на уровень применения ЭВМ в институтах СССР.

Оснащение Объединенного института ядерных исследований средствами вычислительной техники, электронной аппаратурой, создание математического обеспечения вычислительных машин и их систем проводилось ЛВТА в тесном сотрудничестве с рядом институтов и организаций Советского Союза.

Взаимный обмен технической документацией между ЛВТА и заводом счетно-аналитических машин /Москва/ способствовал расширению возможностей ЭВМ БЭСМ-6, в том числе увеличению оперативной памяти, а также подключению к ней стандартных накопителей на магнитных лентах и дисках.

ЛВТА ОИЯИ совместно с Научно-исследовательским институтом управляющих вычислительных машин /Серверодонецк/ участвовала в разработке и внедрении в промышленное производство малой ЭВМ М-6000, которая нашла широкое применение при создании специализированных комплексов, предназначенных для автоматизации экспериментальных исследований.

Математическое обеспечение БЭСМ-6, созданное в рамках сотрудничества с Институтом точной механики и вычислительной техники, с Вычислительным центром МГУ, а также с Институтом атомной энергии имени И.В.Курчатова и Институтом физики высоких энергий в Серпухове принято и внедрено на всех машинах БЭСМ-6, выпускаемых промышленностью, как часть стандартного математического обеспечения этой машины.

В сотрудничестве с НИИЭВТ в ЛВТА проводятся работы по математическому обеспечению машин единой серии /транслятор с языка ФОРТРАН, библиотека стандартных программ/. Совместно с Институтом "Геофизика" /Москва/ создавалось математическое обеспечение с транслятором с языка ФОРТРАН для БЭСМ-4.

Единая система обработки спектрометрической информации в ОИЯИ создается в содружестве с Институтом электронных управляющих машин /Москва/.

Создание в ОИЯИ мощного центра обработки камерных снимков на базе полуавтоматических и автоматических измерительных устройств стало возможным благодаря широкому сотрудничеству ЛВТА с большим числом научно-исследовательских институтов и организаций. Так, в создании большого просмотрово-измерительного стола БПС-ЗУ и высокопроизводительного сканирующего автомата "Спиральный измеритель", помимо ЛВТА и Института физики высоких энергий /Цойтен, ГДР/, участвовали ИТЭФ /Москва/, ФИАН /Москва/, ЛИЯФ /Гатчина/, ИФВЭ АН КазССР /Алма-Ата/, НИИЯФ МГУ /Москва/, Тбилисский государственный университет, ФТИ АН УССР /Харьков/ и ряд других организаций.

Создание сканирующего автомата с управляемой от вычислительной машины электронно-лучевой трубкой АЭЛТ-1 выполнено при участии Львовского политехнического института с СКБ Львовского завода кинескопов. Эти организации оказывают ЛВТА помощь и в разработке нового сканирующего автомата АЭЛТ-2.

В осуществлении программы научных исследований в Лаборатории теоретической физики сотрудничество с научными центрами Советского Союза всегда занимало видное место. Это прежде всего относится к одному из центральных для лаборатории направлений - развитию и приложениям метода дисперсионных соотношений и аксиоматического подхода в квантовой теории поля, в разработку которых основополагающий вклад внесли работы Н.Н.Боголюбова и его учеников.

Учеными ЛТФ и МИАН СССР было дано строгое доказательство дисперсионных соотношений как для упругих, так и для неупругих процессов. Эти соотношения служат эффективным инструментом для теоретических предсказаний в области физики высоких энергий, для анализа экспериментальных результатов и для проверки исходных основ современной теории. В этом направлении теоретиками ЛТФ в сотрудничестве с МИАН

СССР, ИФВЭ и МГУ выполнена обширная программа исследований.

В последние годы в Лаборатории теоретической физики в сотрудничестве с МИАН СССР и ИЯИ АН СССР был развит аксиоматический подход к изучению автомодельных асимптотик амплитуд глубоко неупругих процессов. Дальнейшая разработка этой проблемы велась в тесном научном сотрудничестве с ИФВЭ и рядом научных центров ГДР и Венгрии.

Теоретиками ЛТФ, Института математики СО АН СССР, Ужгородского университета и Томского института ядерной физики исследован при помощи дисперсионных соотношений большой круг проблем физики процессов, происходящих при сравнительно низких энергиях /область адронных резонансов/.

В исследованиях теоретиков лаборатории совместно с сотрудниками Математического института АН СССР и Тбилисского университета продемонстрирована эффективность квазипотенциального метода для описания пион-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния в широком интервале энергий и передач импульса.

Работы сотрудников ЛТФ привели к возникновению ряда новых направлений, к дальнейшему развитию которых привлекаются теоретики других институтов. Например, в сотрудничестве с ИТФ АН СССР, Томским политехническим институтом, Казанским и Саратовским университетами построена нелокальная теория электромагнитных и слабых взаимодействий лептонов и  $W$ -бозонов. Разработан новый подход к теориям с существенно нелинейными взаимодействиями, позволивший успешно описывать явления при низких энергиях и приведший к полезному сотрудничеству с МИ СО АН, Иркутским университетом и ужгородским филиалом ИТФ АН УССР.

В цикле исследований, проведенных совместно с сотрудниками Института математики СО АН СССР, Новосибирского университета и МИАН разработан эффективный метод учета влияния масштабной инвариант-

ности на поведение физических процессов при высоких энергиях, который привел к предсказанию ряда наблюдаемых эффектов.

Гипотеза автомодельности, выдвинутая сотрудниками лаборатории, послужила основой для теоретического изучения совместно с Ереванским политехническим институтом и Тбилисским государственным университетом целого ряда процессов рассеяния элементарных частиц.

На основе геометрии Лобачевского в лаборатории построена релятивистская кинематика и создана релятивистская кинетическая теория газов, что послужило основой плодотворных научных контактов с Ленинградским и Казанским университетами.

В разработке оригинального подхода в квантовой теории поля, в котором изменена геометрия пространства-времени на малых расстояниях, вместе с теоретиками ЛТФ принимали участие болгарские ученые и молодые физики Московского и Саратовского университетов.

Ценные результаты были получены в ЛТФ также по теории нелинейных колебаний, на основе которых предсказан вызванный тороидальностью уход плазмы из стелларатора, экспериментально подтвержденный в ИАЭ имени И.В.Курчатова. На этой основе возникло плодотворное сотрудничество с учеными МГУ и ИЯФ СО АН СССР.

ЛТФ осуществляет широкое сотрудничество с научными учреждениями страны по вопросам изучения структуры атомных ядер и механизма ядерных реакций. На развитие современной теории ядра большое влияние оказали работы Н.Н.Боголюбова по теории сверхтекучести. Результаты исследований, проводимых в ЛТФ по сверхтекучей модели ядра, нашли отражение в ряде монографий.

Разработанная в ЛТФ модель независимых частиц с реалистическим взаимодействием оказалась весьма

полезной для изучения целого ряда эффектов в ядерной спектроскопии и ядерных реакциях.

Все эти работы велись в сотрудничестве с Институтом физики АН ЛатвССР, Институтом ядерной физики в Алма-Ате, Институтом физики в Вильнюсе, Саратовским и Варшавским университетами и другими. Ряд разработок успешно используется в ЛГУ, ЛИЯФ, ИЯФ СО АН СССР, ФЭИ /Обнинск/.

В исследовании неадиабатических эффектов при вращении ядер в рамках микромодели заметный вклад внесли физики Самаркандского университета.

Изучение поляризационных эффектов вращения нечетных ядер и монополярных возбуждений ядер велось при участии сотрудников Института физики АН АзССР и ИПФ АН МССР. Совместно с ИПФ АН МССР выполнена серия работ по изучению взаимодействий высокоэнергетических адронов с ядрами, неравновесных процессов в ядерных реакциях, реакций деления ядер быстрыми частицами.

Вместе с НИИЯФ МГУ и ИФВЭ АН АрмССР проведены исследования процессов поглощения мюонов атомными ядрами.

Совместно с Ташкентским государственным университетом и ИЯФ АН УзССР успешно развивалась теория малонуклонных систем. По этой тематике в ЛТФ успешно работали сотрудники Тбилисского университета. В ЛТФ проведены исследования основ эффективного метода фазовых функций в квантовой механике. Позднее в различных приложениях этого метода и его обобщений на релятивистский случай принимали участие сотрудники ЛТФ и МГУ.

При столкновении ядерных частиц и ядер с ядрами важно найти универсальный подход к их описанию. Решению этой проблемы посвящен цикл исследований, выполненный совместно с ИФВЭ, ИАЭ, ИАЭ АН БССР, Башкирским и Одесским университетами.

Большой вклад в разрабатываемую в ЛТФ проблему взаимодействия электронов с ядрами внесли сотрудники ФТИ АН УССР, ФИАН, ИЯИ АН СССР и ДВГУ. Вторая тема сотрудничества - теория прямых ядерных реакций - развивалась при участии Ленинградского государственного университета.

Проведенные по этим темам разработки сейчас успешно используются при проведении анализа экспериментальных данных в ИАЭ, ФТИ АН УССР, ЛГУ и ряде других центров.

В 1966 году в ЛТФ был создан сектор теории конденсированных сред. Основные направления его работы - вопросы квантовой теории неравновесных процессов. Важную роль в развитии исследований здесь сыграло сотрудничество с МИАН СССР, ИФМ АН СССР в Свердловске, ИТФ АН УССР во Львове, ИАЭ и другими.

### **РОСТ НАУЧНЫХ КАДРОВ**

За время деятельности ОИЯИ 30 болгарских специалистов написали и защитили в Дубне свои кандидатские диссертации, а 2 - докторские. Свыше 250 болгарских сотрудников работали в течение длительных сроков в Дубне. В последнее время ежегодно командированы в Дубну на короткие сроки для выполнения совместных задач или участия в рабочих совещаниях руководящих органов Института не менее 120 специалистов. Со своей стороны, специалисты ОИЯИ также приезжают в Болгарию с целью чтения лекций, обсуждения совместных работ, консультаций и т.д. Болгарские ведущие ученые активно участвуют в руководстве Объ-

единенным институтом: академик Г.С.Наджаков долгие годы был Полномочным Представителем, академик Э.С.Джаков и академик Х.Я.Христов были вице-директорами Института.

Трудно переоценить значение многочисленных научных публикаций международных коллективов, в работе которых плодотворно участвовали венгерские ученые. За 20 лет сотрудничества венгерские ученые, используя научные результаты, полученные в Дубне, защитили 2 докторские и 8 кандидатских диссертаций.

О большом вкладе венгерских физиков в формирование успешной научной политики ОИЯИ свидетельствует то обстоятельство, что они постоянно участвуют в комиссиях и советах ОИЯИ. Ряд известных венгерских ученых /д-ра Н.Кроо, З.Замори и др./ избирался Ученым советом ОИЯИ в разное время на ответственные должности заместителей директоров лабораторий Института.

Объединенный институт ядерных исследований играет чрезвычайно важную роль в развитии ядерной физики в ДРВ. Во время войны, когда отсутствовали необходимые условия для научных экспериментальных исследований, Институт физики направил в Дубну большую группу сотрудников. Многие из них теперь защитили кандидатские или докторские диссертации. Получив квалификацию в Дубне, вьетнамские физики стали ведущими учеными у себя на родине. Так, например, директор Института физики Нгуен Ван Хьеу и декан физического факультета Ханойского университета Дао Вонг Дык защитили докторские диссертации в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Объем сотрудничества учреждений ГДР с лабораториями ОИЯИ может быть охарактеризован следующими цифрами. С момента образования ОИЯИ до конца 1974

года сотрудники из ГДР свыше 1500 раз являлись соавторами научных работ, выполненных совместно или непосредственно в ОИЯИ.

Многие ученые ГДР, специализирующиеся в области ядерной физики, длительное время работали в Дубне. После возвращения на родину четверо из них стали академиками, 16 - профессорами и столько же доцентами. Многие немецкие специалисты защитили кандидатские и докторские диссертации на научном материале, полученном в ОИЯИ. Большинство кафедр по ядерным наукам в университетах ГДР возглавляют эти ученые. Специалисты, работавшие длительный срок в Дубне, трудятся, передавая свои знания, как в научных учреждениях, так и на народных предприятиях, реализуя на практике опыт социалистической экономической интеграции.

Целый ряд известных ученых из ГДР избирался в разное время Ученым советом ОИЯИ на ответственные должности заместителей директоров лабораторий Института. В частности, профессор К.-Ф.Александр работал заместителем директора ЛЯП, доктор З.Новак - заместителем директора ЛВЭ, доктор Р.Поде - заместителем директора ЛВТА, директор ИФВЭ АН ГДР в Цойтене академик К.Ланиус является в настоящее время одним из вице-директоров ОИЯИ.

Ежегодно из ГДР в Объединенный институт ядерных исследований в краткосрочные командировки выезжает много специалистов. Только в 1973 году по плану совместных работ из ГДР приезжали в командировки в ОИЯИ 150 человек и из ОИЯИ в ГДР - 100. Из 46 международных и национальных конференций, симпозиумов, семинаров, совещаний и школ, в которых принимали участие специалисты ОИЯИ в 1973 году, 12 состоялось в ГДР. Все это характеризует высокий уровень

согласованности научных исследований, проводимых в ГДР и в странах-участницах Института.

Со времени создания ОИЯИ немало корейских специалистов были посланы в этот институт, где они приобрели большой опыт научно-исследовательской работы, а также внесли свой вклад в развитие ядерной физики.

Корейские ученые, проявив творческую активность в таких широко известных научно-исследовательских работах, как, например, открытие частицы анти-сигма-минус-гиперон, внесли определенный вклад в повышение международного авторитета и укрепление научного престижа ОИЯИ.

Результаты исследований, выполненных с участием монгольских специалистов, неоднократно докладывались на международных и национальных конференциях, и по ним было опубликовано более чем 200 статей в различных научных изданиях.

Одной из важных форм научного сотрудничества физиков ОИЯИ и Монголии являются взаимные командировки. Многие ученые и специалисты ОИЯИ побывали в МНР, где читали лекции по актуальным проблемам современной физики, участвовали в пуске и наладке физических установок, обсуждали и проводили совместные исследования.

С первых дней существования ОИЯИ монгольские физики принимали активное участие в работах Института, внося свой вклад в его достижения. Известные монгольские ученые профессора Н.Содном и Д.Чултэм работали в разное время на ответственных должностях вице-директора Института и заместителя директора лаборатории.

Создание Объединенного института ядерных исследований сыграло значительную роль в развитии польской ядерной физики. Участие польских ученых и специалистов в совместных исследованиях, проводимых в ОИЯИ на современных экспериментальных установках, обмен опытом в процессе взаимных командировок способствовали росту и повышению квалификации национальных научных кадров ПНР.

Многие польские физики-теоретики стажировались в Лаборатории теоретической физики. В частности, здесь выросли крупные специалисты в области теории атомного ядра и теории твердого тела, которые теперь работают, продолжая начатые в Дубне исследования, в университетах Варшавы, Вроцлава и других научных центров Польши. Ряд польских специалистов защитил кандидатские и докторские диссертации на основе научных результатов, полученных в Дубне. Много сил и энергии отдали организации научных исследований известные польские ученые академик Мариан Даныш, член-корреспондент Польской Академии наук Анджей Хрынкевич, избравшиеся на пост вице-директора ОИЯИ.

Многие молодые румынские сотрудники сформировались как научные работники в Дубне, участвуя вместе с более опытными коллегами в важных исследованиях в различных областях физики. Большинство докторских диссертаций, защищенных румынскими физиками, основаны на исследованиях, выполненных в Дубне.

Между ОИЯИ и физическими институтами Румынии установилась прочная связь, поддерживаемая интенсивным обменом специалистами между обеими сторонами. Ежегодно на основе установленной программы сотрудничества значительное число румынских научных работников прибывает в Дубну, а сотрудники ОИЯИ приезжают в Румынию для совместных измерений или интерпретации результатов.

Важный вклад в укрепление и постоянное расширение этих связей представляют посещения Румынии ведущими учеными, руководителями лабораторий и представителями дирекции Объединенного института.

Представители СРР принимают активное участие в работе руководящих органов ОИЯИ, а также в различных совещаниях, созываемых для решения вопросов, связанных с развитием Объединенного института. Многие годы представителем СРР в Комитете Полномочных Представителей и членом Ученого совета был академик Хория Хулубей, который приложил немало усилий в деле расширения сотрудничества ОИЯИ с румынскими физическими институтами.

В дирекции ОИЯИ и лабораторий работали известные румынские ученые: член-корреспондент Академии наук СРР Тудор Тэнэеску, академик Шербан Цицейка и профессор Александру Михул.

За истекшие двадцать лет сотрудничество ОИЯИ с научно-исследовательскими центрами Советского Союза было исключительно плодотворным и полезным для развития науки в Советском Союзе и других странах-участницах. Оно постоянно расширяется и имеет хорошие перспективы на будущее.

Во многих экспериментальных и теоретических исследованиях вместе с интернациональными коллективами ученых ОИЯИ принимают участие ученые и специалисты из разных институтов и университетов страны.

В Дубне постоянно проходят стажировку и приобретают высокую квалификацию, участвуют в совместных исследованиях и получают консультации и помощь научные сотрудники и инженеры, аспиранты и студенты многих институтов и университетов советских республик. Научные контакты и связи с университетами и фи-



зическими центрами союзных республик включают проведение совместных исследований, подготовку научных кадров, обмен опытом и чтение курсов лекций. Ученые ОИЯИ читали лекции в Азербайджане /Баку/, в Белоруссии /Гомель/, в Грузии /Тбилиси/, в Узбекистане /Ташкент, Самарканд/, на Украине /Киев, Харьков, Ужгород/, в Эстонии /Тарту/ и в других республиках. Сотрудничество с этими центрами влияет и на тематику их теоретических и экспериментальных исследований.

Другая, очень эффективная форма сотрудничества, - проведение совместных научных школ, семинаров и совещаний. Они дают возможность ученым обмениваться информацией по современным вопросам физики, ознакомиться с новейшими достижениями, наметить наиболее перспективные направления дальнейших исследований. Совещания проводятся не только в Дубне, но и в других городах СССР совместно с Академией наук, университетами и институтами Советского Союза. Такие совещания проходят наиболее успешно и проводятся периодически там, где на базе сотрудничества с ОИЯИ возникли достаточно крупные научные коллективы. В качестве примера можно привести Совещание по сильным взаимодействиям при низких энергиях при Иркутском государственном университете.

Стали традиционными международные симпозиумы по физике высоких энергий и элементарных частиц, совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра, международные семинары по нелокальной квантовой теории поля, школы молодых ученых по актуальным проблемам физики элементарных частиц и высоких энергий, международные школы физиков ЦЕРН-ОИЯИ, школы по нейтронной физике ОИЯИ, школы по вопросам использования ЭВМ в экспериментальной физике и др., проводимые с участием АН СССР, ГКАЭ СССР, общесоюзных институтов и научных учреждений союзных республик.

В настоящее время более 10 институтов Чехословацкой Академии наук /ЧСАН/, Словацкой Академии наук /САН/, Министерства образования и других учреждений ЧССР регулярно посылают своих сотрудников на работу в Дубну на разные сроки. В первую очередь это относится к Институту ядерной физики /ИЯФ ЧСАН/ и Физическому институту /ФИ ЧСАН/.

Ежегодно в ОИЯИ работает около 60-70 сотрудников из ЧССР - специалистов в разных областях ядерной физики и техники, обработки данных и т.д. Свидетельством того, что чехословацкие специалисты принимают активное участие в научной работе лабораторий ОИЯИ, являются их публикации, чаще всего в соавторстве с членами интернациональных исследовательских групп ОИЯИ.

Ряд известных чехословацких ученых принимал участие в руководстве научными исследованиями, проводимыми в ОИЯИ. Одним из первых вице-директоров Объединенного института с 1956 по 1969 гг. был профессор Вацлав Вотруба, член-корреспондент ЧСАН. Затем на посту вице-директора ОИЯИ работал с 1964 по 1967 гг. профессор Иван Улегла. В настоящее время вице-директором является профессор Честмир Шимане. В лабораториях ОИЯИ на постах заместителей директоров работали трое ученых из ЧССР, среди них д-р Иво Звара, член-корреспондент ЧСАН, лауреат Ленинской премии, работающий в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и в настоящее время.

В целом развитие международного сотрудничества ОИЯИ направлено на обеспечение приоритета социалистических стран в области фундаментальных физических исследований, на повышение престижа ОИЯИ как международного научного центра социалистических стран.

К основным совместным научным исследованиям можно отнести:

- исследования на двухметровой жидководородной камере "Людмила", в обработке снимков с которой участвуют 14 лабораторий в восьми странах-участниках ОИЯИ;

- работы на основе фотографий с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ, облученной пионами с энергией 40 ГэВ/с. Половина фотографий уже обрабатывается в 16 лабораториях 8 стран-участниц;

- эксперименты с однометровой жидководородной камеры по изучению неупругих взаимодействий дейтронов на водороде и  $\pi^-p$ -взаимодействий при 5 ГэВ/с с участием ученых из ГДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР;

- исследования по регенерации нейтральных каонов с энергией от 10 до 50 ГэВ, в которых участвуют институты НРБ, ВНР, ГДР, СССР и ЧССР.

- эксперименты по поиску тяжелых частиц и антиядер на ускорителе ИФВЭ с участием физиков из ГДР и ПНР;

- совместные работы по использованию радиоактивных изотопов с институтами НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР.

Совместные работы в области нейтронной физики с институтами НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, ЧССР и СССР на импульсном реакторе ИБР-30 и электростатических ускорителях ОИЯИ и стран-участниц.

В процессе развития связей и сотрудничества со странами-участницами, что является основой деятельности и залогом успешного развития ОИЯИ, оказывается техническая и методическая помощь институтам этих стран.

Когда в ГДР из СССР поступили первые ЭВМ типа БЭСМ-6, Лаборатория вычислительной техники и ав-

томатизации ОИЯИ, обладавшая богатым опытом работы с этими машинами, взяла на себя задачу обучить сотрудников тех научных организаций ГДР, которые должны были эксплуатировать ЭВМ БЭСМ-6.

В течение нескольких лет ведутся работы по созданию и развитию измерительно-вычислительного комплекса в Физическом институте Болгарской Академии наук.

С помощью Объединенного института сооружаются современные ускорители тяжелых ионов в Варшаве и Праге и т.д.

Помимо подготовки физиков для Вьетнама ОИЯИ оказал и оказывает большую материальную и техническую помощь Институту физики, Ханойскому государственному университету, Политехническому институту и Вычислительному центру при Государственном Комитете по науке и технике. Специалистами ОИЯИ совместно с венгерскими сотрудниками создан и налажен нейтронный генератор и 1024-канальный анализатор для ДРВ. Помимо передачи физической аппаратуры и приборов для ДРВ разработаны методы анализа руд.

Для Монгольского государственного университета Объединенным институтом совместно со специалистами из МНР изготовлены и отправлены в Улан-Батор бета- и гамма-спектрометры.

В свою очередь, сотрудничество Объединенного института ядерных исследований с научными центрами стран-участниц способствует успешному выполнению программ научных исследований ОИЯИ.

Чтобы оценить вклад специалистов из стран-участниц Института в решение научных и технических проблем, стоящих перед лабораториями и подразделениями ОИЯИ, приведем несколько примеров.

Отдел низких температур Института ядерной физики ЧСАН, занимающийся исследованиями механизма поляризации ядер, разработал ряд уникальных мишеней с протонами и тяжелыми ядрами. Физики из Универси-

тета им. П.-Й. Шафарика в Кошице, ЛЯП ОИЯИ, Ереванского физического института, Тбилисского государственного университета и ИФВЭ готовят совместный проект крупной спектрометрической установки для исследования гиперзаряд-обменных процессов на серпуховском ускорителе.

Результативным оказалось сотрудничество Физического института ЧСАН и ОИЯИ в конструировании уникальных приборов и их частей. В этом отношении ценна работа чехословацких оптиков по разработке конструкции двух типов просмотровых столов для обработки снимков с пузырьковых камер. Для измерений взаимодействий на снимках, полученных с искровых камер для Лаборатории ядерных проблем, создано полуавтоматическое измерительное устройство.

В настоящее время основные силы Института физики высоких энергий АН ГДР направлены на создание, совместно с группами ОИЯИ, релятивистского ионизационного спектрометра - РИСК, который устанавливается на серпуховском ускорителе.

Интересным примером сотрудничества является разработка специалистами из Центрального института ядерных исследований вместе с советскими и польскими инженерами в Лаборатории ядерных проблем ионного источника нового типа для экспрессного разделения изотопов различных элементов, в том числе редкоземельных. В сто раз по сравнению с классическими методами повышена скорость разделения редкоземельных изотопов.

В ЦИФИ изготовлен ряд целевых установок, таких, как установка для проведения ионной имплантации, а также многонитяные пропорциональные камеры для физиков Дубны.

В сотрудничестве Института физики Ягеллонского университета и ОИЯИ создан КДСОГ - краковско-дубненский спектрометр обратной геометрии для исследова-

вания конденсированных сред с помощью неупругого рассеяния нейтронов.

Контакты и связи ОИЯИ с национальными лабораториями, институтами и университетами стран-членов Объединенного института имеют широкие перспективы как в области теоретических, так и экспериментальных исследований. Этому в значительной степени содействует реализуемая в ОИЯИ большая программа расширения и усовершенствования базовых установок.

В разработках и создании крупных физических установок, электронной аппаратуры и т.п. следует отметить сотрудничество Объединенного института со странами-участницами в следующих областях: сооружение пятиметрового магнитно-искрового спектрометра - самого большого в мире спектрометра такого рода, в создании которого участвуют специалисты ГДР, Польши и Советского Союза, релятивистской искровой стримерной камеры, создание вместе с другими лабораториями и институтами стран-участниц, среди которых более 20 организаций Советского Союза, полуавтоматов и автоматов для обработки камерных снимков, в разработке математического обеспечения больших ЭВМ, разработка и изготовление сканирующего автомата "Спиральный измеритель" для обработки снимков с пузырьковых камер, сооружение мощного импульсного реактора ИБР-2 и разработка к нему систем управления и защиты реактора, а также радиоэлектронной аппаратуры измерительного центра. В подготовке к запуску реактора и первым экспериментам на нем активное участие принимают, кроме советских институтов, научные центры Венгрии, ГДР, Польши.

Большой комплекс совместных работ выполняется в связи с реконструкцией и совершенствованием синхрофазотрона и синхроциклотрона ОИЯИ.

Значительному расширению организуемых Объединенным институтом ядерных исследований в области физики высоких энергий содействовала получившая в

последние годы распространение методика обработки несколькими научными группами в разных институтах результатов экспериментов, выполненных с помощью электронной аппаратуры на линии с ЭВМ при одновременной записи данных на магнитную ленту. Такая форма сотрудничества позволяет ускорить получение научного результата и предоставляет возможность даже небольшим научным коллективам участвовать в крупных экспериментах.

Осуществление в ОИЯИ комплексной автоматизации физического эксперимента, централизованное накопление и обработка экспериментальных данных в первом в странах-участницах специальном измерительном центре открыло новые возможности для проведения совместных работ и обмена опытом.

Особенно большие возможности для совместной работы открылись с запуском двухметровой пропановой и жидководородной пузырьковой камер, созданных в Дубне и работающих на пучках ускорителя в ИФВЭ /Серпухов/. Сотрудничество такого рода охватывает не только вопросы непосредственной обработки снимков и анализ экспериментальных данных, но и изготовление аппаратуры и средств автоматизации для обработки, создание программ для ЭВМ и др.

В целях поддержания высокого уровня фундаментальных исследований в области физики атомного ядра и элементарных частиц и дальнейшего развития международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ со странами-участницами, эффективного участия в международных научных организациях, конференциях и программах широкого обеспечения научных центров стран-участниц экспериментальными данными, полученными на установках ОИЯИ, подготовки высококвалифицированных научных кадров для стран-участниц в ОИЯИ вырабатывается и планомерно осуществляется долгосрочная программа совместных исследований и разработок по наиболее важным научным и техническим проблемам на

основе соглашений, договоров и других документов, определяющих цели исследований, сроки их проведения и формы сотрудничества.

Наряду с применением новых форм будут использоваться те формы сотрудничества, которые оправдали себя в процессе совместного выполнения важнейших научных и технических исследований Института.

Шире будет практиковаться научно-техническое сотрудничество на договорной основе с правовым регулированием всех основных вопросов проведения работ и использования их результатов.

ОИЯИ будет развивать в связях со странами-участницами /и другими странами/ в первую очередь следующие формы научно-технического сотрудничества:

1/ совместное проведение научных исследований и технических разработок на основе соглашений и договоров, программ сотрудничества между Институтом и другими научными центрами, институтами и организациями стран-участниц и других стран;

2/ координацию научных и технических исследований, представляющих взаимный интерес;

3/ широкий обмен опытом и результатами научно-технических исследований;

4/ углубление сотрудничества с национальными центрами ядерно-физической информации стран-участниц, а также участия в соответствующих международных системах научной и технической информации;

5/ дальнейшее расширение сотрудничества в подготовке научных кадров с использованием, в частности:

а/ специализированных курсов, семинаров, симпозиумов, летних школ и научных конференций, а также научных стажировок в установленном между странами-участницами порядке или по соглашению с другими странами и международными организациями /стипендии и т.п./;

б/ развития взаимного командирования лекторов и специалистов для чтения курсов /циклов/ лекций по повышению квалификации научных кадров;

б/ расширение координации и кооперирования исследований и разработок в странах-участницах по созданию специальной научной аппаратуры и приборов, необходимых для проведения научных исследований, в том числе в области автоматизации ядерно-физических экспериментов;

сотрудничество с международными организациями и научно-производственными объединениями, в первую очередь в рамках СЭВ, в создании уникальных средств измерений высшей точности для научных исследований и в области ядерного приборостроения;

расширение оперативного обмена специальной аппаратурой, приборами, химическими веществами и другими материалами с научно-исследовательскими институтами и проектно-конструкторскими организациями стран-участниц;

7/ оказание всесторонней практической помощи и содействие в ускорении развития ядерной науки и техники в странах-участницах, а также в развивающихся странах в соответствии со специальными соглашениями.

Сотрудничество Объединенного института ядерных исследований с научно-исследовательскими институтами, научными центрами и предприятиями стран-участниц не только способствует успешному выполнению программ научных исследований Объединенного института, но и оказывает влияние на темпы и уровень развития ядерной физики и физики элементарных частиц, а вместе с тем и на общее развитие науки и техники в странах социалистического содружества.

Объединенный институт ядерных исследований, выполняя роль ведущего центра социалистических стран в этой области науки, тем самым активно содействует прогрессу социалистической научно-технической интеграции.





**Экспериментальный ядерный реактор ИРТ-2000  
в Софии /вид сверху/.**

**Горячие камеры для  
обработки радиоактив-  
ных изотопов.**



**Наладка аппаратуры  
для исследования диф-  
фузии и термализации  
нейтронов на третьем  
горизонтальном кана-  
ле реактора ИРТ-  
2000.**







Большая горячая ка-  
мера к реактору  
ИРТ-2000.



Измерительный центр  
для экспериментов на  
реакторе ИРТ-2000.





Механический генератор ультрахолодных нейтронов Института ядерных исследований и ядерной энергетики в Софии.

Малая ЭВМ ТРА/і, предназначенная для автоматизации экспериментов, управления реактором и обработки данных.

Пульт управления и измерительная аппаратура механического генератора ультрахолодных нейтронов.





Лабораторная установка для термолюминесцентной дозиметрии.

Бесфокусный бета-спектрометр типа  $2 \times \pi \sqrt{2}$  в ИЯИЯЭ. ▶

Бета-отражательный анализатор типа 33п, созданный в ИЯИЯЭ. ▶



Диффузионная камера для регистрации взаимодействий тепловых нейтронов в аргоне.





Нейтронный генератор.

Регистрирующая система.



Датчик. ▶



Универсальный измерительный микроскоп с полуавтоматической установкой, используемый в совместной работе с ОИЯИ для обработки снимков с пропановой камеры.



Поверхностный комбинированный влагомер-плотномер, созданный в ИЯИЯЭ.



Автоматическая аппаратура для измерения низких активностей, созданная в ИЯИЯЭ. ▶





**ВНР**

Накануне пуска критической системы Р-6. Директор ЦИФИ академик Л.Пал объясняет зарубежным гостям принцип действия реактора.



Исследовательский атомный реактор типа ВВРС-М в Центральном институте физических исследований.



Встреча профессоров З.Эклунда и Л.Яноши в ЦИФИ.





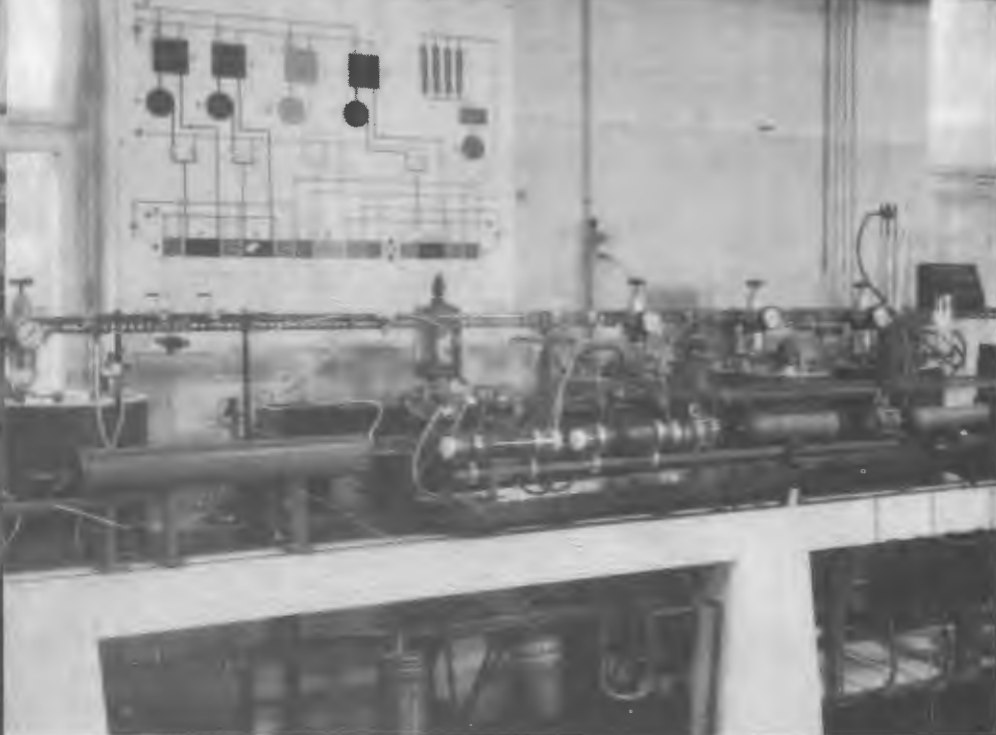


Отдел нервной имплантации ЦИФИ посетил председатель Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике академик В.А.Кириллин. Руководитель отдела И.Дюдан знакомит гостей с новыми результатами, полученными в области нервной имплантации. Основная экспериментальная установка технологической лаборатории отдела представлена Советским Союзом.



Посещение ЦИФИ директором ЦЕРНа профессором В.Еичке. На снимке /слева направо/: В.Еичке, академик П.Тетени и доктор Д.Кипш.





Устройство для изготовления проволочной памяти ЭВМ, используемое в ЦИФИ.

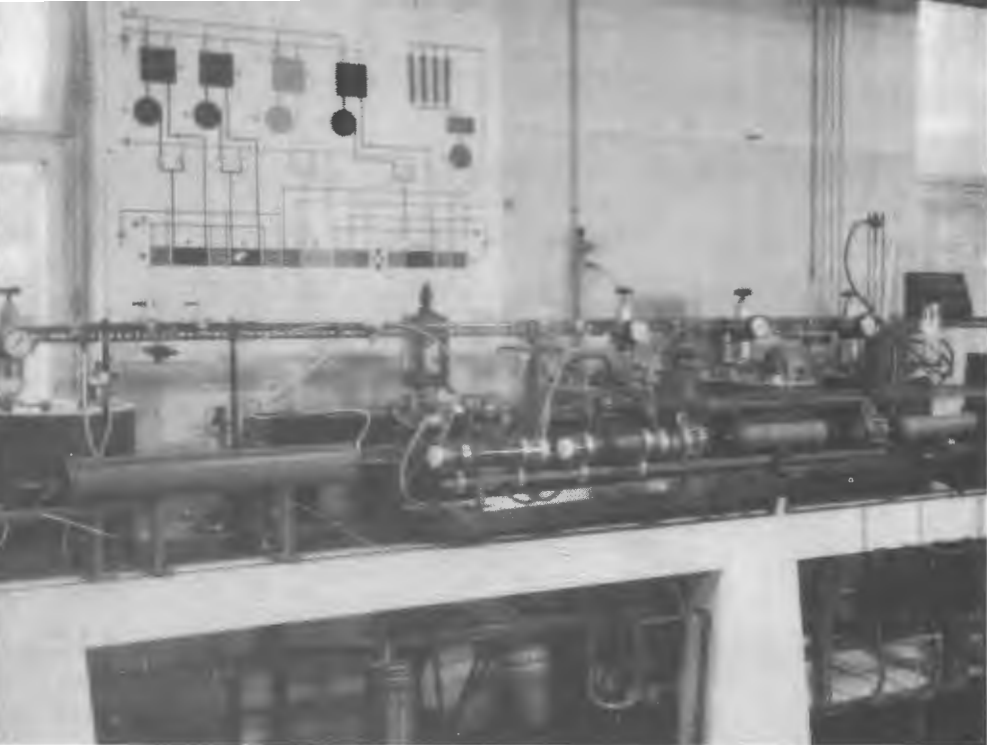


Трехосевой кристаллический спектрометр, используемый на атомном реакторе ЦИФИ. Спектрометр изготовлен совместно с Институтом атомной энергии им. И.В.Курчатова /СССР/.



Мезонный телескоп для изучения космических лучей в подземной лаборатории ЦИФИ.





Устройство для изготовления проволочной памяти ЭВМ, используемое в ЦИФИ.



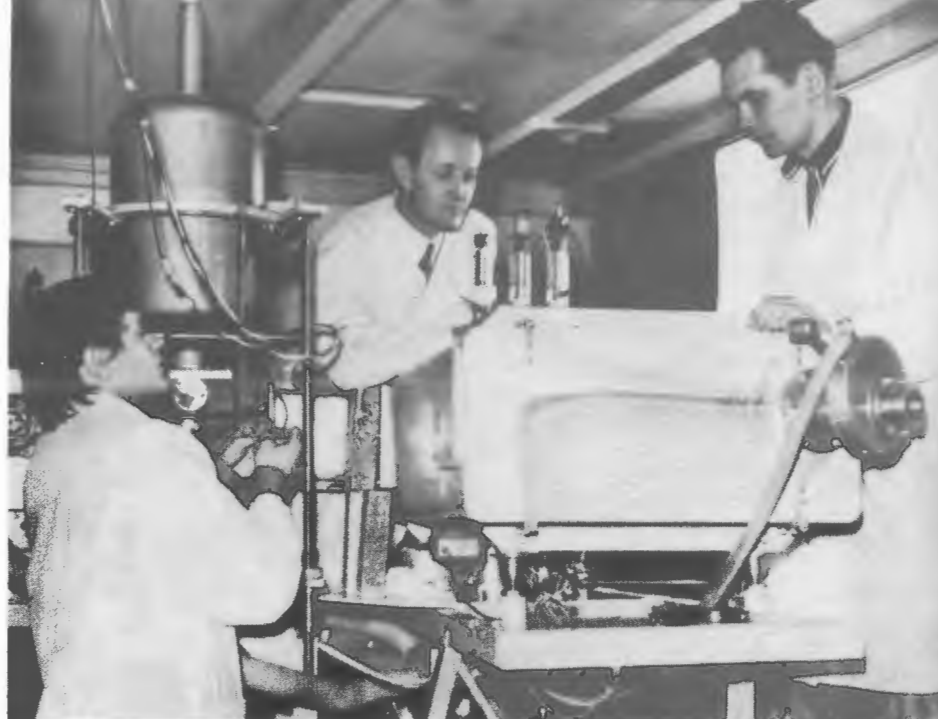
Трехосевой кристаллический спектрометр, используемый на атомном реакторе ЦИФИ. Спектрометр изготовлен совместно с Институтом атомной энергии им. И.В.Курчатова /СССР/.



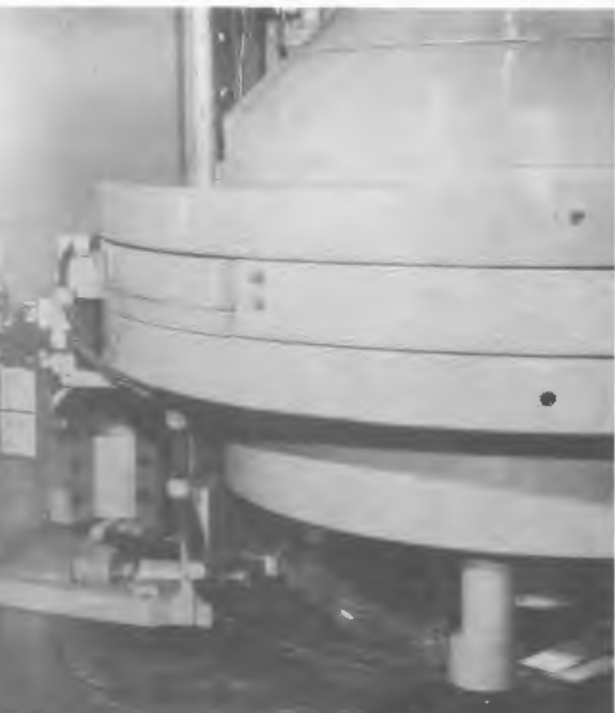
Мезонный телескоп для изучения космических лучей в подземной лаборатории ЦИФИ.



Сотрудники ИЯИ подготавливают масс-сепаратор ЯСНАПП к проведению экспериментов в Объединенном институте ядерных исследований.



Обработка снимков пузырьковых камер с помощью сканирующих проекторов в ЦИФИ.



Лаборатория для изучения ядерных резонансов в главном отделе исследований твердых тел.

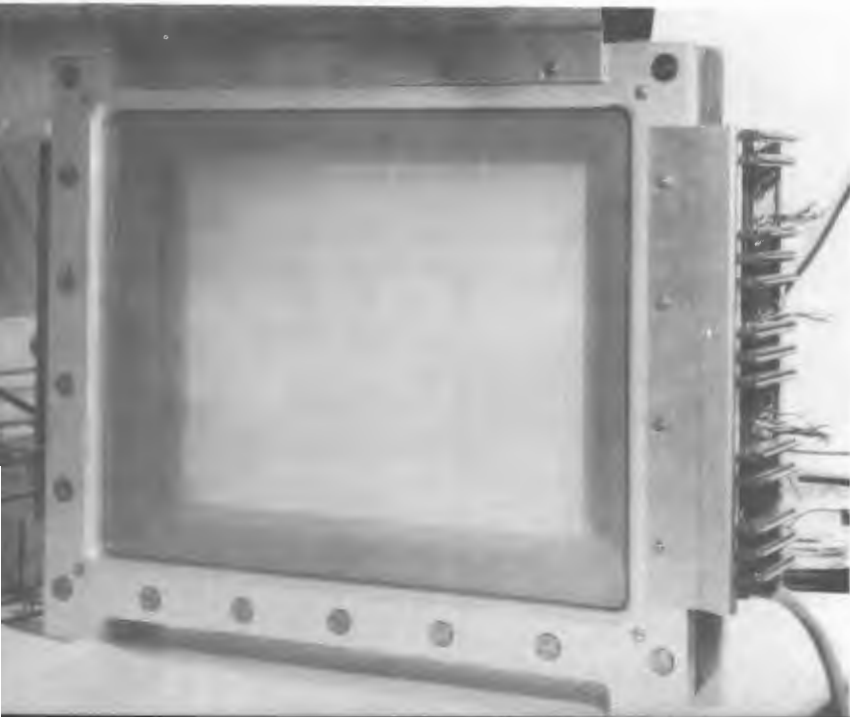




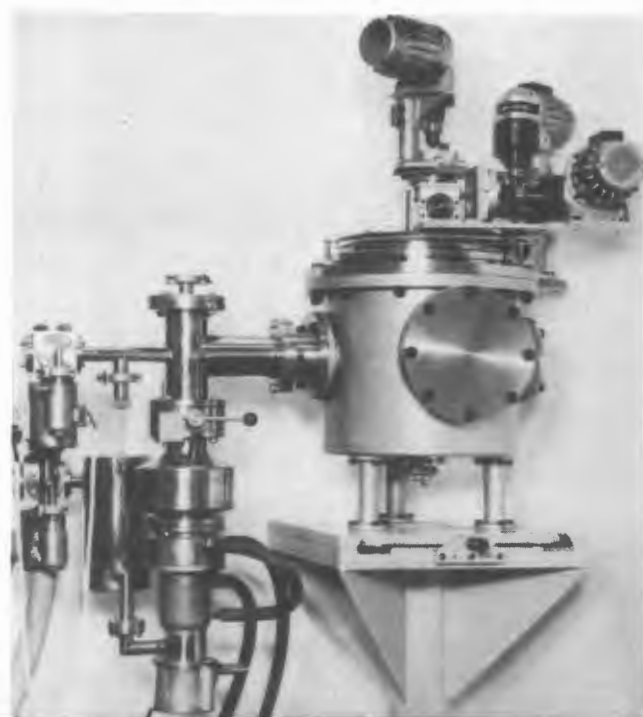
Директор ЦИФИ академик Л.Палпри принимает в Институте академиком М.В.Келдыша и Н.Г.Басова.

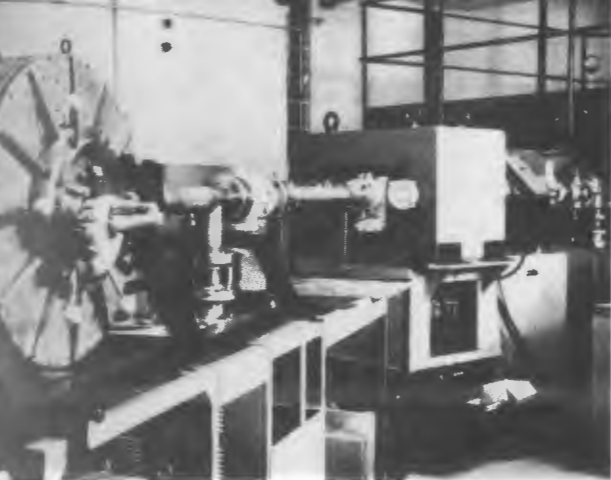


Трехосевой вакуумный гониометр главного отдела ядерной физики. Прибор изготовлен центральной мастерской ЦИФИ для проведения экспериментов по рассеянию назад.



Многонитная пропорциональная камера, изготовленная сотрудниками ЦИФИ для проведения совместных работ с ОИЯИ.





Экспериментальный зал генератора Ван-де-Граафа Института ядерных исследований.



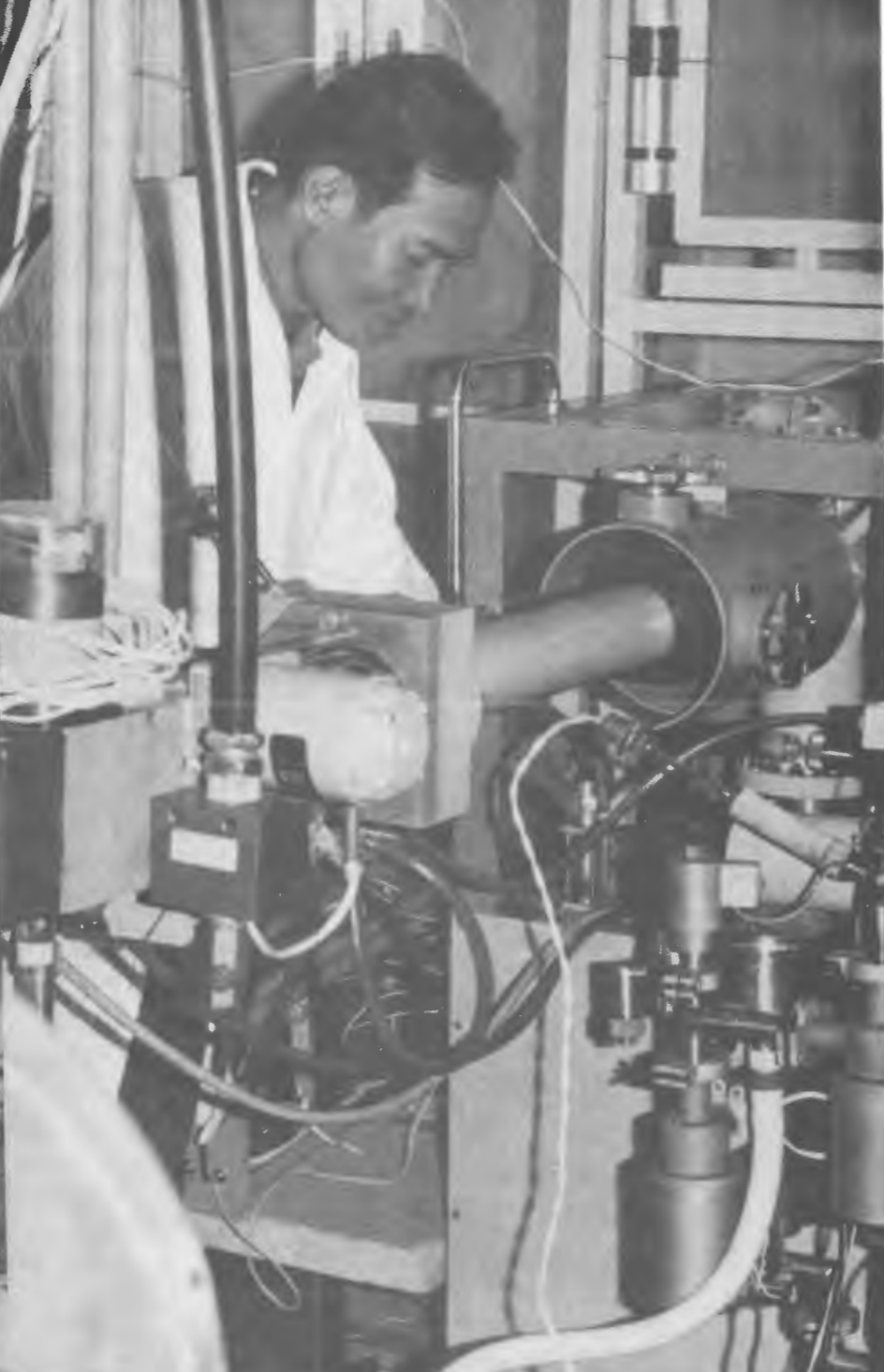
Для проведения совместных исследований стран СЭВ в области техники реакторостроения в ЦИФИ создана критическая система ZR-6 .



Электростатический генератор типа ЭГ-2Р в ЦИФИ.







Пульт управления  
нейтронным генера-  
тором.

Нейтронный генератор, безвозмездно передан-  
ный Объединенным институтом, - основная уста-  
новка лаборатории ядерной физики Института фи-  
зики.



Инфракрасный спект-  
рометр Института фи-  
зики.



**ДРВ**

Идет работа по выращиванию монокристаллов кремния.



Сотрудники Института физики проводят эксперимент по диффузии примесей в полупроводниках.



Изучение поверхностных состояний полупроводников в Институте физики.





Центральное здание Института физики высоких энергий АН ГДР в Цойтене. На переднем плане - памятник Макс Планку.

Измерительный проектор позволяет измерять следы событий с точностью до двух микрометров. Проектор управляется малой ЭВМ, данные передаются непосредственно в большую ЭВМ БЭСМ-6.



Разработанный в ИФВЭ /ГДР/ фото-регистратор обеспечивает частоту съемки до 10 кадров в секунду. Регистратор предназначен для спектрометра со стримерной камерой /проект РИСК/, создаваемого совместно с ОИЯИ.





Университет имени Гумбольдта в Берлине.



Одним из первых приехал в Дубну для работы в Объединенном институте профессор Берлинского университета В.Цёллер /в центре/. Справа на снимке - профессор университета Д.Бебель. ▶





Основатель отдела ядерной физики ЦИЯИ в Россендорфе профессор И. Шингельмейстер со своими сотрудниками доктором Г. Кауном /слева/ и доктором М. Бонцем.



Приготовление препарата ДНК для облучения на циклотроне ЦИЯИ в рамках биофизического эксперимента.







Россендорфский циклотрон У-120 - одна из базовых установок ЦИЯИ для проведения фундаментальных и прикладных исследований.



2 ноября 1972 года в ЦИЯИ был запущен тандем - генератор ЭТП-10 советского производства. На снимках:

Разводка пучков в одном из экспериментальных залов во время монтажа.



Высоковольтная колонна внутри котла. ▶





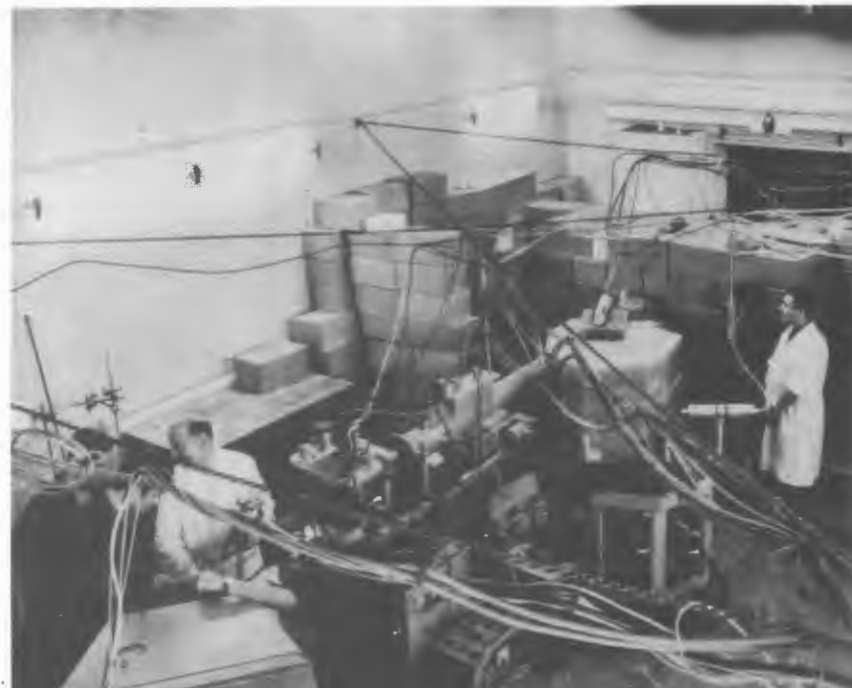


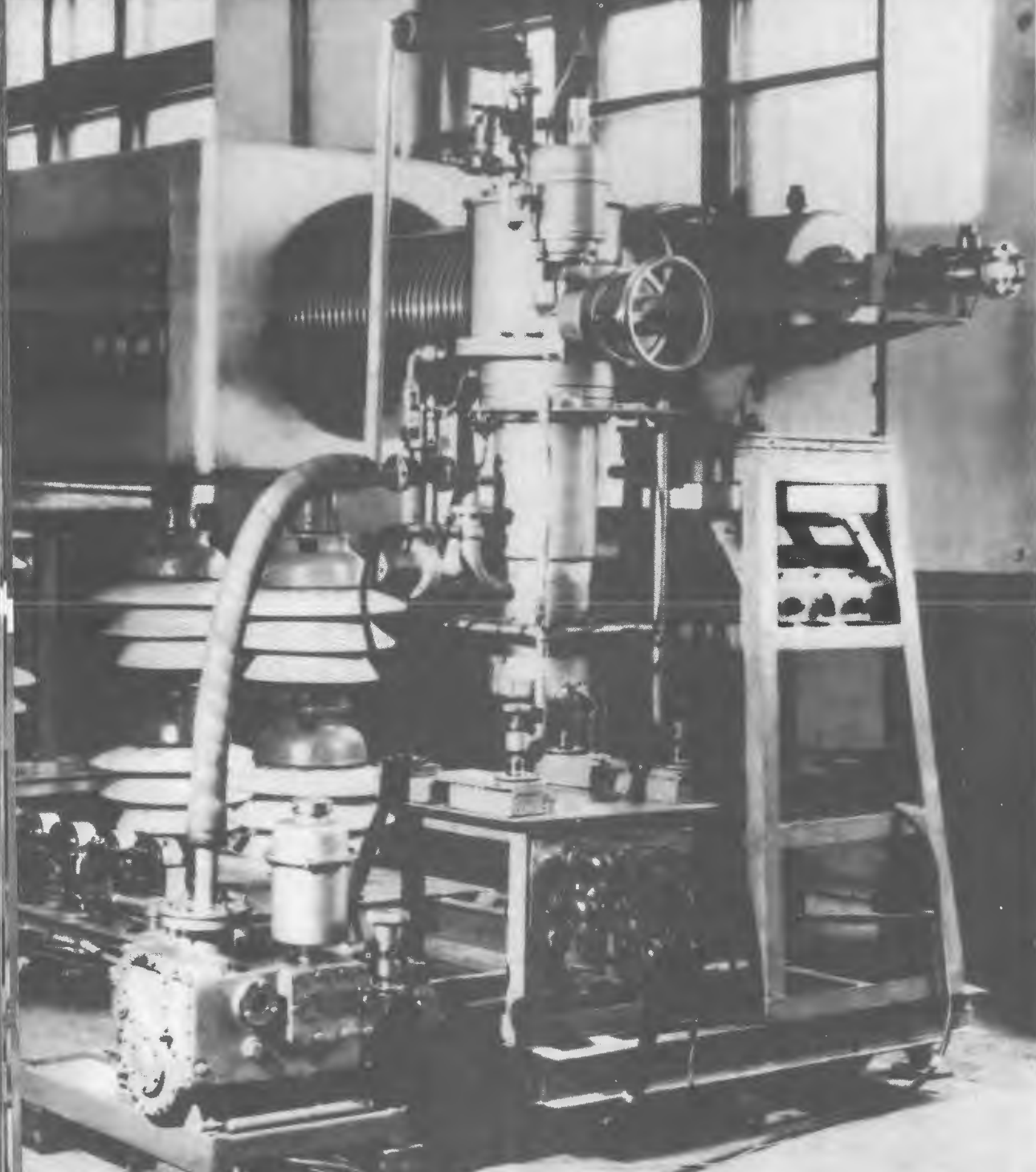
Член-корреспондент АН СССР Д.И.Блохинцев, лауреат Нобелевской премии академик Г.Герц и профессор К.Александр во время пуска реактора с нулевой мощностью в Россендорфе.

В зале заседания Краков-Россендорфского семинара. Эти семинары проводятся через год при активном участии ученых ОИЯИ.



Нейтронный генератор Технического университета в Дрездене, работающий в режиме наносекундных импульсов. На снимках: слева - ускоряющий каскад; справа - аппаратура для измерения времени пролета на пучке.



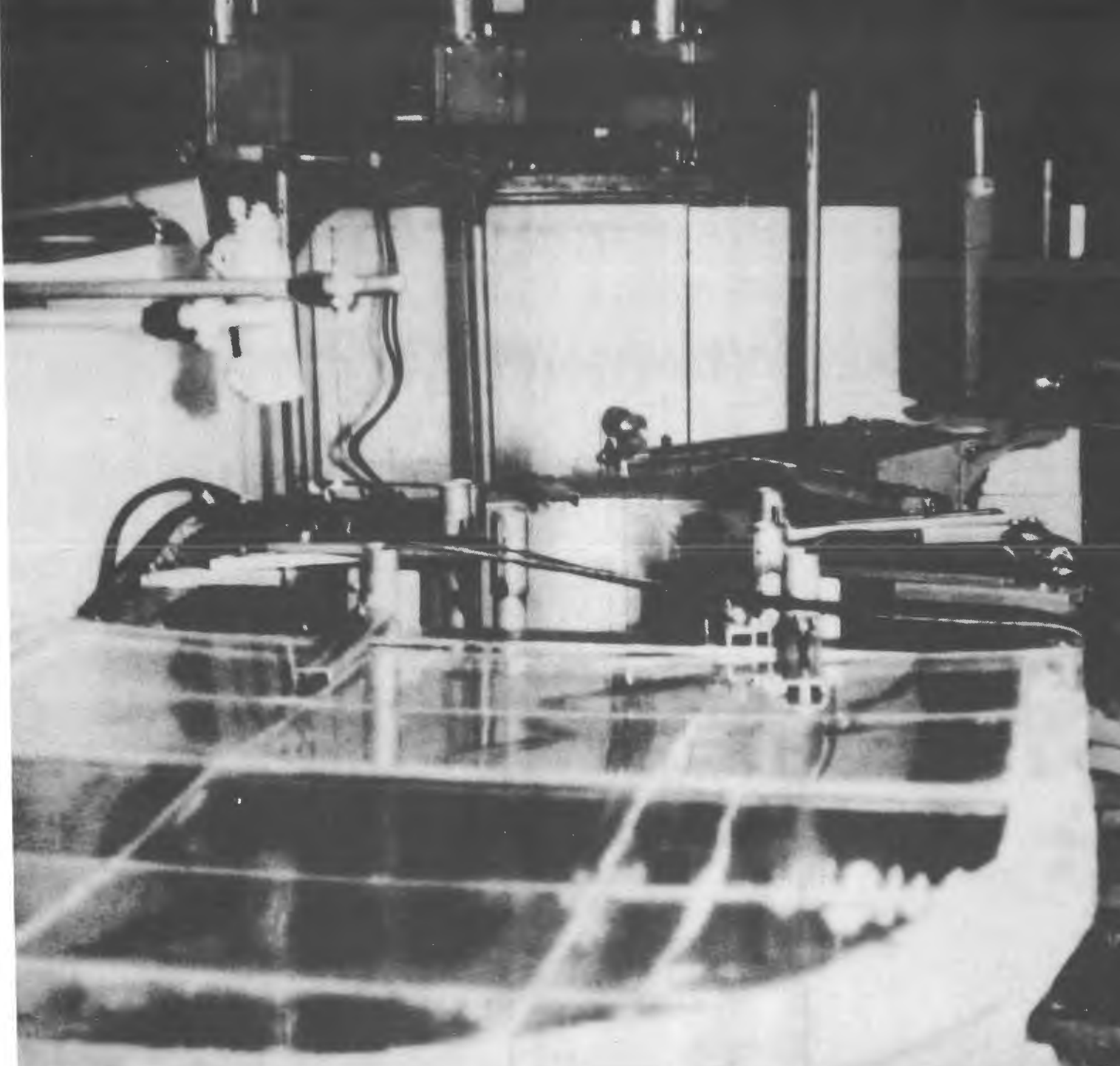


Каскадный нейтронный генератор.

Реконструированный  
исследовательский ре-  
актор.



КНДР



Водяной критический реактор.



Главный корпус Мон-  
гольского государ-  
ственного университе-  
та.



Обработка камерных  
снимков.



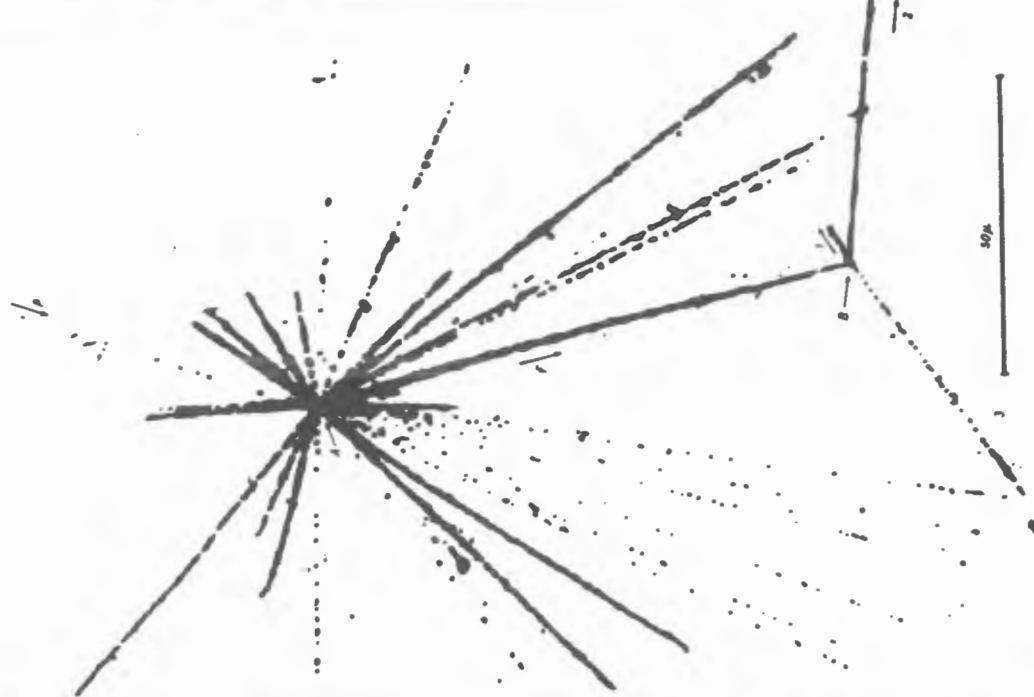


Нейтронный генератор Монгольского государственного университета.



Измерительная аппаратура Лаборатории ядерных исследований Монгольского государственного университета.





ПНР

Первое в мире наблю-  
денное гиперядро. Кос-  
мический протон  $p$  вы-  
зывает в точке А ядер-  
ную реакцию, в резуль-  
тате которой вылетает  
гиперядро  $f$ . Оно рас-  
падается в точке В.



Электростатический  
ускоритель Института  
ядерных исследований  
"Лэх", позволяющий ус-  
корять протоны до  
энергии 3,5 МэВ. ▶

Известный польский  
ученый профессор Ма-  
риан Даныш избирал-  
ся вице-директором  
Объединенного инсти-  
тута ядерных иссле-  
дований.







**Общий вид Института  
ядерных исследований  
в Сверке.**

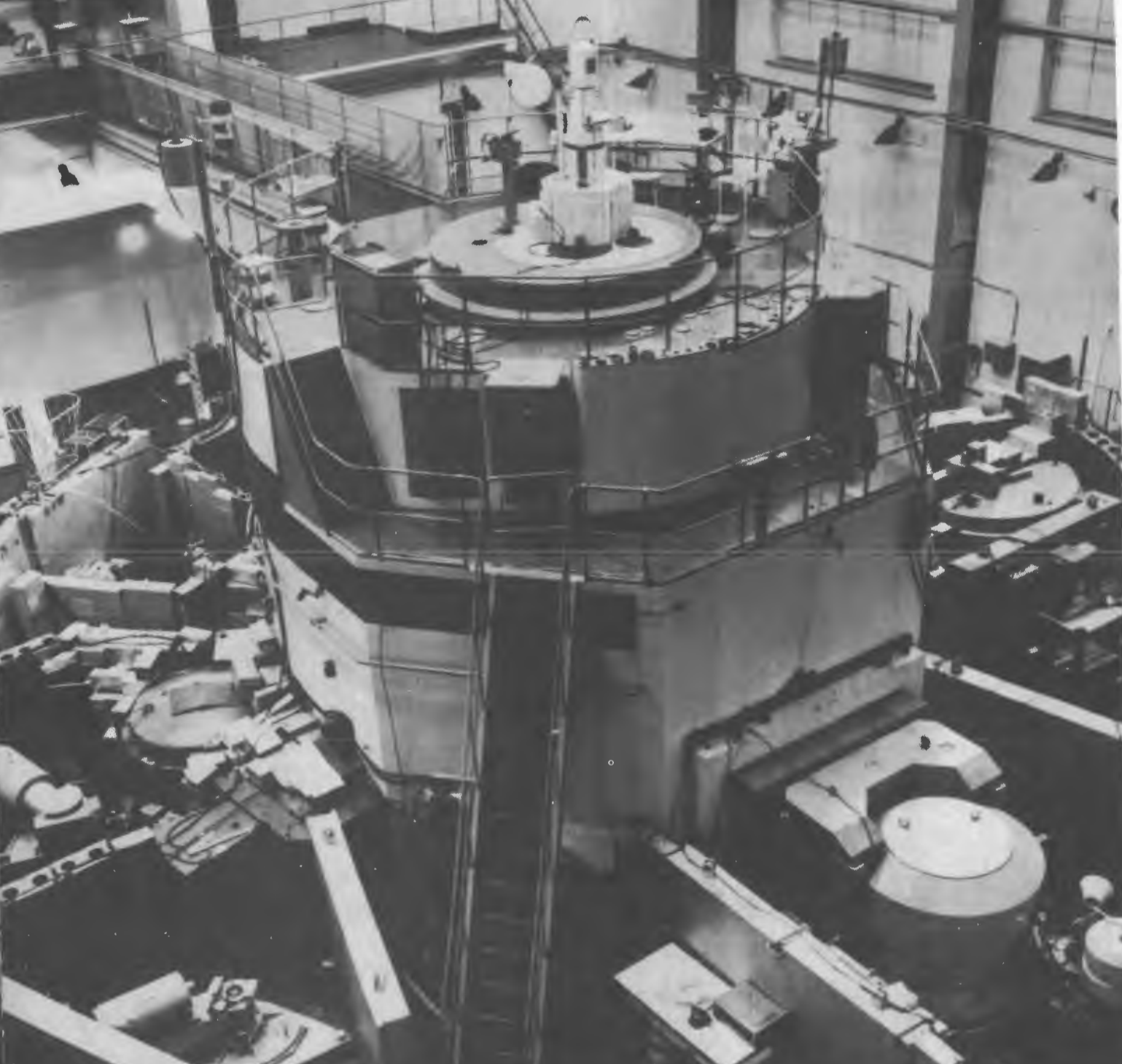


**Электронная вычис-  
лительная машина  
КАР-65, которая уп-  
равляет полуавтома-  
тически измери-  
тельными приборами  
для обработки снимков  
с пузырьковых камер.  
Машина построена в  
Институте экспери-  
ментальной физики  
Варшавского универ-  
ситета.**



**Реактор "Мария"  
в Институте ядерных  
исследований в Сверке.**





Физические установки на каналах реактора "Ева".

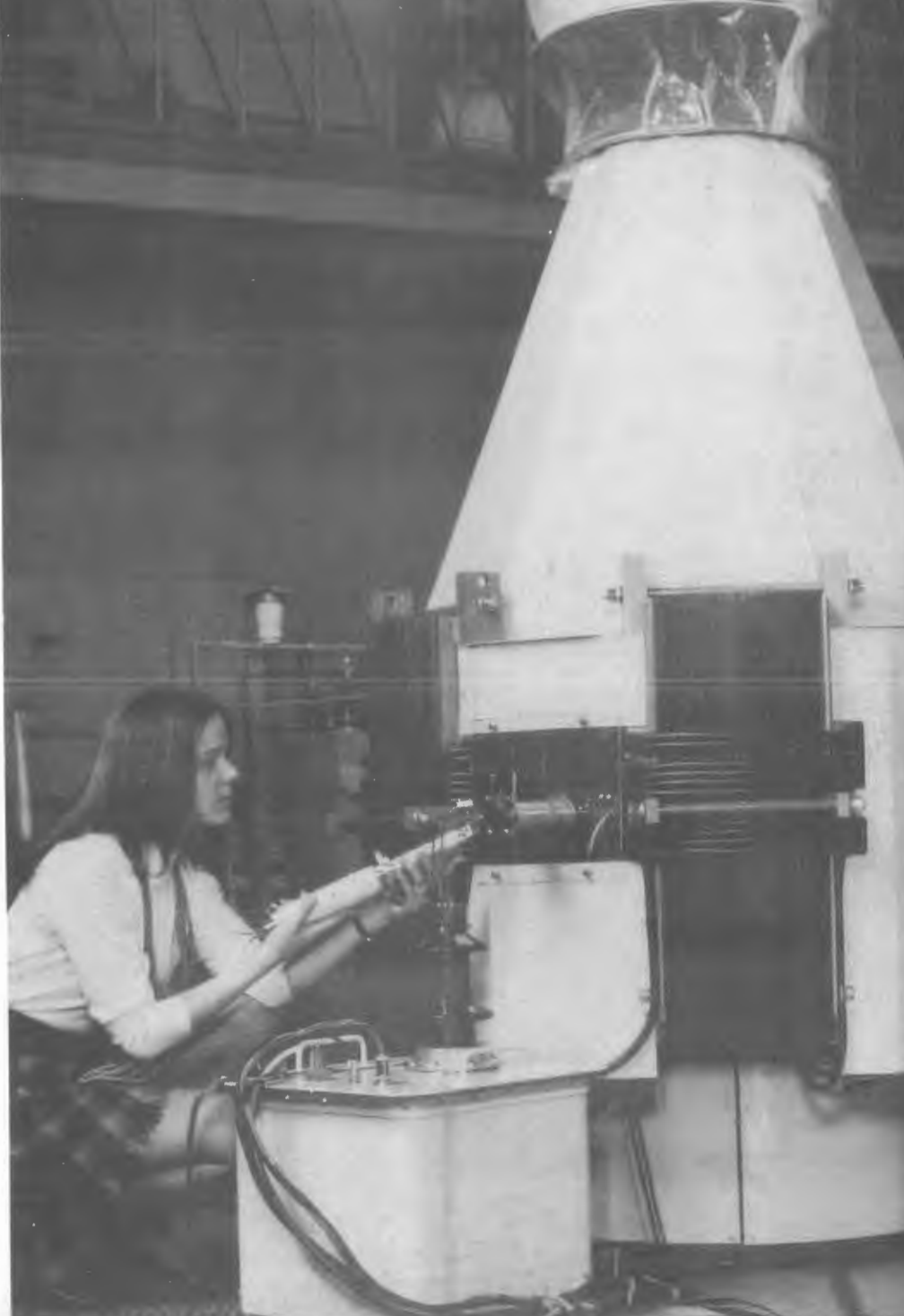
Спектрометр для нейтроннографических исследований на каналах реактора "Ева".



У сепаратора изотопов, построенного в ИЯИ. На снимке: первый слева - заместитель президента Ведомства по атомной энергии доктор М.Совински, в центре - директор ИЯИ профессор Е.Минчевски, второй слева - профессор Р.Желязны.

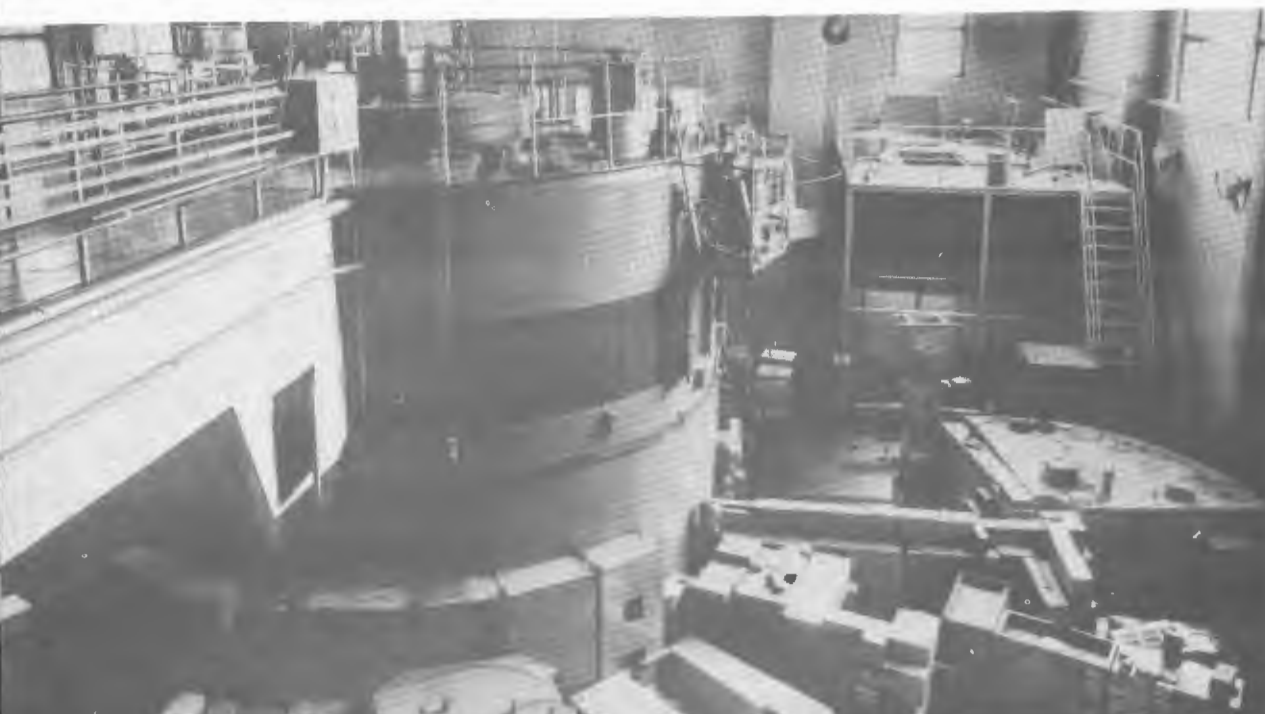


Бетатрон - ускоритель электронов /30 МэВ/, применяемый в медицине и промышленности для быстрого химического анализа.





Пульт управления исследовательским реактором типа ВВР-С. Реактор поставлен Советским Союзом в 1957 году. В 1962 году мощность реактора была поднята с 2 до 3,5 мегаватт. Он используется также для производства радиоизотопов.



Зал исследовательского реактора типа ВВР-С.





Центр по подготовке и специализации кадров для ядерной физики и энергетики. Практические занятия на субкритическом реакторе. ▶



Субкритический реактор с обогащенным ураном и графитом. ◀

Пульт управления циклотроном У-120. Поставлен Советским Союзом в 1958 году. Сейчас на нем ускоряются протоны и дейтроны в интервале энергий от 10,5 до 12,5 МэВ.





Лаборатория высоких энергий Института атомной физики. Пол-автомат для измерения следов на пленках пузырьковых камер.

Электронный микроскоп.



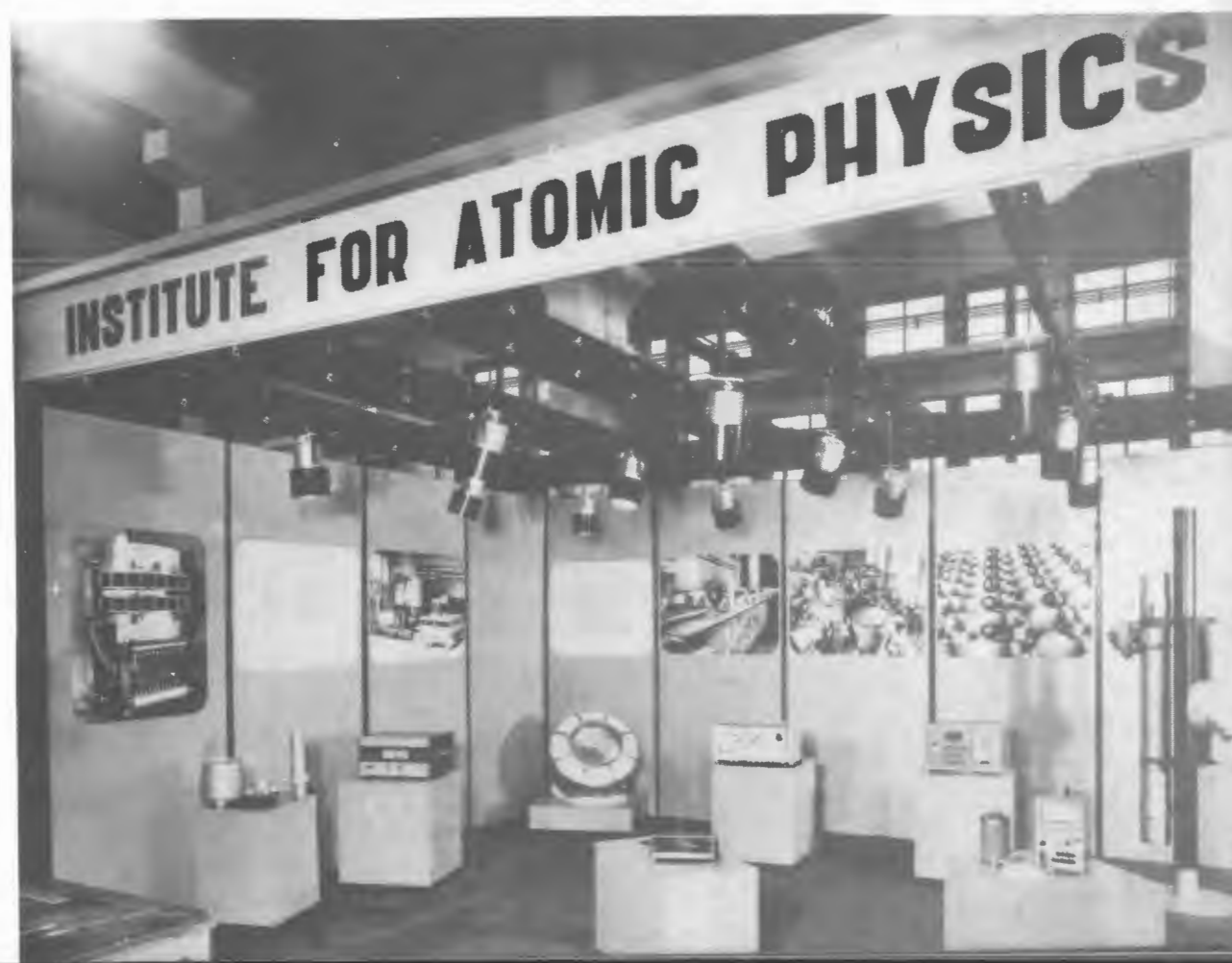
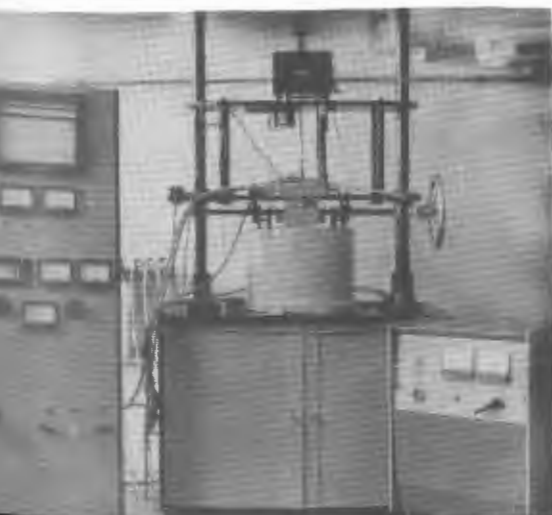


Лазер с  $\text{CO}_2$  мощностью 400 Вт. ▶



Международная выставка приборов для ядерных исследований. Общий вид зала приборов, изготовленных в Институте атомной физики. ▶

Прибор для выращивания монокристаллов.







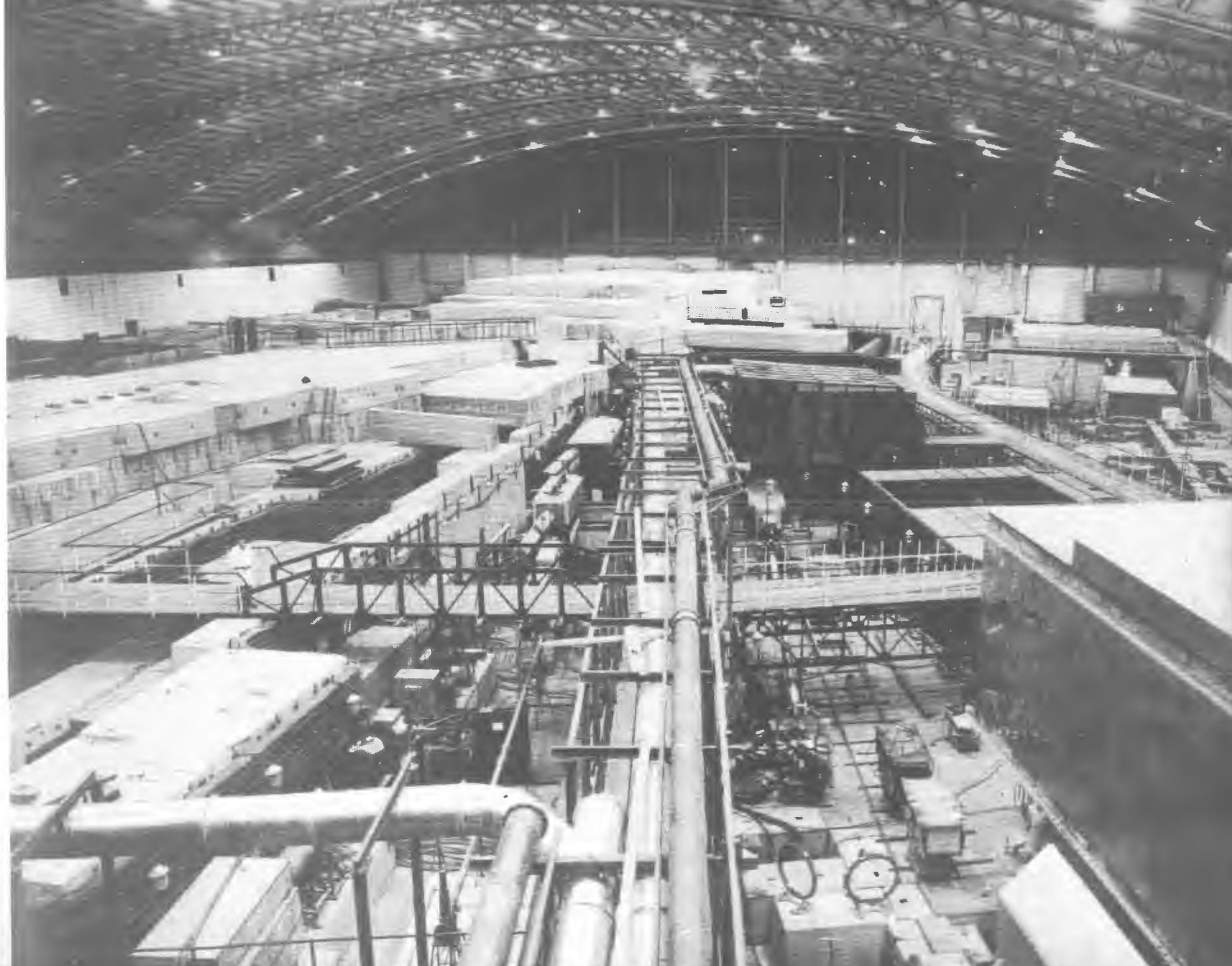
Соглашение о научно-техническом сотрудничестве между Объединенным институтом ядерных исследований и Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР подписано в Дубне 18 июня 1970 года. Это Соглашение расширяет возможности Института в научном сотрудничестве с физическими центрами Советского Союза, а также возможности участия специалистов из стран - членов Объединенного института ядерных исследований в научных программах советских институтов. Соглашение подписали председатель Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР профессор А.М.Петросьянц и директор Объединенного института ядерных исследований академик Н.Н.Боголюбов.



Общий вид экспериментального зала ИФВЭ с физическими установками /1972 г./. Его площадь составляет 10 тыс. м<sup>2</sup>.

Экспериментальный зал Института физики высоких энергий в Протвино /близ Серпухова/ в 1966 году выглядел полупустым ангаром - шла установка и испытание магнита на кольцо ускорителя длиной 1,5 км. ▶







Вид на кольцо серпуховского ускорителя.







Атомный реактор Ин-  
ститута ядерной физики  
АН Узбекской ССР.



На Всесоюзном совещании по проблемам тео-  
рии элементарных частиц, организованном в Таш-  
кенте Академией наук УзССР при содействии  
ОИЯИ /1972 г./: директор ИЯФ АН УзССР  
профессор У.Г.Гулямов, профессор Л.Ш.Ходжаев  
и академик М.А.Марков.





Встреча Полномочных Представителей стран - членов Объединенного института с руководителями ИФВЭ и советскими учеными по случаю запуска на пучке серпуховского ускорителя двухметровой водородной камеры ОИЯИ "Людмила" /1971 г./.

Инжектор серпуховского синхротрона - линейный ускоритель протонов на энергию 100 МэВ. ▶



Полномочные Представители стран - членов ОИЯИ осматривают ускоритель ИФВЭ на энергию протонов 70 ГэВ.

Измерительный центр на базе ЭВМ БЭСМ-6 в экспериментальном зале ИФВЭ. ◀





На серпуховском ускорителе начаты эксперименты с нейтрино. Для их проведения создан специальный нейтринный канал с высокими эксплуатационными характеристиками. На снимке: академик Б.М.Понтекорво /в центре/, профессор Р.М.Суляев и В.Г.Кириллов-Угрюмов, член-корр. АН СССР В.П.Джелепов осматривают сооружения нейтринного канала.



Ученые ОИЯИ совместно с коллегами из ИФВЭ и МГУ готовят аппаратуру для поиска радиоактивности нового типа.

В экспериментальном зале работа ведется и ночью.



На пучке серпуховского ускорителя работает большая французская водородная пузырьковая камера "Мирабель".

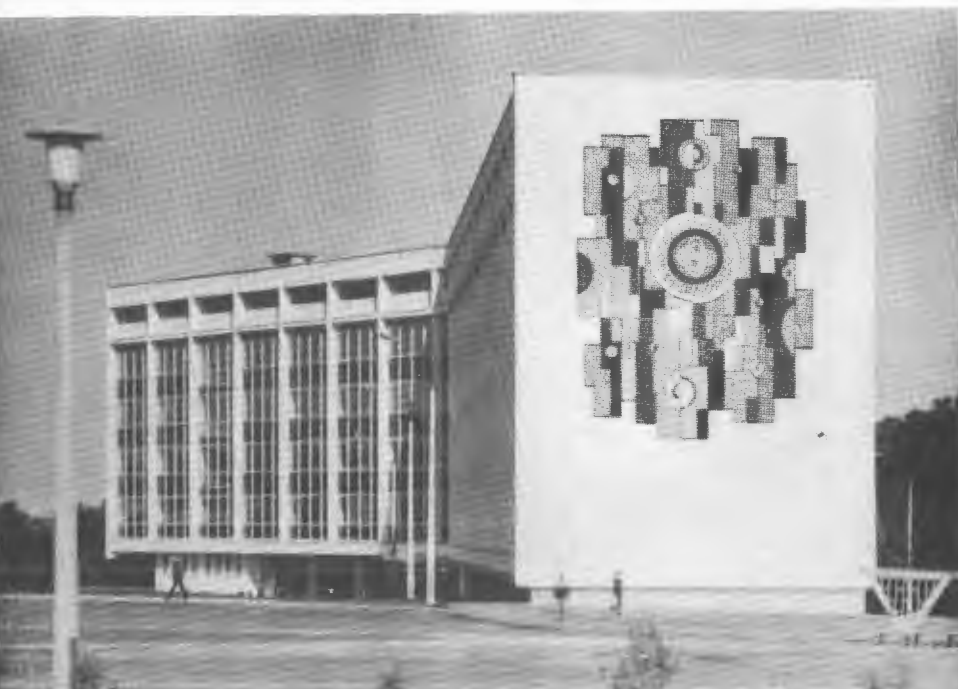
Участники одной из совместных работ профессор А.А.Тяпкин /ОИЯИ/ и научные сотрудники ИФВЭ К.А.Мествиришвили и А.Ф.Дунайцев.





Активное участие ученых ОИЯИ в организации Института теоретической физики АН УССР во многом способствовало выходу ИТФ на передовые научные рубежи. На снимке /справа налево/: Н.Н.Боголюбов, Д.И. Блохинцев и В.П.Шелест обсуждают перспективы сотрудничества двух институтов.

Здание Института теоретической физики Академии наук Украинской ССР в Киеве.



В конференц-зале ИТФ под председательством Н.Н.Боголюбова состоялось заседание секции XV Международной конференции по физике высоких энергий /1970 г./.





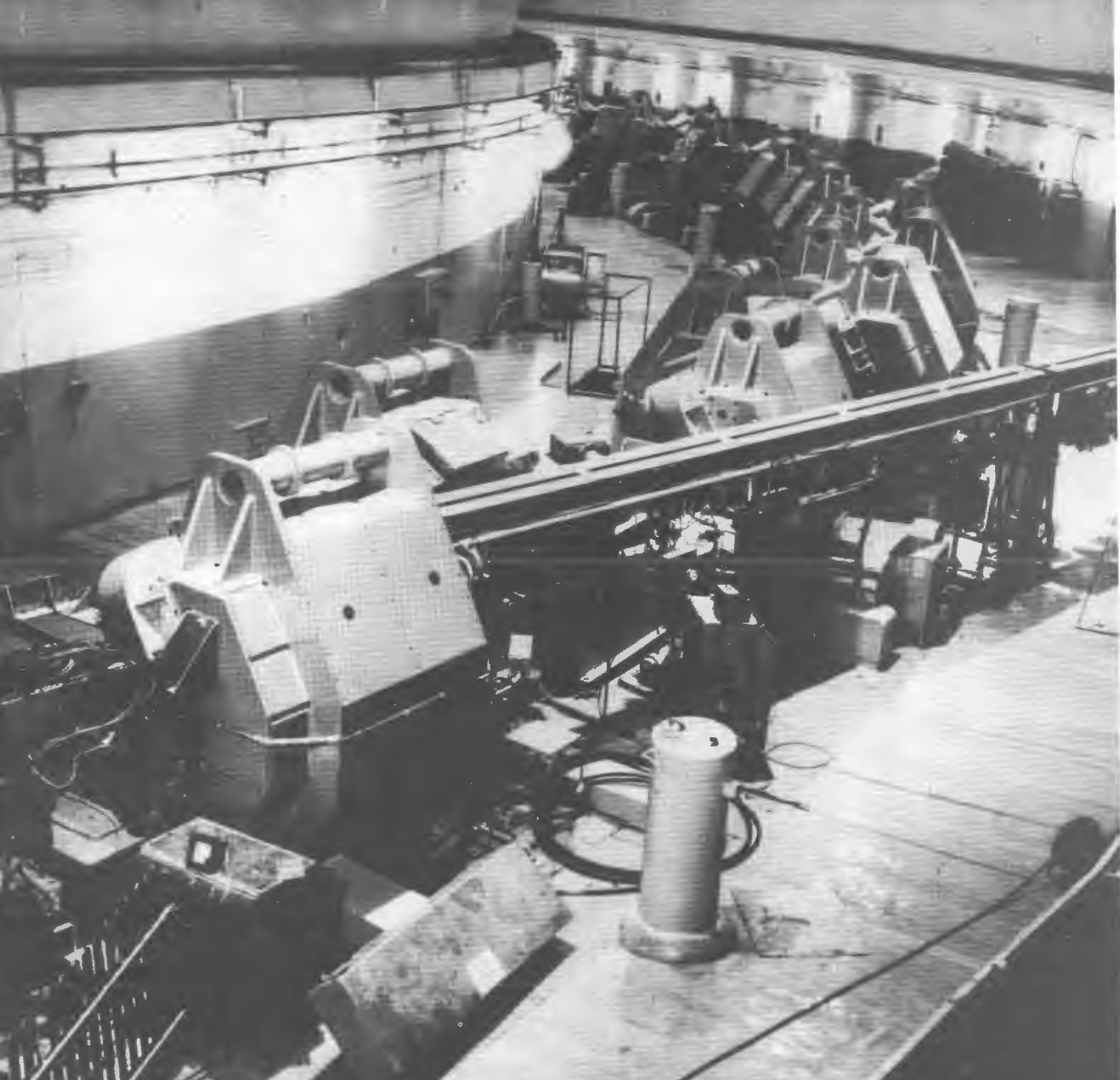
В зале заседаний XV Международной конференции по физике высоких энергий /Киев, 1970/.



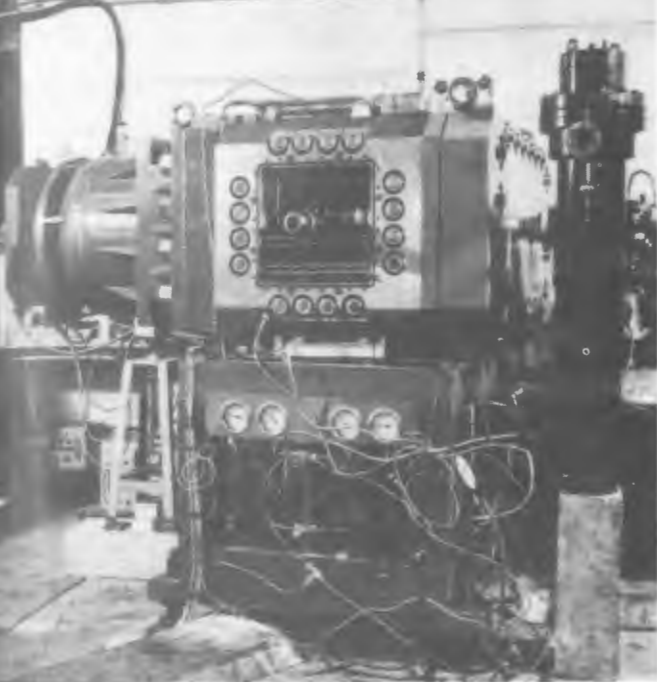
Многие научные исследования теоретики Объединенного института выполнили вместе с коллегами из ИТФ. Эти совместные работы оказали влияние на становление научной тематики нового института. На снимке теоретики двух институтов: Г.М.Зиновьев /ИТФ/, Н.А.Черников, Б.М.Барбашов, Г.В.Ефимов, И.Тодоров /ОИЯИ/.



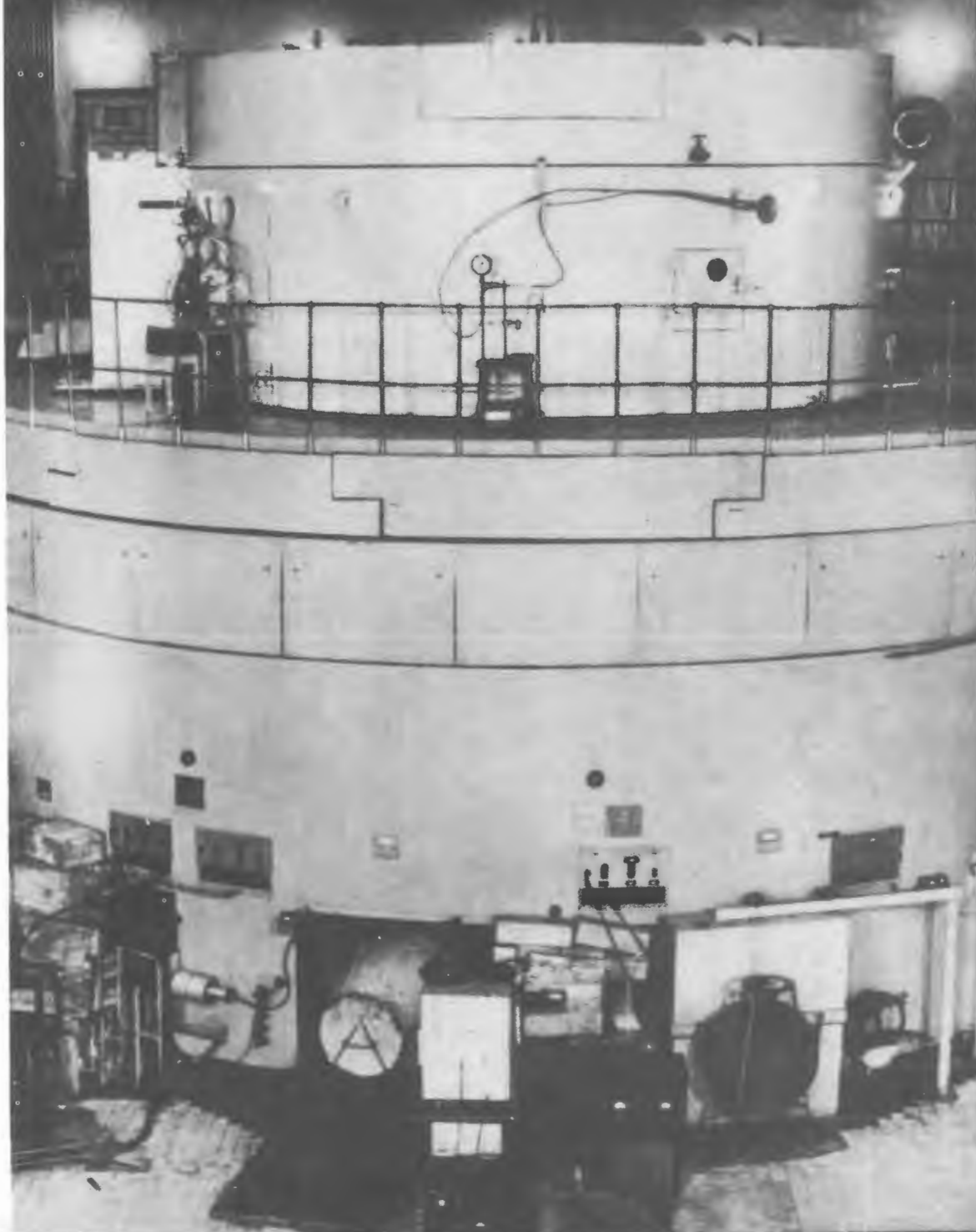




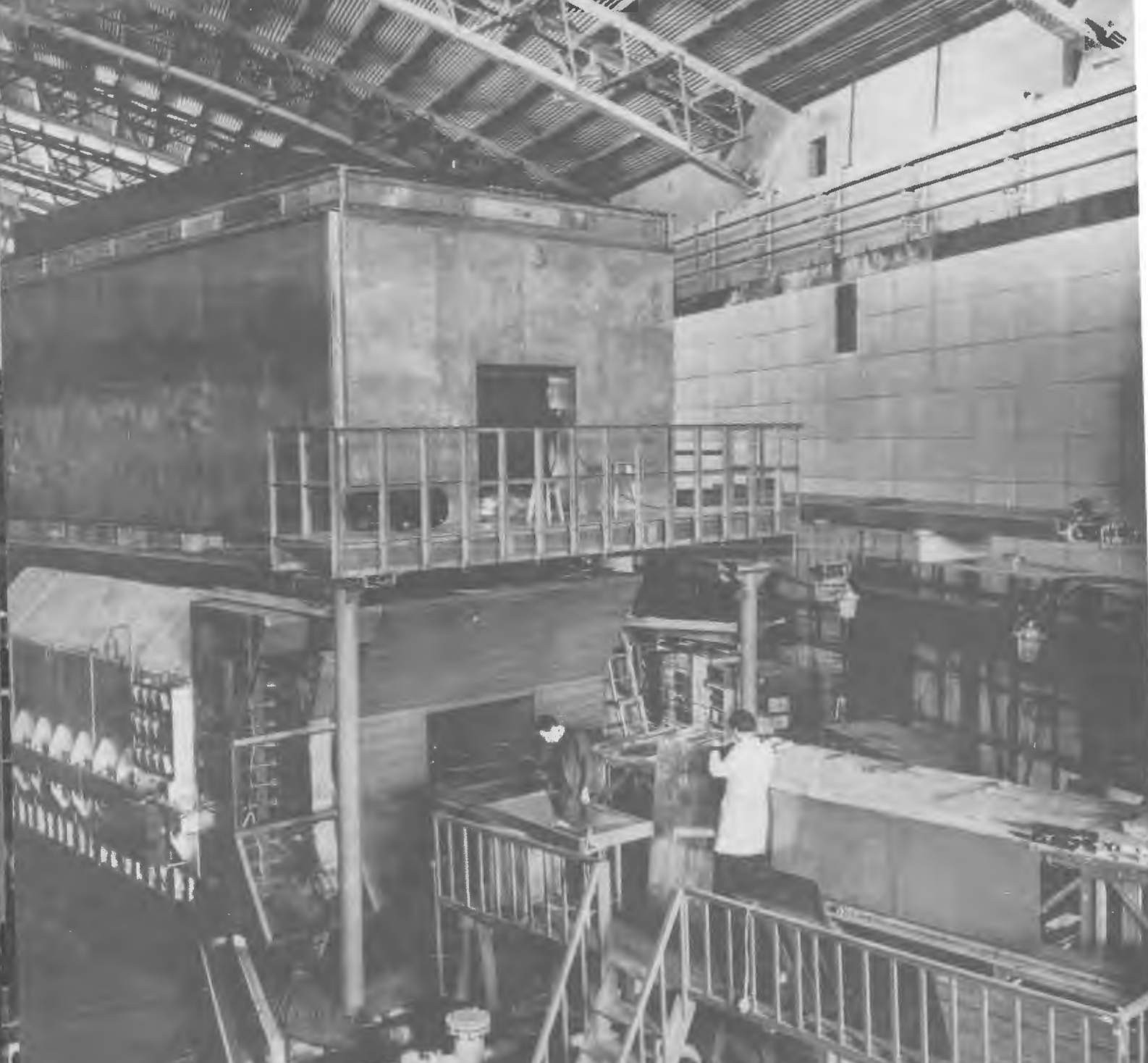
Протонный синхро-  
трон ИТЭФ на энергию  
10 ГэВ.



180-литровая ксе-  
ноновая пузырьковая  
камера ИТЭФ, на ко-  
торой выполнен цикл  
работ по исследованию  
редких распадов  $K^0$ -  
мезонов.



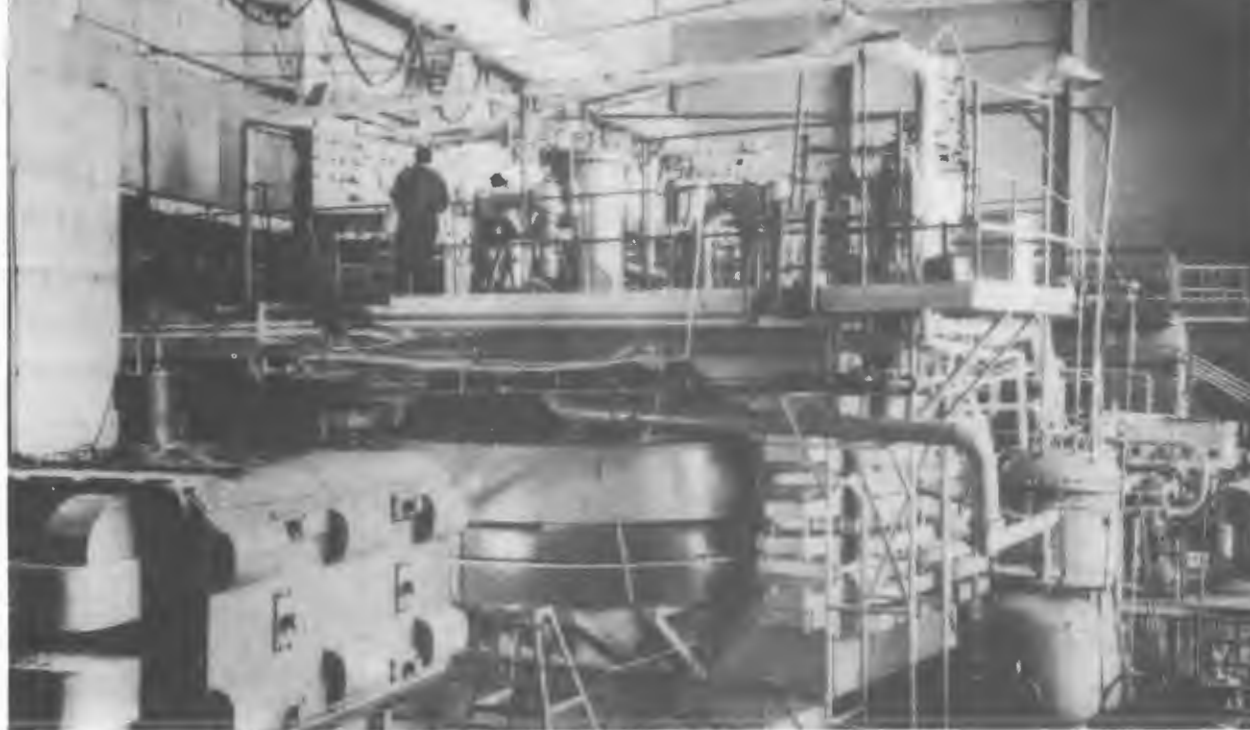
Тяжеловодный ис-  
следовательский реак-  
тор ИТЭФ мощностью  
2,5 тыс. кВт.



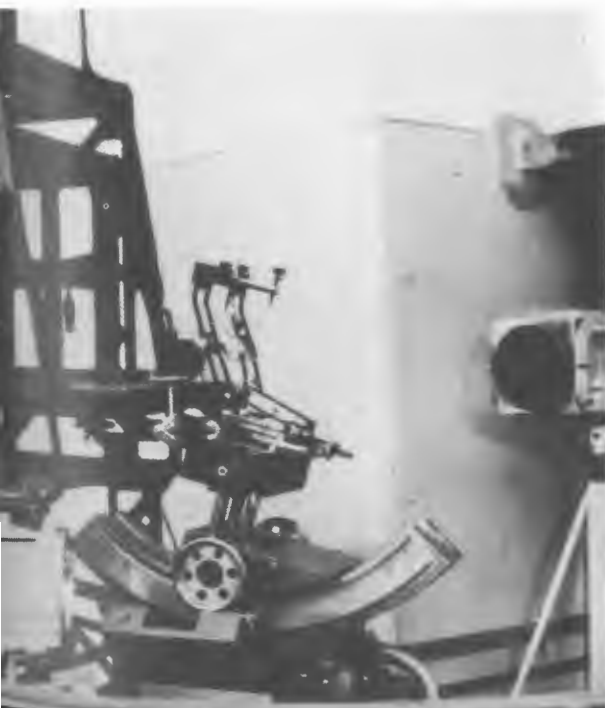
Шестиметровый маг-  
нитный искровой  
спектрометр МАГИК-6,  
действующий на пучке  
серпуховского уско-  
рителя.



Двухметровая жидководородная пузырьковая камера ИТЭФ.

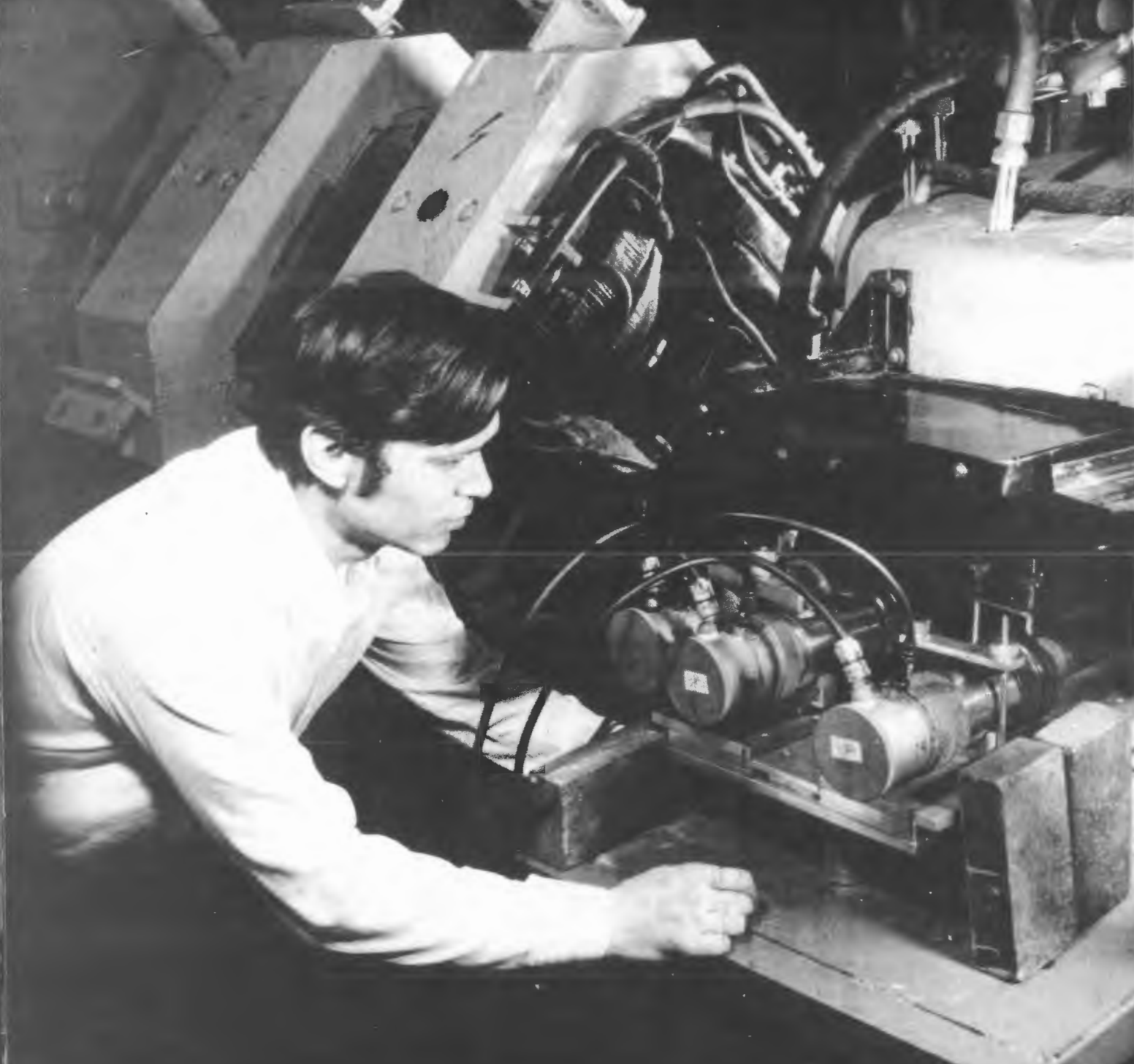


Установка для облучения онкологических больных на выведенном медицинском протонном пучке с энергией 200 МэВ в ИТЭФ.



Автоматический прибор со сканирующим пятном ПСП-1, на котором ведется обработка фотографий с искровых камер. Производительность установки - от 40 до 280 событий в час.





Ученые Института атомной энергии имени И.В.Курчатова совместно с физиками ОИЯИ ведут исследования свойств вещества с помощью положительно заряженных мюонов на синхротроне в Дубне. На снимке: научный сотрудник ИАЭ В.И.Селиванов готовит экспериментальную установку к очередному опыту.







В Ленинградском государственном университете исследуются короткоживущие изотопы редкоземельных элементов, синтезированные на синхротронном циклотроне ОИЯИ. На снимке: бета-спектрометр, с помощью которого ведутся эксперименты.

На протяжении многих лет осуществляется научное сотрудничество ЛГУ и ОИЯИ. Одной из групп аспирантов и студентов университета, участвующих в работах по программе сотрудничества, руководит старший научный сотрудник Е.П.Григорьев /в центре/.

Сотрудничество Радиевого института имени В.Г.Хлопина /Ленинград/ с ОИЯИ охватывает исследования по ядерной физике высоких энергий, физике тяжелых ионов, ядерной спектроскопии, радиохимии и др. На снимке - руководители работ, проводимых в научном контакте с ОИЯИ: кандидат физико-математических наук Р.М.Иванов и член-корреспондент АН СССР Б.С.Джелелов. ▶



Многие исследования совместно с учеными ОИЯИ выполняли сотрудники Радиевого института О.В.Ложкин и В.В.Авдейчиков. ▶





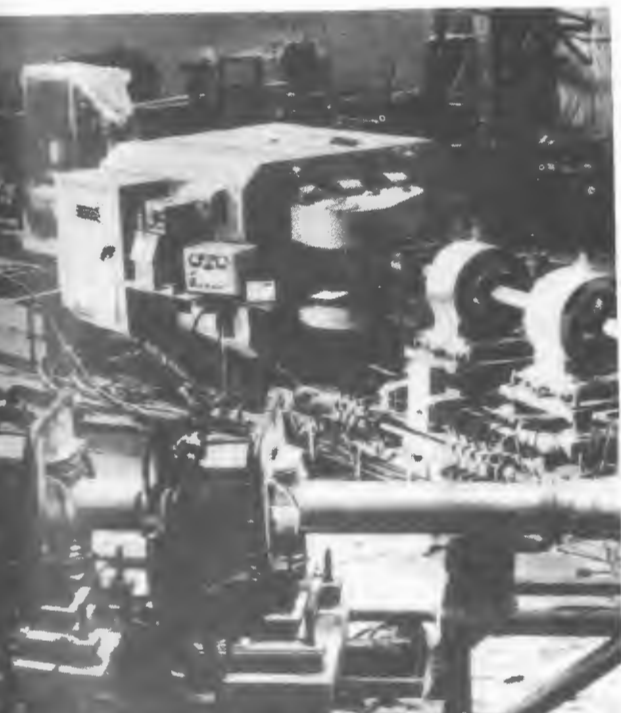
Учеными ЛИЯФ и  
ОИЯИ разработан но-  
вый прибор - трековый  
голографический де-  
тектор на основе стри-  
мерной камеры.



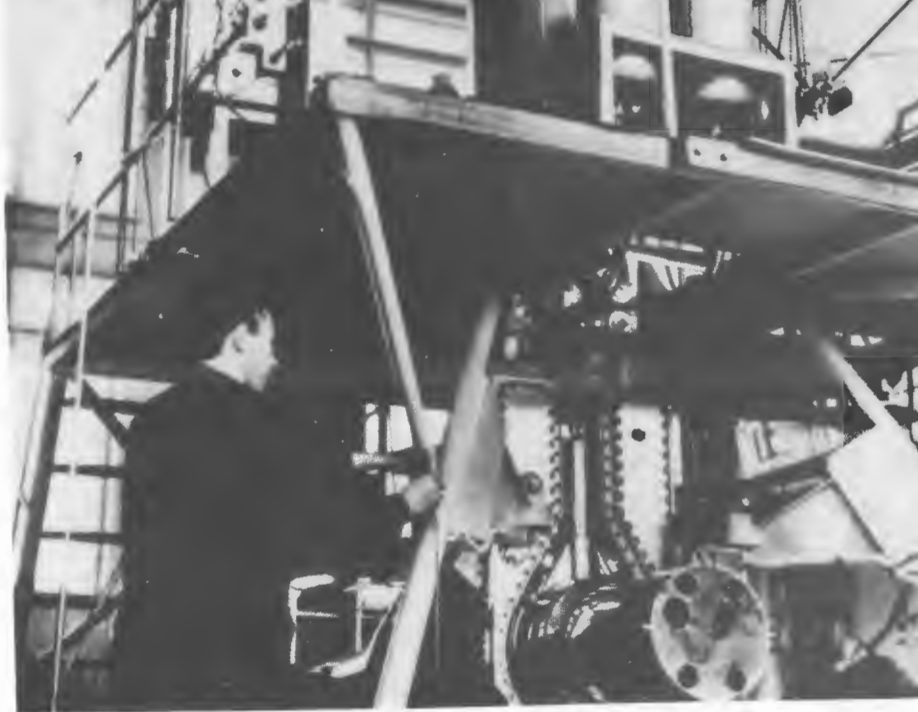


Масс-сепаратор для исследования изотопов, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 1 ГэВ с ядрами. Эти работы ЛИЯФ выполняются по общей с ОИЯИ программе исследований.

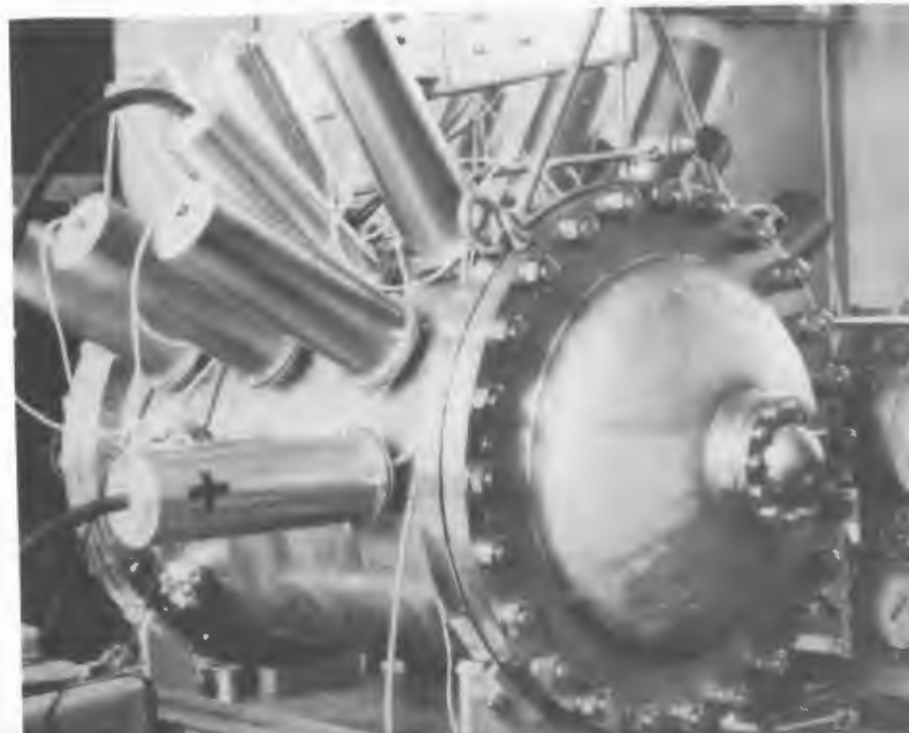
Магнитный спектрометр для исследования упругого рассеяния протонов на ядрах. На нем получены новые данные об изотопическом сдвиге в дифференциальных сечениях рассеяния на ядрах  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{32}\text{S}$  -  $^{34}\text{S}$  и др.



Криогенная пузырьковая камера для работы на пучках синхротрона ЛИЯФ. Камера может заполняться водородом, дейтерием или неоном. Установка создавалась при консультации сотрудников ОИЯИ. ▶

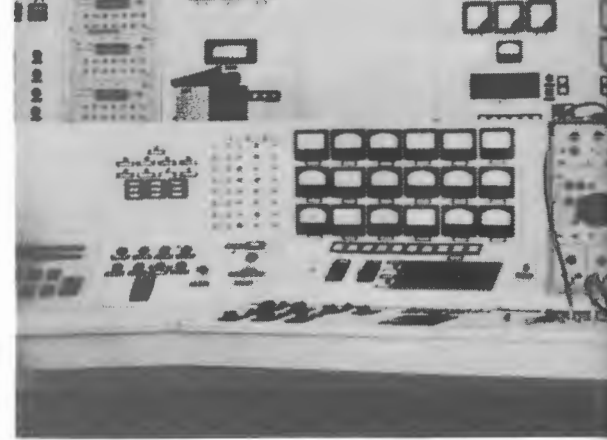


Установка ИКАР - ионизационная камера с водородным наполнением - используется для изучения адронного рассеяния на нуклонах. Совместный эксперимент ЛИЯФ - ОИЯИ - ИФВЭ проводится на пучках  $\pi^-$ -мезонов в Серпухове. ▶

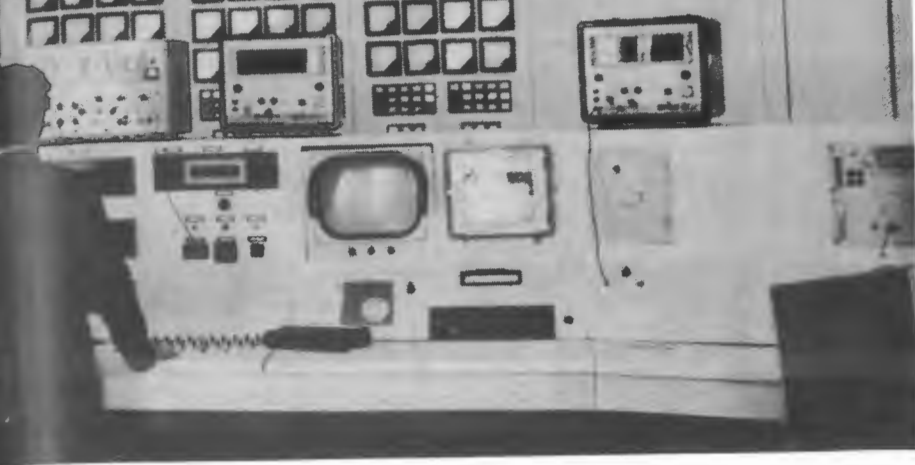




Синхротрон Ереванского физического института на энергию электронов 6 ГэВ.



На Ереванском синхротроне выполнены эксперименты по рассеянию электронов на протонах и дейтронах. Цикл оригинальных исследований провели физики Армении, Дубны и Румынии. На снимке сотрудники Физического института - участники этих работ /слева направо/: В.С.Погосов, Г.И.Мельников, Г.В.Бадалян, Д.М.Бергларян.



Пульт управления синхротрона.



Фрагмент кольца  
Ереванского синхротрона.





Ученые ОИЯИ профессор Л.И.Лапидус и доктор физико-математических наук Ю.К.Акимов - руководители работ объединенной группы Дубны - Еревана - Бухареста по исследованию рассеяния электронов протонами и дейтронами.





В вычислительном центре Ереванского физического института. Математики из Еревана работают в сотрудничестве с ОИЯИ, многие из них прошли стажировку в Дубне.

В опытах на Ереванском синхротроне применяются стримерные камеры. В процессе изготовления их испытывали на синхроциклотроне в Дубне. ▶

Фреоновая пузырьковая камера Физического института. Полезный объем камеры - 300 л, камера работает в сильном магнитном поле /19 кГс/.







Ведущие грузинские физики, работавшие в Объединенном институте. Слева направо: директор Сухумского физико-технического института Р.Г.Салуквадзе, заведующий лабораторией ядерной физики Тбилисского университета Н.С.Амаглобели, заведующий кафедрой ядерной физики Т.И.Копалейшвили, профессор ТГУ Г.А.Чилашвили, заведующий кафедрой теоретической физики И.Ш.Вашакидзе.





В лаборатории ядерной физики ТГУ ведется обработка снимков с пузырьковых камер, облученных на ускорителях в Дубне и Серпухове. Эти работы выполняются в тесном сотрудничестве с ОИЯИ.

В опытах на Дубненском синхротроне была использована пропановая пузырьковая камера, сделанная в ТГУ под руководством Р.Г.Салуквадзе.



Одно из новых зданий Тбилисского государственного университета.



В лабораториях ТГУ ведется обработка ядерных фотозуммелей, полученных из Объединенного института. Этими работами руководит Н.И.Костапашвили /на переднем плане/. ▶

Атомный реактор Ин-  
ститута ядерной физики  
АН Узбекской ССР.



На Всесоюзном совещании по проблемам тео-  
рии элементарных частиц, организованном в Таш-  
кенте Академией наук УзССР при содействии  
ОИЯИ /1972 г./: директор ИЯФ АН УзССР  
профессор У.Г.Гулямов, профессор Л.Ш.Ходжаев  
и академик М.А.Марков.





Многие выпускники Ташкентского университета прошли стажировку в Дубне под руководством ведущих теоретиков ОИЯИ. На снимке: группа теоретиков университета и ОИЯИ - участников Всесоюзного совещания в Ташкенте. ▶

Институт ядерной физики АН Узбекской ССР уже около 20 лет сотрудничает с ОИЯИ в теоретических и экспериментальных исследованиях. На снимке: новое здание Института ядерной физики.

Научный сотрудник Института ядерной физики С.Хужаев знакомит приехавшего в Ташкент из Дубны ученого ОИЯИ В.А.Халкина с аппаратурой, которая используется в совместных исследованиях ИЯФ и ОИЯИ.





**Институт физики Академии наук Азербайджанской ССР.** Многие сотрудники этого института проходили стажировку в Дубне, поддерживают научные связи с учеными ОИЯИ.

**Атомный реактор Института физики Академии наук Латвийской ССР.** Ученые ОИЯИ оказали этому институту помощь в подготовке кадров и в постановке исследований.



**Успешно развивается сотрудничество Института физики высоких энергий АН Казахской ССР с ОИЯИ.** Активное участие в этом сотрудничестве принимают заместитель директора института И.Я.Часников и заведующий лабораторией Э.Г.Боос.







▲  
Один из ведущих теоретиков ОИЯИ В.Г.Кадышевский выступает на семинаре по квантовой теории поля в Азербайджанском государственном университете.



Институт ядерных исследований АН Украинской ССР связывает с ОИЯИ многолетнее научное сотрудничество.





Вид на территорию Института ядерной физики  
и Института ядерных исследований в Ржеже.

Ученый из ОИЯИ И.М.Граменицкий, доц. З.Кор-  
бел и доц. Л.Роб за обсуждением совместно по-  
лученных результатов.



Новое здание Физи-  
ческого института  
ЧСАН в Праге. В  
этом здании находит-  
ся Отдел высоких  
энергий.



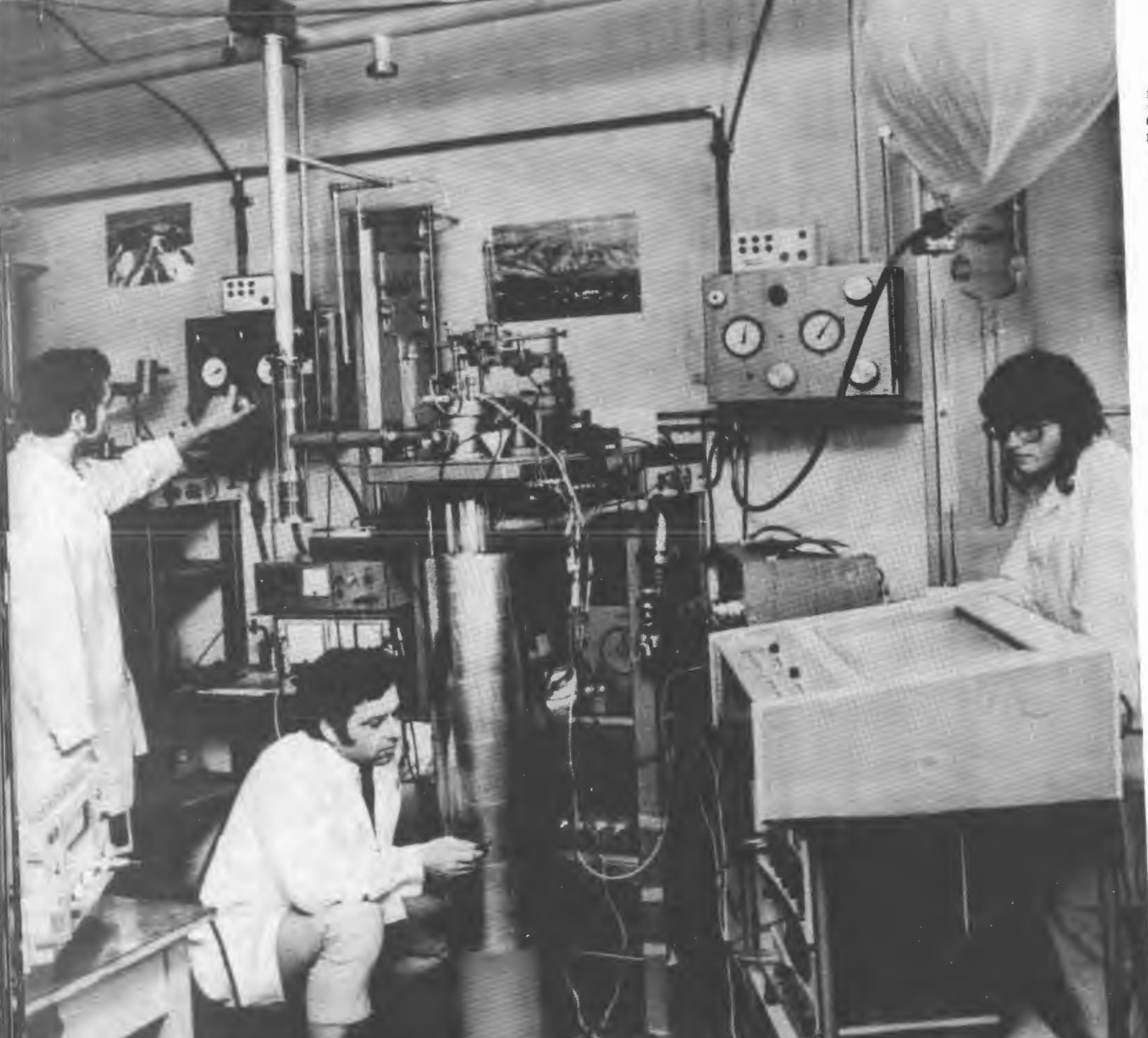


**НОВА-820 - вычислительная машина, управляющая в режиме "На линии" операциями измерительных столов САМЕТ и измерительных микроскопов ПУОС.**



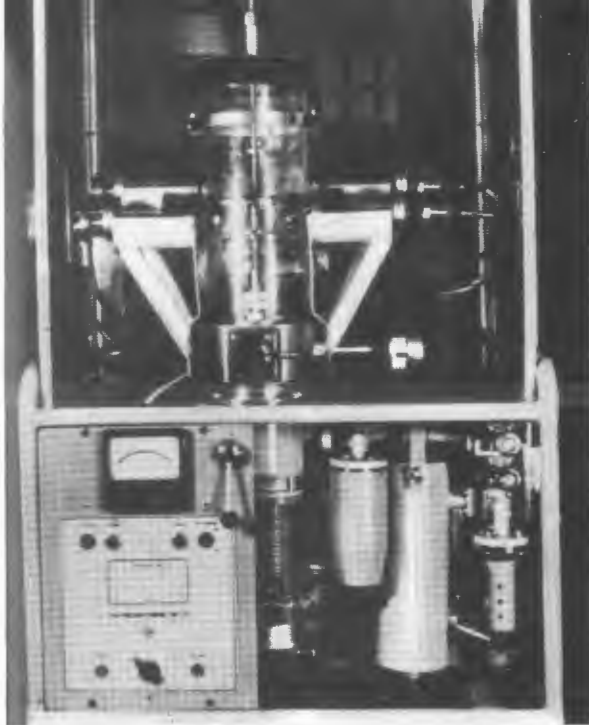
**Лаборатория Института экспериментальной физики САН в г.Кошице для обработки снимков с пузырьковых камер.**



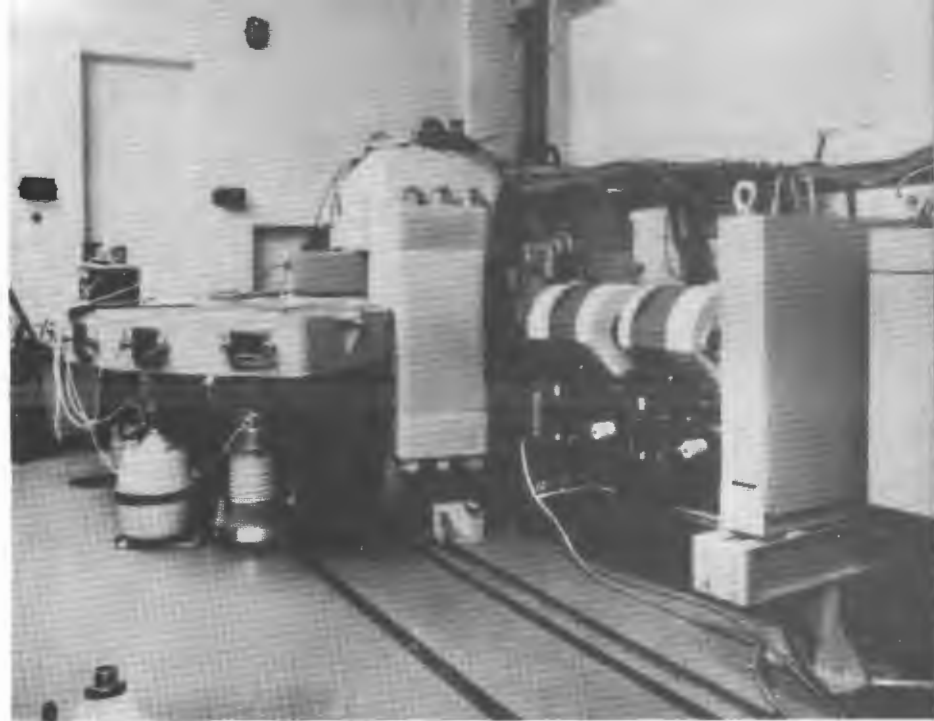


Коллектив сотрудников Электротехнического института САН за наладкой аппаратуры для измерения высокочастотных свойств тонких слоев.

Сверхпроводящий лабораторный магнит для образования магнитных полей до 10 Т из сверхпроводящей проволоки, изготовленный в Электротехническом институте САН. ▶



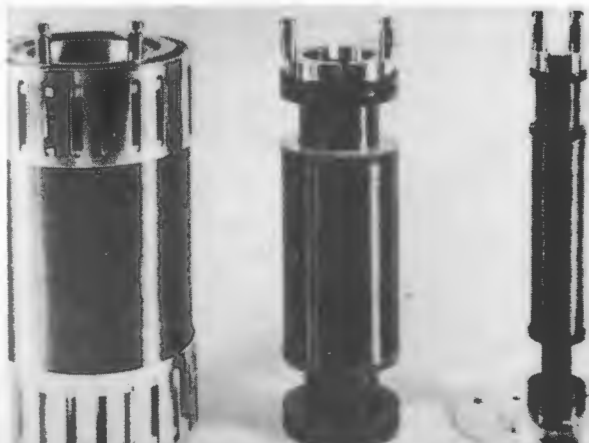
Многоугольный маг-  
нитный анализатор  
продуктов ядерных  
реакций /мульти-  
спектрограф/.



Устройство для на-  
пыления сверхпро-  
водящих пленок, изго-  
товленное в Электро-  
техническом институ-  
те САН.

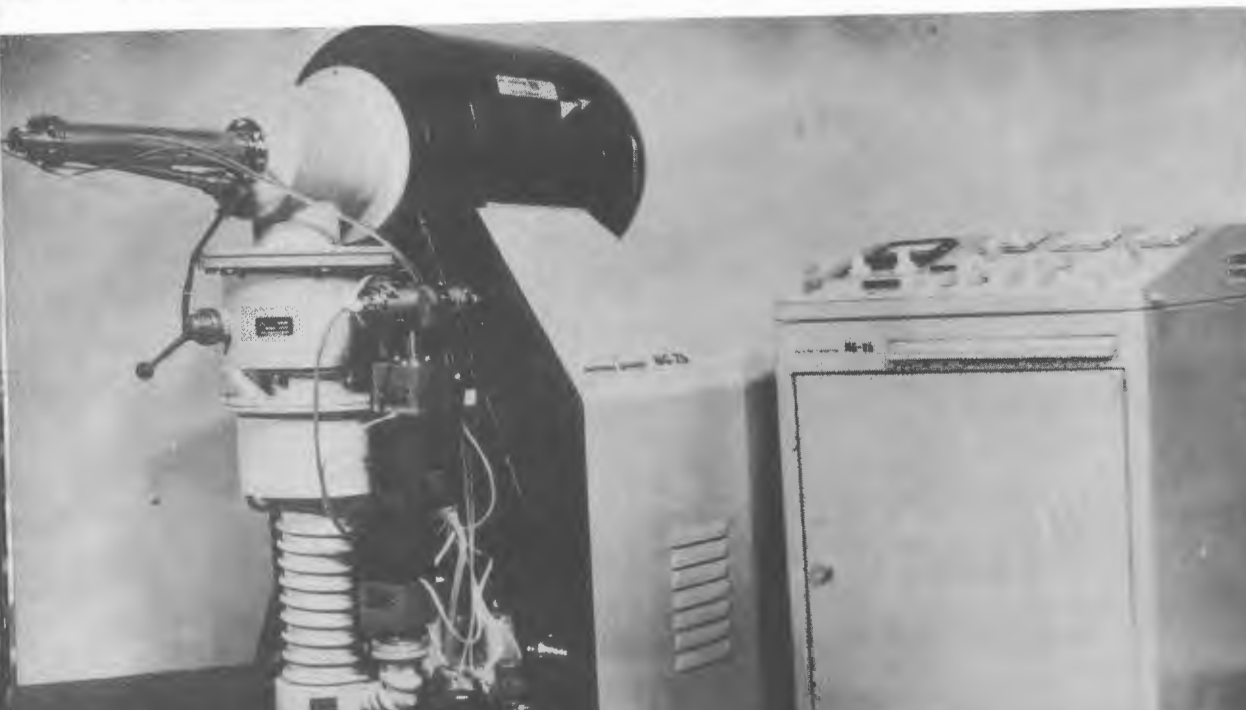


Аппаратура с ка-  
мерой-мишенью для  
измерения угловых  
распределений прото-  
нов в ядерных реак-  
циях (d-p) с помо-  
щью полупроводнико-  
вых детекторов.





Универсальный двух-  
осный спектрометр  
медленных нейтронов  
SPN-100 для исследова-  
ния (n- $\epsilon$ ) взаимодей-  
ствия на моно-  
кристалле  $^{186}\text{W}$ .



Нейтронный генера-  
тор, разработанный и  
установленный в Фи-  
зическом институте  
САН для изучения  
реакций (n, d) с резо-  
нансными и быстрыми  
нейтронами.







Рефрижератор  $^3\text{He}$  -  
 $^4\text{He}$ , сконструированный  
в Институте ядерной  
физики ЧСАН для  
охлаждения мишеней  
поляризованных ядер  
до температур  $0,02\text{ K}$ .

Изготовление про-  
смотровых и измери-  
тельных полуавтома-  
тов САМЕТ в Фи-  
зическом институте  
ЧСАН.

Графический и алфа-  
витно-цифровой дис-  
плей со световым ка-  
рандашом, разрабо-  
танный в отделе  
электронных исследо-  
ваний ИЯФ ЧСАН.







20-летний юбилей Объединенного института ядерных исследований совпадает с началом новой пятилетки Института. Ученые Дубны и институтов социалистических стран, сотрудничающих с ОИЯИ, успешно завершая текущую пятилетку, заблаговременно приступили к подготовке новой пятилетней программы. Правительства стран - членов ОИЯИ поставили перед коллективом Института серьезные задачи по разработке как пятилетнего плана развития ОИЯИ, так и долговременной программы на пятнадцатилетний период.

Ученые Дубны ведут исследования в области физики элементарных частиц и структуры атомного ядра. Эта область познания природы, которая обычно именуется фундаментальными исследованиями, так как связана с изучением основных представлений о природе материи. Прогнозирование развития этого научного направления, а тем более его технической базы представляет собой очень сложную задачу и сопряжено с преодолением общих трудностей, присущих планированию научного поиска.

Этих трудностей две. Первая заключается в том, что наиболее ценным результатом научных исследований является такой, в котором содержится открытие

нового факта или новой закономерности, предсказать или предугадать которые заранее невозможно. Конечно, не каждый факт или закономерность, добытые в процессе научных исследований, представляют для человечества значительную ценность. Мы интересуемся в первую очередь такими результатами, которые дают возможность пролить свет на фундаментальные законы природы и познание которых дает мощный толчок научно-техническому прогрессу, развитию новой технологии. Безусловно, в науке проводятся и такие исследования, когда день за днем, год за годом приходится измерять вероятность предсказываемой закономерности, уточнять предсказываемые величины констант. Без этого невозможно развитие современной науки, особенно таких ее отраслей, какими являются физика элементарных частиц и физика атомного ядра. Но в этом последнем случае уже гораздо легче ставить цели, намечать сроки, планировать ресурсы и достигать результативного выхода. Ученые социалистических стран, работающие в Дубне, имеют уже значительный опыт планирования поисковых исследований. Свидетельством тому являются выдающиеся результаты, полученные в лабораториях Объединенного института и в институтах стран-участ-

ниц по проблемам физики ядра и физики элементарных частиц.

Второй момент, определяющий сложность планирования в науке, связан с тем, что научные исследования в наше время требуют подчас аппаратуры огромных размеров. В выполнение одной исследовательской работы иногда вовлекаются сотни людей, затрачиваются огромные финансовые ресурсы. Это требует хорошей координации деятельности специалистов самого широкого профиля, участия в одной работе нескольких исследовательских институтов. Общеизвестно, что на современном этапе залогом успешного развития научных исследований является всемерная концентрация усилий коллективов исследователей на наиболее перспективных научных направлениях. Этот второй момент, который ранее доминировал только в организации широкого технического сотрудничества, в настоящее время является весьма важным фактором, отражающимся на сложном процессе планирования научных исследований.

Все перечисленные выше проблемы находились в центре внимания выдающихся ученых социалистических стран, собиравшихся в Дубне для обсуждения путей дальнейшего развития научных исследований, развития первого международного исследовательского центра социалистических стран.

Дискуссии показали, что для успешного проведения научного поиска необходимы не только новые научные идеи и талантливый коллектив исследователей, но, безусловно, и наличие первоклассной базы для экспериментальных и теоретических исследований. Объединенный институт ядерных исследований был создан именно для того, чтобы ученые социалистических стран могли сообща строить такие экспериментальные установки, которые открывали бы совершенно новые области научного поиска и сооружение которых не всегда доступно отдельно взятой стране.

Физики-экспериментаторы, изучающие ядро и элементарные частицы, постоянно озабочены решением трех проблем: как достичь в столкновениях частиц наивысшей энергии, как получить наивысшую интенсивность потоков налетающих частиц, как добиться предельно возможной точности в проведении опытов. В лабораториях мира по всем этим направлениям наблюдается постоянный прогресс, и, конечно, та, которая имеет приоритет по одному из перечисленных направлений, получает возможность первой ввести в действие силы экспериментаторов в неизведанные области и собрать "урожай" открытий большого научного и практического значения. Успех в таком постоянном соревновании возможен только при условии высокой концентрации усилий на создании соответствующей технической базы.

Ученые Объединенного института ядерных исследований сконцентрировали свои усилия на определенных направлениях физики элементарных частиц и атомного ядра, которые с успехом развиваются на протяжении 20-летнего периода. Поэтому основной их заботой является развитие таких традиционных направлений, на которых в будущем возможно добиться решающих успехов в проведении научных исследований.

Подготовка пятилетнего и перспективного планов учеными социалистических стран в основном завершена, и уже видны контуры как новой пятилетки, так и более отдаленного будущего Дубны.

Обратимся к физике высоких энергий, которая родилась собственно в Дубне. Именно здесь были сооружены крупнейшие в мире ускорители циклотронного и синхрофазотронного типов, в которых был использован принцип автофазировки, разработанный замечательным советским физиком В.И.Векслером. В различных лабораториях мира создано целое поколение ускорителей. Гигант Дубны - синхрофазотрон - позволил получать элементарные частицы с энергией, равной средней энергии космических частиц, но с интенсивностями,

в миллиарды раз большими. Ученые получили возможность по своему усмотрению менять энергии и природу частиц для исследований различных ядерных процессов. Таким образом, открытие этого принципа превратило физику элементарных частиц в очень точную и тонкую науку.

Однако несмотря на то, что в настоящее время в распоряжении ученых имеются ускорители, сообщающие частицам гораздо большую энергию, физики продолжают задумываться об экспериментах с излучением, идущим из Космоса. Из бездны Вселенной идут частицы таких огромных энергий, которых человечество пока не достигло, и неизвестно, сможет ли когда-нибудь достичь. Из Космоса идут не только протоны, электроны, но /что самое удивительное/ и целые ядра, разогнанные до огромных энергий. Поэтому Космос, наверное, будет оставаться тем живительным родником, к которому не раз будут припадать физики, измученные в непрерывных технических поисках новых методов ускорения.

Развивая физику сверхвысоких энергий, специалисты по ускорителям довели энергию ускоренных частиц до сотен ГэВ, и уже сейчас в США работает протонный синхротрон на 500 ГэВ. Созданы такие сложные установки, как ускорители встречных пучков, которые позволяют получить и столкнуть пучки частиц, движущихся с огромными скоростями навстречу друг другу. Энергия соударяющихся частиц при этом оказывается прямо-таки фантастической! Так, при столкновении протонов, каждый из которых имеет энергию 30 ГэВ, в системе центра масс получается энергия 60 ГэВ. Чтобы достичь ее на обычном ускорителе /в случае неподвижной мишени/, его надо строить на энергию не меньше 2 тысяч ГэВ. Создание такого ускорителя - дело огромной технической сложности и чрезвычайно высокой стоимости. Если учесть, что стоимость 1 ГэВ составляет приблизительно 1 млн. рублей, то нетрудно себе представить, какие суммы приходится иметь в виду, если речь идет

об энергиях в сотни ГэВ. В связи с этим в настоящее время становится ясным, что, продвигаясь по шкале энергий, необходимо не только строить ускорители прямого действия, но и комбинировать их в установки со встречными пучками, что позволяет сделать значительный скачок по шкале энергий.

Однако человеческая мысль не может смириться с невозможностью найти новые методы ускорения, технически более прогрессивные и, конечно, более дешевые. Именно это побудило ученых Дубны начать поиск в новом направлении, и они предложили очень заманчивую идею нового метода ускорения, так называемого коллективного. В этом методе создаются условия для ускорения не одиночных частиц, а целой группы - кольца электронов, внутри которого, как десантники, сидят тяжелые протоны. Ускорение электронов осуществить гораздо легче, чем прямо ускорять протоны, и поэтому оказывается возможным, быстро ускорив электроны до огромных скоростей, одновременно ускорить и протоны. Такой подход был предложен и разрабатывается в настоящее время в Дубне. Однако на пути решения этой проблемы - создания ускорителя на высокие энергии - еще имеются значительные трудности, которые предстоит преодолеть. В новом пятилетии физики Дубны будут интенсивно работать в этом направлении, и первая цель на их пути - ускоритель многозарядных ионов на новом принципе. Только после этого новая идея создания ускорителя может получить путевку в жизнь. Таким образом, работы еще много, но она может опуститься с лихвой, так как будут заложены основы нового подхода к созданию как ускорителя на сверхвысокие энергии, так и ускорителей многозарядных ионов. Кроме того, для достижения сверхвысоких энергий имеется возможность использовать принцип встречных пучков.

В области физики высоких энергий ученые ОИЯИ будут интенсивно продолжать программу исследований элементарных взаимодействий. В будущей пятилетке

новые возможности в этой области откроет завершение реконструкции синхрофазотрона и полное использование его в режиме медленного вывода пучка. Заканчивается сооружение нового экспериментального павильона, который позволит физикам-экспериментаторам значительно расширить возможности постановки опытов, особенно в области релятивистской ядерной физики. Что касается физики элементарных частиц при очень высоких энергиях, то следует заметить, что в Дубне и в странах - членах ОИЯИ в следующем пятилетии не будет завершено сооружение новых базовых установок, которые бы превосходили по своим параметрам /энергия, интенсивность/ существующие установки исследовательских центров мира. Поэтому ученые ОИЯИ будут интенсивно продолжать свои исследования в этой области, используя установки других исследовательских институтов, с которыми нас связывает тесное сотрудничество. Так, физики Дубны получили в исследованиях на ускорителе 76 ГэВ в Серпухове ряд выдающихся результатов. В их числе следует отметить обнаружение антитрития, установление закономерностей в упругом взаимодействии протонов с протонами, в регенерации каонов, в поляризационных эффектах при рассеянии пионов на поляризованных нуклонах.

В новом пятилетии будет продолжать работать в Серпухове ряд крупных базовых установок ОИЯИ: магнитный искровой спектрометр, жидководородная пузырьковая камера "Людмила" и др. Планируется сооружение новых установок ОИЯИ /например, РИСК/, а также существенная модернизация имеющейся экспериментальной базы ОИЯИ в Серпухове. От намеченной программы исследований в этой области энергий можно ожидать новых ценных результатов.

Большая идейная и техническая вооруженность ученых Дубны позволила им принять участие в постановке первых экспериментов на крупнейшем в настоящее время ускорителе мира на 500 ГэВ в США. В этих опытах,

которые явились продолжением экспериментов, проводившихся в Дубне и Серпухове, получены важные данные о протон-протонном взаимодействии при сверхвысоких энергиях. Использование струйной водородной мишени оказалось настолько прогрессивной методикой, что в новом пятилетии это направление получит дальнейшее развитие.

В течение многих лет ОИЯИ успешно сотрудничает с Европейским центром ядерных исследований /ЦЕРН/. Это сотрудничество будет продолжаться и расширяться. ОИЯИ планирует в следующий пятилетний период провести ряд совместных экспериментов объединенными группами, состоящими из физиков ОИЯИ и его стран-участниц, а также физиков ЦЕРНа, на новом синхротроне на 400 ГэВ ЦЕРНа. Будут вестись также совместные теоретические исследования, связанные с физикой встречных пучков и физикой экспериментов на этом ускорителе.

Решение фундаментальных физических задач требует создания высокоинтенсивных ускорителей заряженных частиц с энергиями более тысячи ГэВ и систем встречных пучков, эквивалентных обычным ускорителям на энергии масштаба  $10^6$  ГэВ. Сооружение установки такого класса, которая была бы чрезвычайно перспективной, не предусматривается в нашем Институте. Совместное предложение ряда институтов Советского Союза о возможном сооружении ускорительно-накопительного комплекса /УНК/ в диапазоне энергий 2-5 ТэВ на основе использования сверхпроводящих магнитов в ускорителе и каналах пучков, а также кибернетических методов управления сильно заинтересовало физиков ОИЯИ и стран, его участниц. По достигнутой договоренности между ОИЯИ и ИФВЭ /Серпухов/ наш Институт будет участвовать в развитии проектных и исследовательских работ по УНК.

В течение последних лет в связи с реконструкцией синхрофазотрона в ускоритель, способный ускорять лег-

кие ядра до сверхвысоких энергий, в ОИЯИ зародилась новая область исследований в физике высоких энергий - релятивистская ядерная физика.

В новом пятилетии в Дубне будут предприняты первые шаги по подготовке коренной реконструкции ускорителя протонов на основе сверхпроводящих магнитов в уникальную установку - нуклотрон, которая позволит проводить исследования по релятивистской ядерной физике. Благодаря компактности ускорителя его можно будет разместить в туннеле под действующей сейчас машиной и вывести пучки частиц в новый экспериментальный павильон.

Применение сверхпроводящих магнитов позволит получить значительную экономию электроэнергии, затрачиваемой на создание магнитного поля. Сверхпроводящий ускоритель может иметь камеру меньших размеров, а значит, в ней будет получен лучший вакуум, и уменьшатся, следовательно, потери ускоряемых частиц, что в итоге позволит ускорять с большими интенсивностями не только протоны, но и тяжелые частицы /вплоть до кальция/. Наши физики имеют значительный опыт в разработке сложных криогенных систем, и это создает благоприятные основы для реализации такого проекта именно в Дубне. Дубненский нуклотрон может стать первым в социалистических странах ускорителем тяжелых ионов, использующим явление сверхпроводимости, что позволит физикам ОИЯИ еще более эффективно участвовать в создании на этом принципе и более крупной установки.

Исследования по релятивистской ядерной физике, широкую программу которых можно будет осуществить на нуклотроне, позволят ученым социалистических стран заглянуть в совершенно не изученную область взаимодействия многонуклонных систем. На ускорителе, который может ускорять протоны до энергии всего 20 ГэВ, при ускорении ядер будут достигнуты энергии в сотни ГэВ. Таким образом, физики ОИЯИ смогут изучать яв-

ления в столкновениях ядер при довольно высоких энергиях.

Необходимо отметить, что развитие исследований при высоких энергиях с многозарядными ионами будет иметь большое значение не только для ядерной физики, но и для других отраслей, таких, как медицина, биология, космические исследования, промышленная технология. Все это показывает, что физики Дубны смогут проводить интересные исследования в области, где нет проторенных дорог, а есть пока только узкие, извилистые тропинки.

Исторически сложилось так, что исследования в области физики элементарных частиц и структуры ядра были начаты в Дубне на синхроциклотроне, который в свое время являлся наиболее мощным ускорителем мира. Областью промежуточных энергий обычно принято именовать область энергий до 1 ГэВ, при которых интенсивно рождаются пионы, но которых недостаточно для рождения странных частиц. Исследования в таком диапазоне энергий оказались весьма плодотворными. На данном направлении в ОИЯИ уже получено много ценных результатов, однако и в будущем оно остается чрезвычайно привлекательным. Именно в этой области энергий успех дела решает возможность применения пучков предельно высокой интенсивности и монохроматичности. В связи с этим в ОИЯИ на протяжении длительного времени ведутся исследования по разработке сильноточных ускорителей в таком диапазоне энергий. В пятилетии 1976-1980 гг. будут завершены работы по реконструкции синхроциклотрона в циклотрон с пространственной вариацией магнитного поля. Таким образом, физики получают в свое распоряжение установку с интенсивными пучками протонов и вторичных частиц. Это позволит продолжить научные исследования свойств элементарных частиц /редкие распады/, ядер, мезоатомных и мезомолекулярных процессов. Актуальность исследований в этой области энергии становится оче-

видной, если учесть, что на нынешнем этапе, познав так много о природе взаимодействия изолированных протонов с нейтронами и ядрами, мы не расшифровали до конца природу сил, связывающих нуклоны в ядрах.

Область промежуточных энергий приобретает все большую прикладную направленность. Интенсивно развиваются работы по применению методов протонной терапии злокачественных опухолей. Для работы на реконструированном циклотроне будет создана новая эффективная исследовательская аппаратура.

В настоящее время в ряде лабораторий мира в этом диапазоне энергий вводятся в строй мощные ускорительные установки, что демонстрирует перспективность данного направления. Ускорительная установка в Лос-Аламосе /США/ является самой крупной, и на ней предполагается получить ток протонов интенсивностью до 1 мА, что почти в 500 раз превысит интенсивности существующих ускорителей. Однако и это не предел. Физиками Дубны показано, что на ускорителях типа "мезонных фабрик" могут быть, по-видимому, получены пучки огромных мощностей /тысячи и десятки тысяч киловатт/, что позволит впоследствии превращать такие установки в настоящие фабрики по радиационной промышленной технологии. В новом пятилетии в Дубне будут продолжаться исследования методов создания ускорителей для этого перспективного направления.

Традиционным направлением научных исследований ОИЯИ является изучение взаимодействия ускоренных многозарядных ионов с атомными ядрами. Здесь физики Института уже получили ряд выдающихся результатов: синтез новых трансураниевых элементов, открытие протонной радиоактивности, открытие спонтанно делящихся изомеров. Успехи работ с многозарядными ионами в значительной степени определяются тем, что в Дубне своевременно были разработаны и созданы циклические ускорители многозарядных ионов, дающие пучки высокой интенсивности. В последнее время реализована также

система тандемного ускорения на двух циклотронах и ускорены такие тяжелые ядра, как ксенон. Однако уже в первых экспериментах стало очевидным, что для дальнейших работ по синтезу трансураниевых элементов необходимо, с одной стороны, поднять энергию ионных пучков, а с другой - увеличить их интенсивность. Для получения супертяжелых ядер важным является решение вопроса о возможности ускорения самых тяжелых ядер, таких, как висмут или свинец. Таким образом, физикам Дубны ясно, что необходимо делать в этом направлении, ясны также и цели данных исследований. Одной из наиболее интересных задач является поиск так называемого "острова стабильности" трансураниевых элементов. Если предсказания теоретиков верны, то, возможно, существуют достаточно стабильные трансураниевые элементы с атомным номером в районе 114-124. Несомненно, эта задача имеет большое теоретическое и техническое значение.

Для проведения работ по перечисленным проблемам предполагается в новом пятилетии разработать и создать новые ускорители многозарядных ионов. На первом этапе предполагается соорудить циклотрон с диаметром полюсов магнита 4 метра. В дальнейшем будут проводиться разработки ускорителя многозарядных ионов циклотронного типа с диаметром полюсов около 7 метров. Если же исследования в разработке ускорителя многозарядных ионов на коллективном принципе приведут к получению ионных пучков необходимых параметров, то возможно, что и этот ускоритель будет использован для проведения определенного комплекса работ по синтезу трансураниевых элементов.

Выше было сказано о больших прикладных возможностях исследований с многозарядными ионами при высоких энергиях. В области небольших энергий, получаемых на циклотронах, уже сейчас эти возможности превращаются в техническую реальность. Разработан метод получения сверхтонких фильтров с помощью бом-



бардировки пленок многозарядными ионами. Применение многозарядных ионов обещает дать значительный эффект в самых различных отраслях техники и народного хозяйства. Ведутся успешные исследования по имплантации полупроводников, что позволяет по-новому подойти к проблеме создания полупроводниковых устройств с заранее запрограммированными физическими характеристиками и т.д.

На протяжении продолжительного периода в ОИЯИ успешно развиваются исследования по нейтронной физике. Базой для них является уникальный импульсный исследовательский реактор на быстрых нейтронах - ИБР-30. Несмотря на то, что мощность этого реактора невелика /в среднем она составляет около 30 кВт, что соответствует мощности обычного малолитражного автомобиля/, он успешно конкурирует с гигантскими исследовательскими реакторами мощностью в тысячи киловатт. Это объясняется тем, что в отличие от обычных стационарных реакторов он работает импульсно, давая очень короткую по времени и мощную вспышку нейтронов. Между вспышками реактор "молчит", и аппаратура не загружена мешающим эксперименту фоном посторонних частиц, что создает очень благоприятные условия для проведения многих опытов. Физиками стран-участниц ОИЯИ на этом реакторе проведено много интересных экспериментов: опыты с поляризованными нейтронами и ядрами, с ультрахолодными нейтронами, исследования по нейтрон-альфа-реакциям, по определению спинов возбужденных ядер.

Продолжительная эксплуатация ИБР-30 показала, что импульсный реактор оказывается сравнительно дешевым, простым и надежным прибором. Для него не требуется громоздких систем охлаждения, как для стационарных реакторов. Однако создание его представляло значительные научные и инженерные трудности, как это бывает всегда, когда приходится разрабатывать по-настоящему оригинальные приборы. Действительно, бы-

ло непросто заставить с математической точностью пролетать один кусок плутония мимо другого, получая строго определенную по интенсивности вспышку нейтронов. Но эта задача успешно решена. Физики Дубны в новом пятилетии завершат работы по созданию нового, более мощного импульсного реактора, с интенсивностью, в сотни раз большей, чем ИБР-30. Это позволит иметь импульсные потоки нейтронов огромной интенсивности. Таким образом, ученые стран-членов ОИЯИ, специализирующиеся у себя на родине в работах на исследовательских реакторах, получают возможность ставить уникальные эксперименты, используя мощный импульсный реактор Дубны - ИБР-2.

Наряду с исследованием нейтронными методами структуры ядер будут расширены работы по физике твердого тела с использованием мощных нейтронных пучков. Это, в свою очередь, придаст еще большую практическую направленность фундаментальным исследованиям, проводимым с нейтронами.

Развивая широкую программу исследований в области физики элементарных частиц и физики атомного ядра, ученые Дубны широко используют в своих опытах разнообразную аппаратуру, в которой все большую роль играет вычислительная техника. Если раньше исследователи удовлетворялись математической обработкой данных только после того, как эксперимент был закончен, то в настоящее время они ведут обработку непосредственно в процессе опыта и немедленно получают математические результаты проводимых экспериментов. Это, с одной стороны, позволяет своевременно корректировать ход самого опыта, а с другой - включение вычислительной техники в комплекс экспериментальной аппаратуры дает возможность ставить сложнейшие эксперименты, которые ранее были бы просто невыполнимы.

В новом пятилетии в Дубне создается мощный вычислительный центр с имеющимися, а также новыми

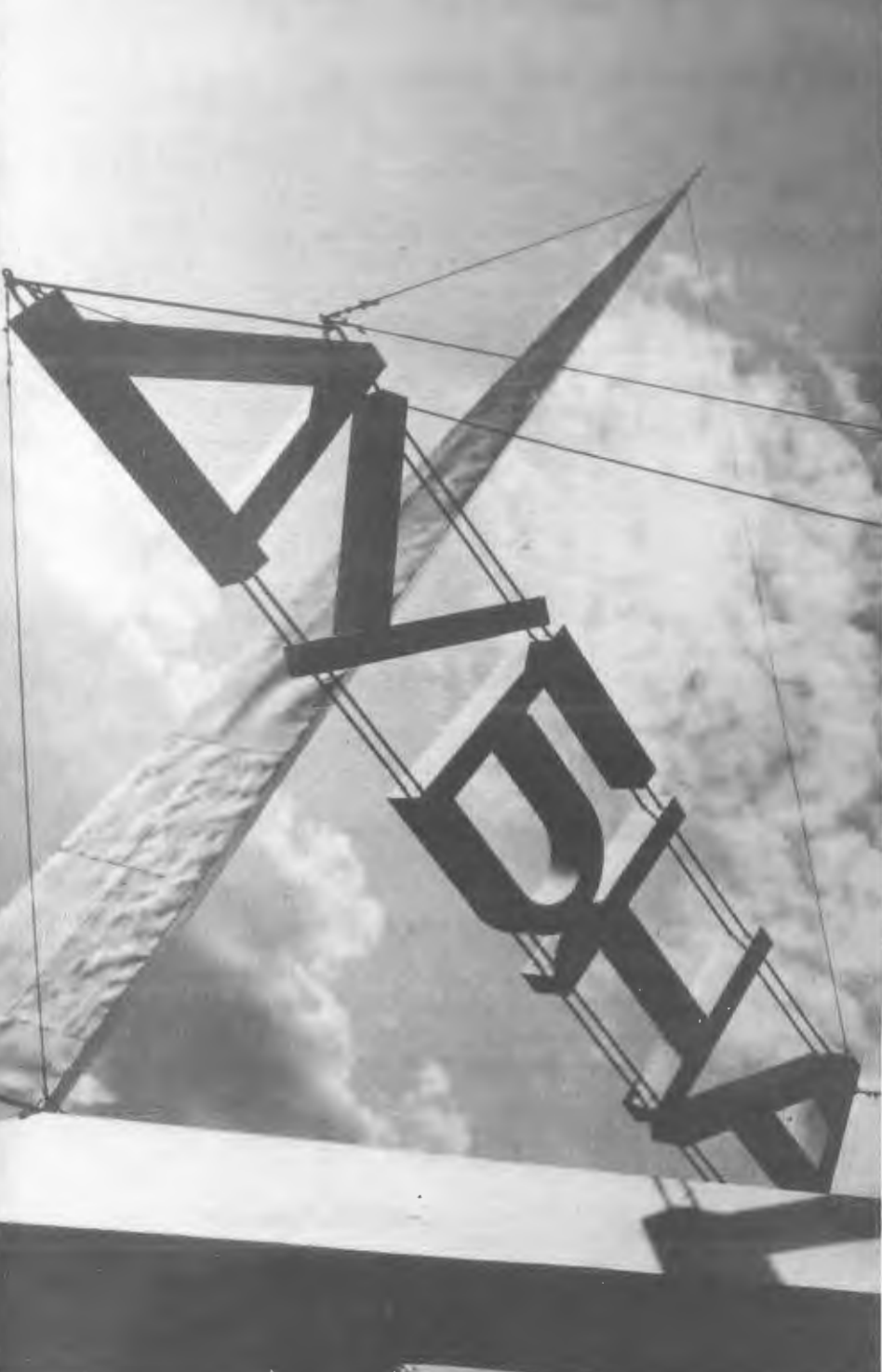
мощными ЭВМ, которые во много раз увеличат производительность математической обработки теоретической и экспериментальной информации, получаемой в научных исследованиях, и тем самым в значительной степени разрешат проблему постоянного "голода", который испытывают физики при обработке экспериментальных данных. Обширный комплекс работ будет проведен в лабораториях Института по обеспечению вычислительными машинами, которые будут непосредственно связаны с экспериментальными установками, работающими на ускорителях и реакторах. В основном это будут машины единой серии - ЕС, разрабатываемые странами СЭВ в рамках социалистической научно-технической интеграции. Если учесть еще, что эти машины будут связаны с центральным вычислительным комплексом системой связи, а также то, что доступ к большим машинам будет обеспечен системой терминалов для общения с ЭВМ, размещенных по различным лабораториям, то можно надеяться, что в следующем пятилетии физики Дубны получат отличную базу для высокопроизводительной математической обработки экспериментальных данных. Машины возьмут на себя огромный объем расчетов, для которых нужно было бы привлечь сотни математиков и физиков. Они возьмут на себя и бремя забот по отбору процессов взаимодействия частиц и ядер, которые просто невозможно было бы произвести другими методами.

Осуществляя программы экспериментальных исследований на своих установках, физики создают новую экспериментальную аппаратуру. От ее оригинальности и производительности в сочетании с хорошей идеей, заложенной в эксперимент, а также от напористости экспериментатора можно ожидать новых результатов

большой теоретической и практической значимости. С каждым годом аппаратуру приходится делать все более дорогой и сложной. Каждый шаг в глубь мира элементарных частиц, к решению проблемы сил, связывающих протоны и нейтроны в ядрах, становится все труднее. Природа неохотно выдает свои секреты, ставя перед экспериментаторами проблемы чрезвычайной сложности. Поэтому в планах Объединенного института предусматривается значительное расширение производственных мощностей, конструкторских бюро и экспериментальных мастерских, в которых ученые вместе с инженерами и рабочими будут готовить новые уникальные и мощные экспериментальные установки для своих научных исследований. Большой объем работ предстоит сделать и специалистам стран-участниц, которые у себя в институтах также будут создавать новые экспериментальные установки для осуществления экспериментов на ускорителях и реакторах Дубны. В новом пятилетии такая форма научного сотрудничества будет расширяться.

Разрабатывая свои планы на новое пятилетие, а также на длительный период, ученые Дубны в основном ясно представляют цели, которых они собираются достичь. Для обеспечения необходимой концентрации усилий на самых главных направлениях был сделан выбор этих направлений. Опыт Объединенного института ядерных исследований убедительно показывает, что в лабораториях Института с успехом разрабатываются очень перспективные направления. Для достижения дальнейших успехов необходимо продолжать вести исследования на высоком теоретическом уровне, с использованием передовой техники, энергично привлекая к ним высококвалифицированных специалистов из возможно большего числа лабораторий и институтов стран - членов ОИЯИ.





Характерный для Дубны пейзаж - Волга, Московское море, канал имени Москвы. Большие и малые, пассажирские и грузовые суда проходят по этим водным трассам мимо Дубны.

Шлюз №1 соединяет Московское море и канал с Волгой. ▶





**Яхты у набережной.**



**Быстроходное судно  
на подводных крыльях  
может доставить вас  
в любой волжский го-  
род.**





Весной Дубна утопает в яблоневом цветуту.



Гостей Дубны принимает уютная и комфортабельная гостиница на берегу Волги, построенная по проекту болгарских архитекторов.





Бассейн придает го-  
стинице неповторимый  
колорит. ▶





Дети сотрудников  
Объединенного инсти-  
тута учатся в совре-  
менных, хорошо обору-  
дованных зданиях. На  
снимке - школа № 8.



Новое здание детской  
музыкальной школы.



**Дубна растет, появляются новые кварталы многоэтажных жилых домов.**





Уютные коттеджи для  
сотрудников ОИЯИ.

На площади Мира. ▶



Новая улица, назван-  
ная в честь строите-  
лей.



Домой с работы. ▶





Одно из увлечений дубненцев - водные лыжи.







Начало пути в большой спорт.

На Волге вечером.

Крутой вираж.







Ночью далеко виден ярко освещенный бассейн "Архимед".



Первые заплывы в новом бассейне.

Приятно, когда руку юного чемпиона поднимает доктор физико-математических наук В.А.Никитин.





Традиционный массовый кросс на призы академика В.И.Векслера всегда собирает много участников и болельщиков.



Старший научный сотрудник кандидат физико-математических наук К.О.Оганесян - один из основателей секции штанги в Дубие, воспитавшей мастеров спорта и чемпионов Советского Союза.





На выставке работ  
Н.А.Конецковой.

Выступление дет-  
ской хоровой студии  
"Дубна" в Большом  
зале Московской го-  
сударственной кон-  
серватории.



Еще одно увлечение  
сотрудников ОИЯИ -  
живопись.



В Доме культуры  
ОИЯИ часто проходят  
интересные концерты,  
встречи, спектакли.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

20 ЛЕТ ОИЯИ .....	3
ЧТО ТАКОЕ ОИЯИ? .....	7

### В ЛАБОРАТОРИЯХ ИНСТИТУТА

Лаборатория теоретической физики .....	44
Лаборатория высоких энергий .....	66
Лаборатория ядерных проблем .....	90
Лаборатория ядерных реакций .....	116
Лаборатория нейтронной физики .....	140
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации .....	160
Отдел новых методов ускорения .....	182

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЛУЖБЫ ИНСТИТУТА .....	192
---------------------------------------	-----

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МАСТЕРСКИЕ .....	194
---	-----

СОТРУДНИЧЕСТВО С НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ СТРАН-УЧАСТНИЦ .....	198
--	-----

НА ПОРОГЕ НОВЫХ ИСКАНИЙ .....	294
-------------------------------	-----



# ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ - 1956 - 1976

## *Редакционный совет*

*Д.В.Ширков /председатель/*

*А.Т.Филиппов /зам. председателя/*

*Ю.А.Щербаков /зам. председателя/*

*В.С.Барашенков*

*В.А.Бирюков*

*А.А.Кузнецов*

*Л.И.Лapidус*

*М.Г.Мещеряков*

*В.Р.Саранцева*

*В.А.Свиридов*

*С.И.Федотов*

*Э.И.Шарапов*

*В.Н.Коцева /секретарь/*

В подготовке материалов приняли участие: О.Балеа, Ю.В.Катышев, К.Ланнус, В.А.Матвеев, В.А.Мещеряков, Б.И.Пустыльник, Л.П.Устенко, Ю.П.Устенко, М.Фингер, Д.Чултэм /ОИЯИ/; Ж.Желев, П.Марков, Х.Христов /НРБ/, Я.Эре /ВНР/, Нгуен Ван Хьеу /ДРВ/, Г.Музюль /ГДР/, До Ин Себ /КНДР/, Р.Сосновский /ПНР/, В.А.Ярба /СССР/, В.Петржилка, Й.Тучек /ЧССР/, которым редакционный совет выражает свою глубокую благодарность.

Художник В.П.Бочкарев. Фото Ю.А.Туманова. В книге, кроме того, использованы фотографии, выполненные в разные годы Н.М.Гореловым, П.И.Зольниковым, Н.В.Печеновым, В.А.Шустиным, а также снимки, предоставленные редакционному совету рядом институтов стран-участниц.



9514

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Редактор Б.Б. Колесова.

Корректор Р.Д. Фомина.

Фотонабор Т.А. Бородкиной и В.С. Румянцева.

Изготовление негативов А.Т. Логонцева, Э.А. Штырлевой.

Монтаж И.В. Козубской. Изготовление форм Г.В. Саковской.

Отпечатано на ротапринте.

Печатники С.И. Елизаров, А.В. Кравченко.

Переплетные работы Р.Р. Пешехомовой.

Дубна, март 1976 года. Заказ 20914. Тираж 500.

30,6 уч.-изд.л.