

1р. 50к

СЗМ  
Б-649

ДЦБНА

1956·1966

**В. А. БИРЮКОВ  
М. М. ЛЕБЕДЕНКО  
А. М. РЫЖОВ**

СЗМ  
Б-673

# **д у б н а**

## **1956-1966**

49169

49169

■  
издание  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
ОИЯИ**

# оглавление

от авторов . . . . .	4
<b>ДУБНА — ЧТО ЭТО!</b>	
<b>ПОЕЗДКА В НЕОБЫЧНЫЙ ГОРОД . . . . .</b>	6
здесь был змеинный остров . . . . .	8
сила — в единстве . . . . .	12
предложение было своевременным . . . . .	13
от рождения до зрелости . . . . .	15
<b>ПЕРВЫЙ МАЯК . . . . .</b>	20
важное решение . . . . .	22
они были первыми . . . . .	22
огни среди лесов и болот . . . . .	23
магнит-великан . . . . .	24
впервые в мире . . . . .	25
трудный экзамен . . . . .	25
традиции паборатории . . . . .	26
тревожные сигналы не зазвучат . . . . .	34
сейчас вы узнаете, что здесь делают . . . . .	40
на границе двух направлений . . . . .	40
в дружной семье . . . . .	41
<b>САМАЯ БОЛЬШАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДУБНЫ</b>	42
этого не может быть! это есть! . . . . .	44
удивительные генераторы . . . . .	45
синхрофазотрон строила вся страна . . . . .	45
тдс... что означают эти буквы! . . . . .	46
ток дан . . . . .	61
гигант переходит на международную службу . . . . .	62
говорит академик векслер . . . . .	63
<b>СНОВА ВПЕРВЫЕ В МИРЕ . . . . .</b>	66
первый «мигающий» . . . . .	68
активная зона вращается . . . . .	69
приглашаем вас осмотреть реактор . . . . .	70
что показал перископ! . . . . .	71
нейтроны можно сосчитать . . . . .	72
эксперименты настоящего и будущего . . . . .	82
первый измерительный центр . . . . .	82
в царстве электроники . . . . .	83
здесь возникло новое . . . . .	83
находка номер один . . . . .	84
машина «обучается во сне» . . . . .	85
импульсный реактор плюс микротрон . . . . .	87
идеи, породившие скачок . . . . .	88
новая экспериментальная система . . . . .	88
своими глазами . . . . .	90
<b>ТЯЖЕЛАЯ АРТИЛЛЕРИЯ МИРНОЙ НАУКИ . . . . .</b>	92
<b>ДУХ НАУЧНОГО ДЕМОКРАТИЗМА . . . . .</b>	104
главные направления . . . . .	107
научные связи не знают границ . . . . .	114
нужны ли теоретикам машины! . . . . .	116
<b>КАК УПРАВЛЯЕТСЯ ИНСТИТУТ . . . . .</b>	118
<b>МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ ДУБНЫ . . . . .</b>	126
институты кооперируются — работа идет успешнее . . . . .	128

международные школы, конференции, визиты . . . . .	128
обмен научной информацией . . . . .	148
<b>ТАК ЖИВУТ ДРУЗЬЯ . . . . .</b>	150
общие увлечения . . . . .	151
искусство сближает . . . . .	151
дружба навсегда . . . . .	154
<b>ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ</b>	
лучшие работы объединенного института ядерных исследований, удостоенные премий оияи . . . . .	156
<b>ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ . . . . .</b>	159
исследование элементарных процессов сильного взаимодействия . . . . .	160
исследование процессов слабого взаимодействия; изучение свойств мю-мезонов; мезоатомы . . . . .	171
взаимодействие нуклонов и пионов с ядрами . . . . .	177
теоретические работы . . . . .	181
разработка экспериментальной аппаратуры . . . . .	182
работы по ускорителям . . . . .	185
<b>ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ . . . . .</b>	188
проблема структуры нуклонов . . . . .	189
сильные взаимодействия странных частиц . . . . .	196
резонансные состояния элементарных частиц . . . . .	202
процессы слабого взаимодействия . . . . .	205
экспериментальная аппаратура . . . . .	210
усовершенствование синхрофазотрона . . . . .	213
<b>ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ . . . . .</b>	216
синтез трансурановых элементов и изучение их физических и химических свойств . . . . .	217
изучение спонтанного деления ядер, находящихся в изомерном состоянии . . . . .	223
исследования протоннорадиоактивных ядер . . . . .	226
изучение механизма взаимодействия тяжелых ионов с ядрами . . . . .	229
усовершенствование ускорителей и разработка экспериментальной аппаратуры . . . . .	232
<b>ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ . . . . .</b>	236
импульсный реактор на быстрых нейтронах . . . . .	237
исследования в области нейтронной спектроскопии . . . . .	240
исследования по физике жидкостей и кристаллов . . . . .	246
изучение ядерных реакций с помощью электростатических генераторов . . . . .	251
разработка экспериментальной аппаратуры . . . . .	253
<b>ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ . . . . .</b>	256
вопросы теории поля . . . . .	257
теория взаимодействия элементарных частиц . . . . .	261
применение теории симметрий к теории элементарных частиц . . . . .	263
структура нуклонов . . . . .	265
теория сверхпроводимости и вопросы теории ядра . . . . .	265
феноменологический анализ . . . . .	268
статистические методы . . . . .	269
<b>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР . . . . .</b>	270

## от авторов

В этой книге кратко рассказано о первой в истории международной научной организации социалистических стран — Объединенном институте ядерных исследований, о его основных задачах, структуре и о главных результатах научной деятельности за 10 лет.

Задача, поставленная перед авторами, чрезвычайно осложнялась прежде всего обилием фактического материала. Ученые стран социализма, работающие в Дубне, дали науке за эти годы так много новых и весьма ценных сведений, что для описания всех проведенных здесь работ потребовался бы капитальный многотомный труд, который, впрочем, был бы едва ли доступен читателям именно по причине своей энциклопедической полноты.

Вместе с тем, вынужденные использовать лишь небольшую часть фактов, о которых хотелось бы рассказать, авторы столкнулись с невозможностью установить при их отборе непогрешимые критерии. Поэтому мы не беремся утверждать, что отбор этот сделан с безукоризненной правильностью. Чтобы все же приобрести некоторую уверенность в том, что значительных ошибок при этом не допущено, мы передали первоначальный вариант книги на суд руководителей научных подразделений института, сделавших в ряде случаев ценные замечания. Большую помощь нам оказали также многие ведущие ученые Дубны. Мы приносим им и руководителям лабораторий глубокую благодарность.

Еще одна трудность, возникавшая при написании книги, связана с чрезвычайной широтой круга читателей, которым она адресуется: книга должна быть понятной для тех, кто не является специалистом-физиком, и вместе с тем в ней должны быть сведения, изложенные на таком уровне, который соответствовал бы интересам именно специалистов.

Решением этой задачи явилось разделение книги на две части.

В первой из них дана в популярном изложении история Объединенного института ядерных исследований, рассказано о его основных задачах, организационной структуре, лабораториях. Здесь же описаны главные экспериментальные установки, ускорители, реактор, в самых общих чертах показан принцип их работы. Приводится описание некоторых экспериментов, осуществленных учеными стран-участниц. Значительное место отведено материалам о международных связях Объединенного института, которые за время его существования приняли чрезвычайно широкий размах. Вторая часть посвящена систематическому изложению результатов основных исследований, проведенных в Дубне, и предназначена для специалистов.

Большинство фотоиллюстраций, представленных в книге, выполнено Ю. А. Тумановым. Ряд снимков, относящихся главным образом к первым годам существования института, сделан П. И. Зольниковым и В. А. Шустинным.

**дубна —  
что это?**

## поездка в необычный город

Сейчас Дубну соединяет с Москвой железнодорожная линия, по которой быстроходные тепловозы мчат комфортабельные пассажирские вагоны с мягкими креслами, удобными столиками, ярким освещением. За два с половиной часа, которые занимает путь от Москвы, можно спокойно отдохнуть, почитать газету, послушать радио. И именно тогда, когда вы только подумаете, что поездка начала вам слегка надоедать, проводник объявит, что поезд прибывает в Дубну.

Вы сходите на платформу и видите необычную для города картину. Прямо за насыпью начинается хвойный лес. Свежей зеленью радует глаз высокая сочная трава, усыпанная полевыми цветами. Кажется, что поезд случайно остановился у живописной поляны вдали от человеческого жилья. Но оторвав взгляд от леса и обернувшись в противоположную сторону, вы увидите, что вплотную к железной дороге придвинулись светлые двух- и трехэтажные жилые дома. От сверкающих рельсовых нитей протянулись широкие асфальтированные улицы, окаймленные газонами и рядами стройных деревьев, густых кустов. Характерны названия улиц: улица Мира, улица Курчатова, улица Жолио-Кюри, улица Вавилова.



Одна из самых старых улиц Дубны — Парковая.

Поезд привез вас в ставший широко известным молодой город Дубну, где расположен мощный международный исследовательский центр — Объединенный институт ядерных исследований.

Философ назвал бы в шутку Дубну городом единства противоположностей. Здесь маститые академики и профессора трудятся вместе с юношами, недавно окончившими университеты. Здесь создаются гигантские приборы для того, чтобы исследовать бесконечно малые частицы, составляющие все материальное, что существует на земле и в космосе. Приехавшие из различных (и в географическом смысле очень далеких друг от друга) мест ученые социалистических государств образовали здесь крепкую по-братски дружную семью, все члены которой самоотверженно трудятся в лабораториях над решением основных научных проблем, стоящих на пути к широчайшему применению могучей энергии мирного атома, способному изменить весь жизненный уклад человечества.

Дубна заслуживает того интереса, который проявляют к ней во всем мире ученые, журналисты, общественные и государственные деятели. Здесь много интересного для инженеров, для ученых и для тех, кто изучает взаимоотношения, существующие

между свободными народами лагеря мира, социализма. Не пытаясь дать исчерпывающее описание Дубны<sup>1)</sup>, авторы этой книги поставили перед собой задачу познакомить читателя с историей этого города, а затем, и это — главная цель, показать работу тех, кто здесь, если можно так выразиться, делает науку.

## здесь был змеинный остров

Непроходимые болота и густые леса — вот краткая характеристика обширного участка на правом берегу Волги в том месте, где она ближе всего подходит к столице Советского Союза. Цивилизация долго не касалась этих мест. Дикие звери и болотные птицы оставались почти единственными здешними жителями даже после вступления в строй канала имени Москвы. Более того, канал как бы усилил отчужденность от внешнего мира изрядного лесного массива, который оказался теперь со всех сторон окруженным водой. На севере — Волга, на востоке — ее приток, глубокая и живописная река Дубна. Московское море, канал и река Сестра замыкали кольцо.

«Змеинный остров» — это не было официальным названием. Но змей здесь было великое множество. Им хорошо жилось в болотной тиши и очень не хотелось сдавать своих позиций. А пришлось... В конце сороковых годов были проведены большие осушительные работы. Болота ушли, и оказалось, что здесь не такой уж плохой грунт. Чистые желтые пески, очевидно, еще в далекие времена были нанесены трудолюбивой Волгой. Этим и объяснялось на первый взгляд неправдоподобное сочетание: многолетние сосны, растущие ... на болоте.

Итак, в места, еще не имевшие в то время названия, пришли строители. Они начали возводить лабораторные корпуса и небольшой жилой поселок — недалеко от деревушки Ново-Иваньково. Между прочим, интересна биография Ново-Иванькова. Деревня эта была перенесена из зоны затопления, ставшей впоследствии Московским морем. Могли ли тогда думать ее обитатели, что и на новом месте деревня уживется недолго! Сейчас она полностью поглощена новым городом, а жители ее из своих избушек переехали в удобные каменные дома.

Но мы несколько забежали вперед. Вернемся к тем временам, когда были построены первые лабораторные здания. Строители

<sup>1)</sup> Описание лабораторий Дубны и их научной тематики дано также в книге В. А. Бирюкова, М. М. Лебедеко и А. М. Рыжова «Объединенный институт ядерных исследований». (Атомиздат, Москва, 1960 г.) Эта книга переиздана на английском, испанском и немецком языках.

уступили свое место монтажникам, инженерам, ученым. В 1949 году начал работать синхротрон<sup>2)</sup> Института ядерных проблем Академии наук СССР. Это было гигантской победой советской науки, техники, промышленности. Ускорителей, дающих частицы столь высоких энергий, в то время не было нигде в мире, в том числе и в США. Мы не станем сейчас описывать синхротрон и историю его создания. Этому будет посвящена специальная глава. Продолжим наш краткий очерк становления молодого научного города Дубны. Вернемся к тем дням, когда такого города на земле еще не было.

Прежде чем перейти к следующему этапу повествования, нам придется прибегнуть к некоторой аналогии. Мы сравним, казалось бы, непохожие друг на друга науки: ядерную физику и астрономию. Первая стремится все глубже проникнуть в тайны микромира, оперируя величинами и расстояниями, которые в десятки миллиардов раз меньше сантиметра. Вторая все более расширяет границы своего познания мирового пространства, продвигаясь от гигантских к еще более гигантским величинам и расстояниям. Наряду с различием между ними есть и сходство: астрономам для преодоления все больших пространств во Вселенной нужны все более мощные телескопы, точно так же и физики для изучения все более тонких явлений внутри ядерного мира нуждаются во все более мощных ускорителях. Чем больше энергия пучка ускоренных частиц, находящегося в распоряжении экспериментаторов, тем глубже в недра микромира могут они проникнуть. Поэтому физики и инженеры постоянно ищут пути создания новых ускорителей заряженных частиц на все более высокие энергии.

В начале пятидесятых годов уровень развития советской науки и промышленности позволил приступить к выполнению почти фантастической задачи — созданию ставшего впоследствии всемирно известным ускорителя, дающего пучок протонов с энергией 10 миллиардов электровольт, — синхрофазотрона. Он был построен в нескольких километрах от синхроциклотрона. Так рядом с Институтом ядерных проблем возникло еще одно крупное учреждение Академии наук СССР, названное Электрофизической лабораторией. В конце 1956 года монтаж основных узлов синхрофазотрона был закончен. В апреле 1957 года был получен первый пучок ускоренных частиц.

Многие сотни ученых, инженеров, техников приехали в эти еще недавно безлюдные места. Работа на гигантских атомных машинах требовала больших людских ресурсов. Быстро рос безымянный научный поселок. И вот в 1956 году Указом Президиума Верховного Совета РСФСР он был преобразован в город

<sup>2)</sup> Этот ускоритель, впоследствии подвергшийся модернизации, и сейчас является одной из лучших машин своего класса. Энергия пучка ускоренных в нем протонов доведена до 680 миллионов электровольт.

ГОСТИНИЦА  
*Дубна*

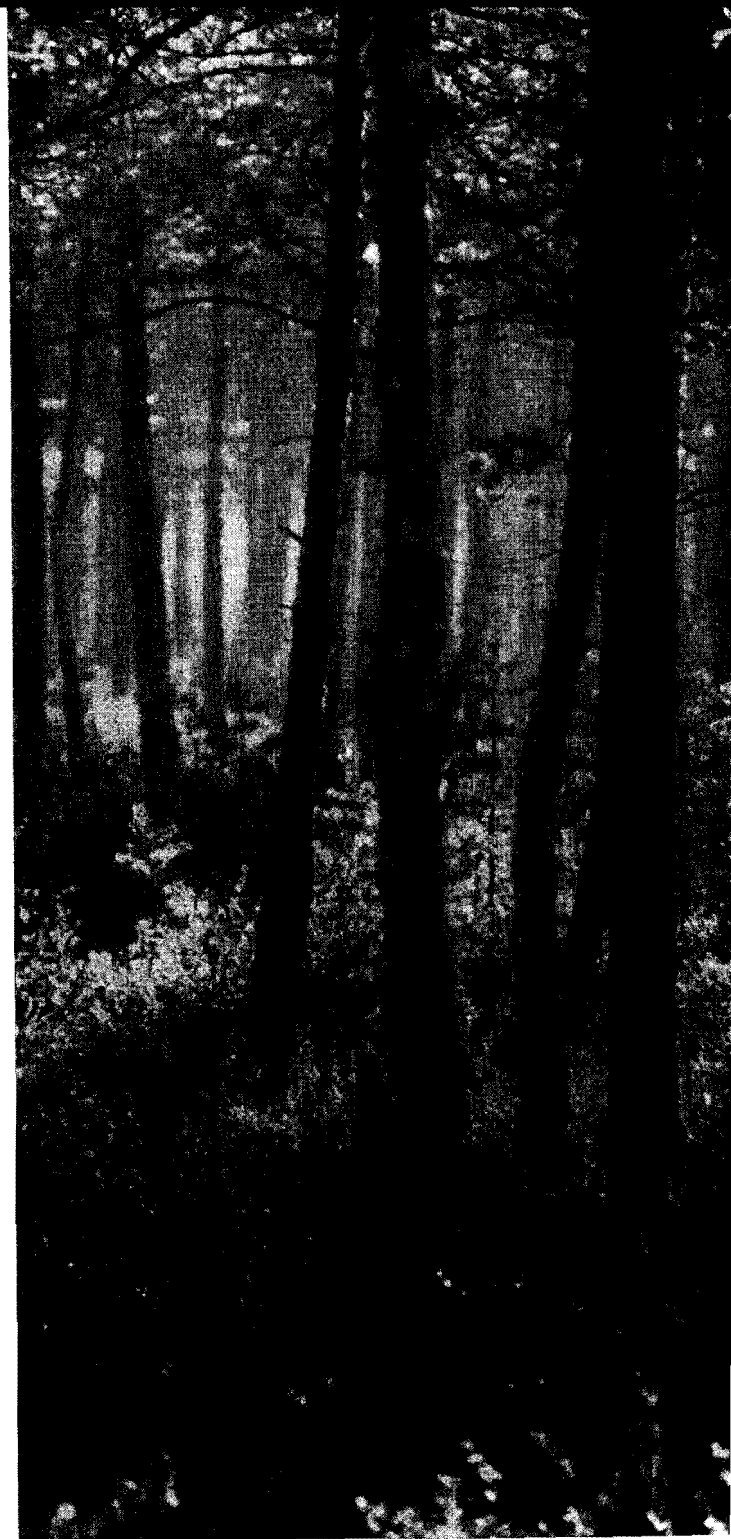


ВЕЧЕРОМ К УСЛУГАМ ГОСТЕЙ — РЕСТОРАН ГОСТИНИЦЫ «ДУБНА».

ВОЛЖСКАЯ НАБЕРЕЖНАЯ ПРИВЛЕКАЕТ ВСЕХ, КТО ПРИЕХАЛ В ГОРОД НАУКИ.



НУЖНО ЛИШЬ НЕ-  
СКОЛЬКО МИНУТ  
ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ,  
ВЫИДЯ ИЗ ГОРО-  
ДА, ОКАЗАТЬСЯ В  
ПРЕКРАСНОМ ЛЕ-  
СУ.



областного подчинения — Дубну. (Читатель, очевидно, помнит, что так называется протекающая неподалеку река.)

Многие задают вопрос: почему этот научный центр создан в таком «медвежьем углу»? Не проще ли было построить крупные ядерные машины, например в Москве, где без особого труда можно найти нужные научные и технические кадры, не потребовалось бы осушать болота, строить новый город.

Ответов на этот вопрос существует много. Ссылаются на наличие поблизости удобных воднотранспортных путей, дешевой электроэнергии, которую дает находящаяся здесь электростанция. Но те, кто участвовал в выборе места для строительства синхротрона, могут рассказать о действительной причине, решившей судьбу этих мест. В то время были серьезные опасения, что работа ускорителя создаст мощные потоки радиоактивных частиц, которые могут загрязнить окружающий воздух. Существовавший тогда уровень развития науки и средств защиты от вредных излучений не позволял правильно оценить опасность, которую принесут неведомые атомные машины. Поэтому для сооружения синхротрона и был выбран этот безлюдный уголок, который был успокаивающе далек от крупных населенных пунктов. Многолетние медицинские наблюдения<sup>3)</sup> за персоналом, обслуживающим ускорители, показали, что опасения были напрасными. При современных средствах защиты от вредных излучений мощные ускорители не являются опасными не только для окружающего населения, но и для тех, кто на них работает. Это был приятный сюрприз. Но в борьбе за здоровье людей даже излишняя предосторожность не вредит. Да и город получился неплохой.

## сила — в единстве

Одна из популярных восточных легенд описывает историю трех братьев. Каждый из них дополнял другого. Действуя дружно, по-братски, они преодолевали любые, даже самые невероятные трудности. Справедливость этой мудрой аллегории еще раз подтверждается таким ярким примером, какой являет собой Дубна наших дней.

Благосостояние человечества в огромной степени зависит от тех энергетических ресурсов, которые поставлены на службу народному хозяйству. Двадцатый век ознаменовался гигантским ростом промышленной энергетики. Но даже в своем современном состоянии она не обеспечивает самых скромных, искусственно ограничиваемых потребностей. Промышленность, транспорт, сис-

<sup>3)</sup> Эти наблюдения ведет Институт гигиены труда и профзаболеваний.

темы бытового обслуживания нуждаются в дешевых, компактных, сверхмощных (по теперешним понятиям) источниках энергии.

Начало новой блестящей эпохи в развитии энергетики возвестил пуск первой в мире атомной электростанции в 1954 году. Это чудо, которое совершили советские ученые, рабочие и инженеры в небольшом поселке Обнинске Калужской области, показало всему миру, что атомного зверя можно заковать в цепи и заставить вращать турбины электростанций. По пути, открытому в Обнинске, пошли англичане (Колдер-Холл), американцы (Шиппингпорт)... Теперь на земле работает множество атомных станций.

Но нет ли других, еще более рациональных способов использования гигантских и практически неисчерпаемых сил, которые природа упорно скрывает от людей в кладовых атомного ядра? Такие способы будут найдены — об этом уже сейчас уверенно и вполне обоснованно говорят ученые. Люди получают фантастические потоки термоядерной энергии, научатся непосредственно превращать атомную энергию в электрическую, а затем доберутся и до энергии аннигиляции, столкнув лбами двух антиподов — вещество и антивещество. Читатель без труда может нарисовать в своем воображении, как изменится, неузнаваемо улучшится жизнь, когда нужно будет заботиться не столько о том, как добыть энергию, сколько о том, как использовать ее. Но как достичь этого? Где ключ к энергетическому изобилию?

Тайнами природы можно овладеть. И ключом, который открывает сокровенные двери, являются знания. Нужно в совершенстве и детально познать тончайшую структуру атомного ядра, сил и внутренних закономерностей, которые заключены в нем. И тысячи ученых в разных странах вновь сели за парты, чтобы принять участие в грандиозном состязании человеческого гения с могучими силами, охраняющими тайны природы.

Труд физиков, открывающих новые ядерные частицы, обнаруживающих новые законы, овеян романтикой. Но вместе с тем это тяжелый, кропотливый и вполне прозаический труд, полный лишений, срывов, несбывшихся надежд. Нужно произвести и осмыслить десятки тысяч измерений, сотни тысяч расчетов. Нужны постоянные творческие дискуссии и споры, интенсивный обмен идеями и результатами работ для того, чтобы сделать каждый новый шаг в познании материи. Сам ход этого познания требует постоянного объединения сил ученых.

## предложение было своевременным

Дело осложняется тем, что для постановки опытов необходимо, как это было сказано выше, дорогое и очень сложное оборудование. Создать его может далеко не каждое государство. Потреб-



ность в математических расчетах, к которым прибегают физики, настолько возросла, и расчеты эти настолько усложнились, что для их выполнения потребовались мощные вычислительные центры, оснащенные новейшими быстродействующими электронно-счетными машинами. Все это затрудняет для ученых многих стран путь к овладению высотами ядерной физики. Поэтому с большим одобрением было встречено предложение, сделанное правительством СССР, о создании международного исследовательского центра, в котором бы могли объединить свои силы ученые различных стран, решившие посвятить себя изучению основных проблем ядерной физики.

Полномочные представители социалистических государств собрались в Москве весной 1956 года, чтобы обсудить это предложение. 26 марта 1956 года в конференц-зале Академии наук СССР было подписано Соглашение об учреждении Объединенного института ядерных исследований. Членами-учредителями нового института были Албания, Болгария, Венгрия, Демократическая Республика Вьетнам, Германская Демократическая Республика, Китай, Корейская Народно-Демократическая Республика, Монголия, Польша, Румыния, СССР и Чехословакия.

Московским совещанием единогласно была избрана дирекция Объединенного института: директор — профессор Д. И. Блохинцев (СССР), вице-директоры — профессор В. Вотруба (Чехословакия) и профессор М. Даныш (Польша)<sup>4)</sup>. Первым поручением, которое дирекция получила от Совещания Полномочных представителей, было подготовить проект Устава нового института.

А где разместить Объединенный институт? Вот здесь-то очень пригодилась Дубна, ставшая к тому времени городом, в котором уже существовали два больших института Академии наук СССР, оснащенные первоклассными ускорителями, имеющие наиболее современное экспериментальное оборудование и штаты опытных сотрудников. По Соглашению от 26 марта 1956 года эти два института были Советским правительством переданы новому международному исследовательскому центру, что избавило его от длительного «нулевого цикла». Еще бы! Вместо того, чтобы 5—6 лет создавать свои лаборатории, можно было прямо приступить к работе. Впоследствии были построены и новые лаборатории. Но две лаборатории, которые были получены уже «готовыми», еще долго будут сохранять первенство в том огромном мирном наступлении, которое ведется в Дубне по широчайшему фронту ядерной физики.

<sup>4)</sup> Директор института избирается сроком на три года, а вице-директоры — на два года.

Когда писались эти строки, Объединенный институт ядерных исследований подошел к 10-летию со дня его учреждения. Теперь это давно уже признанный мировой наукой передовой исследовательский центр, повседневно вносящий свой вклад в незримую пирамиду человеческих знаний. Ее вершина далеко уходит в заоблачные высоты, о которых люди среднего поколения в дни своей молодости могли только мечтать.

Отглядываясь назад, нельзя не заметить, что институт чрезвычайно быстро преодолел младенческий период, который при других условиях неизбежно занял бы годы. Уже через несколько месяцев после подписания Московского соглашения в Дубну стали съезжаться иностранные ученые. Вместе со своими советскими коллегами они приступили к экспериментальным и теоретическим исследованиям. Ноябрь 1956 года ознаменовался опубликованием первых научных работ нового института.

В то же время, сразу после окончания Московского совещания, дирекция института и созданная ею комиссия приступили к разработке первоначального проекта Устава института. Авторы счастливы, что и им удалось внести свою скромную долю в эту работу. Основные положения, которые должны были войти в Устав, содержались в самом тексте Соглашения о создании института. Тем не менее, поскольку это было совершенно необычное международное учреждение, формирование Устава также явилось делом необычным и трудным. Большую помощь составителям первоначального проекта Устава оказал известный советский специалист в области международного права профессор Всеволод Николаевич Дурденевский.

Проект, естественно, подвергся значительной переработке и в сентябре 1956 года был представлен на рассмотрение первой сессии Комитета Полномочных представителей 12 правительств, собравшейся в Дубне. Тому, кто захотел бы подробнее ознакомиться с Уставом, мы порекомендуем изучить подлинный текст этого документа, а также специальные работы<sup>5)</sup>. Здесь же мы лишь очень кратко обрисует основные положения Устава.

Цели института определены статьей четвертой:

«... 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;

<sup>5)</sup> См., например, М. М. Лебедев, «Советское государство и право», № 2, 1957 г., стр. 116; А. М. Рыжов, «Объединенный институт ядерных исследований» (справка). Изд. Германской Академии наук, Берлин, 1958 г. (на русском и английском языках). См. также сноску на стр. 8.



МОСКОВСКОЕ СОВЕЩАНИЕ 23 АПРЕЛЯ 1956 ГОДА.  
ПОДПИСАНИЕ СОГЛАШЕНИЯ ОБ УЧРЕЖДЕНИИ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.



ОСЕНЬЮ 1956 ГОДА В ДУБНЕ СОСТОЯЛОСЬ ПЕРВОЕ  
ЗАСЕДАНИЕ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ  
ПРАВИТЕЛЬСТВ СТРАН — УЧАСТНИЦ ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. БЫЛ ПРИНЯТ  
УСТАВ ИНСТИТУТА. НА СНИМКЕ: ПРЕЗИДИУМ  
ЗАСЕДАНИЯ. СТОЯТ — ПОЛНОМОЧНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ  
СССР Е. П. СЛАВСКИЙ И ДИРЕКТОР  
ИНСТИТУТА Д. И. БЛОХИНЦЕВ.

69164



ДИРЕКЦИЯ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ, ИЗБРАННАЯ 23 АПРЕЛЯ 1956 ГОДА:  
ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА ПРОФЕССОР Д. И. БЛОХИНЦЕВ  
(В ЦЕНТРЕ), ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ПРОФЕССОР М. ДАНЫШ  
(СЛЕВА) И ПРОФЕССОР В. ВОТРУВА.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ЭНЦИКЛОПЕДИЯ  
ОИЯИ



ДИРЕКЦИЯ ИНСТИТУТА, ИЗБРАННАЯ В ЯНВАРЕ 1965 ГОДА. СЛЕВА НАПРАВО: ВИЦЕ-ДИРЕКТОРЫ ИНСТИТУТА ПРОФЕССОР Э. ФЕНЬВЕШ (ВЕНГРИЯ), ПРОФЕССОР И. УЛЕГЛА (ЧЕХОСЛОВАКИЯ), ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА АКАДЕМИК Н. Н. БОГОЛЮБОВ, АДМИНИСТРАТИВНЫЙ ДИРЕКТОР В. Н. СЕРГИЕНКО.

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...»

Любая страна может быть принята в число членов Объединенного института, если она заявит о своем признании Соглашения о создании института и его Устава. Для приема необходимо решение большинства государств — членов института.

Средства на деятельность института и строительство его новых лабораторий образуются из сумм, внесенных государствами-членами в соответствии со шкалой их долевого участия в общих расходах. В зависимости от финансовых возможностей государств-членов размеры взносов колеблются от чисто символических сумм (0,05%) до десятков процентов. Взнос СССР составляет почти 50%. Расходы на содержание города, где живут сотрудники института, приняло на себя полностью Советское правительство.

Все государства — члены Объединенного института равноправны, в вопросах управления институтом и участия в его научной деятельности. Размеры членских взносов не влияют на правоспособность и дееспособность.

В соответствии с основными направлениями современной ядерной физики в институте имеются следующие лаборатории <sup>6)</sup>,

<sup>6)</sup> По своим масштабам и количеству сотрудников каждая из этих лабораторий равна институту в обычном понимании этого слова.



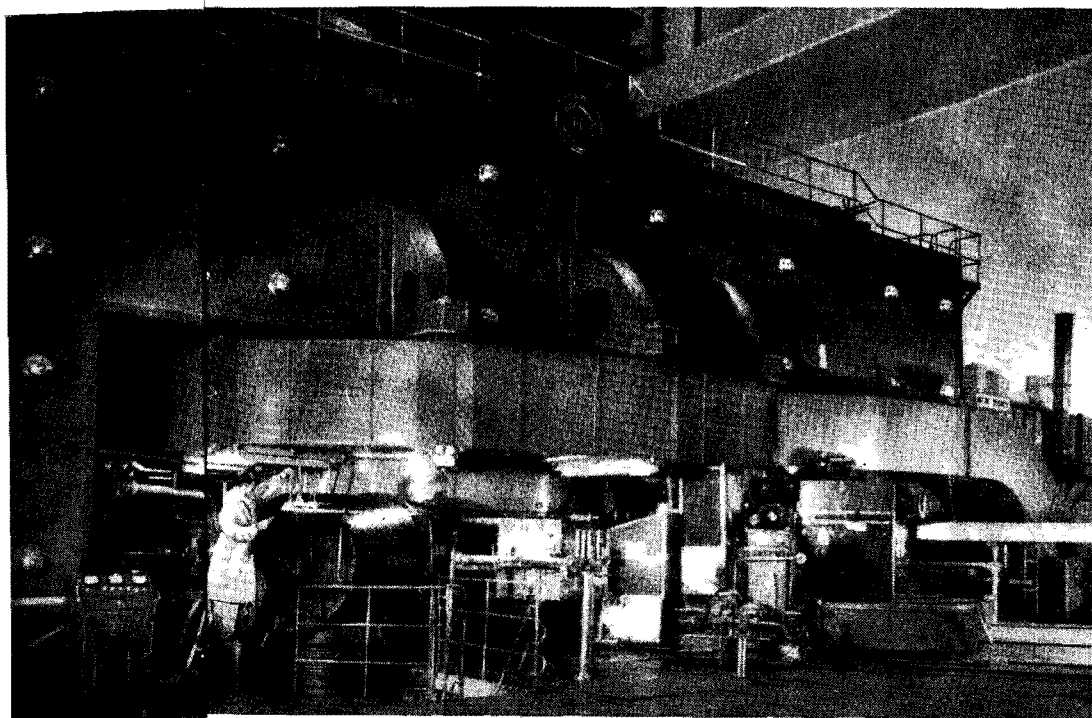
ЛАБОРАТОРИИ ИНСТИТУТА ВОЗГЛАВЛЯЮТ ИЗВЕСТНЫЕ УЧЕНЫЕ (СЛЕВА НАПРАВО): ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР Д. И. БЛОХИНЦЕВ, ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР И. М. ФРАНК, ПРОФЕССОР В. П. ДЖЕЛЕЦОВ, ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР Г. Н. ФЛЕРОВ, АКАДЕМИК **В. И. ВЕКСЛЕР**.

перечисляемые здесь в порядке хронологии их возникновения: Лаборатория ядерных проблем, Лаборатория высоких энергий, Лаборатория теоретической физики, Лаборатория нейтронной физики, Лаборатория ядерных реакций, Вычислительный центр.

Устав допускает возможность изменения состава лабораторий, если это будет продиктовано появлением новых крупных научных направлений.

Штаты сотрудников института комплектуются из числа граждан государств, являющихся его членами. Однако на условиях взаимности допускается работа в институте и ученых из других стран.

23 сентября 1956 года состоялся торжественный акт подписания Устава представителями 12 правительств. Институт получил свою конституцию. С тех пор прошло много лет. Успешно выполнены первый и второй пятилетние планы развития Объединенного института. Вступили в строй новые невиданные экспериментальные установки. Значительно расширились штаты научных работников. Число работающих в Дубне ученых из зарубежных стран-участниц превысило число ученых из страны местопребывания института, т. е. из СССР. Многие ученые, проработавшие в Дубне по несколько лет, возвратились на родину, обогатившие ценным опытом. Научные труды, выполненные в Объединенном институте, явились ценным вкладом в мировую науку. Идеи, послужившие основой для создания института, блестяще воплотились в жизнь.



## первый маяк

Вернемся теперь к самому началу истории города науки. Если вновь прибегнуть к сравнению ядерной физики с астрономией, то можно сказать, что в конце тридцатых и начале сороковых годов нашего века физики оказались в таком же положении, в каком были астрономы в эпоху изобретения телескопа. Одним из важнейших инструментов, с помощью которого ученые могли проникать в глубины вещества, был ускоритель заряженных частиц. Однако «классические» циклотроны к тому времени исчерпали свои возможности, не выходявшие за пределы области низких энергий. Получение ускоренных частиц высоких энергий противоречило самой природе циклотрона.

Но именно в области высоких энергий следовало провести опыты, дающие ответы на многие важные вопросы, которых становилось все больше и больше.

Конец периоду тупика, длившемуся почти 10 лет, был положен в 1944 году, когда советский ученый В. И. Векслер открыл так называемый принцип автофазировки частиц в циклических ускорителях. (Годом позже аналогичный принцип предложил американский физик Мак-Миллан. Впоследствии оба ученых за

это открытие были удостоены премии «Атом для мира», учрежденной в США.)

Если говорить схематически (а нам и в дальнейшем придется прибегать к такому методу, понятному и непосвященному читателю), то принцип автофазировки сводится к следующему. Электрическое поле изменяется таким образом, что частицы, движущиеся в камере, как бы сами определяют свою судьбу. Те из них, которые «замешкались», проходя мимо ускоряющего электрода, получают повышенный импульс и благодаря этому догоняют своих собратьев. А те частицы, которым удалось забежать вперед, оказываются у ускоряющего электрода в тот момент, когда импульс еще сравнительно мал. Это замедляет скорость не в меру разогнавшихся частиц, приводя ее и в этом случае к норме. Принцип автофазировки ликвидировал, казалось, непреодолимые трудности. Теперь мечты ученых о гигантских ускорителях становились более реальными.

Разумеется, в действительности все это значительно сложнее. Достаточно сказать, что скорость частиц, разогнанных до высоких энергий, приближается к скорости света. Это в большой степени

определяет необходимую быстроту и точность изменения управляющего электрического поля.

Но физиков и инженеров не испугали трудности. Главное — был указан путь, сломана преграда. Да, предстояло создать совершенно новые, небывалые по своим масштабам и точности машины. Предстояло, в частности, «на ходу» разрешить ряд совершенно новых теоретических и инженерных вопросов в области электроники, электротехники, техники высокого вакуума. Даже перед архитекторами и строителями возникали новые, и довольно сложные, проблемы, так как к зданиям для таких ускорителей предъявлялись весьма высокие требования.

## важное решение

Советское правительство, которое всегда проявляло огромную заботу о развитии передовой науки, приняло решение о создании первого советского синхротрона, рассчитанного на ускорение частиц до энергий, во много раз превосходящих достигнутые ранее. По решению правительства новый ускоритель должен был вступить в строй в конце 1949 года. (Для того, чтобы полностью оценить значение этого шага, нужно вспомнить, что в те годы Советская страна переживала огромные трудности послевоенного периода.)

## они были первыми

Для решения проблем, связанных с созданием нового ускорителя, в Институте атомной энергии Академии наук СССР, руководимом академиком И. В. Курчатовым, был создан специальный отдел во главе с М. Г. Мещеряковым. В первые годы существования этого отдела в него входили В. П. Дзелепов (заместитель по научным вопросам), А. В. Честной (главный инженер), Е. Л. Григорьев, А. А. Реут, Б. И. Замолодчиков, В. С. Катышев, К. И. Тараканов, Н. И. Фролов, А. А. Кропич, С. Н. Юров, Н. П. Богачев, А. Г. Вахрамеев, а также группа студентов-дипломников: В. П. Дмитриевский, А. Е. Игнатенко, Г. И. Селиванов, Л. М. Сороко. (Теперь эти бывшие студенты стали известными учеными.)

Мы специально перечислили здесь так много имен потому, что эта небольшая группа людей и пачала своей деятельностью историю Дубны. Со многими из них читатель еще встретится на последующих страницах книги.

В 1948 году на базе отдела Института атомной энергии был создан филиал этого института.

Коллектив ученых и инженеров филиала, получившего права лаборатории, дал физическое обоснование ускорителя и участвовал в работе по составлению проекта новой атомной машины, руководил ее запуском. Мы говорим «участвовал» потому, что эта огромная работа широкого профиля потребовала коллективных усилий многих исследовательских учреждений. Среди участников этой работы одна из ведущих ролей принадлежала сотрудникам Радиотехнического института (А. Л. Минц, И. Х. Невяжский, И. П. Иванов, В. М. Лупулов и другие) и конструкторского бюро (Д. В. Ефремов, Е. Г. Комар, Н. А. Мопосзон, И. Ф. Малышев, М. А. Гашев, Н. С. Стрельцов и другие).

Предстояло изготовить и смонтировать с большой точностью небывалые по своим размерам магнит и вакуумную камеру ускорителя, мощные источники электропитания и другие уникальные устройства. Этими работами руководил заместитель министра электропромышленности СССР К. Н. Мещеряков. Много энергии, знаний и таланта вложили в создание основных агрегатов ускорителя рабочие и инженеры завода «Электросила» имени С. М. Кирова. В создании машины приняли активное участие коллективы заводов «Севкабель», имени Жданова, «Электропульт».

## огни среди лесов и болот

Итак, за дело взялись смелые, энергичные, знающие люди, люди советской закалки, энтузиасты своего дела. Этим уже в самом начале был определен успех.

Быстрыми темпами велось сооружение основных лабораторных зданий и жилых домов научного городка. Руководил всеми этими работами один из опытейших строителей крупных объектов А. П. Лепилов. Жители Дубны никогда не забудут трудового героизма первых строителей, которые, естественно, не располагали тогда той могучей техникой, которая существует в наши дни. Места, где предстояло возвести здания, были заболочены и частично затоплены водой. Это был довольно редкий случай: по строительной площадке ездили на ... лодках.

Не забудут старожилы и эпопеи создания главного корпуса синхротрона, когда было уложено 20 тысяч кубометров бетона. В сжатые сроки, при неблагоприятных условиях было возведено здание объемом 70 тысяч кубических метров. Высота его массивных стен достигала 35 метров, толщина бетонного потолка — 2 метров, а общий вес перекрытия превышал 10 тысяч тонн. При разрешении труднейших проблем строительного искусства блестяще проявился талант начальника строительства А. П. Лепилова, главного инженера П. М. Евсюкова.

Однажды в конце декабря 1948 года, ночью, при тридцатиградусном морозе и сильном ветре загорелась опалубка только что забетонированных тридцатисемиметровых ферм перекрытия, каждая из которых весит 800 тонн. Казалось, неминуем обвал. Он мог бы надолго задержать работы. Но героизм строителей победил стихию. Здание было спасено.

Одна из важнейших частей синхроциклотрона — его грандиозный магнит, весящий 7 тысяч тонн. На каждом из двух полюсов могут свободно разместиться автомобиль «Волга» и два «Москвича». При огромных размерах магнита к монтажу его предъявлялись высокие требования. Достаточно сказать, что погрешность в установке полюсов, имевших тогда пятиметровый диаметр, не могла превышать одной десятой доли миллиметра. (Впоследствии диаметр полюсов был доведен до 6 метров.) Обмотки электромагнита, имеющие диаметр 12 метров, создавались на месте. Мы назовем здесь еще одну цифру, дающую некоторое представление о масштабах ускорителя: при монтаже его энергосистем, а также устройств сигнализации и управления было уложено почти 500 километров кабеля.

## магнит-великан

Важный момент в истории создания ускорителя наступил в 14 часов 27 апреля 1949 года. Начались испытания электромагнита, систем управления и защиты. Никогда до этого человек не давал ток в столь большой магнит. Огромная энергия, потребляемая магнитом, требовала исключительного опыта, знаний, осторожности. Любая оплошность могла привести к катастрофе.

Испытания, которыми руководил профессор Д. В. Ефремов, прошли успешно. В метровом зазоре между полюсами магнита было получено магнитное поле напряженностью около 15 тысяч эрстед. (К 18 мая при испытании электромагнита вместе с вакуумной камерой магнитное поле было доведено до 22 тысяч эрстед.) Энергия, запасенная в электромагните, была столь велика, что через 10 минут после отключения генератора питания в обмотках магнита продолжал циркулировать ток в несколько сот ампер.

Для того, чтобы читатели, не являющиеся специалистами, получили представление о силе магнита синхроциклотрона, расскажем о двух случаях, «виновником» которых он был. Как-то раз молодой рабочий, несший в руках небольшой электродвигатель, желая сократить путь, слишком приблизился к магниту. Вдруг он почувствовал, что какая-то сила вначале медленно, а потом все быстрее потащила его в сторону. К счастью, вскоре он перестал бороться и успел выпустить из рук мотор, который

тут же был разбит мощным ударом о магнит. «Жертвой» второго случая стал работник пожарной охраны, которого магнит подтащил к себе и долго держал за пристегнутый к поясу топор.

## впервые в мире

Чтобы облегчить движение частиц внутри камеры ускорителя, имеющей объем комнаты, необходимо было создать в этой камере высокий вакуум. Для этого группа сотрудников Украинского физико-технического института под руководством К. Д. Синельникова создала мощные высоковакуумные насосы. В то время впервые в мире<sup>7)</sup> была достигнута рекордная скорость откачки воздуха — 45 тысяч литров в секунду.

## трудный экзамен

Профессор В. П. Желепов, ныне директор Лаборатории ядерных проблем, вспоминая времена создания ускорителя, рассказывает:

— В августе 1949 года наш коллектив взял на себя обязательство запустить машину к сроку, указанному правительством (конец 1949 года). Объем работ, которые оставалось выполнить, казалось, превышал человеческие возможности. Однако энтузиазм, взаимная помощь, творческая инициатива, царившие в слаженном коллективе научных сотрудников, инженеров, рабочих, монтажников, строителей, рабочий день которых был, как правило, больше 12 часов, привели к тому, что уже к концу ноября начались комплексные испытания системы. 14 декабря 1949 года синхроциклотрон и коллектив его создателей сдали «государственный экзамен»: ускоритель начал работать. Были получены первые дейтроны (ядра дейтерия — тяжелого изотопа водорода), ускоренные до энергии 280 миллионов электроновольт. Этим было положено начало создания в СССР новой научной области — экспериментальной физики высоких энергий.

Большая группа ученых сначала за создание ускорителя, а затем за проведение на нем важных физических исследований была награждена Государственными премиями и орденами Советского Союза.

В конце 1950 года синхроциклотрон был переведен в режим ускорения протонов до энергии 480 Мэв (миллионов электроновольт). Самый крупный ускоритель в США ускорял тогда

<sup>7)</sup> Авторы заранее извиняются за некоторое стилистическое однообразие, но в силу объективных причин, говоря о прошлом и настоящем Дубны, им еще много раз придется употреблять слова «впервые в мире».

протоны до энергии 340 Мэв. В то время случаи, когда советская наука и техника побеждали в мирном соревновании с американцами, были не столь часты.

В 1953 году синхротрон был реконструирован. Диаметр полюсов его магнита увеличился до 6 метров, а энергия ускоряемых протонов была доведена до 680 Мэв. Были решены и другие трудные научные и технические проблемы. Это открыло возможность для проведения особенно тонких и сложных экспериментов.

В 1954 году дубненский филиал Института атомной энергии был преобразован в Институт ядерных проблем Академии наук СССР, а в 1956 году Институт ядерных проблем стал первой действующей лабораторией Объединенного института ядерных исследований и получил название Лаборатории ядерных проблем. Директором этой лаборатории стал профессор В. П. Джелепов.

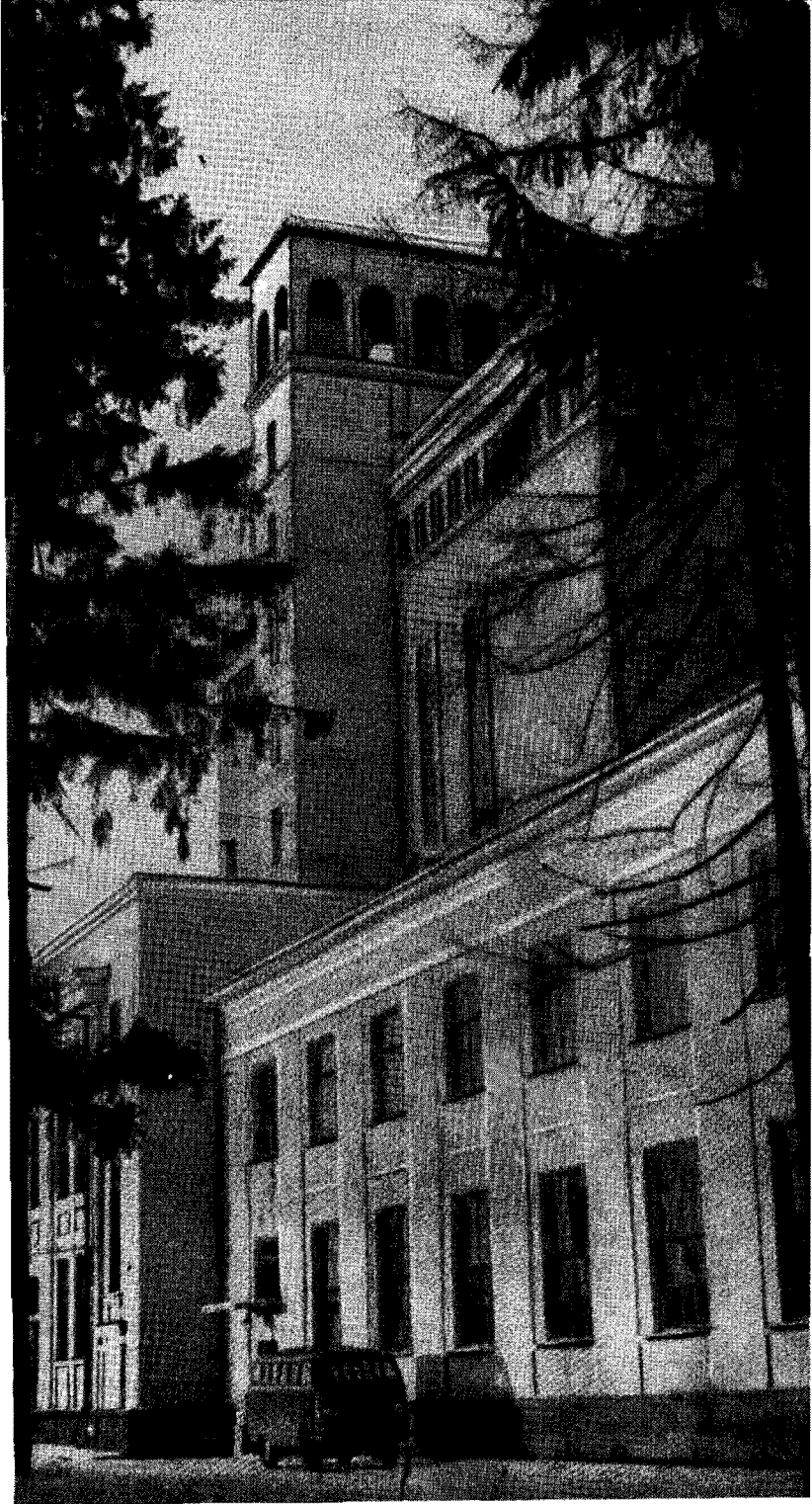
### **традиции лаборатории**

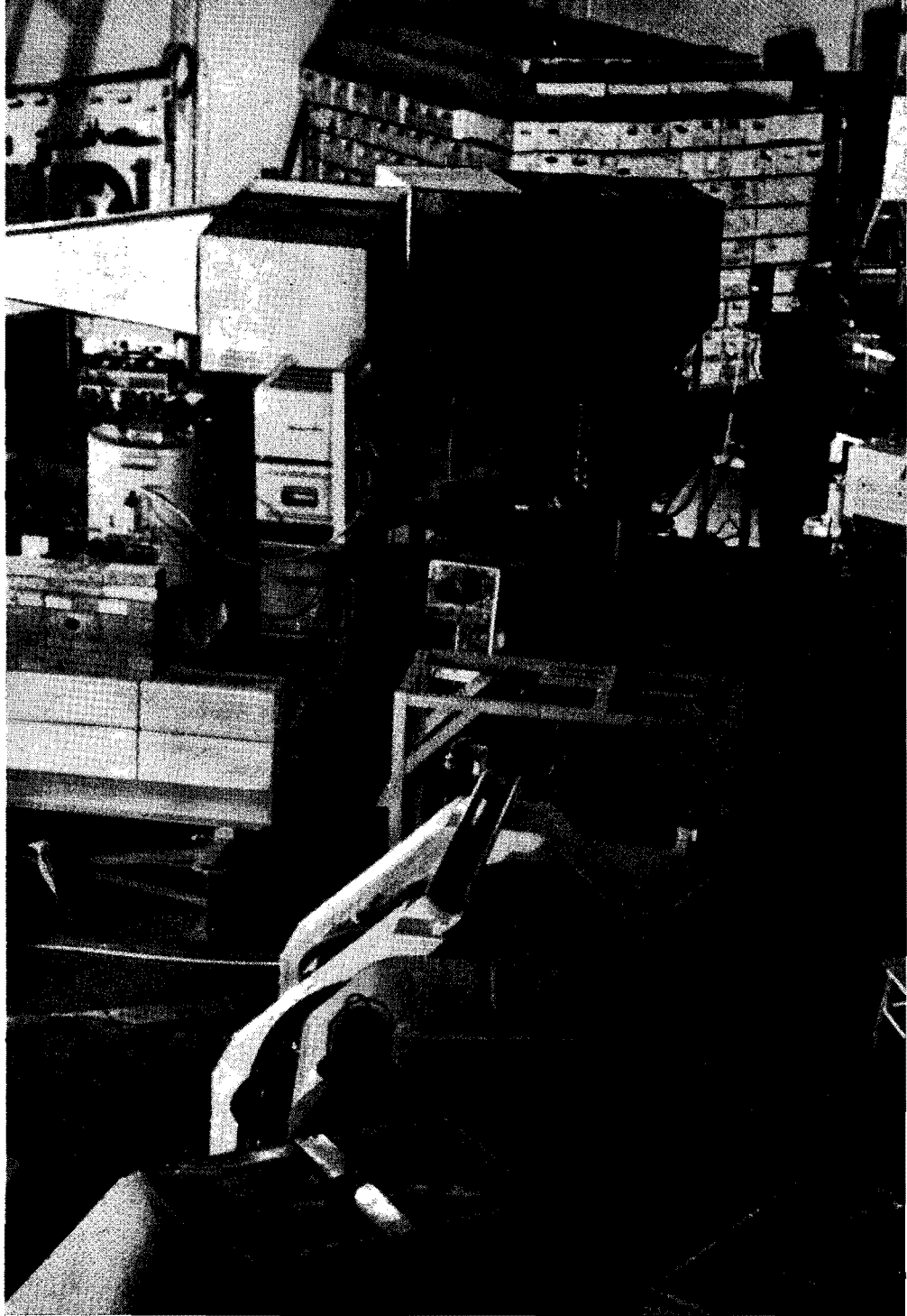
Коллектив ученых, рабочих и инженеров Лаборатории ядерных проблем выковал замечательные традиции, восходящие к трудным годам ее становления. Особенно интенсивно исследовательские работы и лаборатория в целом начали развиваться сразу после организации Объединенного института ядерных исследований. Здесь проведено значительное количество важных и актуальных экспериментов, явившихся существенным вкладом в молодую, но многообещающую науку — физику высоких энергий. Многие из этих исследований поражают смелостью, остроумием и оригинальностью замысла, изяществом, сверхвысокой точностью.

Сведения о ядерных силах, имеющие большую научную значимость, получены профессором В. П. Джелеповым и кандидатами физико-математических наук Б. М. Головиным, В. Б. Флягиным в исследованиях взаимодействия нейтронов с нейтронами и протонами при высоких энергиях. Экспериментами В. П. Джелепова, П. Ф. Ермолова, М. Фримла и других, выполненными в последние годы, внесен очень ценный вклад в изучение другой важной проблемы микромира: ученые создают и изучают совершенно новый вид материи — так называемое мю-вещество (это атомы и молекулы, в которых электроны заменены другими частицами — мю-мезонами).

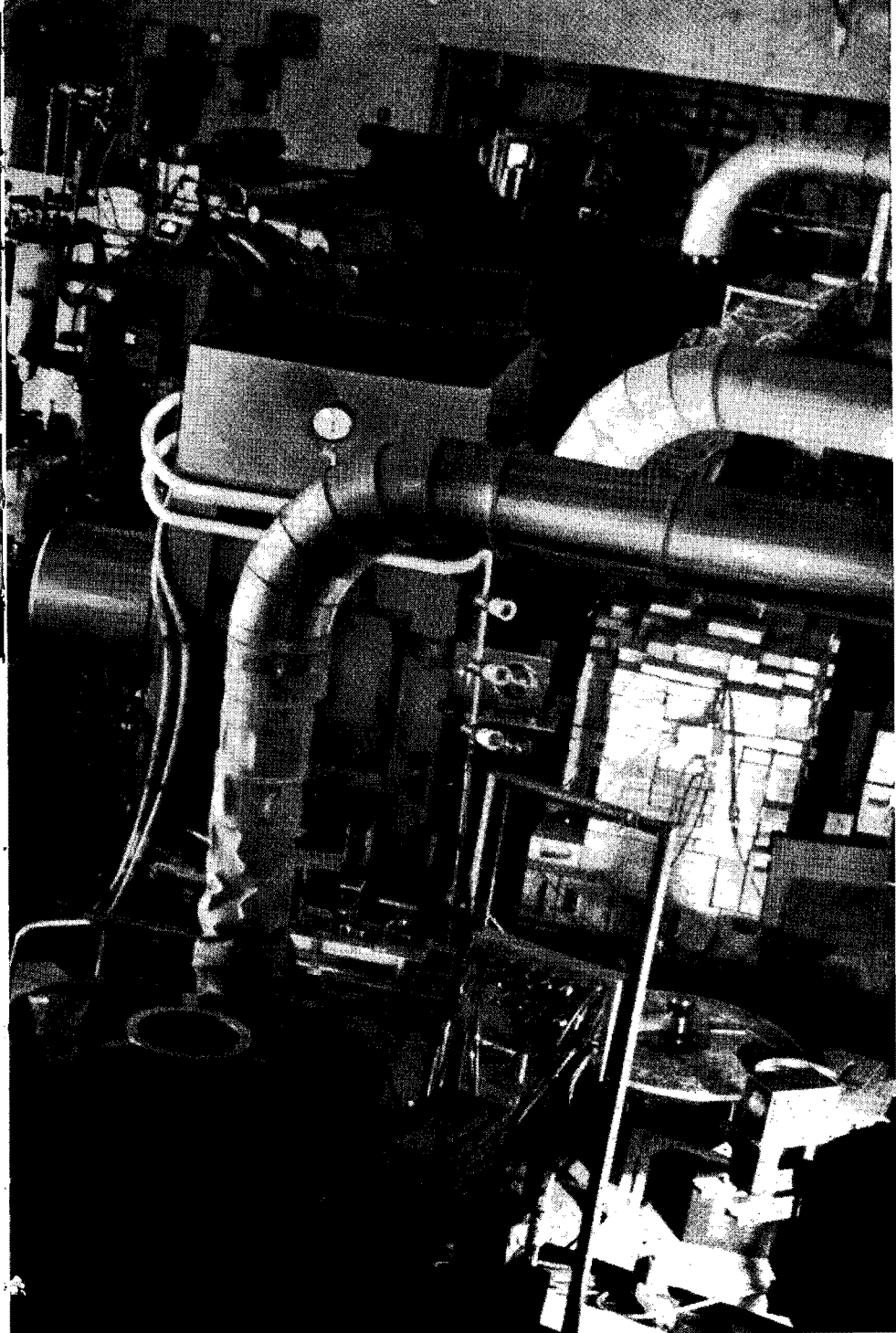
Группа доктора физико-математических наук Ю. Д. Прокошкина открыла особый вид распада положительных пи-мезонов, ранее никем не наблюдавшийся. Этому небольшому коллективу ученых удалось победить трудности, которые ранее казались непреодолимыми. Оригинальная и необычайно точная аппаратура, созданная экспериментаторами, позволила измерять промежутки времени в несколько десятиллиардных долей секунды. Было необходимо с невероятной чуткостью регистрировать явления,

В ЭТОМ ЗДАНИИ В 1949 ГОДУ НАЧАЛ РАБОТАТЬ СИНХРОЦИКЛОТРОН. ТОГДА ЭТО БЫЛ САМЫЙ МОЩНЫЙ В МИРЕ УСКОРИТЕЛЬ.



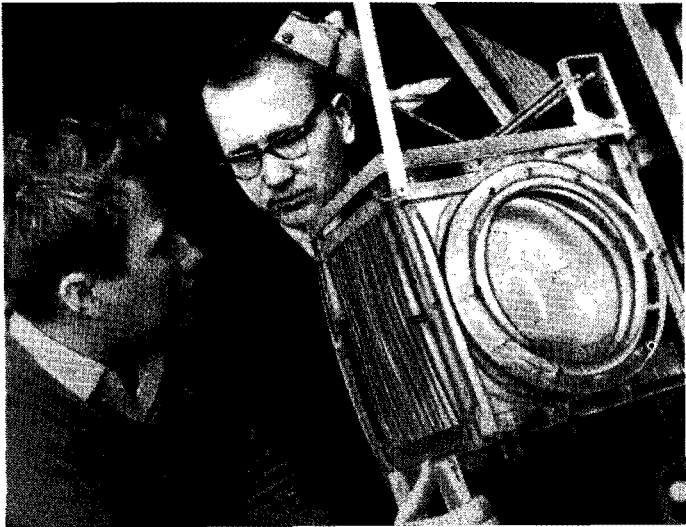


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ЗАЛ СИНХРОЦИКЛОТРОНА. МОЩНАЯ БЕТОННАЯ СОКОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТЬЮ НА ТРАССАХ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ

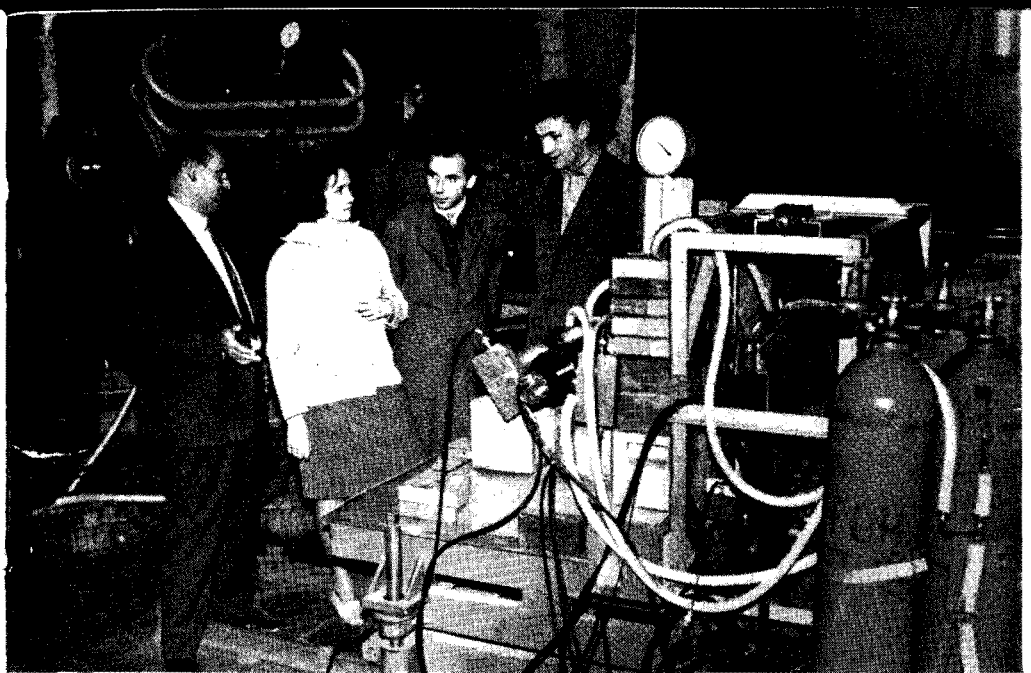


СТЕНА ОТДЕЛЯЕТ ЗАЛ ОТ УСКОРИТЕЛЯ. ЗДЕСЬ В СТРОГОМ ПОРЯДКЕ С ВЫ-  
ЧАСТИЦ РАЗМЕЩЕНА АППАРАТУРА.

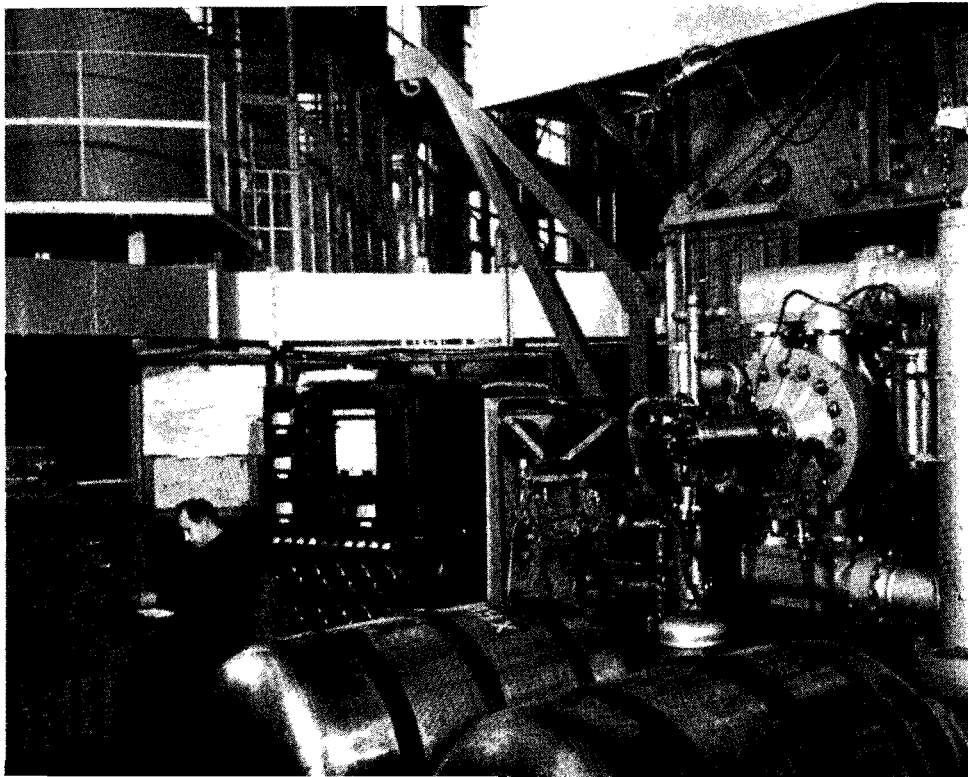




ЧЕХ ФРАНТИШЕК ЛЕГАР (СЛЕВА) И А. Ф. ПИСАРЕВ РАЗРАБАТЫВАЮТ ГАЗОРАЗРЯДНУЮ КАМЕРУ НОВОГО ТИПА.



УЧАСТНИКИ СОВЕТСКО-РУМЫНСКОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ. АППАРАТУРА ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ УСПЕХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, БЫЛА ИЗГОТОВЛЕНА В БУХАРЕСТЕ И ДУБНЕ.



МЕТРОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ ПРОПАНОВАЯ КАМЕРА. У ПУЛЬТА — НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК В. Б. ФЛЯГИН.



ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА Б. С. НЕГАНОВА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ ОПЫТОВ С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ. ОНА СПОСОБНА КАК УГОДНО ДОЛГО ПОДДЕРЖИВАТЬ ТЕМПЕРАТУРУ, БЛИЗКУЮ К АБСОЛЮТНОМУ НУЛЮ.

которые подавлялись фоном, превосходящим их в миллиарды раз. Это открытие явилось ценным вкладом в теорию слабых взаимодействий ядерных частиц, изучающую тонкие и почти неуловимые силы и закономерности.

Хорошо известны ученым всего мира замечательные исследования академика Бруно Понтекорво, касающиеся самых удивительных ядерных частиц — нейтрино. Эти исследования принесли своему автору Ленинскую премию. Блестяще подтвердились экспериментами выводы Б. Понтекорво о существовании двух видов нейтрино: электронного и мю-мезонного. Предложенные им опыты были впоследствии успешно проведены в Швейцарии и в США. Первые «автографы» мюонного нейтрино получены в Дубне Б. Понтекорво, Р. Суляевым, Ю. Щербаковым и другими в опытах по захвату мю-мезонов в гелии-три, доказывающих тождественность взаимодействий мюона и электрона.

Об интереснейших экспериментах, проведенных В. С. Евсевым, Ф. Кильбингером, М. Шимчаком, физики говорят, как о неожиданном прорыве фронта теории на одном из ее участков, казавшемся незбылемым.

Стали классическими исследования, проведенные группой доктора физико-математических наук Ю. М. Казаринова, по фазовому анализу нуклон-нуклонных взаимодействий и некоторым взаимодействиям пи-мезон — нуклон. Они дают сведения, нужные для понимания законов жизни микромира.

Важные закономерности во взаимодействии протонов и рождении мезонов установлены научными группами профессоров М. Г. Мещерякова, М. С. Козодаева и кандидата физико-математических наук Л. М. Сороко.

Оказалось, что как будто бы исчерпавшая себя методика ядерных фотоэмульсий в руках остроумных и тонких экспериментаторов может приносить неожиданно яркие результаты. Это доказала группа В. М. Сидорова, открывшая новое явление двойной перезарядки пи-плюс- и пи-минус-мезонов. Как ожидают, это открытие может повлечь за собой и другие сюрпризы, например, обнаружение так называемых неожиданных ядер.

В Лаборатории ядерных проблем группа ученых под руководством профессора В. П. Дмитриевского разрабатывает проекты ускорителей новых видов. Модель одного из них была успешно запущена в Дубне в 1959 году. Это был первый в мире циклотрон с пространственной вариацией магнитного поля. Преимуществом ускорителей такого типа является возможность получения очень больших токов ускоряемых частиц, а также мезонов, нужных физикам для новых исследований микромира. Над проектом такого ускорителя, получившего название «мезонной фабрики», в Лаборатории ядерных проблем работает большой коллектив ученых во главе с В. П. Дзелеповым, В. П. Дмитриевским и Б. И. Замолотчиковым.

Ученые и инженеры Лаборатории ядерных проблем всегда отличались большой изобретательностью по части методики физических экспериментов. Невозможно перечислить все новинки, появившиеся здесь, многие из которых быстро получили признание физиков далеко за пределами Дубны. Вот всего лишь несколько примеров. Молодой ученый А. А. Тяпкин (ныне доктор физико-математических наук, заместитель директора лаборатории) является изобретателем годоскопических систем, состоящих из счетчиков Гейгера — Мюллера, с импульсным питанием. Его коллега доктор физико-математических наук и также заместитель директора лаборатории профессор Л. И. Лапидус был первым, кто предложил использовать в экспериментах эффект Вавилова — Черенкова. Теперь, вероятно, нет ни одной крупной экспериментальной лаборатории, изучающей физику элементарных частиц, где не применялись бы счетчики, основанные на этом эффекте. Он же предложил изучить и впервые выполнил расчеты по ряду мезонных и нуклонных реакций. Из этих расчетов с особой прозрачностью следовали важные выводы о характере взаимодействия микрочастиц.

Первая в Дубне машина для автоматического просмотра снимков с пузырьковых камер создана в Лаборатории ядерных проблем под руководством С. М. Коренченко. Первая стримерная искровая камера (принципиально новый эффективный инструмент) строится также в этой лаборатории под руководством Ю. А. Щербакова. Сверхточные приборы для измерения сильных магнитных полей сложной конфигурации разработал впервые Ю. Н. Денисов. А уж если говорить о мощном вторжении электроники в методику эксперимента, то нельзя умолчать о заслугах коллектива инженеров, возглавляемого А. Н. Синаевым. Подчеркнем важность исследований, проведенных в лаборатории в последние годы под руководством кандидатов физико-математических наук В. И. Данилова и Н. Б. Енчевича. Их работы привели к восьмикратному увеличению тока ускоренных протонов синхротрона, благодаря чему этот ускоритель уже в течение четырех лет занимает по току пучка первое место в мире среди машин своего класса.

Развитие физики идет так быстро, что, несомненно, очень скоро ученые Дубны внесут еще много блестящих дополнений в эту главу и в другие главы нашей книги.

## **тревожные сигналы не зазвучат**

Одной из наглядных иллюстраций быстрого развития Объединенного института ядерных исследований является пример, о котором мы сейчас расскажем.

Пока эта книга готовилась к изданию, в Лаборатории ядер-

ных проблем возник еще один отдел — ядерной спектроскопии и радиохимии. Для него выстроили большое и удобное здание, в котором мог бы разместиться крупный современный институт. И поскольку в печати об этом почти ничего не сообщалось, мы решили немного отойти от ранее принятой структуры книги и рассказать о том, что скрывается за стенами нового дома.



Об этом здании уже несколько лет мечтали живущие в Дубне физики и химики Советского Союза, Румынии, Болгарии, Польши, ГДР, Чехословакии и других социалистических стран. Его история — еще один пример братского международного сотрудничества ученых.

Прежде всего, дом не так прост, как кажется. Много дней и, может быть, ночей, вместе и поодиночке до мельчайших деталей продумывали его проект те, кто теперь здесь работает.

Перед составителями проекта стояли тогда трудные проблемы. Здание должно быть приспособлено к работе с высокими уровнями радиоактивности, в сотни раз превышающими уровни активности источников, обычно используемых в лабораториях. Нужно было гарантировать полную безопасность для здоровья людей, исключить возможность радиоактивного загрязнения атмосферы и территории.

Здесь удачно решены проблемы защиты людей, очистки воздуха, удаления отходов и многие другие трудные инженерные вопросы. А польские товарищи разработали и изготовили оборудование, современную, удобную и красивую мебель.

Лаборатория оснащена многими современными приборами и установками. Например, в начале 1965 года здесь введен в действие новый, создававшийся под руководством Б. С. Желепова альфа-спектрограф. В конце этого же года на нем советскими физиками К. Громовым, В. Чуминым и болгарским физиком Ж. Желевым выполнено первое исследование. Оно сразу же принесло науке новое открытие. Замечателен и сам прибор: только один альфа-спектрограф в мире (он находится в Москве) может сравниться с дубненской установкой по светосиле, разрешающей способности, универсальности.

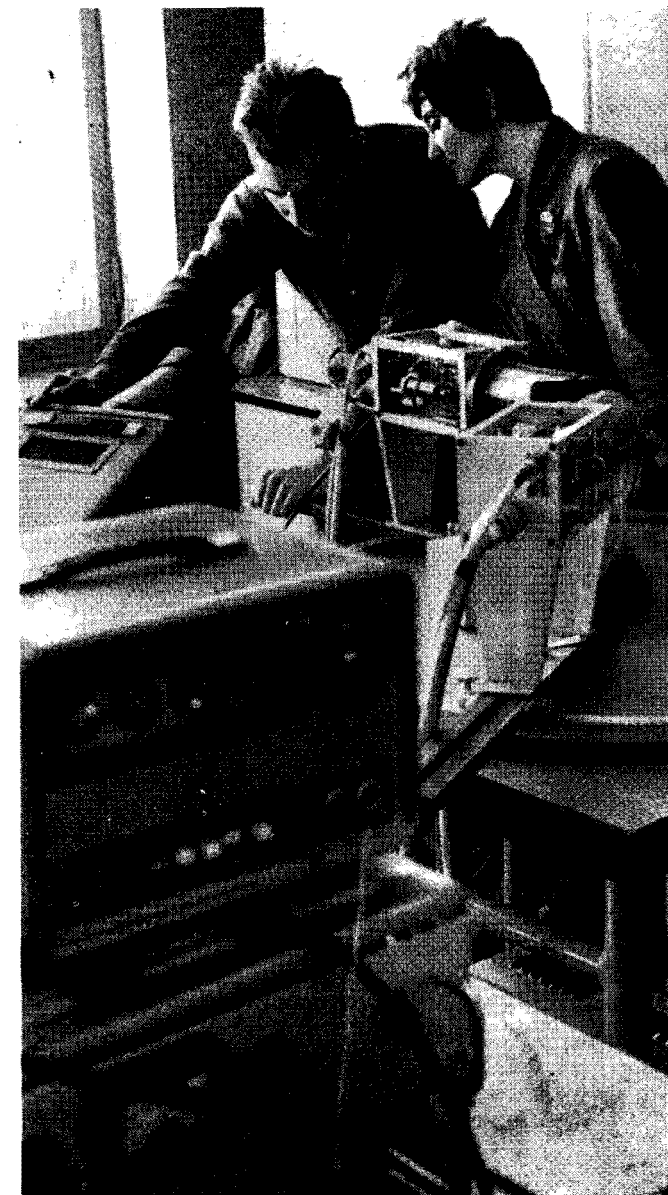
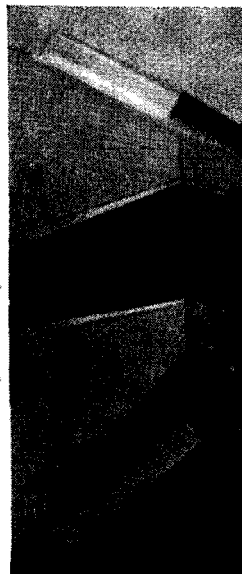
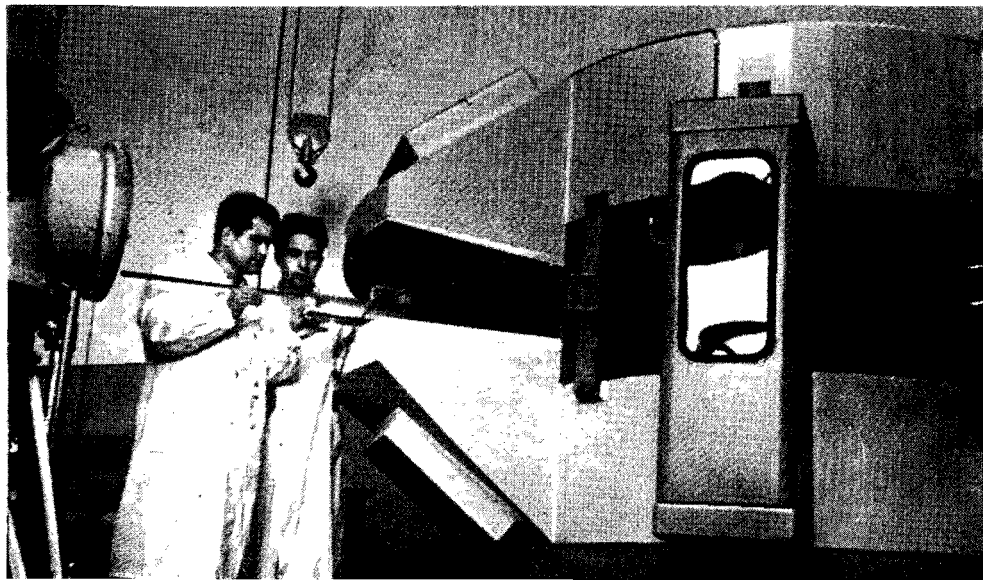
Работа с веществами, обладающими высокой радиоактивностью, проводится за непроницаемыми стенами тяжелых шкафов, сияющих снежной белизной, а опасные операции с виртуозной точностью выполняют вместо рук человека цепкие стальные пальцы манипуляторов.

В каждой комнате этого дома, независимо от ее назначения, притаились чуткие щупальцы автоматических дозиметров, непрерывно передающих свою информацию на центральный пульт. Случись какая-нибудь непредвиденная неприятность в любом помещении — и приборы поднимут тревогу, зазвучит сирена,

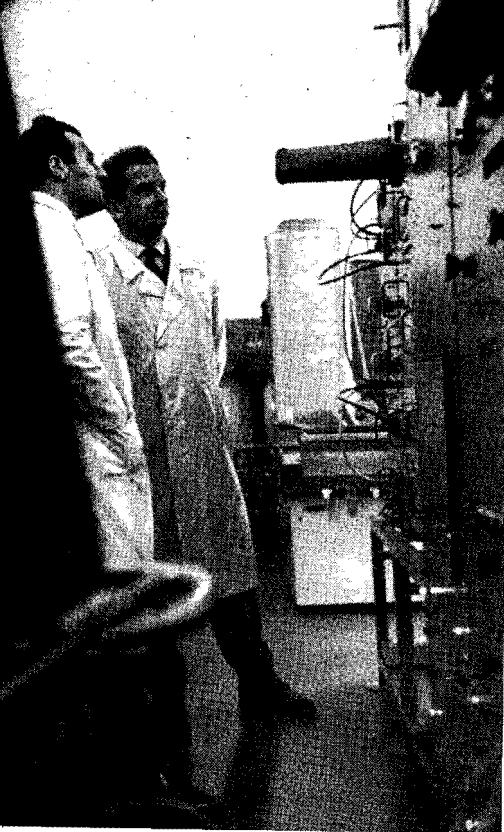


ОПЫТНЫЙ СТЕКЛОДУВ А. Н. НИКОЛАЕВ ПЕРЕДАЛ ТАЙНЫ СВОЕГО ТОНКОГО МАСТЕРСТВА МОЛОДОМУ МОНГОЛУ МАГСАРУ ОССОРЫНУ. ВЕРНУВШИСЬ НА РОДИНУ, ОССОРЫН ДЕЛАЕТ СЕЧЕРЬ СЛОЖНЫЕ СТЕКЛЯННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ МОНГОЛЬСКИХ УЧЕНЫХ.

ПРЕЦИЗИОННЫЙ МАГНИТНЫЙ АЛЬФА-СПЕКТРОГРАФ, ОТДЕЛА ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И РАДИОХИМИИ — ОДНА ИЗ ДВУХ ЛУЧШИХ В МИРЕ УСТАНОВОК ПОДОБНОГО ТИПА. БОЛГАРСКИЙ УЧЕНЫЙ ЖЕЛЮ ЖЕЛЕВ (СЛЕВА) И В. Г. ЧУМИН ОТКРЫЛИ ТОНКУЮ СТРУКТУРУ АЛЬФА-СПЕКТРОВ ЛЕГКИХ ЯДЕР. ЭТОЙ РАБОТОЙ РУКОВОДИЛ НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И РАДИОХИМИИ К. Я. ГРОМОВ.



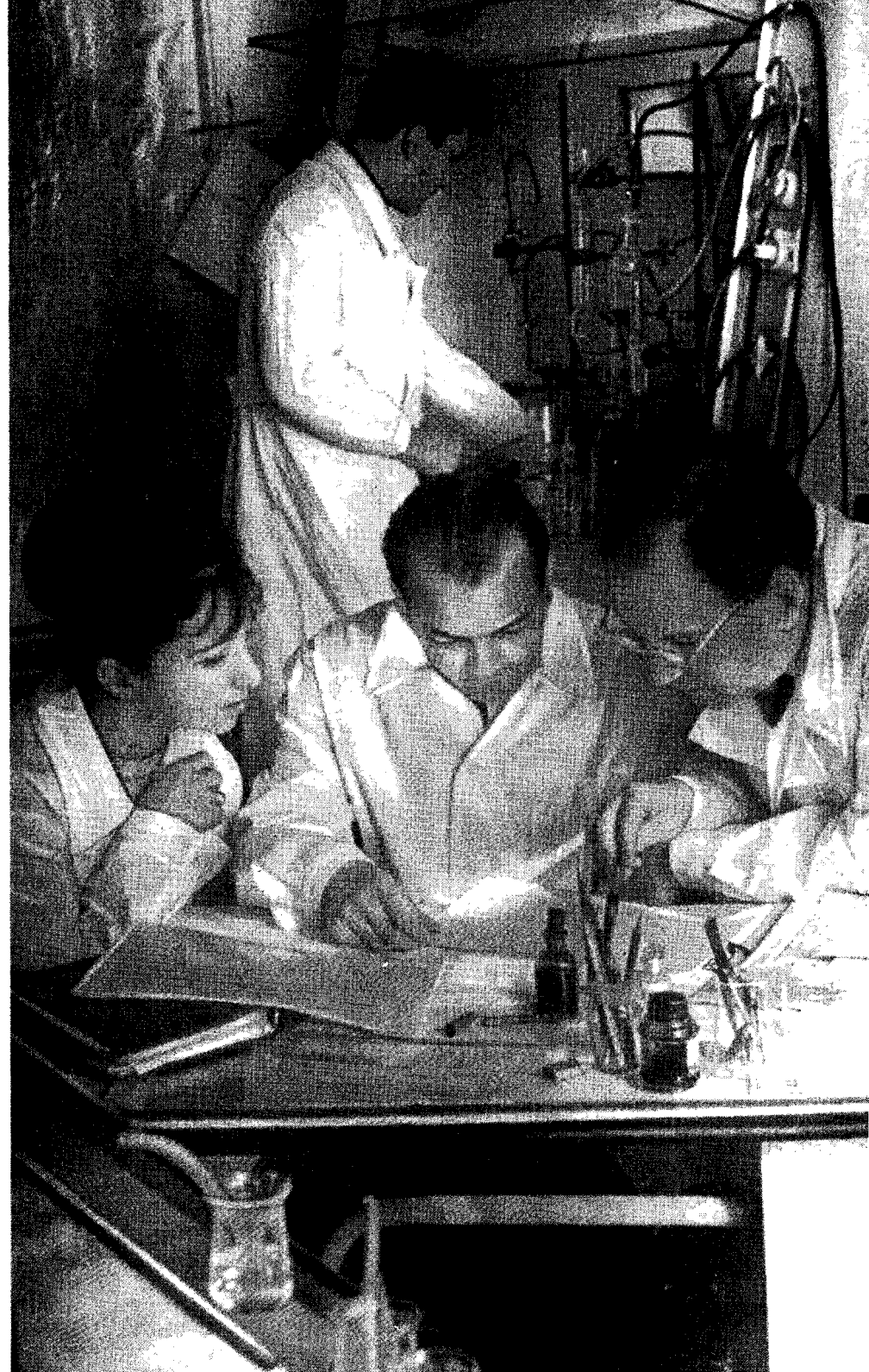
ГАММА-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДЯТ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ИШТВАН ДЕМЕТЕР И ИНЖЕНЕР ПЕТРЕНЕ АМБРО, ПРИЕХАВШИЕ В ДУБНУ ИЗ ВЕНГРИИ.



СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ГЕРХАРД МУЗИОЛЬ (ГДР) И РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ К. Я. ГРОМОВ В ЗАЛЕ ГАММА-СПЕКТРОСКОПИИ НАБЛЮДАЮТ ЗА ХОДОМ ЭКСПЕРИМЕНТА.

СУПРУГИ ФЕРЕНЦА И ФЕРЕНЦ МОЛНАР ОБСУЖДАЮТ СО СВОИМ СОВЕТСКИМ ТОВАРИЩЕМ В. А. ХАЛКИНЫМ (СПРАВА) ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТА.

ИМРЕ МАХУНКА И КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК ТИБОР ФЕНЕШ (ВЕНГРИЯ) ПОЛУЧИЛИ ИНТЕРЕСНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЛЬФА-РАСПАДЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (НИЖНИЙ СНИМОК).



зажгутся сигнальные лампы на пульте и в комнате, где повисил уровень активности, и в коридоре, над ее дверями... Впрочем, знающие люди говорят, что такие вещи наиболее вероятны в кино, а здесь сделано все необходимое для того, чтобы тревожная сигнализация оставалась всего лишь еще одним средством страховки. Оборудование настолько надежно, что звучать этим сигналам едва ли придется.

## **сейчас вы узнаете, что здесь делают**

Чистота... Потоки света... Глянцевые пластиковые полы... Сложные приборы с разноцветными лампочками и мерцающими экранами осциллографов... Чем занимаются хозяева этого дома?

Над входом мы прочли строгую черную табличку: «Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии». Что эти слова обозначают?

Радиохимия изучает очень малые количества вещества, когда объект исследования составляет считанные единицы атомов. Обычно это радиоактивные вещества, которые сравнительно быстро распадаются. Основная цель радиохимии — способствовать построению теории атомного ядра, которая пока еще далека от совершенства. Но, помимо вклада в «чистую науку», радиохимия дала уже ощутимый «выход» для экономики и техники многих стран. В значительной степени ей обязана своими успехами ядерная энергетика. И такой могучий метод исследования, как метод меченых атомов, — это ведь тоже детище радиохимии.

А что такое ядерная спектроскопия?

Если обычная, или, скажем точнее, оптическая спектроскопия изучает свойства атома, то ядерная спектроскопия идет значительно глубже. Она исследует свойства сложного атомного ядра, его энергетические уровни, что, в свою очередь, необходимо для познания строения ядра и природы огромных сил, скрытых в его недрах.

Оговоримся, что здесь не дано безукоризненных и строгих определений радиохимии и ядерной спектроскопии. Мы просто хотели сделать понятным для читателя основной смысл тех экспериментов, которые проводятся там, куда мы его привели. Еще яснее станет, что такое радиохимия и ядерная спектроскопия, если мы упомянем, что в этих областях науки работали Пьер и Мария Кюри, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри.

## **на границе двух направлений**

— Но ведь все это относится к физике низких энергий, — скажут нам. — Между тем, известно, что в Дубне, с ее огромными

ускорителями, занимаются в основном физикой высоких энергий, проникающей еще глубже в недра вещества. — Да, это верно. Но для многих опытов спектроскопистов необходим такой ускоритель, как дубненский синхроциклотрон с энергией протонов 680 миллионов электроновольт. Он дает возможность получать такие изотопы, которые невозможно или очень трудно сделать «обычным путем», т. е. с помощью атомных реакторов или циклотронов, ускоряющих частицы до незначительных энергий. Поэтому основное направление работ дубненских спектроскопистов — исследование ядер, которые образуются при облучении различных веществ на синхроциклотроне.

Соседство с большим ускорителем дало замечательные плоды. За 5 лет работы здесь открыто более сорока новых изотопов. На столе одного из ученых мы увидели не так давно номер международного научного журнала «Физикс леттерс», издающегося в Копенгагене. Одна из статей журнала сообщает об открытии в Дубне новых изотопов туллия-162 и иттербия-162, время полураспада которых, как оказалось, составляет около 20 минут. За такой срок нужно было успеть исследовать ничтожно малые по обычным представлениям количества нового изотопа.

## **в дружной семье**

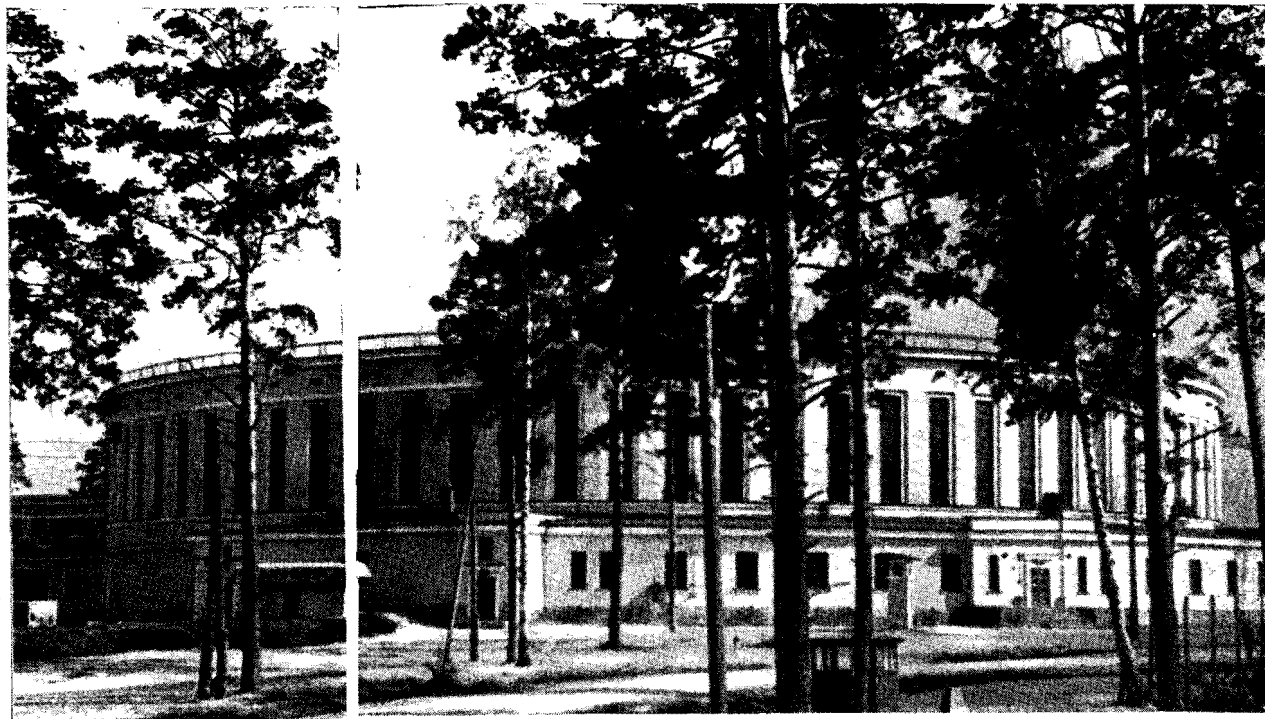
«Открытие новых изотопов — это открытие новых объектов исследований. Если сравнить нашу работу с трудом геологов, то можно сказать, что открытие новых изотопов подобно обнаружению новых месторождений полезных ископаемых», — заметил в беседе с нами руководитель отдела ядерной спектроскопии и радиохимии К. Я. Громов. И это, действительно, так. В новом здании, которое мы сейчас мысленно посетили, не только сообщают открывают новые «месторождения», но и успешно их разрабатывают ученые всех социалистических государств, представленных в Дубне. Вот несколько примеров.

Теоретики с нетерпением ожидали результатов исследования позитронов, образующихся при распаде иттербия-167. Ожидания блестяще оправдались. Получены экспериментальные подтверждения предсказаний советского теоретика В. Г. Соловьева. Следовательно, теоретики могут уверенно идти дальше. Этот цикл работ, приобретших широкую известность, выполнили сообща Герхард Музиоль (ГДР), Желю Желев (Болгария), К. Я. Громов (СССР), Ван Гуан-пэн и Хань Шу-жунь (КНР), Ма Хо Ик (КНДР), В. А. Халкин (СССР). Активное участие в работе принимали ученые из Казахского института ядерной физики.

В других важных исследованиях участвовали советский ученый Е. П. Григорьев, Власта и Иржи Звольские из Чехословакии, Тодор Бэдикэ из Румынии, польский ученый Антони Зелинский.

ЗДАНИЕ СИНХРОФАЗОТРОНА. ЕГО СИЛУЭТ СТАЛ ЭМБЛЕМОЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

## самая большая лаборатория дубны



Гости Дубны, получившие возможность познакомиться со всеми научными подразделениями института, не сразу попадают в Лабораторию высоких энергий. Обычно это бывает уже в самом конце экскурсии. Живописная дорога, пролегающая через густой лес, ведет к комплексу зданий, удаленному от города на 3 километра. Центром лаборатории является ее знаменитый ускоритель — синхрофазотрон на 10 миллиардов электроновольт.

Многие здесь побывали: государственные деятели, ученые, журналисты, писатели. Больше всех, увидев синхрофазотрон, восхищаются ученые. Им наиболее понятно, какие огромные возможности созданы здесь для плодотворной научной работы и какие огромные трудности пужно было преодолеть, чтобы построить такую гигантскую машину.

С этой точки зрения, пожалуй, наиболее характерны высказывания покойного Нильса Бора, бывшего в Дубне в мае 1961 года.

— Для того, чтобы создать такой гигантский и современный инструмент, — заявил Бор, — нужны были огромная прозорливость, смелость и, я бы сказал, мужество.

И в самом деле. Представьте себя на месте творцов синхрофазотрона, проектировавших ускоритель в то время, когда нигде не было ничего подобного.

Выше было сказано о том, что создание подобных ускорителей стало возможным благодаря открытому академиком Векслером принципу автофазировки. Но от изобретения принципа до его овецствления в таких огромных масштабах нужно было пройти огромную дистанцию.

В Физическом институте имени П. Н. Лебедева Академии наук СССР, ставшем родным отцом синхрофазотрона, была создана действующая модель этого ускорителя. Она и сейчас используется для физических экспериментов. Принцип новой машины был вчерне проверен. Но основные трудности были еще впереди.

Прежде всего нужно было считаться с законом перехода количества в качество. Как будут вести себя высокочастотные устройства, магнитное поле, системы вакуума и охлаждения при огромном увеличении всех параметров? Какой нужен фундамент, чтобы резкие броски ускорителя не разрушили все сооружение? Как сделать, чтобы московское энергетическое кольцо смогло выдержать повторяющиеся несколько раз в минуту циклы ускорения, забирающие около 150 тысяч киловатт, что равнялось почти четверти электрической мощности Днепрогэса?

**этого не может  
быть?  
это есть!**

История решения всех этих задач, да и многих других, могла бы явиться темой отдельной увлекательной книги. Подчас это были смелые находки, продвигавшие вперед, казалось бы, совершенно «посторонние» области техники. Вот несколько примеров.

Однажды авторы этой книги оказались в главном зале синхрофазотрона в то время, когда там в качестве экскурсантов были немецкие инженеры, совершавшие поездку по СССР. Тут-то и произошло несколько комическое событие, имеющее прямое отношение к теме нашего рассказа.

Двое участников экскурсии отделились от общей группы и, глядя куда-то вверх, начали оживленно спорить. Потом один из них извлек из кармана записную книжку и углубился в расчеты. Наконец, он захлопнул книжку и убежденно сказал: «Не может быть!».

Как выяснилось, эти два специалиста, инженеры-механики, спорили относительно возможности создания мощных мостовых подъемных кранов, движущихся по концентрическому рельсовым путем. (Одна пара колес катится по внешнему кольцу, а другая — по внутреннему.) Два таких семидесятипятитонных крана вы видите почти на всех снимках синхрофазотрона, а их кольцевые подкрановые пути, отнюдь не являющиеся главной деталью ускорителя, к великой досаде фотографов, всегда оказываются на самом видном месте.

Так вот, тот экскурсант, который прибегнул к помощи своей записной книжки, считал доказанным, что невозможно точно синхронизировать скорость тех колес, которые движутся по наружному рельсовому кольцу, со скоростью колес, идущих по внутреннему кольцу. В результате даже незначительной и, казалось ему, неизбежной несогласованности в скоростях внутренних и внешних колес должны быть разрушены рельсы или срезаны колесные оси.

Спор решила совсем молодая девушка. Она нажала кнопку, раздался звонок «громкого боя» — и под потолком огромного круглого зала пополз по кольцевым рельсам мощный мостовой кран, легко неся к нужному месту электромагнит весом 50 тонн.

Очевидно, и советским механикам в свое время создание таких кранов казалось невозможным. Но краны были необходимы, а кольцевая форма подкрановых путей диктовалась конфигурацией кольцевого магнита ускорителя. И краны были созданы. Техника подъемно-транспортных сооружений шагнула вперед.

**удивительные  
генераторы**

В августе 1958 года гостями Дубны были руководители крупнейших энергетических и электромашиностроительных компаний США во главе с Уолнером Сислером — президентом «Детройт Эдиссон компани», возглавляющим также фирму, строящую атомные реакторы. Эти вершители большого бизнеса почти все были инженерами по образованию и проявили большой интерес главным образом к электротехническому оборудованию.

Войдя в зал главных агрегатов электропитания синхрофазотрона, степенные президенты фирм словно преобразились. С юношеской резвостью подбежали они к огромным машинам, прижали ладони к их серым бокам и замерли в довольно странных позах, к удивлению бывшего их гидом Николая Ивановича Павлова (главного инженера лаборатории).

Мистер Сислер объяснил потом, что их поразила прецизионность изготовления машин. Соединены воедино валы мощного мотора, шестидесятитонного маховика и огромного генератора. Вся эта система вращается с большой скоростью, а электрическая нагрузка генератора несколько раз в минуту изменяется от нуля до максимума. Гости ожидали ощутить сильную вибрацию машин и удивились, когда эти ожидания не оправдались. Такие агрегаты могла дать только отличная промышленность с очень высокой культурой производства. Создание этих агрегатов также было индуцировано строительством синхрофазотрона.

**синхрофазотрон  
строила вся страна**

С совершенно необычными задачами столкнулись и другие специалисты многих отраслей техники. Так, например, специально для синхрофазотрона были сконструированы мощные ртутные выпрямители, каких раньше в нашей стране не делали. Для обеспечения службы охлаждения были построены азотный завод и мощная водонасосная станция на реке Дубне. Никогда раньше в столь большом объеме, как камера синхрофазотрона, не создавался вакуум, доходящий до нескольких миллиардных долей миллиметра ртутного столба. (Советские вакуумщики, решившие эту задачу, установили мировой рекорд, до сих пор никем для таких объемов не превзойденный.) Для работы жидководородных пузырьковых камер потребовались рекордные по производительности окислительные водородные установки.

В 1957 году академик Векслер получил письмо от группы разметчиков одного из крупнейших советских металлообрабатывающих заводов. «Мы, старые разметчики,— писали они,— просим



вас поделиться опытом. Нам приходится размечать крупногабаритные плиты. Но мы не понимаем, как удалось вам с большой точностью разметить магнит весом в 36 тысяч тонн и диаметром в 60 метров». Старые рабочие не знали, что магнит синхрофазотрона не являлся монолитной плитой. Но их удивление точностью сборки магнита нетрудно понять. Ведь если бы гигантский магнит погрешил в точности всего на несколько миллиметров, ускоритель не смог бы работать.

Мы затронули здесь только часть инженерных проблем, возникших при строительстве синхрофазотрона. На самом деле их было гораздо больше и проблемы эти были гораздо глубже. Такая работа была бы не по плечу одному институту или одному заводу. Не будет большим преувеличением, если скажем, что синхрофазотрон строила вся страна. Десятки исследовательских институтов, десятки заводов разрабатывали схемы, технологию, изготавливали детали и узлы, поставляли приборы. Огромную помощь создателям этого ускорителя, как и раньше строителям синхротрона, оказал блестящий специалист в области электротехники профессор Дмитрий Васильевич Ефремов.

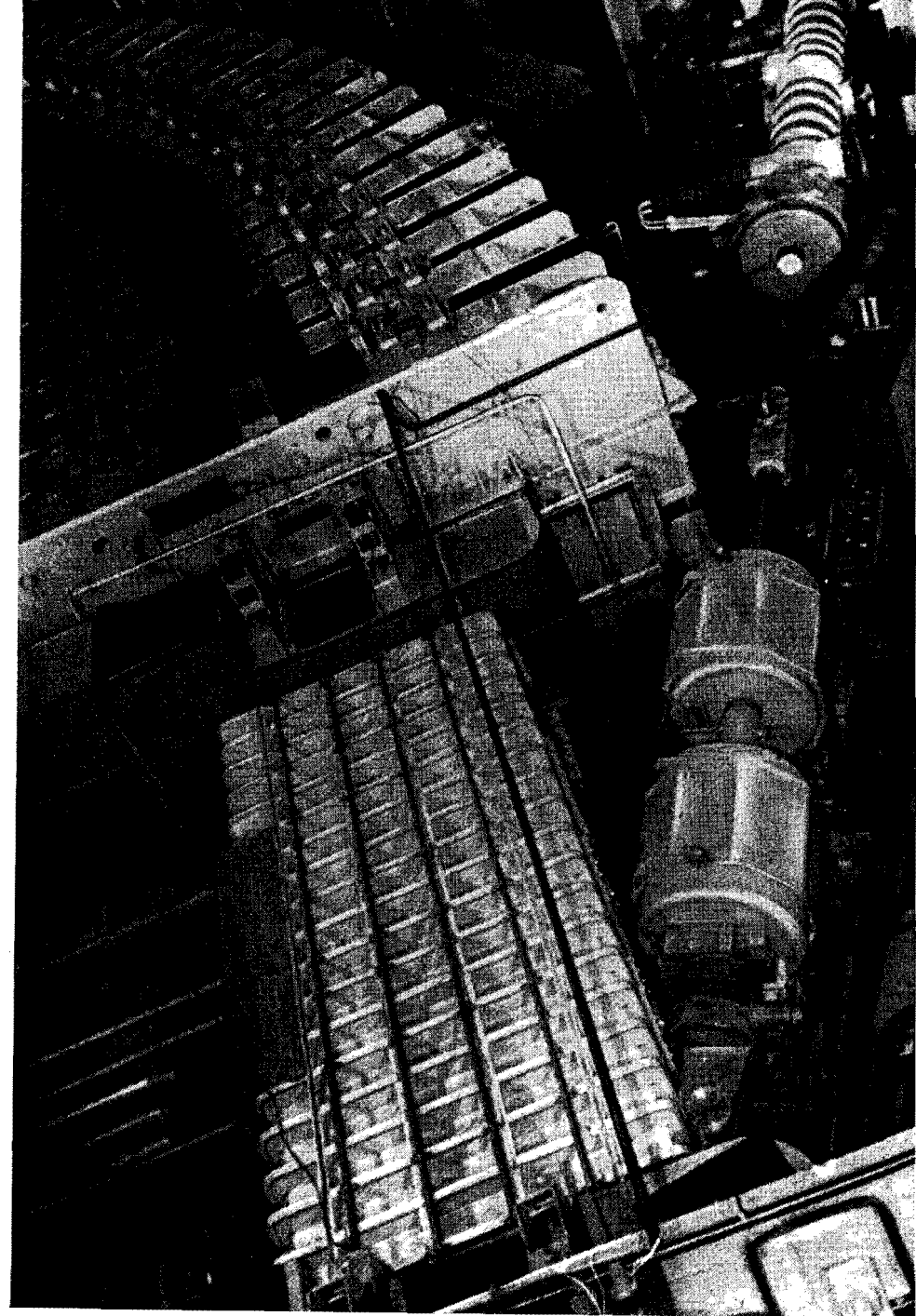
### **ТДС ... что означают эти буквы?**

23 марта 1953 года по решению Советского правительства была создана специальная организация, призванная осуществлять руководство строительством синхрофазотрона, координировать работы, ведущиеся многочисленными научными учреждениями и предприятиями. Эта организация была названа Технической дирекцией строительства ускорителя, или ТДС, как ее тогда называли сокращенно.

Первыми сотрудниками ТДС были главным образом молодые физики и инженеры, недавно окончившие вузы и переведенные сюда из Физического института Академии наук СССР. Директором был В. И. Векслер, а его заместителями по научной части И. В. Чувило и несколько позднее — В. А. Петухов.

Старожилы вспоминают, что когда они с берегов Москва-реки переехали на берег Волги, то их всего было 12 человек и приходилось на них в то время не 12 комнат, не 12 квартир, а 12 домов! Одной из первых задач тогда было заселить эти дома, но не как попало, а первоклассными специалистами в самых различных областях науки и техники. Иными словами, надо было комплектовать кадры людей, способных управлять грандиозной машиной, которая в то время создавалась в густых зарослях корабельного леса.

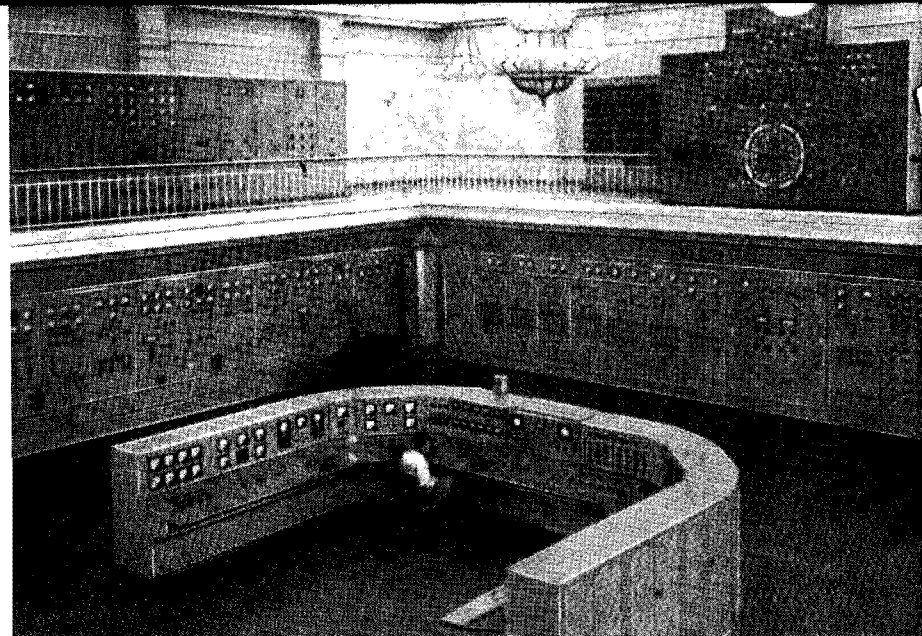
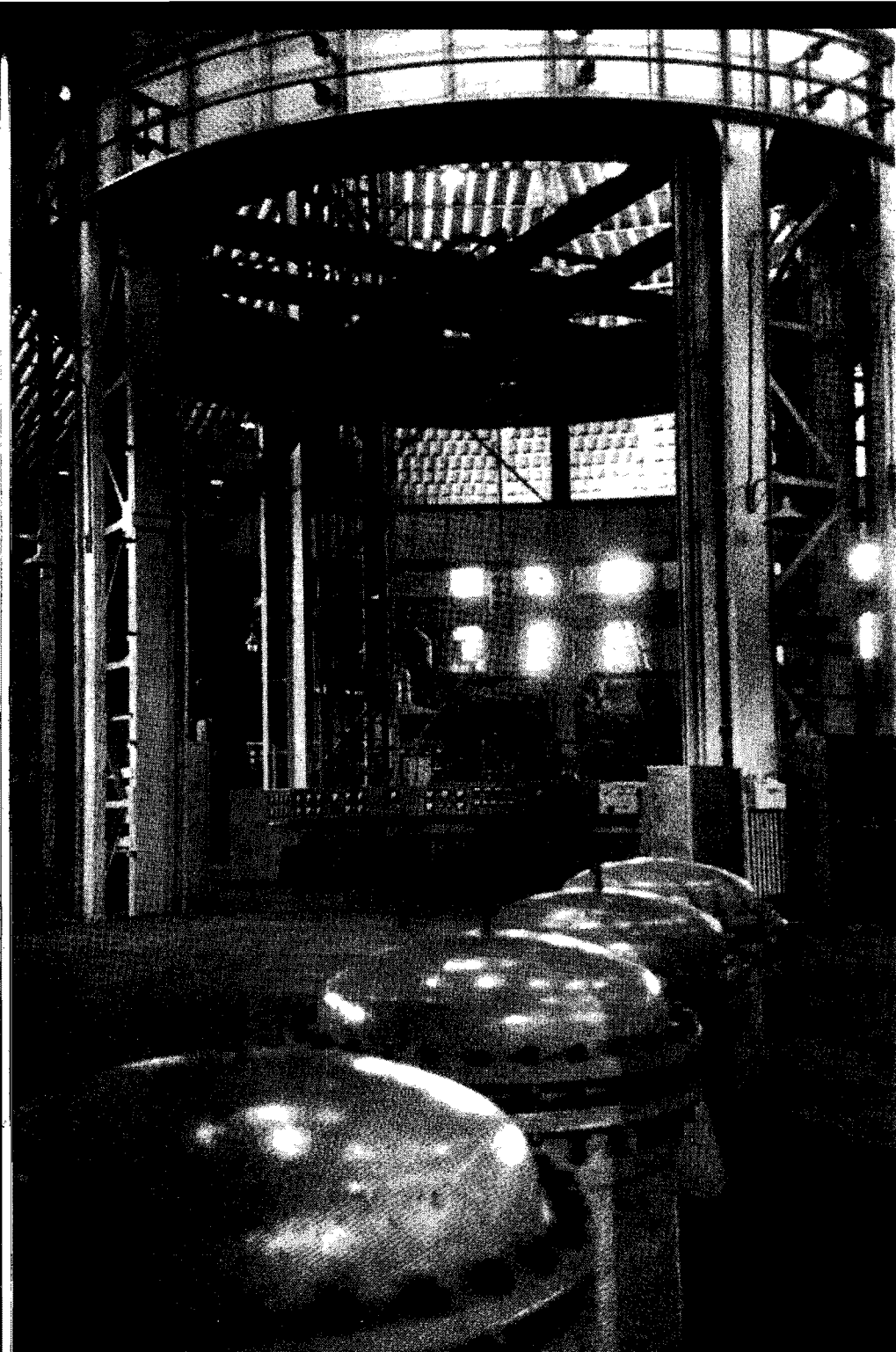
А работа не ждала. Людей было мало. И вот молодые физики и инженеры должны были не только работать по специальности,



ФРАГМЕНТ КОЛЬЦЕВОГО МАГНИТА СИНХРОФАЗОТРОНА.

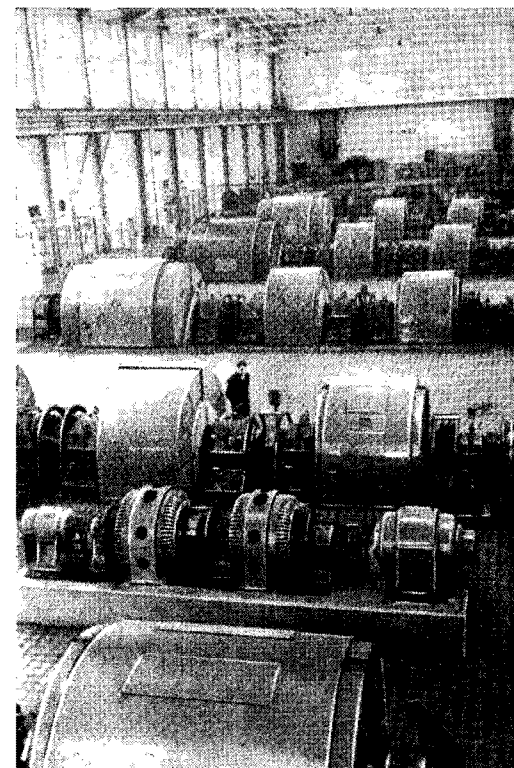


ОБЩИЙ ВИД МАГНИТА.  
КОЛЬЦЕВОЙ МАГНИТ СИНХРОФАЗОТРОНА ВЕСИТ  
36000 ТОНН. ЕГО ДИАМЕТР ОКОЛО 60 МЕТРОВ. ВНУ-  
ТРИ МАГНИТНОГО КОЛЬЦА РАСПОЛОЖЕНА ВАКУУМ-  
НАЯ КАМЕРА УСКОРИТЕЛЯ, В КОТОРОЙ ПРОТОНЫ,  
ПОСТЕПЕННО УСКОРЯЯ СВОЙ БЕГ, РАЗГОНЯЮТСЯ  
ПОЧТИ ДО СКОРОСТИ СВЕТА И ПРИОБРЕТАЮТ  
ЭНЕРГИЮ 10 МИЛЛИАРДОВ ЭЛЕКТРОНОВОЛЬТ.  
ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ СИНХРОФАЗОТРОНА В ЕГО ЗАЛЕ  
НЕТ НИ ОДНОГО ЧЕЛОВЕКА. УПРАВЛЕНИЕ АВТО-  
МАТИЗИРОВАНО И ВЕДЕТСЯ ДИСТАНЦИОННО.



ЗАЛ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРО-  
ФАЗОТРОНА.

МАШИННЫЙ ЗАЛ. ЗДЕСЬ РАЗ-  
МЕЩЕНЫ АГРЕГАТЫ ЭЛЕКТРО-  
ПИТАНИЯ ОБМОТОК МАГНИТА  
(СНИМОР СПРАВА).



ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ КОРПУ-  
СА СИНХРОФАЗОТРОНА. НАЛА-  
ДОЧНЫЙ ПУЛЬТ. ВВЕРХУ ВИД-  
НЫ ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ПЕРИФЕ-  
РИЧЕСКОЕ КОЛЬЦА ПОДКРА-  
НОВЫХ ПУТЕЙ.



ГРУППА УЧЕНЫХ, ОТКРЫВШИХ НОВУЮ ЯДЕРНУЮ ЧАСТИЦУ АНТИСИГМА-МИНУС-ГИПЕРОН (ЗДЕСЬ СФОТОГРАФИРОВАНЫ НЕ ВСЕ УЧАСТНИКИ ЭТОГО ОТКРЫТИЯ). СЛЕВА НАПРАВО: А. МИХУЛ (РУМЫНИЯ), НГУЕН ДИН ТЫ (ДРВ), В. ПЕНЕВ (БОЛГАРИЯ), Е. Н. КЛАДНИЦКАЯ (СССР), ДИН ДА-ЦАО (КИТАЙ), М. И. СОЛОВЬЕВ (СССР).

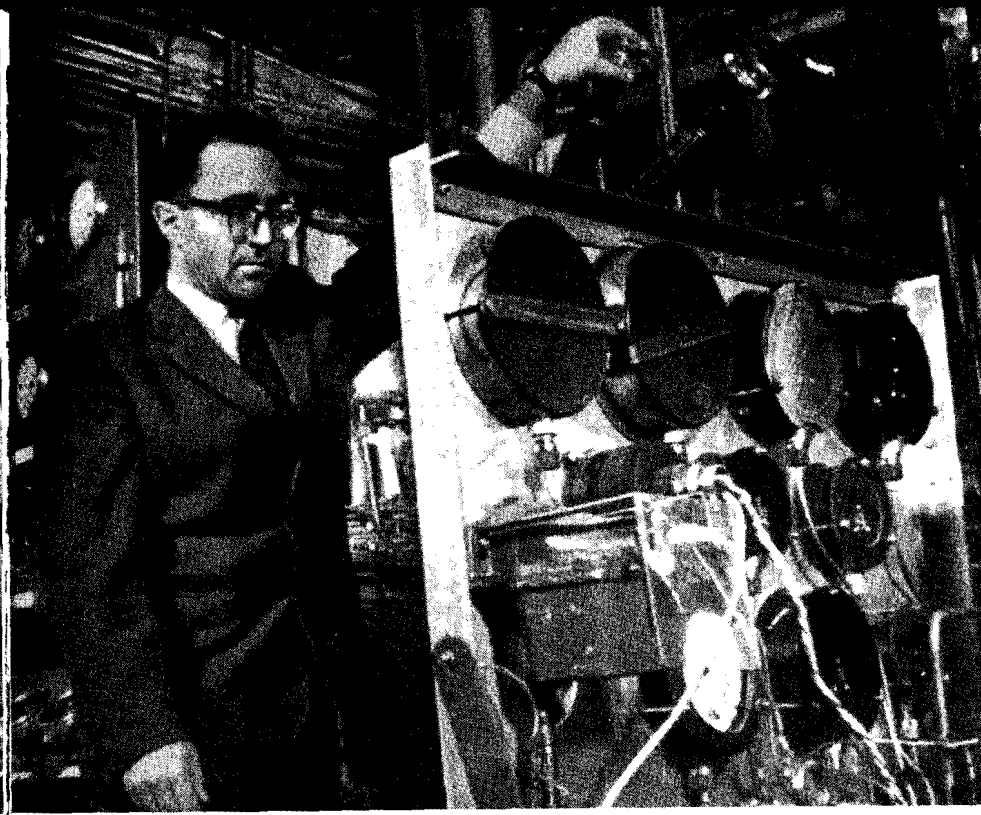
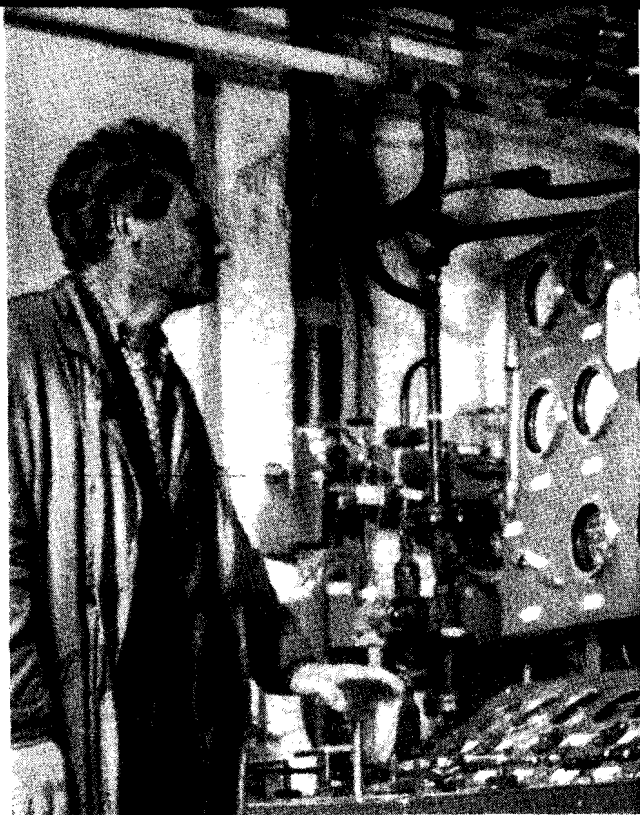


ЧЕХОСЛОВАЦКИЕ СОТРУДНИКИ ИНСТИТУТА МИРОСЛАВ МАЛЫ, ФРАНТИШЕК ЛЕГАР И ОЛДРЖИХ СГОН СОЗДАЛИ ОРИГИНАЛЬНЫЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ПРОСМОТРА СНИМКОВ С ТРЕКОВЫХ КАМЕР. ДАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЙ ОН ЗАПИСЫВАЕТ НА ПЕРФОЛЕНТЕ В КОДЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.



В ЭТОЙ НЕБОЛЬШОЙ ГРУППЕ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОВ СЕГОДНЯ ПРАЗДНИК: ДЕНЬ РОЖДЕНИЯ ЧЕХОСЛОВАЦКОГО СОТРУДНИКА ЯРОСЛАВА ПЕРНЕГРА. НАТАЛЬЯ МЕЛЬНИКОВА ПРЕПОДНЕСЛА ЕМУ ПОДАРОК.

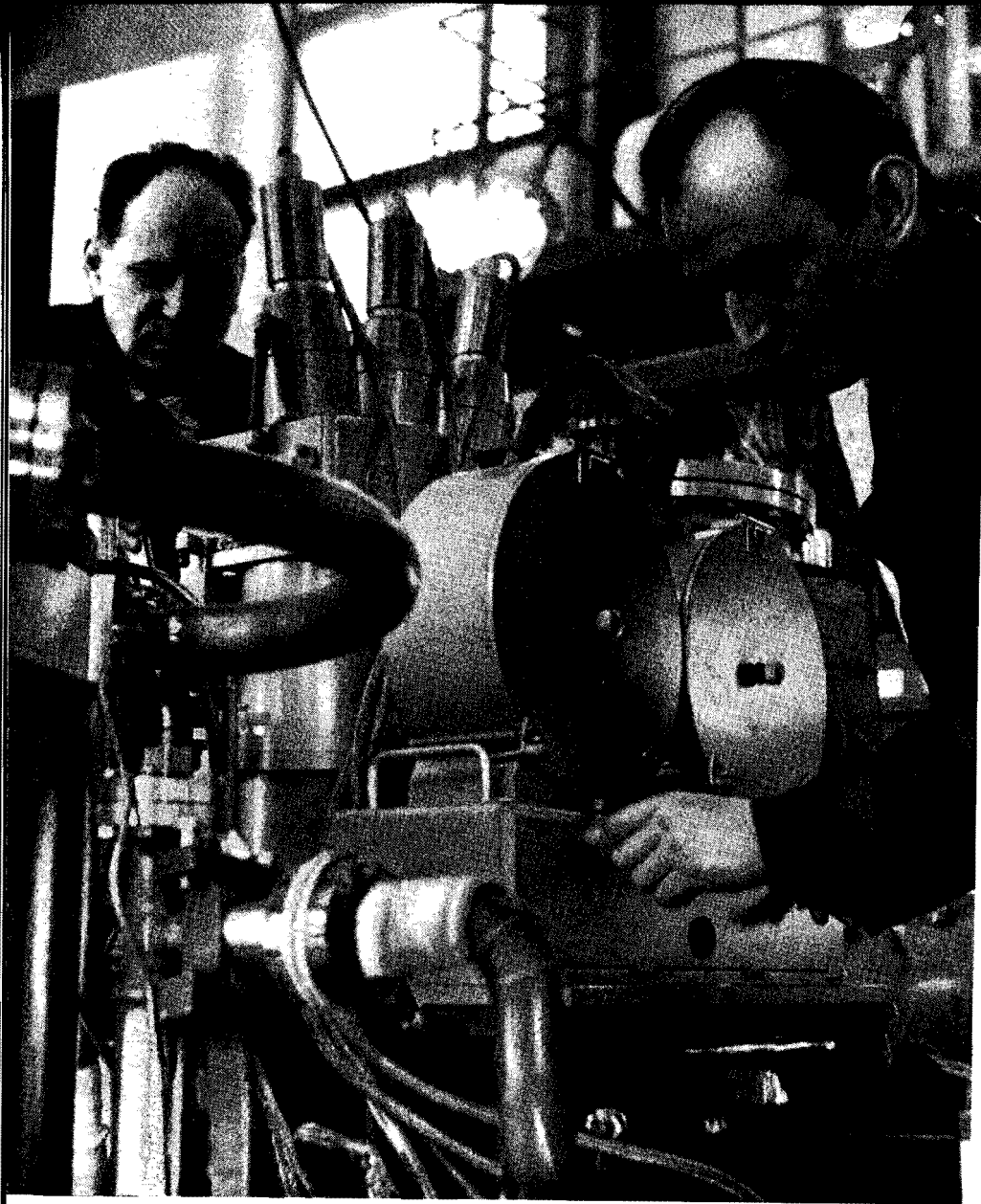
РУКОВОДИТЕЛЬ КРИОГЕННОГО ОТДЕЛА ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ПРОФЕССОР А. Г. ЗЕЛЬДОВИЧ (СПРАВА) У ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОГО ВОДОРОДНОГО ОЖИЖИТЕЛЯ, СНАБЖАЮЩЕГО ЖИДКИМ ВОДОРОДОМ ПУЗЫРЬКОВЫЕ КАМЕРЫ.



СОТНИ ТЫСЯЧ СНИМКОВ ЯДЕРНЫХ «СОБЫТИЙ» ДАЮТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ПРИМЫКАЮЩИЕ К СИНХРОФАЗОТРОНУ. ПЕРВЫМИ ИХ ВИДЯТ УЧАСТНИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА. СЛЕВА НАПРАВО: АНДЖЕЙ ФИЛИПШКОВСКИЙ (ПОЛЬША), АНТОНИН ПРОКЕШ (ЧЕХОСЛОВАКИЯ), И. М. ГРАМЕНИЦКИЙ (СССР).

ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОДНИМ ИЗ НАУЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ РУКОВОДИЛ ПРОФЕССОР ВАЦЛАВ ПЕТРЖИЛКА. УЕХАВ НА РОДИНУ, ОН ОСТАВИЛ В ДУБНЕ МНОГИХ ДРУЗЕЙ. В ТЕЧЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ЛЕТ ОН ВОЗГЛАВЛЯЛ КОМИТЕТ ПО ФОТОЭМУЛЬСИОННОЙ МЕТОДИКЕ, А СЕЙЧАС ЯВЛЯЕТСЯ ЧЛЕНОМ УЧЕНОГО СОВЕТА ИНСТИТУТА.





Р. М. ЛЕБЕДЕВ (СССР) И МИРОСЛАВ МАЛЫ (ЧЕХОСЛОВАКИЯ) НАЛАЖИВАЮТ МЕТРОВУЮ ЖИДКО-ВОДОРОДНУЮ ПУЗЫРЬКОВУЮ КАМЕРУ.

но и выполнять многие, казалось бы, несвойственные им дела. Вместе с монтажниками участвовали они в сборке и наладке отдельных узлов машины, совершенствовались на ходу схемы и приборы, делали тысячи замеров магнитного поля. Эта «работа руками» принесла огромную пользу. Молодые специалисты прекрасно изучили новую технику. Многие из первых сотрудников ТДС стали руководителями ответственных участков.

Да и сама ТДС неузнаваемо изменилась. Вскоре ее штат достиг уже сотен единиц, и появилась необходимость строить не только лабораторные корпуса, но и новые жилые дома. Одновременно с жилищной проблемой возникла проблема детских яслей и садов. Молодежь обзаводилась семьями.

### ТОК ДАН

В 1955 году ТДС была преобразована в ЭФЛАН. Это сочетание букв обозначало: Электрофизическая лаборатория Академии наук СССР. И хотя в то время еще лоси подходили к воротам лаборатории, к тем же воротам протянулась от поселка (Дубна тогда еще не была городом) широкая асфальтовая лента. Начали совершать регулярные рейсы большие красивые автобусы. Сотрудники при виде их говорили: «Совсем как в Москве».

Один за другим сдавались в эксплуатацию все новые и новые корпуса. Электрики переехали из лабораторного здания в энергетический корпус. Вступила в строй водозаборная станция системы охлаждения, и дубненская вода, пробегая по пятисотмиллиметровым трубам, начала работать на науку. Сильный запах аммиака в белоснежном здании азотного завода возвестил о том, что компрессоры уже начали работать, но система нуждается в дальнейшей наладке.

Были дни, когда именинниками ходили электрики. Их руководитель Н. И. Павлов вновь и вновь проверял: все ли готово к приему напряжения 110 тысяч вольт от московского энергетического кольца. Наконец, он еще раз обошел огромные понижающие трансформаторы (каждый мощностью 20 тысяч киловатт) и по телефону сообщил диспетчеру «Мосэнерго», что все готово.

Это не такая простая вещь — подключиться к мощной энергосистеме. Многое нужно было предусмотреть, ко многому приготовиться. Только приняв напряжение, можно было на деле проверить работу всей системы. Позднее Н. И. Павлов рассказывал, что подключение все же не обошлось без неожиданностей. Но персонал главной понизительной подстанции оказался на высоте. Кровь огромного тела ускорителя — электроэнергия уже билась в жилах. Сердце и мозг еще предстояло призвать к жизни.

## гигант переходит на международную службу

Сравнивать отдельные узлы даже очень сложной машины с частями живого организма — рискованная задача. Едва ли можно очень точно определить, где именно находится мозг синхрофазотрона, хотя всем ясно, что он — в энергетическом корпусе, отделенном изрядным расстоянием от самого кольца ускорителя.

Может быть, мозг — это сложнейшие устройства зала электроники, предназначенные для того, чтобы автоматически управлять движением ускоряемых протонов, мчащихся почти со скоростью света. Может быть, мозгом можно назвать зал управления. Собранные здесь тысячи приборов чутко реагируют на работу каждой части ускорителя. Отсюда дистанционно подаются команды, задающие режим ускорителя, изменяющие этот режим. Во всяком случае, вершиной всего и здесь является мозг человека, создавшего гигантский ускоритель и управляющего им.

Но в то время, о котором мы сейчас говорим, управлять, собственно, было нечем. Нужно было налаживать синхрофазотрон, его основные узлы и технические службы.

Наступил 1956 год. В Москве состоялось совещание представителей правительств стран лагеря социализма. Был учрежден Объединенный институт ядерных исследований — международный исследовательский центр. Ему и была передана Электрофизическая лаборатория АН СССР, преобразованная в Лабораторию высоких энергий. Сейчас это самая крупная из пяти лабораторий Объединенного института. Здесь работают советские и зарубежные специалисты.

Но мы опять немного забежали вперед. Весной 1956 года, когда Дубна стала международным научным центром, синхрофазотрон еще находился в стадии наладки. Вместе с тем полным ходом шла подготовка экспериментальной аппаратуры к проведению опытов на ускорителе.

Большую и успешную работу провели сотрудники отдела высокочастотных устройств, руководимые К. В. Чехловым. Они освоили и усовершенствовали невероятно сложные устройства электроники. Много пришлось поработать С. С. Нагдасеву и его сотрудникам, добившимся высокого и надежного вакуума.

Наконец, ранней весной 1957 года наступили дни, когда именинником можно было назвать Л. П. Зиновьева. Теперь он доктор технических наук, начальник отдела синхрофазотрона. А в те исторические дни у него был более редкий титул — главный запускающий. К нему сходились все нити. Он дирижировал сложной и многообразной работой физиков, электриков, радистов, механиков — всех тех, кто стремился скорее вдохнуть жизнь в чудесное творение ума и рук человеческих — синхрофазотрон.

11 апреля 1957 года синхрофазотрон дал пучок протонов, ускоренных до проектной энергии — 10 миллиардов электронвольт. Впервые в истории техники человек искусственно получил частицы такой энергии. Это было огромной победой. Советская наука и промышленность выдержали трудный экзамен. Ученые стран социализма получили инструмент, равного которому не было ни в одной лаборатории мира. Перед ними открылась возможность проводить эксперименты, позволяющие проникать в сокровенные тайны строения материи.

Группа советских ученых во главе с академиком В. И. Векслером за создание синхрофазотрона была удостоена Ленинской премии. Все понимали, что эта награда — высокая оценка также и труда коллективов институтов и заводов, принимавших участие в создании ускорителя.

## говорит академик векслер

Что нового произошло в Лаборатории высоких энергий? Каких достижений добился ее коллектив за годы, прошедшие после пуска синхрофазотрона? Для ответа на эти вопросы предоставим слово академику Векслеру. Вот что писал он в городской газете Дубны в связи с десятилетием лаборатории. (Цитируем с сокращениями.)

«Несмотря на очень короткий для научного учреждения срок, Лаборатория высоких энергий быстро стала пользоваться международной известностью. Достаточно напомнить, что в этой лаборатории была впервые открыта новая частица антисигма-минус-гиперон, впервые установлен действующий при столкновениях в области высоких энергий общеизвестный сейчас закон инерции барионного заряда, установлено существование двух пиков в импульсном распределении лямбда-гиперонов, изучены угловые характеристики генерации гиперонов. Впервые в лаборатории был установлен быстрый рост сечения генерации К-мезонных пар с энергией, обнаружено (при сильных взаимодействиях) рождение резонансных состояний пи-мезонов, распадающихся с испусканием гамма-фотонов, и ряд новых резонансных состояний странных частиц. Изучен ряд закономерностей распада нейтральных К-2-мезонов, в частности установлен новый тип распада (распад с участием нейтральных мезонов). С помощью остроумной методики получены совершенно новые данные о рассеянии нуклонов на очень малые углы при больших энергиях.

Впервые поставлены весьма тонкие опыты по «лобовым» соударениям пи-мезонов и нуклонов (рассеяние на 180 градусов).

Ряд важных достижений имеет коллектив лаборатории и в области разработки новых методов исследования. М. Г. Шафра-



новой, Э. Н. Цыгановым и другими была разработана получившая широкое распространение среди всех лабораторий мира методика перпендикулярного облучения фотопластинок.

Методика рассеяния в тонких слоях, предложенная В. А. Никитиным и В. А. Свиридовым, позволила получить совсем новые данные о рассеянии нуклонов. Большие перспективы имеет оригинальный метод использования камеры Вильсона, разработанный Л. Н. Струновым. Вот по необходимости очень краткий и сжатый перечень тех основных научных результатов, которые сделали Лабораторию высоких энергий широко известной как у нас, так и за рубежом. Отрадным является тот факт, что практически все указанные достижения связаны с именами совсем молодых ученых, пришедших в лабораторию из университетов, учебных институтов нашей страны и братских социалистических стран за последние 5—6 лет.

К поколению старших ученых, которых лаборатория обязана вспомнить в день своего десятилетия и которым обязана многими из своих достижений, относятся профессор Ван Ган-чан (КНР), профессор В. Петржилка (ЧССР), доктор П. Марков (Болгария). Много ценного дало нам непродолжительное пребывание у нас профессора М. Даныша (Польша). Обширные и тщательные исследования, выполненные М. И. Соловьевым, Е. Н. Кладницкой, Нгуен Дин Ты (ДРВ), А. А. Кузнецовым, Н. М. Вирясовым, М. Н. Хачатуряном, А. Л. Любимовым, Э. О. Оконовым, И. А. Савиным, И. М. Граменицким, В. С. Ставинским, А. С. Вовенко, китайскими сотрудниками Дин Да-цао, Ван Цу-дземом, Ван Юн-чаном, корейским физиком Ким Хи Ином, румынским ученым А. Михулом, польскими физиками Томашем Хофмоклем и другими, чешскими специалистами И. Враной и другими (я не могу перечислить их всех), показывают, что научный отдел лаборатории превратился в настоящую кузницу научных кадров, способных самостоятельно прокладывать новые пути в таком трудном разделе современной физики, как физика элементарных частиц и высоких энергий...

К молодым ученым, конечно, следует отнести и И. В. Чувило, М. И. Подгорецкого, А. Л. Любимова, которые внесли решающий вклад как в подготовку научной молодежи, так и в те замечательные достижения, которые я вкратце перечислил выше.

Наряду с напряженной исследовательской работой в лаборатории успешно решаются задачи создания самой современной аппаратуры для физических исследований. Отделу новых научных разработок, и в первую очередь руководителю этого отдела Ю. А. Каржавину, принадлежит в этом деле очень большая заслуга. Работе товарищей Ю. А. Каржавина, Н. И. Малашкевича, А. С. Гаврилова и многих других молодых инженеров мы обязаны тем, что лаборатория сейчас оборудована автоматами для просмотра фотоснимков с пузырьковых камер. Созданы полуавтоматы,

создана и настраивается такая уникальная аппаратура, как электростатические сепараторы для К-мезонов и для антипротонов. Большая работа проведена группой инженеров и физиков под руководством И. Н. Семенюшкина, создающих совершенно новый тип сепаратора — высокочастотный сепаратор антипротонов на 5 миллиардов электроновольт. Много творческого труда вложили в этот сепаратор С. В. Мухин, В. Л. Степанюк, В. А. Вагин, Ю. А. Бычков и другие инженеры и техники. Создание электростатических сепараторов — дело изобретательности и огромного труда В. В. Миллера, А. Д. Кириллова, С. И. Воробьева, А. М. Фролова, О. Н. Цисляка и ряда других специалистов, нашедших новые решения, впервые осуществляемые в лаборатории.

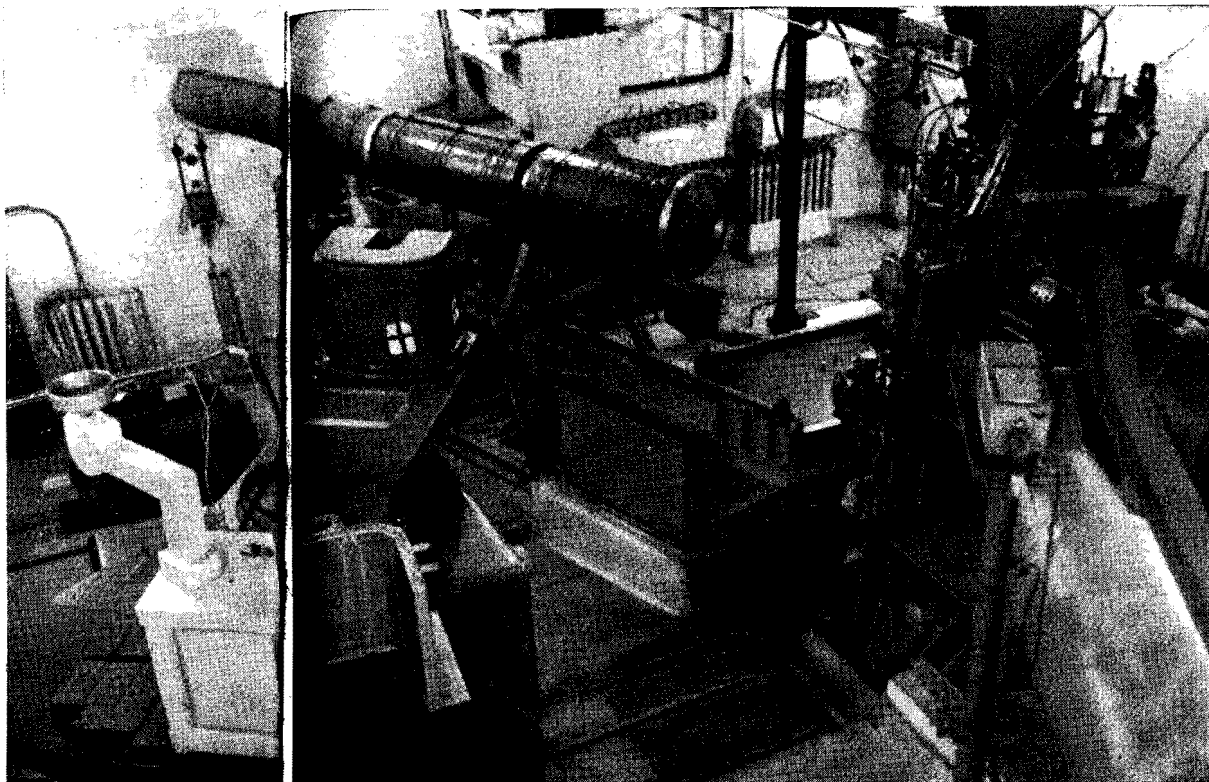
Лаборатория высоких энергий по праву гордится своим криогенным отделом. Руководитель отдела профессор А. Г. Зельдович, один из ведущих специалистов нашей страны в этой области, в короткий срок сумел создать прекрасный коллектив, решивший ряд труднейших задач криогенной техники. Криогенный отдел лаборатории известен далеко за пределами Дубны...

Большой, хотя со стороны и не так бросающийся в глаза путь, проделали все эксплуатационные отделы лаборатории. Силами эксплуатационных отделов за это время переделана по существу вся автоматика и внедрено много новых систем, обеспечивающих слаженный режим работы огромного числа разнообразных агрегатов, участвующих в работе ускорителя...

Мастерские лаборатории освоили изготовление сложнейшей и уникальнейшей аппаратуры. Разнообразие этой аппаратуры легко видеть из того перечня установок, используемых в лаборатории, о которых я уже говорил выше. От автоматов для просмотра снимков с их сложнейшей электронной и оптической аппаратурой до сепараторов, размеры полированных пластин которых достигают многих десятков метров, — вся эта работа не могла бы быть выполнена, если бы замечательные механики, токари, слесари, оптики не отдавали всех своих творческих сил работе. В настоящее время мы достигли такого положения, когда наши мастерские могут сделать буквально любой физический прибор почти независимо от масштабов этого прибора. Лучшим примером этого является создание двухметровой пропановой камеры<sup>6)</sup> и метровой водородной камеры, которые изготовлены с помощью заводов нашей страны силами наших замечательных мастерских. Наши мастерские — это золотой фонд лаборатории. Мы можем смело ставить перед лабораторией любые задачи, так как знаем, что изобретательность и творчество наших инженеров, техников, рабочих сумеют преодолеть все трудности».

<sup>6)</sup> Двухметровая пропановая пузырьковая камера, вступившая в эксплуатацию в 1965 году, — самая большая в мире камера этого рода (по длине пробега частиц, а следовательно, и по эффективности их регистрации).

ЗАЛ ИМПУЛЬСНОГО РЕ-  
АКТОРА НА БЫСТРЫХ  
НЕЙТРОНАХ.



## снова впервые в мире

Лаборатория нейтронной физики — одна из самых молодых лабораторий Объединенного института ядерных исследований. О других коллективах Дубны, о гигантском синхрофазотроне, о первооткрывателях новых ядерных частиц и о многом другом неоднократно сообщали газеты почти всех стран. А эта лаборатория известна пока главным образом специалистам-нейтронщикам. Еще сравнительно недавно со скоростью пять тысяч ударов в минуту начало биться ее могучее сердце, надежно закованное в непроницаемую толщину бетона, стали и свинца, — импульсный реактор на быстрых нейтронах.

Руководит Лабораторией нейтронной физики ее директор — лауреат Нобелевской премии 1958 года член-корреспондент АН СССР Илья Михайлович Франк. Мы попросили его кратко рассказать об импульсном реакторе — главной и совершенно необычной машине, являющейся основой, вокруг которой строится экспериментальная работа коллектива. И вот что мы узнали.

Реактор лаборатории построен специально для научных исследований в области физики. Для этой цели советскими специ-

алистами была разработана конструкция, весьма необычная с точки зрения реакторной техники. Реактор отличается от всех существующих и приспособлен для изучения ядер методами нейтронной спектрометрии, а также для исследований структуры вещества.

Большинство существующих реакторов дает непрерывный во времени поток нейтронов. Чем больше выделение энергии в единице объема реактора, тем более интенсивные пучки нейтронов могут быть получены. При этом физики всегда заинтересованы в использовании больших потоков нейтронов. Однако повышение мощности реактора усложняет и удорожает не только его конструкцию, но также и его эксплуатацию. Оно ведет к увеличению расхода ядерного горючего и возрастанию активности образующихся в реакторе радиоактивных веществ, что требует дополнительных мер защиты.

Для многих физических исследований реактор ИБР<sup>9)</sup> Объединенного института дает большие возможности, чем мощные реак-

<sup>9)</sup> ИБР — импульсный реактор на быстрых нейтронах.

торы обычных систем. В то же время он свободен от некоторых их недостатков. Это объясняется тем, что ИБР — реактор не непрерывного действия, а импульсный. Он создает короткие мощные вспышки нейтронного излучения. Непрерывный поток нейтронов из реактора нужен не во всех случаях. Поэтому зачастую физики ставят на пути нейтронов, выходящих из обычного реактора, так называемые механические селекторы, которые преграждают путь нейтронам, периодически открывая его на короткие промежутки времени. У таких механических затворов имеются существенные недостатки — они пропускают мало нейтронов и не полностью закрывают путь излучению в остальное время. Следовательно, для ряда исследований большая мощность нужна только в тот момент, когда путь нейтронам открыт. Если же сделать установку импульсной, то необходимость в селекторах отпадает. Для этих целей физики уже давно пользуются ускорителями, которые создают периодически повторяющиеся короткие импульсы излучения. Такие ускорители называют мигающими. Что касается «мигающих» реакторов, то их до последнего времени не существовало.

## первый мигающий

Реактор ИБР Объединенного института — это первый в мире «мигающий» реактор. Он создает вспышки нейтронного излучения длительностью всего четыре стотысячных секунды, которые повторяются через равные промежутки времени. Частоту повторения импульсов можно менять в зависимости от требований эксперимента. (Обычно в этом реакторе используется от 5 до 80 импульсов в секунду.) В момент вспышки реактор дает излучение такое же, как обычный реактор мощностью в десятки тысяч киловатт. Что касается средней мощности, определяющей выделение в нем тепла, расход горючего и накопление радиоактивных отходов, то она всего около киловатта, т. е. очень мала. Такой реактор, разумеется, не является универсальным. Однако он не только лишен ряда недостатков мощных реакторов, но для некоторых работ значительно удобнее их.

Создание мигающего реактора не было простой задачей, т. к. обычные реакторы невозможно приспособить для этой цели. Дело в том, что в процессах, происходящих в реакторе, участвует два вида нейтронов: мгновенные и так называемые запаздывающие. Запаздывающие нейтроны затрудняют быстрое изменение мощности в реакторе, но тем самым делают его легко управляемым. Чтобы мощность в реакторе нарастала очень быстро, что необходимо для получения коротких импульсов, нужно сделать реактор надкритическим для мгновенных нейтронов. В обычном реакторе это равносильно аварии. Хорошо известно, что цепной процесс на

мгновенных и притом быстрых нейтронах, осуществляемый в таких веществах, как уран-235 или плутоний-239, характерен для атомного взрыва. Перед советскими учеными и инженерами стояла задача — сделать этот процесс управляемым, чтобы использовать его для исследований целиком в мирных целях. Это полностью удалось.

## активная зона вращается

Чтобы понять особенности реактора ИБР, необходимо сказать несколько слов о существующих импульсных реакторах. В печати есть, например, описание импульсного реактора, построенного в США и названного «Леди Годайва». В нем к делящемуся веществу быстро добавляется, как бы «выстреливается» в него, небольшой довесок из тоже делящегося вещества. Реактор становится надкритическим. В результате цепной процесс в нем сначала быстро нарастает, но затем обрывается в результате разогрева. Такой реактор, очевидно, не пригоден для поставленной задачи. В нем нельзя получать периодические и достаточно часто повторяющиеся импульсы излучения. Не менее существенны также и другие его недостатки: реактор плохо управляем. Возможность аварии в такой конструкции далеко не исключена.

При конструировании реактора ИБР был избран иной путь. И хотя в принципе он очень прост, однако потребовал преодоления множества трудностей. Расщепляющееся вещество разделено в реакторе на две различные части — неподвижную и подвижную зоны. Неподвижная зона состоит из двух кассет, содержащих плутоний. Эти кассеты неподвижно закреплены. В щель между ними заходит край большого стального диска диаметром около метра, установленного на оси. В этот диск вблизи его периферии вмонтирован вкладыш из урана-235 (подвижная зона). Во время работы реактора диск вращается со скоростью 5000 оборотов в минуту, и при каждом его повороте урановый вкладыш проходит между кассетами с плутонием. В этот момент коэффициент размножения нейтронов резко возрастает, но на очень короткий промежуток времени, т. к. вкладыш быстро движется. Специальное устройство, регулирующее режим реактора, позволяет сделать так, чтобы при прохождении подвижной зоны через неподвижную реактор становился надкритическим для мгновенных нейтронов. При этом возникает короткая вспышка нейтронного излучения длительностью, как уже сказано, несколько стотысячных долей секунды. Хотя реакция здесь осуществляется на быстрых и притом мгновенных нейтронах, реактор не только безопасен в работе, но его система управления позволяет регулировать цепной процесс не хуже, чем в обычном реакторе.

Здесь для краткости изложения рассказано лишь о принципиальной схеме реактора. Не упоминается, например, о специальном устройстве, позволяющем менять частоту повторения импульсов без изменения их продолжительности, и о многом другом.

Реактор начал работать в июле 1960 года и с этого времени используется в исследованиях по нейтронной физике, которые ведут в Дубне ученые социалистических стран.

Разработка и строительство такого реактора — это, разумеется, коллективный труд ряда научных учреждений. Нет возможности перечислить всех тех, кто участвовал в нем, и даже перечень основных исполнителей не может быть кратким. Конструирование нового реактора началось в 1955 году. Оно проводилось по инициативе Д. И. Блохинцева коллективом физиков и инженеров Физико-энергетического института Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР. Необходимо упомянуть здесь имена Ю. Я. Стависского, Ю. А. Блюмкиной, И. И. Бондаренко, В. П. Зиновьева, О. Д. Казачковского, Н. В. Красноярова, А. И. Лейпунского, В. А. Малых и Ф. И. Украинцева. Большую работу по проектированию и изготовлению различных узлов реактора провели специалисты других институтов, среди которых в первую очередь следует назвать товарищей Г. Е. Блохина, А. С. Займовского, П. М. Назарова. Разумеется, весьма многое сделано сотрудниками Объединенного института. Среди них прежде всего инженеры С. К. Николаев, Б. Н. Дерягин, Б. Н. Бунин, А. К. Попов, Б. Е. Лоцилов, С. А. Квасников, В. И. Назаров, В. Д. Ананьев. Много работы было у физиков и специалистов по электронике Д. И. Блохинцева, Ф. Л. Шапиро, Ю. С. Язвицкого, Г. И. Забиякина, В. И. Лущикова, Г. С. Самосвата, А. Б. Попова, Рим Хен Бона и Е. П. Шабалина. Если попытаться назвать здесь всех, кто внес полезный вклад в проектирование и сооружение реактора, в его исследование, расширение возможностей его использования, то пришлось бы этот список увеличить еще во много раз.

## **приглашаем вас осмотреть реактор**

Теперь, когда профессор И. М. Франк рассказал нам об устройстве реактора, об его истории, совершим экскурсию, осмотрим реактор вместе с нашими читателями. Прежде всего зайдем в здание, где находится пульт управления.

...Осциллографы, самописцы, циферблаты, кнопки и сигнальные лампочки. Кажется, невозможно разобраться во всем этом техническом богатстве, заполнившем небольшой зал пульта. Но, благодаря терпеливой помощи дежурного инженера, постепенно начинаешь понимать, что все здесь подчинено стройной системе.

Рассмотрим работу реактора сквозь «лупу времени».

Вот, в центре, главные приборы управления. Нажим кнопки — и в здании реактора за 230 метров отсюда начинает вращаться ротор, все более набирая скорость. Еще движение — и послушно поползут вверх регулирующие стержни. Приборы точно показывают их положение. Дремлющий атомный зверь пробуждается. Все новые силы вливаются в его огненные мускулы. Об этом говорит стрелка самопишущего прибора — указателя мощности. Она ползет вправо, оставляя за собой на разграфленной бумаге красный след диаграммы.

«Переходим на автоматическое управление!» — эта команда как бы загипнотизировала стрелку самописца. Она перестала дергаться и теперь уверенно чертит плавную колеблющуюся линию. Люди могут передохнуть: им помогает автомат. Сложный электронный прибор замеряет каждый импульс, сравнивает его с предыдущим и последующим, мгновенно анализирует ситуацию и делает свои четкие выводы в форме безукоризненно правильных команд на нужные исполнительные механизмы.

Всемогущая электроника! Электронный мозг успевает задавать тысячи вопросов тысячам датчиков. Он успевает проверить исправность контрольных устройств. Он вовремя анализирует все ответы и со скоростью, недоступной человеку, вновь дает свои команды.

«А исправлен ли я сам?» — это последний вопрос, который задает автомат в конце цикла проверок. Если бы ответ оказался отрицательным, произошло бы переключение на дублирующую систему. Но такие случаи бывают очень редко. Система работает с высокой надежностью.

А что же человек? Человек по-прежнему главенствует и над умными приборами, которые он создал себе в помощь, и над огненными силами, которые он покорил и заставил работать на благо людей.

— Взгляните на этот щит, — говорит старший инженер, — это дозиметрическая сигнализация. Сюда тянутся провода из всех помещений. Любая из этих лампочек загорится, если в месте, которое она обозначает, возникает повышенная радиоактивность. Эти же устройства в случае необходимости сами останавливают реактор. Но сигналы молчат. Опасности нет. Чуткие приборы охраняют здоровье людей.

## **что показал перископ?**

Четверть километра отделяет помещение пульта от главного здания реактора, похожего по архитектуре на здание обычной электростанции. Мы спешим туда, к главной цели этой увле-

кательной экскурсии. Но прежде надо преодолеть препятствие: по стальной лестнице перебраться через бетонную галерею нейтронновода.

Легко повернулся ключ в дверном замке. Мы очутились в пустом кубообразном помещении без окон. Идем к противоположной стене. Открывается еще одна дверь — и снова такое же помещение. Теперь от самого реактора нас отделяет только толщина бетонной защиты и дверь весом в десять тонн. Непривычный плакат: «Вход в зал без тапочек запрещен!» При чем здесь тапочки? Для того чтобы не портить пластикат, покрывающий пол, чтобы поддерживать чистоту.

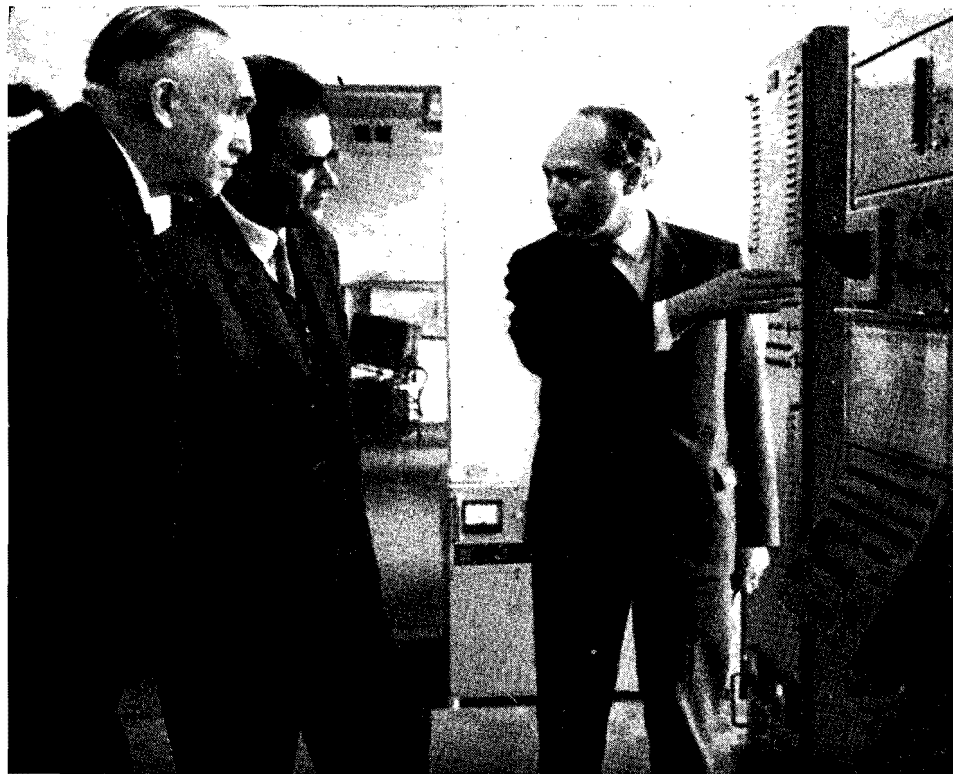
Но сегодня в зал вообще нельзя входить: там повышенная радиоактивность. И все же на реактор посмотреть можно — к нашим услугам настоящий морской перископ. Зигзагообразная форма его трубы предохраняет наблюдателя от воздействия нейтронов.

Однако блестящий глаз перископа мертв. Ничего не видно... Резкий щелчок реле за спиной — потоки света заливают зал. Теперь он как на ладони. Изящное тело реактора — точно в центре. Он недвижим, и только усилием воображения можно заставить себя вспомнить о грозной мощи этого компактного агрегата, покоренной человеком.

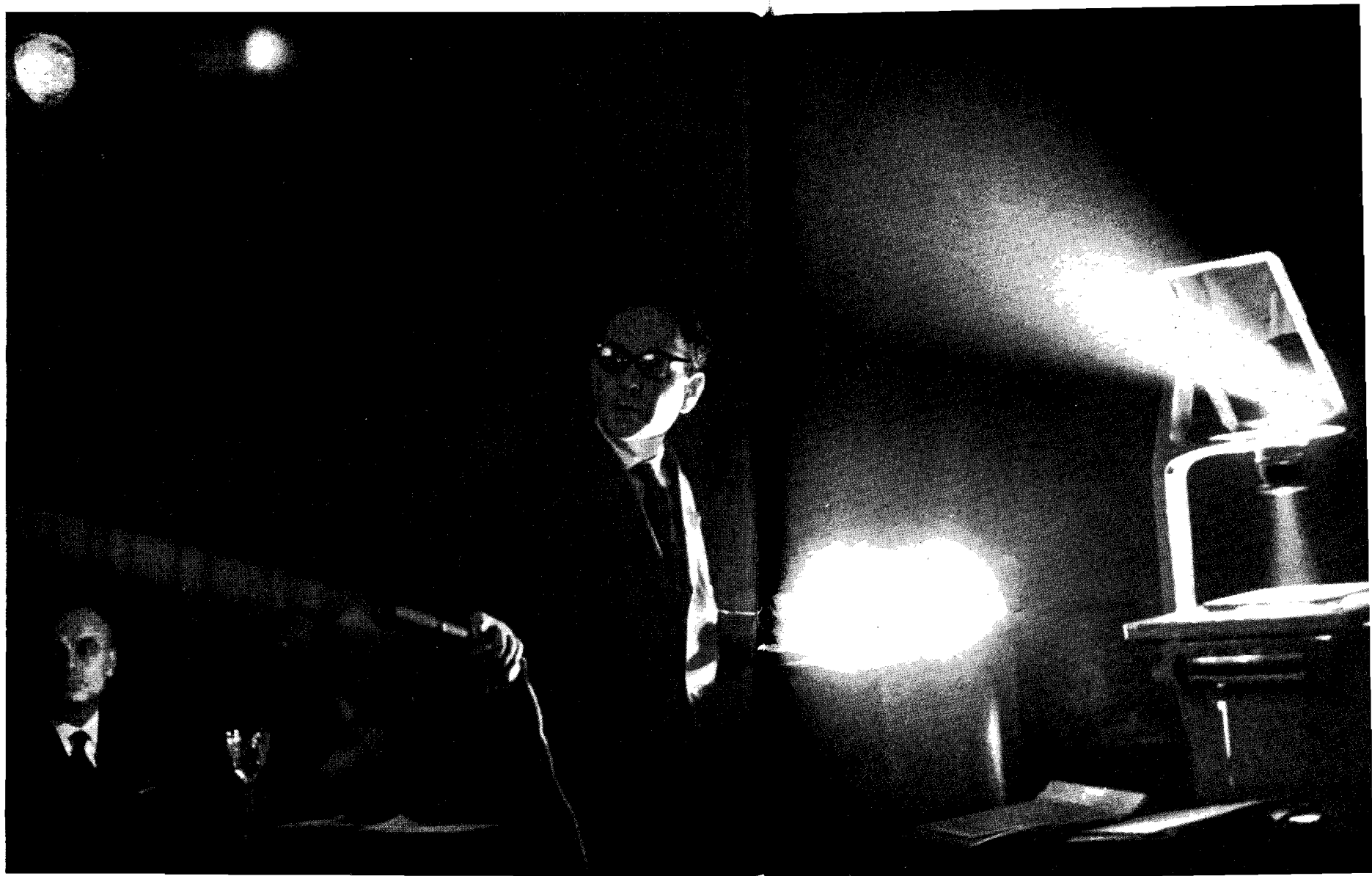
## **нейтроны можно сосчитать**

Из мрачного каземата перископной переходим в светлый зал измерительного павильона. Сюда выходят каналы, выведенные из реактора. Узкие их жерла закрыты непроницаемыми кубами заглушек,двигающихся по рельсам. Если одна из заглушек отъедет в сторону, пучок нейтронов устремится в исследовательские приборы, стоящие на его пути. А как же потом? Нейтроны вырвутся из здания? Не тут-то было! Их поглотит нейтронная ловушка.

Конечно, самым интересным из десяти каналов реактора является тысячеметровая труба нейтронновода, проходящая по галерее. Чтобы нейтроны в ней могли свободно двигаться, воздух из трубы непрерывно откачивается. В экспериментальном зале и во многих измерительных павильонах на пути нейтронов, в том числе и в конце тысячеметрового нейтронновода, размещена измерительная аппаратура. Она регистрирует излучение, анализируя его свойства, «раскладывая» эти сведения по тысячам ячеек воображаемой картотеки. Впрочем, о методах анализа и обработки экспериментальных данных, мы вам еще расскажем. Эти методы имеют большое значение не только для этой лаборатории и не только для Дубны. Но об этом вы прочтете там, где мы говорим о первом измерительном центре. А сейчас предоставим слово профессору Шапиро.



ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА ЛАБОРАТОРИИ  
ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК  
Ф. Л. ШАПИРО ПОКАЗЫВАЕТ АППАРАТУРУ  
ЧЛЕНАМ УЧЕНОГО СОВЕТА ПРОФЕССОРУ  
Г. НЕВОДНИЧАНСКОМУ (ПОЛЬША)  
И ПРОФЕССОРУ Л. ПАЛУ (ВЕНГРИЯ).

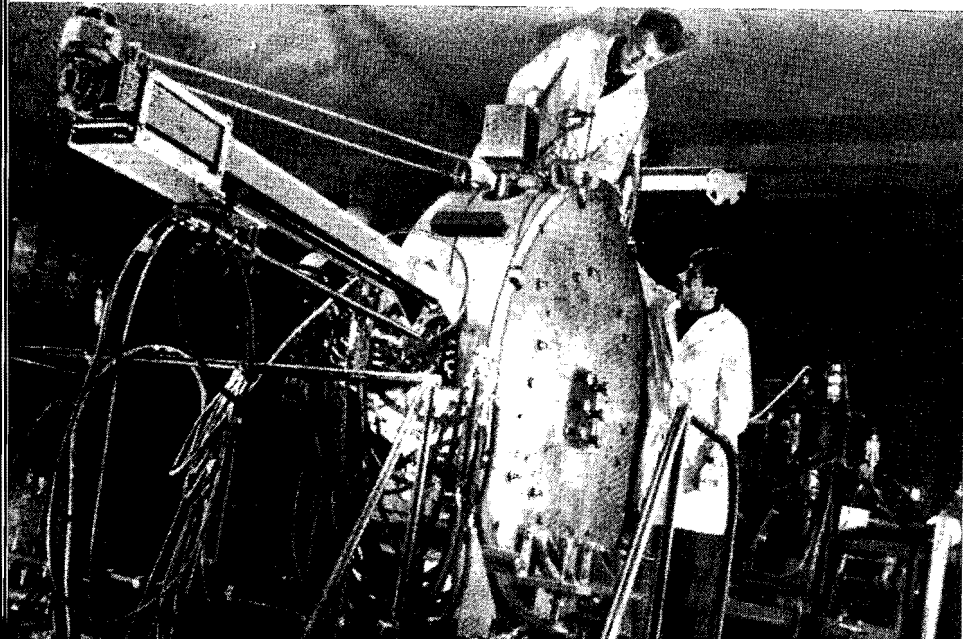


ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР И. М. ФРАНК ДОК-  
ЛАДЫВАЕТ УЧЕНОМУ СОВЕТУ О НОВЫХ РАБОТАХ  
ЛАБОРАТОРИИ. СЛЕВА — ПРОФЕССОР ЭМИЛЬ ДЖА-  
КОВ (БОЛГАРИЯ).

ВСЕ УСТРОЙСТВА  
РЕАКТОРА УПРАВ-  
ЛЯЮТСЯ ДИСТАН-  
ЦИОННО С ЦЕНТ-  
РАЛЬНОГО ПУЛЬТ-  
ТА. ПУЛЬТ УПРАВ-  
ЛЕНИЯ СОЧЕТАЕТ  
В СЕБЕ ДОСТИЖЕ-  
НИЯ АВТОМАТИ-  
КИ, ЭЛЕКТРОНИ-  
КИ И КИБЕРНЕ-  
ТИКИ.



ОБЩИЙ ВИД МИКРОТРОНА.

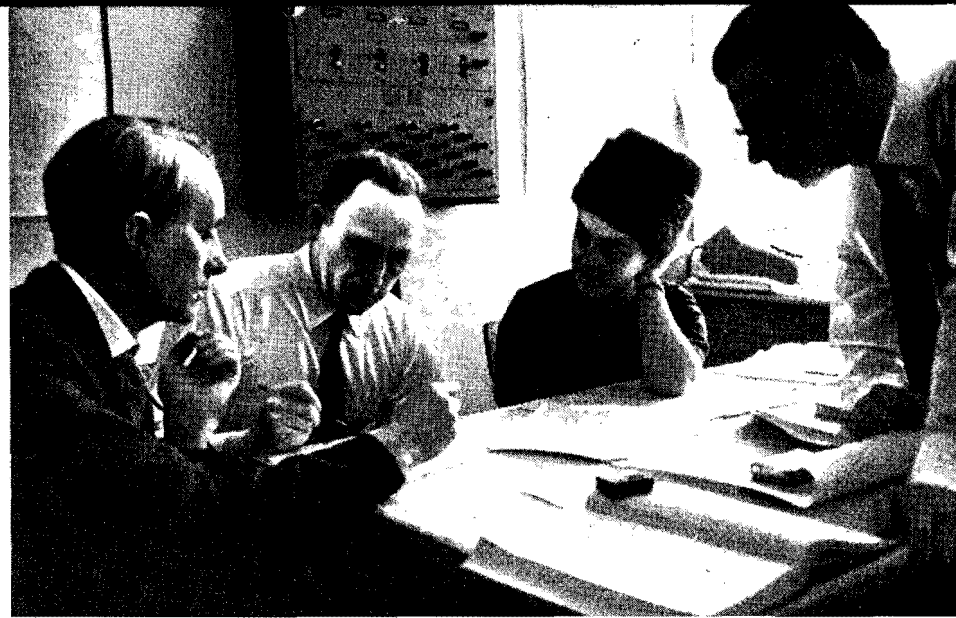


ОПЫТЫ С ПОЛЯ-  
РИЗОВАННЫМИ  
НЕЙТРОНАМИ  
ТРЕБУЮТ СВЕРХ-  
НИЗКИХ ТЕМПЕ-  
РАТУР. НА ЭТОМ  
СНИМКЕ ПОКАЗАН  
РАБОЧИЙ МОМЕНТ  
ПОДГОТОВКИ  
КРИСТАТА К ЭК-  
СПЕРИМЕНТУ.





ЭКСПЕРИМЕНТАТОРЫ ГОТОВЯТ К ОПЫТУ НОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР. СЛЕВА НАПРАВО: Ю. П. ПОПОВ (СССР), ИРЖИ КВИТЕК (ЧССР), МАРИАН СТЕМПИНСКИ (ПОЛЬША).



ЧАСТЫМИ ГОСТЯМИ ЛАБОРАТОРИИ БЫВАЮТ ИЗВЕСТНЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ УЧЕНЫЕ. ОНИ ЗНАКОМЯТСЯ С РАБОТАМИ ФИЗИКОВ ДУБНЫ И РАССКАЗЫВАЮТ О СВОИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, ЗДЕСЬ ВЫ ВИДИТЕ ПРОФЕССОРА ДЖ. БЭКОНА ИЗ АНГЛИИ (СЛЕВА), ЕГО ПРИНИМАЮТ У СЕБЯ ПОЛЬСКИЕ УЧЕНЫЕ И. СОСНОВСКА И Е. СОСНОВСКИ.

В ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ РАЗРАБОТАН ЧРЕЗВЫЧАЙНО ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ. СЛЕВА НАПРАВО: П. ДРАГИЧЕСКУ (РУМЫНИЯ) И В. И. ЛУЩИКОВ (СССР) НАЛАЖИВАЮТ НОВУЮ АППАРАТУРУ.





ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ МАШИН ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА — АНАЛИЗАТОР НА МИЛЛИОН КАНАЛОВ. СЛЕВА ВИДНЫ БОЛЬШИЕ ДИСКИ ЕГО МАГНИТНОГО ЗАПИСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА. ЭТУ СЛОЖНУЮ АППАРАТУРУ ГОТОВЯТ К СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ШАНДОРНЕ ЭГРИ (ВЕНГРИЯ), КОНСТАНТИН КОНСТАНТИНОВ (БОЛГАРИЯ), ЛАЙОШ ДВИН (ВЕНГРИЯ) И Г. П. ЖУКОВ (СССР).



ЧЕХОСЛОВАЦКИЙ ФИЗИК ЯН УРБАНЕЦ И СТАРШИЙ ИНЖЕНЕР Н. И. ЛУЗАНОВ НАБЛЮДАЮТ ЗА НАСТРОЙКОЙ МНОГОКАНАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ Г. И. ЗАБИЯКИН ЗНАКОМИТ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ КУБИНСКИХ УЧЕНЫХ. ВТОРОЙ СЛЕВА — ПРОФЕССОР ГАВАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ГУТВЕРТ АЛЬТШУЛЕР, СПРАВА ОТ НЕГО — ПРОФЕССОРА ГОНСАЛЕС ЦИПРИАНУ И ДИРИО ГИТАРТ.



## эксперименты настоящего и будущего

— Какие опыты проводятся с помощью нового реактора? — спросили мы у заместителя директора Лаборатории нейтронной физики профессора Федора Львовича Шапиро.

— Программа исследований обширна, — сказал он. — Прежде всего изучаются фундаментальные вопросы строения атома, вопросы ядерных взаимодействий, строения и поведения молекул различных веществ.

Вкладом лаборатории в физику низких энергий явилось изучение нейтронных резонансов ряда атомных ядер. Эти исследования так же необходимы, как работа путешественников, наносящих на карты контуры открытых ими материков, затерявшихся в океанских просторах.

В последние годы наблюдается быстрое проникновение нейтронной физики в другие отрасли науки. Одним из примеров этого являются работы, в которых пучки нейтронов используются для исследований диффузионных движений молекул воды, для изучения твердых тел, и в частности, кристаллов.

Большие возможности для исследований дает впервые разработанный в Дубне совершенно новый метод получения поляризованных нейтронов. Становятся возможными тонкие опыты, которые раньше были просто невыполнимы.

## первый измерительный центр

Десятки тысяч, миллионы, миллиарды... Такими цифрами характеризуются воображаемые горы «визитных карточек», оставляемых в лабораториях ученых ядерными частицами. А гигантские ускорители продолжают почти со скоростью света извергать миллиарды частиц. От ускорителей стараются не отстать по «экспериментальной продуктивности» исследовательские ядерные реакторы. Как быть? Может быть, остановить на несколько лет эти большие машины и заняться осмыслением той информации, которая уже получена? В ней, наверное, таится не одно интересное открытие... Если бы самая лучшая лаборатория пошла по этому пути, то она сразу же стала бы самой отсталой. Темпы развития современной науки властно требуют поисков других путей, но каких?

## в царстве электроники

Электронные приборы, вошедшие в наш быт в полированных ящиках радиоприемников, проникли во все области жизни и, конечно, в технику научного эксперимента. Инженеры и ученые научились преобразовывать в простые электрические импульсы сведения о самых разнообразных свойствах исследуемых ядерных частиц: об их энергии, массе, скорости, заряде и т. п. А раз эти сведения имеют вид электрических импульсов — значит, их можно измерить и сосчитать.

Практически всё изучение многообразных явлений сводится здесь к измерению амплитуды импульсов и времени их поступления. Эти задачи возложены на многоканальные амплитудные, временные и многомерные анализаторы — очень интересные и сложные приборы, которые с огромной скоростью могут не только сосчитать сотни тысяч импульсов, но и разложить их в зависимости от параметров в тысячи ячеек своей памяти.

Сегодня мы увидим эти приборы в действии. Мы посетим измерительный центр Лаборатории нейтронной физики, где много интересного не только для специалистов.

## здесь возникло новое

Показывать нам измерительный центр согласился Георгий Иванович Забиякин — руководитель отдела ядерной электроники лаборатории. Он один из основных инициаторов создания в Дубне той необычной электронной техники, которая является сейчас предметом нашей любознательности.

...Входим в светлый зал на втором этаже одного из корпусов Лаборатории нейтронной физики. Зал этот, впрочем, не кажется очень уж просторным потому, что почти весь он занят большими серыми шкафами со множеством переключателей, разноцветных сигнальных лампочек, первоздными экранами осциллографов и степенными стрелочными приборами. Большинство из этих шкафов — это и есть многоканальные анализаторы.

Каждый такой анализатор по существу является специализированной электронной вычислительной машиной. С огромной скоростью каждый из каналов анализатора распознает и отсчитывает те явления, те величины, которые в данном эксперименте отнесены к его «специальности».

— Еще совсем недавно венцом творения у нас был анализатор с 1024 каналами, — говорит Г. И. Забиякин. — А теперь жизнь заставила нас создать анализатор на миллион каналов.

Георгий Иванович подходит к широкому окну и показывает на длинное кирпичное сооружение, слегка напоминающее крепостную стену, но только без зубцов.

— Вот здесь, — говорит он, — проходит главный нейтронный импульсный реактор. Это стальная труба длиной в километр, из которой откачан воздух. В противоположном направлении от реактора идет другой, более короткий, нейтронный канал. Есть и ряд других нейтронных каналов различной длины, направленных в разные стороны. На всех путях, по которым бегут нейтроны, на определенных расстояниях друг от друга расставлены небольшие белые домики экспериментальных павильонов. В них находится аппаратура, с помощью которой физики ведут опыты. От всех исследовательских павильонов тянутся подземные кабели, сходящиеся в нашем здании. Конец каждого такого кабеля подведен к пульта дистанционного управления. Это в соседнем зале. Мы можем посмотреть.

## **находка номер один**

Проходим в соседний зал. Он еще более заполнен сложными приборами, непохожими друг на друга. Здесь размещена аппаратура физиков. Вот у семиэтажной электронной стойки склонились ученые, напоминающие сейчас рулевых, прокладывающих курс корабля. Отсюда они управляют на расстоянии своими экспериментальными агрегатами, находящимися вдали, в павильонах, примыкающих к нейтронным каналам.

По обычным схемам, которые и сейчас существуют почти во всех лабораториях мира, каждая экспериментальная группа имеет свои анализаторы. Но здесь принята более рациональная — централизованная система. От каждого пульта экспериментаторов провода идут в соседний зал измерительного центра, где мы с вами уже были. Все эти провода сходятся к высокому черному шкафу с двумя вертикальными рядами надписей. В правом ряду — названия экспериментальных групп, в левом — номера анализаторов.

Понадобится одной из групп для важного опыта не один, а целых три или пять анализаторов, — пожалуйста, получайте. Зато, когда группе анализаторы не нужны, они не простаивают напрасно, а переключаются туда, где в них есть необходимость. Если вспомнить, что многоканальный анализатор — это сложная дорогостоящая и пока еще довольно редкая установка, то преимущества общего измерительного центра станут очевидными. К ним относятся, кроме того, и удобства централизованного обслуживания (один дежурный техник на весь зал).

Слева от нас раздался резкий, дробный треск, напоминающий

длинную пулеметную очередь. Обернувшись, мы увидели монгольского ученого Жугдерийна Сэрэтэра. Он стоял у небольшого прибора, из которого с очень большой скоростью выползала или, скорее, вылетала широкая бумажная лента. Ученый едва успевал подхватывать ее извивающиеся петли. Лента исписана девятизначными цифрами. Каждый удар неустойчивого каскада звуков — новая цифра, в секунду — 10 ударов. Анализатор отчитывался перед своим хозяином. Каждая цифра — номер капала и число сосчитанных импульсов.

В любую минуту любой анализатор может быть переключен на устройство быстрой цифропечати для того, чтобы он мог изложить в письменном виде все богатства своей ферритовой памяти.

Есть и другие возможности. Вот у стены — очень интересный магнитофон с большими вертикально расположенными дисками и широкой магнитной лентой. Это память анализатора на миллион каналов. Магнитофон записывает одновременно на 20 дорожках всю информацию, которую приносит опыт. Скорость записи — около 1 сантиметра в секунду. Поэтому плотность записи получается очень большой. Потом та же запись «проигрывается» на любой анализатор со скоростью в 100 раз большей. Число «2» (количество вариантов в двоичной системе), взятое в степени «20» (число дорожек), и дает возможность распознать события по миллиону признаков. (Миллион — это  $2$  в  $20$ -й степени.)

## **машина «обучается во сне»**

На наших глазах машина «выпихнула» в руки Сэрэтэра пять метров бумажной ленты, густо исписанной многозначными цифрами. Их было 2000. Это итог работы многоканального анализатора всего лишь за один час. Если опыт длится сутки, то к устройству цифропечати нужно приходиться уже с ящиком, в котором поместилось бы 120 метров ленты с отпечатанными на ней 48000 многозначных чисел. За неделю у одной только группы экспериментаторов накопится уже километр ленты с 300 000 чисел. Ясно, что такая обширная информация представляет интерес лишь после ее математической обработки, в результате которой из нее будет извлечена квинтэссенция, «сухой остаток».

А нельзя ли не печатать цифры на бумажную ленту? Ведь в таком обилии чисел очень трудно разобратся. Гораздо рациональнее все данные с анализаторов вводить по кабелю прямо в вычислительные машины. Задумавшись над этим вопросом, ученые и инженеры в Дубне разработали очень остроумную и удобную систему.

Измерительный центр Лаборатории нейтронной физики соединен кабелем с Вычислительным центром института.

...Вместе с нашим экскурсоводом подходим к пульту выводного устройства. Здесь дежурный техник Владимир Неаполитанский готовится передать в ВЦ (вычислительный центр) информацию с одного из тысячеканальных анализаторов. Нажатием клавиш на наклонной панели, напоминающей клавиатуру пишущей машинки, он набрал дату, номер анализатора и порядковый номер эксперимента. Загорелась зеленая лампочка — сигнал готовности. Тогда дежурный медленно нажал еще одну кнопку. Почти сразу лампочка погасла.

— Что-нибудь не сработало?

— Наоборот, все благополучно. Весь запас информации с 1024 каналов уже передан счетной машине.

— Но ведь прошло всего несколько секунд?

— Ошибаетесь. Прошла всего одна секунда. За эту секунду не только передана вся информация, но, более того, вычислительная машина успела повторить все цифры, доказав, что она их правильно усвоила. Если бы появилось малейшее искажение, нас известил бы тревожный сигнал. Но молниеносная сверка показала правильность записи. Теперь можно размагнитить куб памяти — и анализатор снова готов к действию.

Как оказалось, и этим еще не исчерпываются чудеса новой системы.

Если сравнивать электронные вычислительные машины с мозгом человека, то это мозг очень занятого и работающего человека. Машины почти круглые сутки считают, производя десятки тысяч операций в секунду. Как же угадать, когда наступит то редкое мгновение, в которое одна из машин будет свободна и сможет принять информацию?

На помощь пришла так называемая автономная система ввода, разработанная сотрудниками Лаборатории нейтронной физики в сотрудничестве с работниками ВЦ. Информация из лаборатории попадает в машину не через ее обычные входные устройства, а, минуя их, прямо вводится в память. Причем безразлично, свободна ли в это время машина, решает ли она какие-либо задачи или даже остановлена для профилактики. Настанет нужное время, и любая из электронных машин ВЦ сама отыщет в огромной общей памяти тысячи цифр, поступивших от анализаторов. Тут же по определенной программе будут сделаны нужные вычисления, подводящие итоги экспериментов. Это очень похоже на обучение человека во сне. Приходит студент будущего на экзамен и свободно оперирует теми материалами, которые никогда не читал и, как ему кажется, не слышал. Они были введены в его память во время сна с помощью магнитофона (гипнозедия).

Насколько эффективна система измерительный центр лаборатории плюс вычислительная машина, видно из истории одного

эксперимента, проводившегося группой физиков, руководимой Л. Б. Пикельнером. Это было как раз во время пуска устройства автономного ввода. Группа физиков около двух недель ожидала, пока переводились на язык вычислительной машины бесконечные ленты с цифровыми результатами опыта. Им удалось подготовить только половину материалов. А другая половина уже по новой системе без печатания и перевода на перфокарты за несколько минут была передана по кабелю в ВЦ. Через 2 часа все расчеты были завершены. Стало ясно, как вести опыт дальше.

— Зачем же тогда Сэрэтэр выводил сегодня при нас необработанные данные на бумажную ленту?

— Это он, не ожидая конца опыта, задавал анализатору вопрос: «Как идут дела?» Несколько менее точный ответ на тот же вопрос можно прочесть на экране осциллографа. Посмотрите сюда — именно этим сейчас занят польский ученый Антони Байорек.

Конечно, все эти замечательные устройства возникли не сразу и не сами по себе. Это результат коллективного труда очень многих специалистов из всех социалистических стран — участниц Объединенного института. Почти невозможно перечислить имена всех тех, кто активно участвовал в создании измерительного центра. Здесь был советский инженер Е. Журавлев, Иван Узнов и Марин Маринов из Болгарии и многие другие.

Значительный вклад в создание запоминающих устройств внес Тадеуш Ожеховский (Польша). Геннадий Жуков (СССР) и Георгий Войкулеску (Румыния) успешно разрабатывали специальные магнитофоны. Над усовершенствованием анализаторов и систем вывода информации трудились венгр Бала Юхас, чех Мирослав Малы, русские Виктор Замрий и Владимир Шибаев.

### **импульсный реактор плюс микротрон**

Летом 1965 года Лаборатория нейтронной физики показала миру еще одно новшество: здесь впервые предложена новая экспериментальная система. Она состоит в соединении ускорителя электронов — микротрона с импульсным реактором, действующим в качестве размножителя. Сейчас мы посмотрим эту интересную новинку.

Когда мы слышим такие слова, как «микровыключатель, микромодуль, микротрансформатор», то в сознании возникает представле-

ние о чем-то очень миниатюрном, крошечном, хрупком. В приложении к ускорителям заряженных частиц это представление не оправдывается. Микротроны — ускорители электронов не так уж малы по своим размерам. А вес их электромагнита достигает десятков тонн.

Принцип микротрона, отличающийся, как утверждают специалисты, необычайным остроумием и изяществом, был впервые предложен академиком В. И. Векслером более 20 лет тому назад. С тех пор такие ускорители строились во многих странах. Но до определенного времени никому не удавалось получить на них пучка ускоренных электронов большой интенсивности. Может быть, этим и объясняется происхождение их названия. А может быть, в слове «микротрон» заложено предвидение того, что он еще покажет себя как миниатюрный ускоритель, поражающий воображение огромной мощностью при своих сравнительно скромных размерах.

Как бы то ни было, многие еще до недавнего времени считали микротрон игрушкой, не имеющей серьезных перспектив в быстро развивающейся технике ускорителей. Но человечество уже привыкло к тому, что порой «игрушки» в руках ученых становятся очень серьезной вещью.

### **идеи, породившие скачок**

О дубненском микротроне первый доклад был сделан на XVIII сессии Ученого совета Объединенного института ядерных исследований в начале июня 1965 года. Ведущие физики социалистических стран — члены этого института с интересом слушали сообщение профессора Ф. Л. Шапиро о том, что в Дубне введен в эксплуатацию новый ускоритель — микротрон, ускоряющий электроны до энергии 30 миллионов электроновольт. Докладчик напомнил, что коренной поворот в истории микротронов связан с новыми идеями, возникшими в лаборатории доктора физико-математических наук С. П. Капицы. Главная из них — это введение подогретого катода в резонатор ускорителя. Были предложены и другие важные усовершенствования. Это дало возможность построить несколько мощных микротронов, ставших эффективными экспериментальными установками. Тот из них, который создан в Дубне при участии С. П. Капицы и его сотрудников, в настоящее время достиг самых высоких параметров.

### **новая экспериментальная система**

Микротрон ускоряет электроны. В Дубне же он используется для получения нейтронов. Это стало возможным благодаря соеди-

нению микротрона с импульсным реактором на быстрых нейтронах, работающим в Лаборатории нейтронной физики.

В дубненском реакторе средства механики, вероятно, исчерпали свои возможности. Быстро вращающаяся подвижная активная зона (5000 оборотов в минуту!) сводит время каждой вспышки реактора до нескольких десятков микросекунд.

— А нельзя ли сделать его еще короче?.. Вот тут-то и приходит на помощь система микротрон — реактор. По части малых времен и больших скоростей электроника имеет гораздо большие возможности, чем старушка-механика. Как же работает новая система?

Микротрон подает очень короткие во времени импульсы ускоренных электронов с энергией 30 миллионов электроновольт прямо во чрево реактора, в его активную зону. Там помещена мишень. Каждая порция ускоренных электронов выбивает из нее соответствующую порцию нейтронов. Реактор умножает их число в сотни раз. Происходит мощный выброс нейтронов. Он нужен для того, чтобы порции нейтронов вырвались из реактора и, пробежав по вакуумным каналам, заставили работать исследовательские установки. Такой всплеск длится лишь до тех пор, пока микротрон не перестанет посылать ускоренные электроны. Этот момент наступает очень быстро. Мощность реактора после этого быстро падает до нуля.

При работе по этой схеме длительность каждой вспышки реактора снижается в десятки раз. Это улучшает разрешающую способность всей системы, позволяет исследовать более тонкие явления.

Для того, чтобы значение сокращения времени вспышки стало понятным всем читателям, позволим себе привести простые примеры. Представим, что мы — зрители, наблюдающие за массовым кроссом. Бегут тысячи спортсменов. Нам нужно уследить за тем, какие дорожки предпочитает каждый из них, сколько времени тратит каждый на определенном отрезке пути. Трудно? А если бегунов будут выпускать маленькими группами, состоящими из нескольких человек? Задача значительно облегчится. Можно будет подметить такие особенности, которые раньше проходили незамеченными.

Еще один очень короткий пример. С завязанными глазами мы хотим ощупать забор, пользуясь для этого толстым бревном. Натолкнувшись на забор нашим инструментом, мы поймем, что здесь находится какой-то барьер. Если же вместо бревна возьмем в руки тонкий прут, то очень быстро узнаем, что этот барьер состоит из отдельных дощечек. Наши сведения станут более точными. (Помог более тонкий инструмент.)

Теперь вернемся на непродолжительное время в зал заседаний Ученого совета. В докладе, с которого мы начали этот рассказ, сообщалось о результатах первой серии опытов, проведенных с помощью системы микротрон плюс реактор. Исследовались

энергетические уровни ядер редкого элемента — рутения. Он изучался на том же реакторе и ранее. Профессор Шапиро показал членам Ученого совета прежние графики, которые не оспаривались ни одним ученым. Извивающаяся кривая имела в одном месте горб, показывающий, что здесь существует определенный резонанс. Когда тот же изотоп начали изучать с помощью сверхкоротких вспышек реактора (благодаря микротрону), на кривой появился уже не горб, а два отдельно стоящих узких пика. Следовательно, здесь не один, а два резонанса, которые ранее были неразличимы. Два разных графика, полученных разными методами, дали две разные картины. Вторая содержала гораздо более точную информацию.

Члены Ученого совета единодушно отметили большое значение нового исследовательского комплекса.

### **СВОИМИ ГЛАЗАМИ**

Вероятно, при создании дубненского микротрона была всего лишь одна случайность: оказался резервным экспериментальный зал, расположенный прямо над реактором. Здесь-то и смонтирован новый ускоритель.

Зал небольшой, но и ускоритель невелик по своим размерам. Он в центре зала. По внешнему виду новая машина напоминает барабан, который готов был бы покатиться, если бы не множество кабелей и трубок разного диаметра, его опутывающих. Отойдя от микротрона, эти трубки и кабели аккуратно укладываются по стенам зала. Здесь же выстроились в ряд большие изоляторы ввода высоковольтного электропитания.

Как и во всяком помещении, где работают физики-экспериментаторы, здесь в кажущемся беспорядке расположились осциллографы, стрелочные приборы, электронные блоки, переговорные устройства, «дымящиеся» сосуды Дьюара с азотом. В зале тихо, если не считать гудения вентиляции и журчания охлаждающей воды.

— Что поделаешь, электроника не шумит, — как бы оправдываясь, говорит Иван Максимович Матора, руководитель группы физиков и инженеров, создавших микротрон. Сегодня он выкроил немного времени (кажется, вместо обеда), чтобы показать нам свое детище.

— Камера микротрона, — сказал Иван Максимович, — находится внутри этого цилиндра, стоящего на боку. В отличие от других ускорителей камера расположена у нас в вертикальной плоскости. Начав свой путь в центре, электроны движутся по спиралевидному пути, напоминающему часовую пружину. В других ускорителях для приобретения максимальной энергии частицам нужно пролететь огромный путь. Здесь же, сделав всего 30

витков, они получают энергию 30 миллионов электроновольт, становятся, как говорят специалисты, релятивистскими, т. е. приобретают скорость, приближающуюся к скорости света.

Внутри камеры микротрона поддерживается высокий вакуум. Давление газа здесь составляет всего пять миллионных долей миллиметра ртутного столба. Стенками вакуумной камеры служат вертикальные плоскости «барабана». Это полюса магнита. Магнитное поле микротрона имеет важную особенность — равномерность. Его напряженность должна быть одинаковой во всех точках камеры. Вторая особенность микротрона — это огромный электрический потенциал внутри резонатора. Он достигает многих сотен тысяч вольт на сантиметр.

Частицы выводятся через электроновод (трубу небольшого диаметра, уходящую в пол). Он рассчитан так, что полностью компенсирует возмущение магнитного поля камеры, которое создается своим присутствием. Почти 100% ускоренных электронов выводится из камеры. Это недостижимый идеал для других циклических ускорителей. При этом пучок электронов монохроматичен, т. е. все они имеют почти одинаковую энергию. Разница между энергиями отдельных частиц не превышает долей процента, что очень важно для многих экспериментов.

— Каков диаметр пучка?

— Очень мал. Пучок отлично сколламирован.

— Ну все-таки, хотелось бы представить себе сечение пучка. Оно не превышает размера копеечной монеты?

— Что вы! В десяток раз меньше.

На пути к маленькой мишени, установленной в реакторе, электронный луч слегка расходится. Чтобы его вновь сжать, сфокусировать, применяются электромагнитные линзы. Они работают по тому же принципу, что и фокусирующая система в телевизоре. Но все управление пучком ведется дистанционно, из другого корпуса, с пульта управления реактора. Когда ускоритель работает, поблизости никого не должно быть.

Последний сигнал с пульта прервал нашу беседу. Медленно закрылась многотонная дверь. Ускоритель остался в одиночестве. Сейчас он начнет свою неутомимую мирную стрельбу по мишени. Мы представили себе, как в ожидании замерли экспериментаторы у приборов...

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ.



## тяжелая артиллерия мирной науки

Размашистый фасад и необычайно широкая лестница, огромная вывеска на фронтоме: «Лаборатория ядерных реакций» — все это уже несколько лет знакомо многим журналистам, кинооператорам, фотографам. «Значит, эта лаборатория дает важную научную продукцию», — подумает читатель и не ошибется.

Действительно, эта лаборатория сравнительно быстро стала известна не только ученым, но и прессе благодаря тому, что здесь одна за другой были сделаны интересные научные работы. Самый тяжелый изотоп элемента 102, необычайно быстрый самопроизвольный распад ядер, находящихся в изомерном (возбужденном) состоянии, новый вид радиоактивного распада — протонная радиоактивность, 104 элемент... Это далеко не исчерпывающий перечень важнейших открытий лаборатории.

Правда, о самом первом успехе лаборатории ни одна газета не удосужилась сообщить, хотя именно от него пошли все остальные: совершенно незамеченным прошел запуск ускорителя многозарядных ионов. А ведь это и до сего времени самый мощный в мире циклический ускоритель подобного назначения. Несколько забегая вперед, скажем, что пока еще ни в одной стране не удалось построить такой машины.

— А синхрофазотрон? А гигантские ускорители в Женеве и США? — спросит читатель. — Разве они не превосходят машину Лаборатории ядерных реакций?

— Дело в том, что эти ускорители разгоняют до колоссальных энергий протоны, т. е. ядра водорода, имеющие один заряд. Существуют также огромные ускорители легких частиц — электронов. Многозарядные, т. е. тяжелые, ионы этим колоссальным ускорителям не подвластны. Здесь нужна машина другого типа, и лучшей из подобных машин обладает Объединенный институт ядерных исследований.

Теперь мы изложим по порядку историю Лаборатории ядерных реакций, воспользовавшись сведениями, любезно предоставленными нам ее директором.

Изучение реакций между сложными ядрами, возникающих под действием ускоренных тяжелых ионов (т. е. ионов тяжелее гелия), является сравнительно молодым направлением в ядерной физике. Исследования в этом направлении сейчас интенсивно развиваются в разных странах мира: СССР, США, Англии, Швеции, Канаде, Франции. Большой интерес, проявляемый к взаимодействиям ядер с многозарядными ионами, объясняется тем, что

тяжелые ионы являются инструментом, который позволяет физикам еще глубже проникнуть в тайны строения атомных ядер и расширить экспериментальные возможности по синтезу трансуранных элементов. (Так называются искусственно создаваемые химические элементы, занимающие в таблице Менделеева места после урана.)

Первая попытка получения ускоренных тяжелых ионов была предпринята в 1940 году американским физиком Альваресом, которому удалось ускорить ионы углерода. Однако интенсивность пучка была настолько мала (всего около 10 частиц в секунду), что использование этих ионов для исследований было практически нецелесообразно.

Потребовалось много лет, прежде чем удалось повысить интенсивность и энергию пучков тяжелых ионов и сделать их пригодными для физических исследований. Важную роль для достижения этой цели сыграли работы советских физиков.

В 1955 году в Институте атомной энергии в Москве по инициативе члена-корреспондента АН СССР Г. Н. Флерова и при горячей поддержке академика И. В. Курчатова была создана группа, которая стала готовиться к получению ускоренных пучков тяжелых ионов.

Существовали две принципиально различные возможности ускорения многозарядных ионов: либо с помощью линейного ускорителя, либо с помощью циклотрона. На первых порах трудно было решить, какая установка окажется лучше.

При обсуждении вопросов, связанных с выбором типа ускорителя, отмечались большие возможности циклотрона для получения интенсивных пучков тяжелых ионов. К этому времени в Институте атомной энергии был разработан закрытый ионный источник дугового типа с осциллирующим потоком электронов. Этот источник дал возможность получить моноэнергетические пучки ионов азота на полуметровом циклотроне с интенсивностью 1 микроампер при энергии ионов около 100 мегаэлектронвольт. Тогда же были проведены первые количественные эксперименты А. С. Карамяном, С. М. Поликановым по изучению ядерных реакций, вызываемых многозарядными ионами. Первые достижения ученых предопределили дальнейшее развитие этого молодого направления ядерной физики в Советском Союзе. Было принято решение построить большой циклотрон с диаметром полюсов электромагнита 310 см, на котором можно было бы ускорять широкий ассортимент частиц до ионов аргона включительно.

В работе по созданию этой уникальной установки участвовали ведущие специалисты Советского Союза. Проект циклотрона был разработан в НИИЭФА (научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры), а узлы и детали конструкции изготовлены одним из ленинградских заводов.

Новый ускоритель открывал перед физиками огромные возможности. Было решено сделать его достоянием ученых социали-

стических стран. В 1957 году началось строительство Лаборатории ядерных реакций в Объединенном институте ядерных исследований.

Созданием ускорителя, да и всей лаборатории руководил ее директор Герой Социалистического Труда член-корреспондент АН СССР Георгий Николаевич Флеров. Коллективу ученых, инженеров, рабочих пришлось преодолеть значительные трудности.

В сентябре 1960 года были получены первые пучки ускоренных ионов, а с 1961 года на внутреннем пучке циклотрона успешно проводятся физические эксперименты, включающие опыты по синтезу трансуранных элементов. В настоящее время на циклотроне ускоряются ионы бора, углерода, азота, кислорода, неона и аргона до энергии порядка 8 миллионов электронвольт на нуклон. Интенсивности внутреннего пучка достигают значительной величины. В частности, средние токи для  $O^{+3}$ —200 микроампер,  $Ne^{+4}$ —100 мка и  $Ar^{+8}$ —2 мка. (Здесь читатель впервые в нашей книге встречается с такой системой обозначений.  $O^{+3}$  обозначает трехзарядные ионы кислорода,  $Ne^{+4}$  — четырехзарядный неон,  $Ar^{+8}$  — восьмизарядный аргон).

Для сравнения можно отметить, что наиболее успешно работающий за рубежом линейный ускоритель тяжелых ионов в Калифорнийском университете (США) ускоряет ионы углерода, кислорода, азота, неона, но средняя интенсивность пучков достигает всего 1—2 микроампера.

Сразу после пуска машины решено было не заниматься выводом пучка, а начинать физические исследования на внутреннем пучке. Этому благоприятствовали значительные размеры камеры, дуанта и ускоряющего промежутка. В зазор между дуантами можно помещать пробники больших размеров (диаметром до 250 мм) с детекторами и регистрирующей аппаратурой.

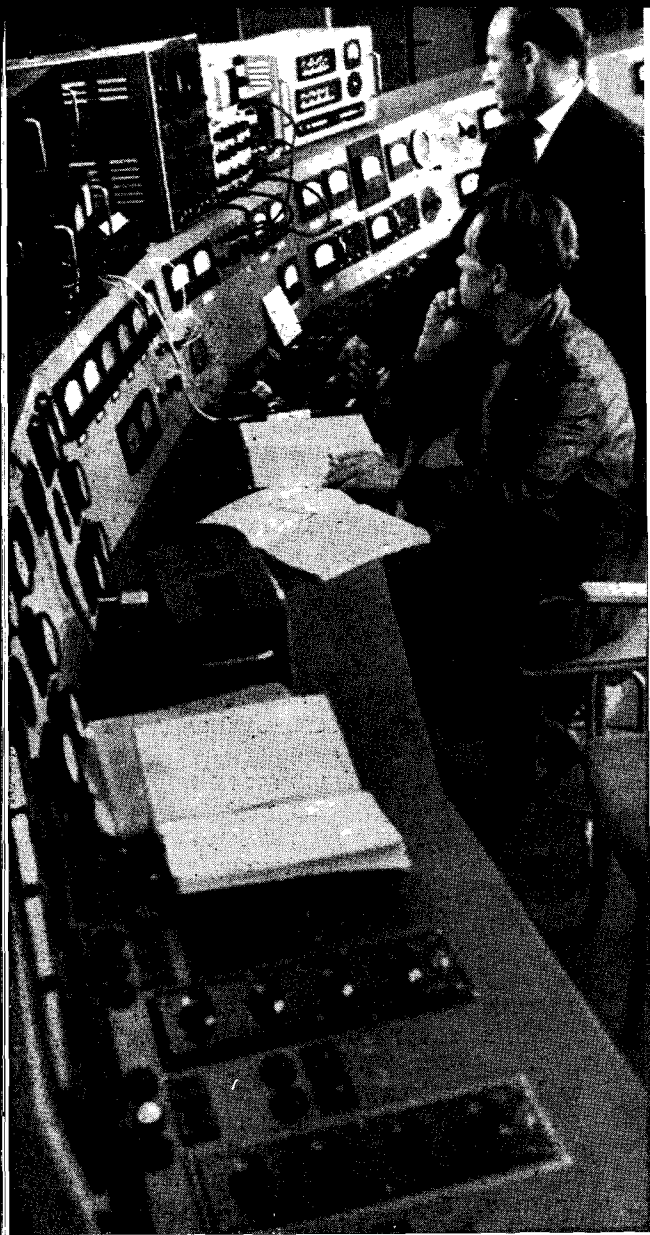
Основными направлениями физических исследований были выбраны следующие:

1. Получение трансуранных элементов и изучение их свойств;
2. Поиски протоннорадиоактивных ядер;
3. Изучение реакций передачи.

Большая напряженная работа физиков, химиков, специалистов по радиоэлектронике и ускорителям привела к значительным достижениям в области изучения механизмов и продуктов ядерных реакций, возникающих при взаимодействии многозарядных ионов с ядрами различных элементов. Так, в 1961—1962 годах группа, руководимая С. М. Поликановым, обнаружила новое явление — спонтанное деление ядер из изомерного (возбужденного) состояния.

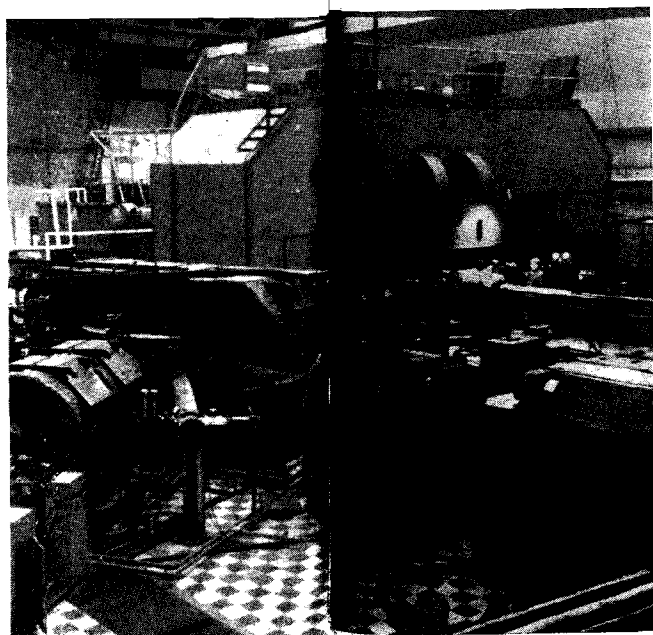
К настоящему времени получены ядра-изомеры, распадающиеся за время 0,8 миллисекунды, 3 секунды, 0,60 секунды и другие (всего 7 изомеров). Очевидно, физики обнаружили новый класс явлений. Более детальное изучение этого типа деления может дать важную информацию о строении атомных ядер.





ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ  
УСКОРИТЕЛЯ.

«У-310» — САМЫЙ МОЩНЫЙ В  
МИРЕ ЦИКЛИЧЕСКИЙ УСКО-  
РИТЕЛЬ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИО-  
НОВ.



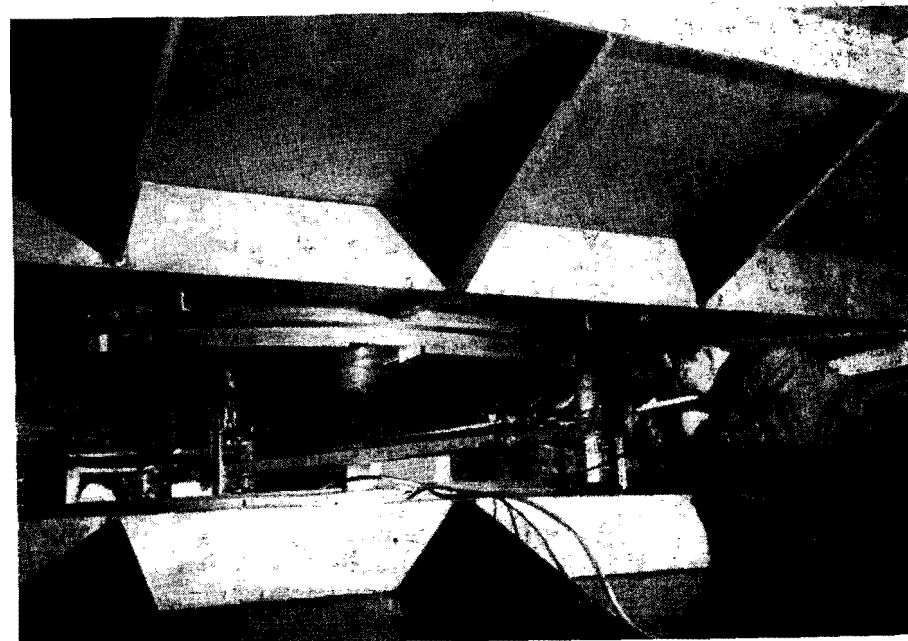
ГРУППА УЧАСТНИКОВ ОТКРЫТИЯ САМОГО ТЯЖЕ-  
ЛОГО ИЗОТОПА 102 ЭЛЕМЕНТА ( $102^{286}$ ). СЛЕВА  
НАПРАВО: В. ЩЕГОЛЕВ, ДИРЕКТОР ЛАБОРАТО-  
РИИ Г. Н. ФЛЕРОВА, Р. С. ДЁГТЕВ, В. А. ЕРМАКОВ,  
Е. Д. ДОНЕЦ.



ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА ЛАБОРАТОРИИ  
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С. М. ПОДИКАНОВ  
(СЛЕВА) ЗНАКОМИТ С ИССЛЕДОВАТЕЛЬ-  
СКОЙ АППАРАТУРОЙ ИНДИЙСКОГО УЧЕНО-  
ГО НАГ ЧАУТХУРИ — ДИРЕКТОРА САХА  
(ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ).



РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ РАДИОХИМИКОВ ИВО ЗВАРА РАЗ-  
РАБАТЫВАЕТ МЕТОДИКУ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОСНОВАННЫХ  
НА ПРИНЦИПАХ ГАЗОВОЙ ХИМИИ. ОНА ДАСТ ВОЗМОЖ-  
НОСТЬ ПРОВОДИТЬ СВЕРХСКОРОСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОЧЕНЬ МАЛЫХ КОЛИЧЕСТВ (ВСЕГО  
ЛИШЬ НЕСКОЛЬКИХ АТОМОВ) КОРОТКОЖИВУЩИХ ЭЛЕМЕН-  
ТОВ, СИНТЕЗИРУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ РЕАК-  
ЦИЙ.



ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ.

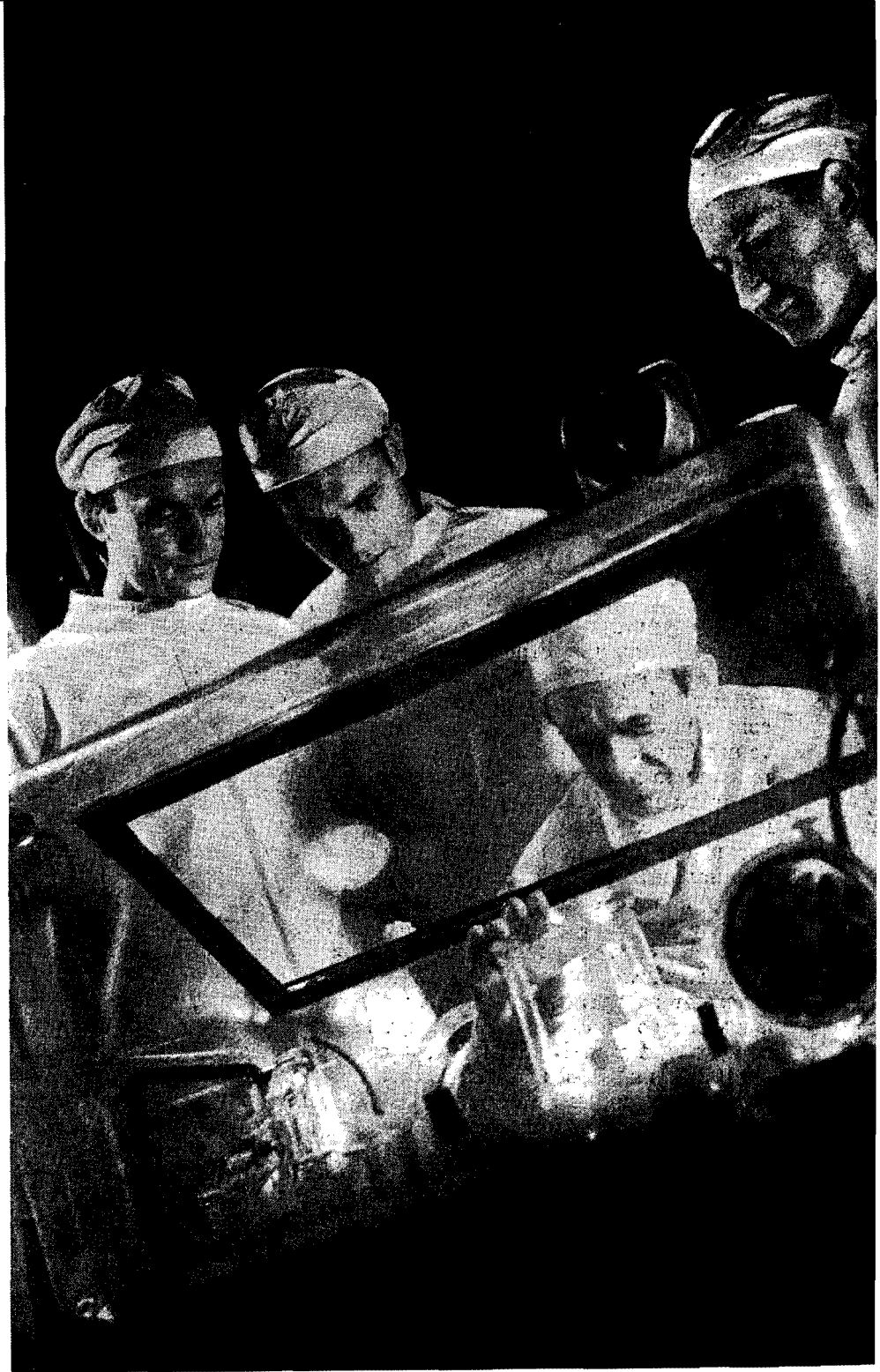


ГЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ЛАБОРАТОРИИ — УСКОРИТЕЛЬ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ ДОЛЖЕН ПОСТОЯННО СОВЕРШЕНСТВОВАТЬСЯ. ФИЗИКИ И ИНЖЕНЕРЫ ЛАБОРАТОРИИ ТЩАТЕЛЬНО ОБСУЖДАЮТ КАЖДОЕ НОВОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ. СЛЕВА НАПРАВО: ГРЕГОРЕ ИНДРЕАШ (ВЕНГРИЯ), И. В. КОЛЕСОВ, В. А. ЧУТРЕЕВ, В. Н. ТИТОВ, В. Т. СТЕПАНОВ, А. Ф. ЛИНЕВ, Н. Е. ТОЛСТОЙ.



УЧАСТНИКИ ОТКРЫТИЯ ПРОТОННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ Г. М. ТЕР-АКОПЬЯН И В. А. КАРНАУХОВ (РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ).

НА ПРАВОМ СНИМКЕ ВЫ ВИДИТЕ ГРУППУ РАДИОХИМИКОВ. СЛЕВА НАПРАВО: ИРЖИ СТАРЫ (ЧССР), ВИКТОР ЕРМАКОВ (СССР), ВЛАДИМИР КНОБЛОХ (ЧССР), ЯН МИКУЛЬСКИЙ (ПОЛЬША).



В 1963 году молодые исследователи Е. Д. Донец, В. А. Щеголев и В. А. Ермаков синтезировали тяжелый изотоп 102-го элемента с массовым числом 256. Этот изотоп был получен при облучении урана ядрами неона. Время жизни его составляет примерно 8 секунд. Это значение существенно отличается от предсказанного теоретически (0,02 сек). Данный экспериментальный результат позволил по-новому подойти к проблеме синтеза более тяжелых элементов. Дело в том, что мрачные предсказания теоретиков относительно очень малых времен жизни новых элементов сковывали деятельность экспериментаторов. (Пугали трудности изучения новых элементов при столь быстром их распаде).

В 1962—1963 годах В. А. Карнаухова, Г. М. Тер-Акопян и их сотрудники обнаружили новый вид радиоактивного распада, названного протонной радиоактивностью. Эта серия работ, проведенных затем учеными Канады и в других странах, признана мировой наукой в качестве крупного открытия.

Очень интересные результаты изучения реакций передачи получены доктором Э. Ложинским и Л. Поморским из Польши. Ими исследованы угловые распределения продуктов в реакциях, когда ускоренные ионы неона и аргона обмениваются комплексами нуклонов при взаимодействии с различными ядрами мишеней. Эти результаты помогают понять многие аспекты механизма взаимодействия и строения ядер.

В 1964 году в итоге комплекса физических экспериментов был открыт 104 элемент. Изучалось спонтанное деление изотопа с массовым числом 260, который образовался при слиянии ядер плутония (элемент 94) и неона (элемент 10). О трудностях в проведении опыта можно судить хотя бы по тому, что один атом 104-го элемента появлялся через 5—6 часов. Эксперимент удалось осуществить благодаря разработке высокочувствительной, практически бесфоновой методики регистрации осколков с помощью специальных (фосфатных) стекол.

Группа чехословацких и советских химиков во главе с Иво Зварой разработала совершенно новую методику, дающую возможность быстрого химического анализа короткоживущих трансурановых элементов. Если представить себе, что эти вещества исчезают за время, недостаточное даже для того, чтобы перемешать раствор в стакане, то станут понятными трудности, стоящие перед химиками. В частности, благодаря малому времени жизни, ни 102-й, ни 103-й элемент до сего времени не исследовались еще ни одним химиком. Методика, разработанная группой Иво Звары для анализа 104 элемента, по-видимому, пригодится и при исследовании более тяжелых элементов. Она основана на принципах газовой химии. (Первые результаты химического анализа свойств элемента 104 опубликованы в апреле 1966 года.)

Дальнейшего прогресса в физических исследованиях в лаборатории можно ожидать после начала работ на выведенном пучке. Изучение возможности вывода пучка из камеры ускорителя

в ионопровод начало проводиться еще в 1962 году. Задача оказалась чрезвычайно сложной, требующей для своего решения нового подхода. В результате усилий всего коллектива лаборатории в апреле 1965 года А. Ф. Линевым, И. А. Шелаевым, Г. И. Вяловым и другими впервые был получен интенсивный выведенный пучок ускоренных ионов неона. Вывод пучка осуществляется комбинированной системой из электростатического дефлектора и двухступенчатого магнитного канала. При этом эффективность вывода достигает 50%. Теперь в лаборатории появилась возможность значительно быстрее и надежнее идентифицировать протонные излучатели, трансурановые элементы, новые короткоживущие изомеры.

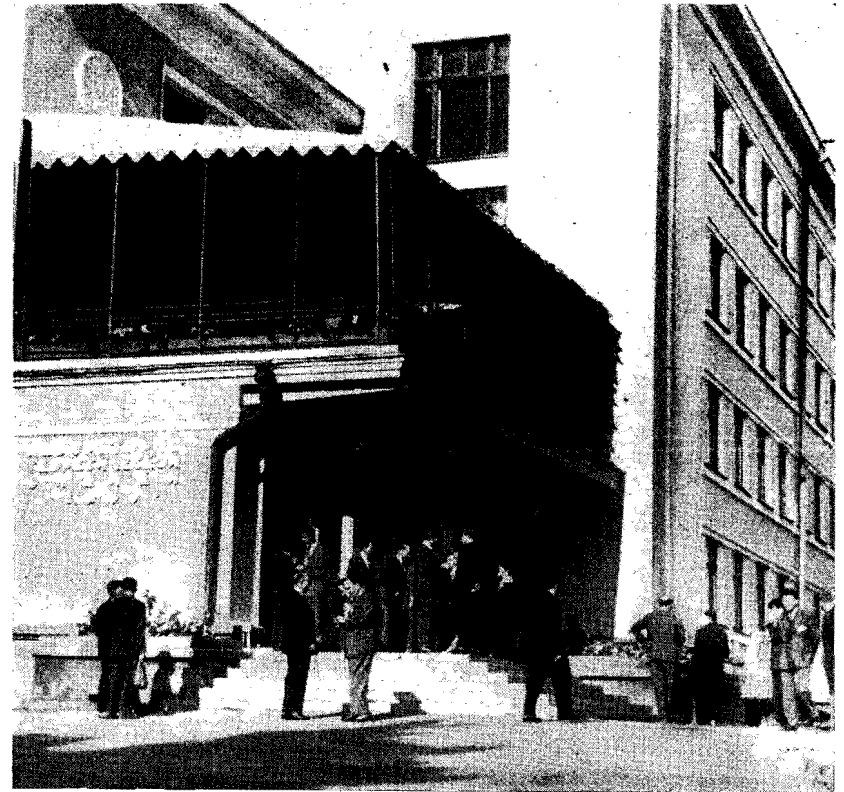
Мы говорили здесь о большом циклотроне с диаметром полюсов электромагнита 310 см. Однако лаборатория располагает еще одним циклотроном с диаметром полюсов 150 см. Этот малый циклотрон был построен силами лаборатории и с 1963 года работает с выведенными пучками ионов углерода и азота, интенсивности которых достигают  $10 \div 20$  микроампер. «Малым» этот ускоритель считается только по масштабам Дубны. Ни один крупнейший научно-исследовательский центр не отказался бы от такого циклотрона. В лаборатории на нем проводится широкий круг физических исследований, отрабатывается методика опытов, а также моделируются различные усовершенствования, которые затем используются на большом циклотроне.

## дух научного демократизма

Большое светлое здание Лаборатории теоретической физики появилось сравнительно недавно. Цифра «1959» на его фасаде напоминает об этом. Но лаборатория на три года старше своего дома. Она создана в сентябре 1956 года по решению, принятому первой сессией Ученого совета института. Руководство новым теоретическим центром было поручено известному советскому ученому — академику Николаю Николаевичу Боголюбову.

Для непосредственной работы теоретиков не требуется огромных и сложных ускорителей, реакторов, необходимых экспериментальным лабораториям. Нужны лишь сами теоретики, комнаты для их работы, научная литература, доски, мел и возможность общения с другими учеными. Вот и все, что потребовалось на первых порах. (Последние слова мы особенно подчеркиваем и вернемся к ним в конце этой главы.)

Начало существования Лаборатории теоретической физики положено совещанием трех теоретиков: Н. Н. Боголюбова, Д. И. Блохинцева и М. А. Маркова. Они обсудили основные принципы существования лаборатории, ее неписанный статут.



Главным из них был дух научного демократизма, то есть предоставление одинаковых возможностей для развития всех научных направлений, отсутствие нетерпимости, сектантства.

Неуклонное проведение в жизнь духа научного демократизма создало в Лаборатории теоретической физики ту особенную атмосферу, о которой часто с удовольствием говорят ученые, приезжающие из-за рубежа. Они постоянно отмечают, что здесь приятно и легко работать, что здесь свободно может развиваться любое научное течение.

Первоначально в штат лаборатории вошли сотрудники теоретических отделов бывших Института ядерных проблем и Электрофизической лаборатории. Среди них были: С. М. Биленький, Р. М. Рындин, М. А. Марков, П. С. Исаев, В. И. Огиевецкий, И. В. Полубаринов, Я. А. Смородинский и другие. Вскоре в Дубну приехали ученики Н. Н. Боголюбова Д. В. Ширков, Б. В. Медведев, М. К. Поливанов, несколько позднее — А. А. Логунов, А. Н. Тавхелидзе. За ними пришли уже более молодые сотрудники: В. А. Мещеряков, Л. Д. Соловьев. Из Обнинска

вместе с Д. И. Блохинцевым приехал В. С. Барашенков. В первые же годы существования Лаборатории теоретической физики в ее состав влились физики из стран — участниц института. В их числе были Иван Улегла из Чехословакии, Иван Златев из Болгарии, немецкие физики Вальтер Цоллнер и Франк Кашлун, известный китайский теоретик Ху Нин, неразлучные друзья Сорин Чулли (Румыния) и Ян Фишер (ЧССР). Еще позднее в работу включились «ученики учеников» Николая Николаевича Боголюбова О. А. Хрусталева, Б. А. Арбузов, Р. Н. Фаустов. С 1959 года начала складываться под руководством В. Г. Соловьева группа теории ядра. В нее вошли И. Н. Михайлов, совсем молодой физик Н. И. Пятков, который здесь же ранее был студентом-дипломником. Невозможно перечислить всех ученых, объединившихся под крышей Лаборатории теоретической физики, так как для этого нужно было бы назвать около сотни фамилий.

Как-то Д. И. Блохинцев говорил, что иногда «открыть» талантливому физика и дать ему возможность плодотворно работать, может быть, более полезно для науки, чем построить большой ускоритель. Как нельзя больше эти слова подходят к физикам-теоретикам. Теоретики не только осмысливают результаты опытов, но очень часто предлагают новые многообещающие научные направления, изобретают новые эксперименты, дающие науке возможность сделать скачок вперед. Поэтому ясно, насколько важно тщательно отбирать новых сотрудников для теоретической лаборатории. И в Дубне это хорошо усвоили, разработав систему тройной проверки кандидатур.

Многие ведущие ученые Лаборатории теоретической физики тесно связаны с университетом, где они читают лекции, руководят работой студентов-старшекурсников и дипломников. Наиболее способные студенты приглашаются делать дипломные работы в ЛТФ. Лучшим из них дается возможность поступить в аспирантуру лаборатории или стать стажером. И только те, которые окажутся действительно достойными, зачисляются в штат. Значительно облегчилась задача отбора способных молодых людей после того, как в Дубне был организован филиал МГУ, где учатся студенты старших курсов — теоретики и экспериментаторы.

Сейчас в Лаборатории теоретической физики работает около 50 советских физиков и примерно столько же сотрудников из других стран — участниц института. Это один из крупнейших в мире центров теоретической физики. Общепризнанным является то, что здесь выполняются весьма важные для науки исследования, а количество публикаций таково, что почти каждые два дня выходит в свет научная статья.

Естественно, что в таком большом научном коллективе исследования ведутся одновременно на широком фронте. Однако в каждый период могут быть выделены направления, привлекающие наибольшее внимание. (Конечно, последующий ход развития науки может выдвинуть на первый план и другие работы, которые сейчас проходят почти незамеченными.)

1956—1958 годы ознаменовались бурным развитием в Дубне теории дисперсионных соотношений. Этот мощный метод математического проникновения в сущность микромира в большой мере обязан своим становлением заслугам Н. Н. Боголюбова, который дал доказательство справедливости дисперсионных соотношений. Значительно продвинулись и его ученики Д. В. Ширков, Б. В. Медведев, А. А. Логунов, М. К. Поливанов, А. Н. Тавхелидзе в том же направлении, а также в разработке конкретных приложений теории.

1958—1959 годы принесли лаборатории большой успех. Было завершено построение теории сверхпроводимости, и ее автор Н. Н. Боголюбов был удостоен звания лауреата Ленинской премии. Быстрыми темпами разрабатывались конкретные приложения этой теории, в Москве — в физике твердого тела, в Дубне — главным образом в теории ядра.

Большой интерес в СССР и за рубежом вызвали труды Д. И. Блохинцева по структуре нуклона, который еще совсем недавно представлялся многим ученым как бесструктурный «черный шарик». Всемирную известность приобрели работы, касающиеся самой загадочной частицы — нейтрино. Сборник «Нейтрино высоких энергий», который содержит статьи Д. И. Блохинцева, М. А. Маркова, Б. М. Понтекерво, быстро стал библиографической редкостью. Письма с просьбой прислать это издание Объединенного института долго еще приходили от ученых из многих стран.

Широкую известность приобрели работы в области теории элементарных частиц венгерского физика Габора Домокоша. Своими оригинальными изысканиями А. А. Логунов и А. Н. Тавхелидзе, предложившие квазипотенциальный подход в теории поля, положили начало целому направлению в работе теоретиков. В. Г. Соловьев стал идейным руководителем изучающих атомное ядро экспериментаторов Дубны и лабораторий ряда стран.

Молодые теоретики Игорь Полубаринов, Иван Тодоров (Болгария), Нгуен Ван Хьеу (ДРВ) удостоены ученой степени доктора физико-математических наук за фундаментальные исследования в области квантовой теории поля и теории элементарных частиц. Причем Нгуен Ван Хьеу и И. Тодоров в этой же лаборатории защищали и кандидатские диссертации, а И. Полубаринову док-



СЕНТЯБРЬ 1956 ГОДА. ЧЛЕНЫ УЧЕНОГО СОВЕТА, ВПЕРВЫЕ СОБРАВШИЕСЯ В ДУБНЕ, ОСМАТРИВАЮТ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ НОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ. «ЗДЕСЬ БУДЕТ ПОСТРОЕНА ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ», — ГОВОРИТ АДМИНИСТРАТИВНЫЙ ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА В. Н. СЕРГИЕНКО И ЧЕРТИТ ПЛАН ЛАБОРАТОРИИ ПРЯМО НА ЗЕМЛЕ.

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ВЕДУТ СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИНСТИТУТОМ ИМЕНИ НИЛЬСА БОРА В КОПЕНГАГЕНЕ. ДАТСКИЙ ТЕОРЕТИК ЕНС БАНГ ДВАЖДЫ ПРИЕЗЖАЛ В ДУБНУ И РАБОТАЛ ЗДЕСЬ ПО НЕСКОЛЬКУ МЕСЯЦЕВ. НА СНИМКЕ: ЕНС БАНГ (В ЦЕНТРЕ) ОБСУЖДАЕТ С АКАДЕМИКОМ Н. Н. БОГОЛЮБОВЫМ И ДОКТОРОМ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК В. Г. СОЛОВЬЕВЫМ ПЛАН СОТРУДНИЧЕСТВА ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА С ИНСТИТУТОМ ИМЕНИ НИЛЬСА БОРА.



КОФЕЙНАЯ КОМНАТА — ЛЮБИМОЕ МЕСТО ОТДЫХА ТЕОРЕТИКОВ. В НЕПРИНУЖДЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ ОНИ ОБСУЖДАЮТ НОВЫЕ ИДЕИ, РАССКАЗЫВАЮТ О НАИБОЛЕЕ ИНТЕРЕСНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ, ВСТРЕЧАЮТСЯ СО СВОИМИ ЗАРУБЕЖНЫМИ КОЛЛЕГАМИ. СЕЙЧАС ЗДЕСЬ СОБРАЛИСЬ: СУПРУГИ ПЕТР И ТЕРЕЗА ШУРАНЬИ (ВЕНГРИЯ), М. ПОЛИВАНОВ И В. КАДЫШЕВСКИЙ (СССР).



РУКОВОДИТЕЛЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА Е. П. ЖИДКОВ, НАЧАЛЬНИК МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОТДЕЛА Н. Н. ГОВОРУН И НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК РАЧО ДЕНЧЕВ ОБСУЖДАЮТ ПЛАН РЕШЕНИЯ НОВОГО КЛАССА ЗАДАЧ, КОТОРЫЕ ПОСТАВИЛИ ФИЗИКИ.





торская степень была присвоена неожиданно для него одновременно со степенью кандидата наук, на соискание которой он представил свою диссертацию.

Очень интересными, хотя и спорными, являются работы В. А. Кадышевского, одного из самых молодых (даже по масштабам Дубны) кандидатов наук. Он выдвинул гипотезу, в основе которой лежит предположение о существовании новых, совсем необычных частиц. Это предположение можно будет проверить экспериментально при наличии ускорителей сверхвысоких энергий.

Когда писалась эта книга, в жизни лаборатории теоретической физики произошли изменения, которые также показывают ее большой научный авторитет. Возник вопрос: кому поручить руководство новым советским институтом, который будет вести работу на величайшем в мире ускорителе с энергией протонов до 70 миллиардов электроновольт. (Эта гигантская машина строится в Серпухове.) Научным руководителем института в Серпухове стал академик Боголюбов. Теоретический отдел возглавил профессор А. А. Тавхелидзе. Профессор А. А. Логунов назначен директором института, призванного сыграть большую роль в развитии науки. Так лаборатория Дубны поделилась кадрами со своим младшим братом — институтом в Серпухове.

## **научные связи не знают границ**

Вероятно, никто в такой степени не нуждается в постоянной связи с «себе подобными», как теоретики. Постоянный обмен мнениями, выводами, чтением препринтов, журнальных статей, частые семинары, дискуссии или просто беседы с коллегами — все это содействует рождению новых мыслей, отшлифовыванию стройных логических систем или крушению казавшихся неуязвимыми теоретических моделей. Иногда затянувшийся разговор у доски в знаменитой кофейной комнате теоретиков заканчивается тем, что его участники, загоревшиеся, захваченные новой идеей, погружаются в формулы, сложнейшие математические расчеты, доказательства. И вот уже два-три человека, никогда вместе не работавшие, недавно плохо понимавшие язык друг друга, сливаются в одно целое, угадывают мысли друг друга, вместе забывают об отдыхе и сне и в результате напряженного коллективного труда создают новую работу. Для многих это просто очередной препринт, очередная статья. Но глядишь — где-нибудь в другом институте, в другой стране, на другом континенте находятся люди, которые так же загораются той же идеей, начинают ее развивать. И вот в Дубну приходит пространное письмо от другого теоретика. Он сообщает о своих дополнительных расчетах, спрашивает, спорит, критикует. Потом приходят письма от экспериментаторов.

Например, из США: «Уважаемый коллега! Я прочитал Ваши предложения по опытам с нейтрино. Ну и работу Вы нам задали! Будем делать опыты в соляных коях на глубине 2-х миль. О результатах обязательно сообщу». Или из Женевы: «Доктор Герштейн! Мы очень благодарны Вам за то, что Вы объяснили причины несогласия наших экспериментальных данных с теорией...» Или из Копенгагена — письмо Н. Н. Боголюбову от «самого» Нильса Бора, бывшего большим другом Дубны: «Я очень благодарен Вам за работу, которую провел у нас русский физик Вадим Соловьев. Не можете ли командировать его еще на полгода?»

Практически лаборатория в Дубне имеет связи со всеми лабораториями мира, работающими в области теоретической физики. Связи эти весьма разнообразны. Прежде всего — это широкий обмен препринтами, т. е. быстрыми публикациями самых новейших работ. Более чем в 500 адресов рассылают свои статьи дубненские теоретики и получают препринты из тридцати шести стран. Такой обмен — неиссякающий источник научной информации.

Очень важной формой международных научных связей являются взаимные визиты теоретиков из разных стран. Многие дубненцы неоднократно читали лекции в зарубежных институтах и университетах. Многие выдающиеся теоретики из-за рубежа выступали с лекциями в ЛТФ (среди них были англичанин Дирак, датчанин Нильс и Оге Бор, американцы Моттelson и Сальпитер, итальянцы Редже и Чини, академик Яноши из Венгрии, японец Куба. Перечень этот далеко не полон).

Очень большое значение для теоретиков имеет участие в международных научных конференциях, когда ознакомление с новейшими и наиболее важными работами дополняется непосредственно впечатлениями и личными контактами. Как правило, здесь встречаются люди, которым не нужно долго знакомиться. Они хорошо знают друг друга по препринтам, журнальным статьям или уже встречались на предыдущих конференциях. Дубненские теоретики принимают самое активное участие почти во всех конференциях в своей области знаний.

Конечно, самые тесные связи существуют между Лабораторией теоретической физики и теоретиками социалистических стран — членов Объединенного института ядерных исследований. Многие ученые из этих стран, прожившие по несколько лет в Дубне, возвратившись на родину, поддерживают постоянные деловые контакты со своими коллегами, работающими в Объединенном институте. Это можно прежде всего сказать о В. Цоллнере и Ф. Кашлуна, которых мы уже упоминали выше, о венгерском теоретике Ф. Шиклоше, поляках З. Галыевиче, В. Рыбарской и А. Павликовском, румынке Э. Михул и многих других. Продолжая работать по тематике, которой они занимались в Дубне, эти ученые участвуют в общей работе, приезжают в Дубну для обсуждений, сверок или приглашают сотрудников приехать в свои

страны. «Вот, например, — говорит заместитель директора Лаборатории теоретической физики В. Г. Соловьев, — наши теоретики сотрудничают с группой румынских товарищей. Каждая сторона проводит свою часть расчетов. Потом участники работы съезжаются, сопоставляют и «досчитывают», опять разъезжаются и продолжают работать. Дело, конечно, идет не так быстро, как хотелось бы, но, во всяком случае, гораздо быстрее, чем если бы мы трудились независимо». Особенно хорошие научные связи В. Г. Соловьев отметил между Дубной, Варшавой, Краковом.

Есть и еще одна полезная форма совместной работы. Мы уже упоминали в начале этой главы имя Ивана Улеглы — чехословацкого теоретика, бывшего одним из первых зарубежных ученых, приехавших в Дубну. Проработав здесь более двух лет, он вернулся в Чехословакию. А четыре года спустя профессор Улегла возвратился в Дубну во главе группы молодых чехословацких теоретиков. Здесь они быстро включились в научную жизнь лаборатории. Их цель — не только продолжать исследования, начатые на родине, но и участвовать в общих работах с теоретиками других стран<sup>10)</sup>.

Среди маленьких уютных комнат, предназначенных для дубненских теоретиков, есть и такие, хозяевами которых длительное время являются ученые из капиталистических стран. В Дубне трудились английские теоретики Коттингем и Джон Смит, французский ученый Жорж Лошак, датчанин Енс Банг. Научные сотрудники Лаборатории теоретической физики на основе взаимности работают в Женеве и Копенгагене. Очень тесные связи установились с международным институтом теоретической физики в Триесте. Профессор В. Г. Соловьев стал членом Ученого совета этого института.

## **нужны ли теоретикам машины?**

Если можно употребить такой термин, как «технология», в применении к работе теоретиков, то неизбежным будет вывод, что технология их труда на 90 процентов связана с математическими вычислениями. Больше чем где бы то ни было, в ядерной физике (в широком смысле слова) математика является незаменимым, а подчас и единственным инструментом познания истины. Поэтому, когда несколькими страницами выше мы сказали, что на первых порах для работы теоретиков почти ничего не было нужно, кроме книг, доски и мела, то это относилось буквально к первым месяцам существования лаборатории. А в дальнейшем

<sup>10)</sup> В 1964 году профессор И. Улегла избран вице-директором Объединенного института ядерных исследований.

для нормальной ее работы как воздух нужны были современные быстродействующие электронные вычислительные машины. Без них требовались бы многие годы на чисто расчетные задачи, что обрекло бы лабораторию на безнадежное отставание.

Поэтому при Лаборатории теоретической физики был создан мощный Вычислительный центр. Сейчас он имеет три счетные электронные вычислительные машины. Штат Вычислительного центра, возглавляемого советским математиком Евгением Петровичем Жидковым, превышает сто человек, а на работу, которая выполняется здесь за день, хорошему математику, считающему на клавишных машинах, не хватило бы целой жизни.

Таким образом, индустриализация науки проникает и в тихий храм Лаборатории теоретической физики. В Вычислительном центре вместе с математиками трудятся многие инженеры, техники, радиомонтажники, даже токари и электромонтеры. Но не следует думать, что Вычислительный центр выполняет только вспомогательные функции, только быстро считает. Здесь разрабатываются новые математические методы, которые сами по себе представляют научный интерес. Большая работа проводится по совершенствованию машин. А многие математики, такие, как Н. И. Говорун, Г. А. Ососков, Г. И. Макаренко, Г. Н. Тентюкова, Эржбет Руп (Венгрия), И. Н. Кухтина и другие являются соавторами ряда научных трудов, которые они выполнили вместе с физиками.

Недолго Лаборатория теоретической физики безраздельно владела Вычислительным центром. «Нам тоже нужно считать», — заявили руководители экспериментальных лабораторий. И тут выяснилось, что ВЦ большой процент своей мощности уже отдает им: проводит расчеты по материалам, полученным с трековых камер и многоканальных анализаторов. С некоторых экспериментальных установок закодированные результаты опытов передаются по проводам прямо счетным машинам для дальнейшей математической обработки. Это делается, как говорится, без прикосновения рук человека.

Одним словом, Вычислительный центр, являющийся общинститутской службой, был выведен из состава Лаборатории теоретической физики и теперь существует самостоятельно, на правах шестой лаборатории института. Сейчас это — один из наиболее мощных вычислительных центров в СССР и странах народной демократии. Но постоянно развивающиеся исследования в Дубне требуют постоянного роста объема математической работы. Поэтому Вычислительному центру в Дубне предстоит еще очень немного повысить свою мощность. Работающие здесь специалисты из стран — участниц института, несомненно, справятся с этой задачей.

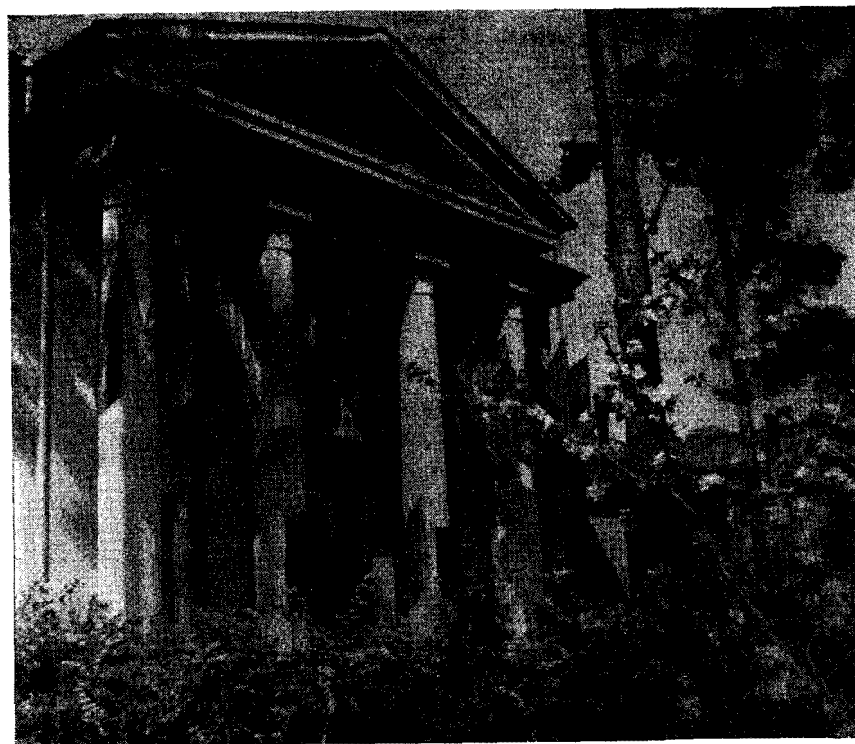
В 1965 году Советское правительство приняло решение о передаче Вычислительному центру Объединенного института еще одной вычислительной машины, одного из самых первых экземпляров нового вида современных машин, освоенных в Советском Союзе.

ФЛАГИ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАН—ЧЛЕНОВ ИНСТИТУТА РАЗВЕШАЮТСЯ НАД ВХОДОМ В ЗДАНИЕ ДИРЕКЦИИ.

## как управляется институт

Мы уже говорили выше об Уставе Объединенного института и о некоторых органах его управления. Расскажем об этом более полно.

Основными целями Объединенного института ядерных исследований в соответствии с его Уставом являются: совместное проведение теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики; содействие развитию ядерной физики в странах-участницах; содействие всестороннему развитию творческих способностей научно-исследовательских кадров этих государств; поддержание связей с заинтересованными национальными и международными научно-исследовательскими и другими организациями в деле развития ядерной физики и изыскания новых возможностей мирного применения атомной энергии. Работа ученых разных стран, о которой мы рассказываем в этой книге, направлена на выполнение этих задач. Конечно, такой большой



международный институт нуждается в четкой системе управления. Она была предусмотрена Уставом института, а затем совершенствовалась в ходе его деятельности.

Высшим органом управления является Комитет Полномочных представителей правительств государств—членов института. Он собирается в Дубне ежегодно. К компетенции Комитета относятся важнейшие вопросы, определяющие существование института: утверждение бюджета, плана капитального строительства, перспективных планов развития института, шкалы членских взносов, прием новых государств—членов института, избрание дирекции института и директоров лабораторий.

В ходе развития Объединенного института возник еще один орган, имеющий вспомогательное значение и не предусмотренный Уставом. Это — Советание финансовых советников. Их задача — подготовить основу для работы Комитета Полномочных представителей. Советники назначаются каждым Полномочным представи-



ЗАСЕДАНИЕ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ — ВЫШЕГО РУКОВОДЯЩЕГО ОРГАНА ИНСТИТУТА.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬ СССР А. М. ПЕТРОСЬЯНЦ ПЕРЕДАЛ ВСЕМ СТРАНАМ — УЧАСТНИЦАМ ИНСТИТУТА ПРИГЛАШЕНИЕ СОВЕТСКОГО ПРАВИТЕЛЬСТВА ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ НА НОВЫХ МОЩНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ, В ТОМ ЧИСЛЕ — НА УСКОРИТЕЛЯХ В СЕРПУХОВЕ, ЕРЕВАНЕ И ХАРЬКОВЕ.





УЧЕНЫЙ СОВЕТ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОИТ ИЗ ВЕДУЩИХ ФИЗИКОВ СТРАН—УЧАСТНИЦ ИНСТИТУТА. ОН СОБИРАЕТСЯ НА СВОИ ЗАСЕДАНИЯ ДВАЖДЫ В ГОДУ. НА СНИМКЕ: ДОКЛАДЫВАЕТ ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ В. П. ДЖЕЛЕПОВ.



НА ЗАСЕДАНИИ УЧЕНОГО СОВЕТА: ПРОФЕССОР Д. И. БЛОХИНЦЕВ, ПРОФЕССОР Г. Н. ФЛЕРОВ И ПРОФЕССОР МАРИАН ДАНЫШ (ПОЛЬША).

телем. Они знакомятся с финансовой документацией, с другими сторонами работы института и в предварительном порядке обсуждают те вопросы, которые станут предметом рассмотрения очередной сессии Комитета Полномочных представителей правил.

Вопросы, определяющие непосредственно научную деятельность Объединенного института ядерных исследований, относятся к компетенции Ученого совета института, сессии которого собираются дважды в году. В соответствии с Уставом каждое государство — член института направляет в состав Ученого совета от 1 до 3 своих ученых. Членами Ученого совета Объединенного института являются ведущие физики социалистических стран.

Ученый совет рассматривает отчеты о научной деятельности лабораторий, утверждает планы их работ, присуждает премии за лучшие научные работы, выполненные в Дубне. К его ведению относится также утверждение составов ученых советов лабораторий, рассмотрение планов международного сотрудничества, участия института в международных конференциях. Ученый совет института представляет рекомендации Комитету Полномочных представителей по вопросам финансирования, строительства новых объектов, избрания дирекции института и директоров лабораторий.

По традиции весенние сессии Ученого совета Объединенного института почти полностью посвящаются рассмотрению докладов о наиболее важных и перспективных работах, выполненных в Дубне за год.

В соответствии с четким разделением научной деятельности института на два основных направления в 1965 году были созданы ученые советы по физике высоких энергий и физике низких энергий. Страны — участники института делегировали в новые ученые советы крупных специалистов в каждой из этих областей.

Жизнь подсказала идею создания международных координационных органов по различным видам методики экспериментов. Так возникли комитет по камерной методике и фотоэмульсионный комитет. Они регулярно собираются в Дубне или какой-либо стране — участнице института и обсуждают основные практические вопросы, возникающие при совместном проведении экспериментальных исследований. (Имеется в виду кооперирование работ Объединенного института и институтов стран-участниц).

Постоянно действующим органом управления является дирекция института, избираемая Комитетом Полномочных представителей и отчетывающаяся перед ним. Директор института избирается сроком на 3 года. Два вице-директора избираются на 2 года каждый. Устав не исключает возможности повторного избрания.

Первый состав дирекции института был избран в день его основания 26 марта 1956 года. Директором института стал член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев. Посты вице-директоров

были предоставлены известному чехословацкому физическому академику Вацлаву Вотрубе и одному из ведущих польских физиков профессору Мариану Данышу.

Впоследствии вице-директорами института избирались профессор Ван Гап-чан (КНР), Эмиль Джаков (Болгария), Тудор Тэнэ-сеску (Румыния), Гейнц Барвих (ГДР), Щербан Цицейка (Румыния). Известный польский физик профессор Г. Хринкевич сменил на посту вице-директора института профессора Э. Феньвеша в связи с истечением срока его полномочий.

В январе 1964 года директором Объединенного института ядерных исследований избран академик Н. Н. Боголюбов, вице-директорами института — профессор Эрвин Феньвеш (Венгрия) и профессор Иван Улегла (Чехословакия).

Существование и развитие такого огромного и своеобразного международного учреждения, каким является Объединенный институт ядерных исследований, требует решения большого числа сложных вопросов финансового, административного, правового и технического характера. Устав института относит все это к компетенции административного директора, который является заместителем директора института, перед ним подотчетен и им назначается. Одно из важнейших направлений деятельности административного директора — руководство строительством новых лабораторий и других объектов института.

Со времени основания Объединенного института ядерных исследований его административным директором является В. Н. Сергиенко.

Основные научные подразделения института — его пять лабораторий и Вычислительный центр. Число сотрудников в лабораториях колеблется в пределах от 300 до 1200 человек.

Направления научной деятельности лабораторий и конкретные планы их работ, в пределах годовых и пятилетних планов, утвержденных Ученым советом института, определяют ученые советы лабораторий, состоящие из представителей стран — участниц института. На заседаниях ученых советов лабораторий научные сотрудники института защищают кандидатские и докторские диссертации. По соглашению, заключенному между странами — участницами института, ученые степени, присужденные в Дубне гражданам этих стран, признаются на их родине.

Лабораториями непосредственно руководят директора, каждый из которых является крупным специалистом в своей области.

## международные связи дубны

Справедливым было бы, говоря о значении деятельности Объединенного института ядерных исследований для развития науки в социалистических странах, упомянуть прежде всего о его роли в создании национальных кадров ученых высшей квалификации.

Приезжая в Дубну на длительные сроки, ученые и инженеры из многих стран, получают здесь необычайно широкие возможности для самоусовершенствования. Первое, с чего приходится начинать некоторым из них, — это повышение общего уровня своей научной подготовки. Затем они приступают к работе, включаясь в состав групп, ведущих исследования в соответствии с научными интересами каждого из участников. Совместная работа, борьба с трудностями, творческие дискуссии, общие успехи — все это и составляет тот замечательный комплекс, который незаметно, но уверенно выковывает новые кадры специалистов.

Приведем лишь несколько примеров. Вьетнамский инженер-геодезист Нгуен Дин Ты был командирован своим правитель-

ПО ПРОЕКТАМ БОЛГАРСКИХ АРХИТЕКТОРОВ НА БЕРЕГУ ВОЛГИ ПОСТРОЕНА КОМФОРТАБЕЛЬНАЯ СОВРЕМЕННАЯ ГОСТИНИЦА. ОБ ЕЕ УДОБСТВАХ И АРХИТЕКТУРНЫХ ДОСТОИНСТВАХ ОДОБРИТЕЛЬНО ОТЗЫВАЮТСЯ УЧЕНЫЕ, ПРИЕЗЖАЮЩИЕ В ДУБНУ ИЗ МНОГИХ ГОСУДАРСТВ.



ством в Дубну. Благодаря своему таланту и трудолюбию, а также помощи товарищей, он не только овладел новой для него областью знаний, но и выдвинулся в число передовых экспериментаторов. Успешно защитив диссертацию, молодой ученый возвратился на родину и теперь руководит лабораторией экспериментальной физики Ханойского университета. В числе тех, кто получил в Дубне ученую степень и теперь возглавляет лабораторию у себя на родине, можно было бы назвать А. Михула и М. Петрашку из Румынии, Далхажаву из Монголии, П. Маркова из Болгарии и других. Больших успехов добились в Дубне ученые из Чехословакии, ГДР, Венгрии. Болгарский физик Желю Желев защитил здесь диссертацию. Выше мы уже писали о достижениях блестящих физиков-теоретиков из Болгарии и ДРВ Ивана Тодорова и Нгуена Ван Хьеу, последовательно получивших во время работы в Дубне ученые степени кандидатов, а затем — докторов наук. Признание научных заслуг венгерского теоретика Габора Домокоша также выразилось в присуждении ему докторской степени.

В работе Объединенного института ядерных исследований фактически участвуют не только те ученые, которые постоянно живут в Дубне. Не менее 10 раз в году созываются совещания и семинары по отдельным узким вопросам физики или техники. Здесь в дружеской обстановке встречаются люди, связанные общими научными интересами, работающие над решением одинаковых или близких между собой проблем. Их общение помогает

устранить параллелизм, более целесообразно расходовать силы и средства.

В последние годы рабочие совещания, семинары и симпозиумы, организуемые Объединенным институтом, все чаще проводятся в разных странах. Они состоялись на озере Балатон, в Дрездене, Кракове, Софии.

### **институты кооперируются — работа идет успешнее**

Существование Объединенного института вызвало к жизни такую форму международного сотрудничества, как проведение работ на основах кооперирования между Дубной и научными центрами социалистических стран.

Ядерные фотоэмульсии, облученные на ускорителях Дубны, десятки тысяч снимков следов «событий», возникших в пузырьковых камерах, радиоактивные изотопы, приготовленные на синхротронном циклотроне, по своей активности превышающие в сотни раз изотопы, сделанные в странах Запада, — все это на самолетах доставляется в институты стран-участниц. Там группы физиков, многие из которых ранее работали в Дубне, проводят исследования по общей программе, являющейся частью труда, который затем публикуется от имени нескольких институтов. Это позволяет более быстро и эффективно продвигаться вперед.

Совместные работы проводятся также и в области создания новейшей научной аппаратуры. Здесь вместе со своими советскими коллегами успешно трудятся товарищи из ГДР, Польши, Венгрии, Румынии и Чехословакии.

К концу 1965 года одновременно в разных странах создавалось на основе кооперирования Объединенного института с институтами стран-участниц 70 научных работ.

### **международные школы, конференции, визиты**

Общепризнанным успехом пользуются международные школы физиков-теоретиков, организованные Объединенным институтом для ученых социалистических стран. Такие школы работали в

Дубне, в Ужгороде, в грузинском городе Телави, в Ялте. Молодые ученые, командированные своими странами, две недели слушают лекции о самых последних достижениях в различных областях теории. Причем каждая из этих лекций читается именно тем, кто известен своими выдающимися исследованиями в данном направлении. Дискуссии, сопровождающие лекции, дают возможность каждому из участников школы (а «студенты» здесь — на уровне кандидатов и докторов наук) принять активное участие в ее работе.

С самых первых месяцев своего существования Объединенный институт ядерных исследований является неизменным участником важнейших международных научных конференций. Поднимаясь на кафедры конференций в Женеве, Беркли, Бомбее, Монтвидео, Фраскати, Оксфорде и в других крупнейших научных центрах, ученые Дубны докладывают о новейших теоретических и экспериментальных исследованиях, привлекающих пристальное внимание коллег.

Две крупнейших научных конференции мирового значения состоялись в Дубне. В них приняли участие виднейшие физики более чем из 30 стран. Это конференция по ускорителям высоких энергий 1963 года и XII международная конференция по физике высоких энергий 1964 года. Специально для делегатов таких конференций здесь построена новая благоустроенная гостиница и современный зрительный зал.

Все шире развивается сотрудничество Объединенного института ядерных исследований с крупнейшими научными центрами западных стран. Основой этого развития является взаимная польза для каждой из сторон. По инициативе великого французского физика и общественного деятеля Фредерика Жолио-Кюри, посетившего в свое время Дубну, возникло научное сотрудничество Дубна — Франция. Оно выражается не только в обмене визитами и научными информацией. В Дубне продолжительное время работали французские физики Жорж Лошак, Жанна Лаберриг, Поль Брианде, Анри Корци. Сейчас, когда пишется эти строки, в экспериментах Лаборатории ядерных реакций участвует молодой физик из Орсе Нина Поффе, а советский ученый Ю. Ц. Оганесян проводит опыты на новом циклотроне, недавно запущенном в Орсе.

Посещение Дубны замечательным датским физиком Нильсом Бором повлекло за собой установление теснейших связей с институтом в Копенгагене, носящим ныне его имя. Уже целый ряд теоретиков и экспериментаторов из Объединенного института работал в Копенгагене, а датский теоретик Енс Банг дважды





ЛЕТОМ 1964 ГОДА В ДУБНЕ СОСТОЯЛАСЬ КРУПНЕЙШАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ.

ПЕРЕД НАЧАЛОМ ЗАСЕДАНИЯ ДЕЛЕГАТЫ ЗНАКОМЯТСЯ С ТЕКСТАМИ ДОКЛАДОВ.

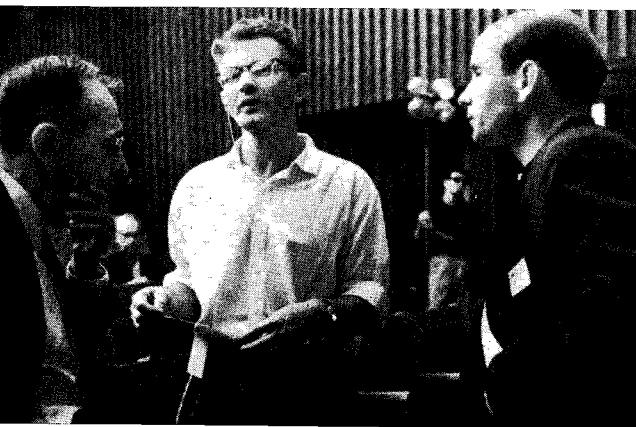


ПРОФЕССОР А. Н. ТАВХЕЛИДЗЕ (СПРАВА) РАССКАЗЫВАЕТ ИЗВЕСТНОМУ НЕМЕЦКОМУ УЧЕНОМУ Г. БЕТЕ О КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНОМ МЕТОДЕ В ТЕОРИИ ПОЛЯ, КОТОРЫЙ СОЗДАН ИМ ВМЕСТЕ С ПРОФЕССОРОМ А. А. ЛОГУНОВЫМ.

ОДИН ИЗ ОБЗОРНЫХ ДОКЛАДОВ НА XII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ СДЕЛАЛ ИЗВЕСТНЫМ ИТАЛЬЯНСКИЙ УЧЕНЫЙ ПРОФЕССОР ДЖИЛЬБЕРТО БЕРНАРДИНИ.



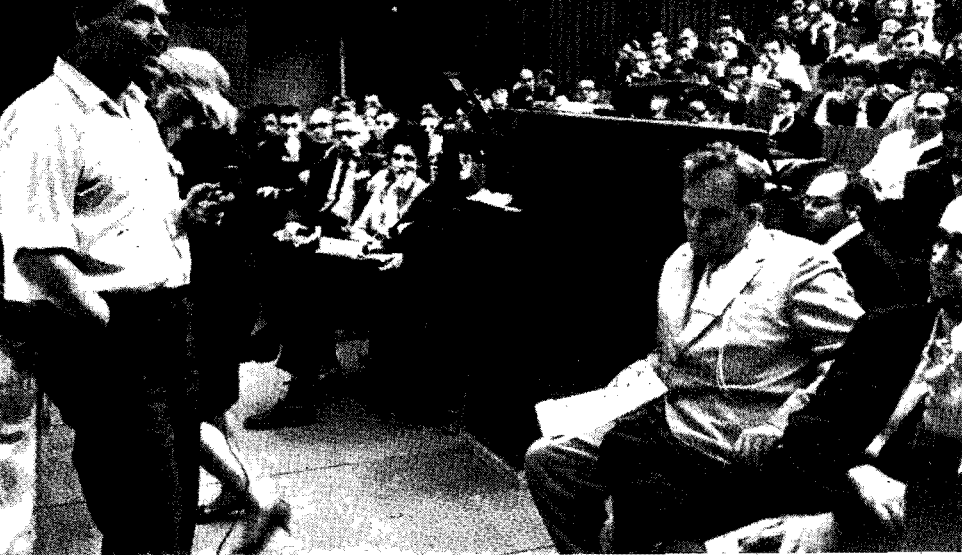
ДЕЛЕГАТЫ КОНФЕРЕНЦИИ А. АСТЬЕ (ФРАНЦИЯ) И Е. Н. КЛАДНИЦКАЯ (СССР) ОБМЕНИВАЮТСЯ МНЕНИЯМИ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ «НОВЫХ» ЧАСТИЦ.



СНАЧАЛА КАЗАЛОСЬ, ЧТО МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ ИХ РАБОТ СУЩЕСТВУЮТ БОЛЬШИЕ РАСХОЖДЕНИЯ. НО ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ДИСКУССИИ ВЫЯСНИЛОСЬ, ЧТО ЭТИ РАСХОЖДЕНИЯ СОВСЕМ НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫ. НА СНИМКЕ: ТРИ ДОКТОРА В КУЛУАРАХ КОНФЕРЕНЦИИ (Г. БРАЙТ — США, Ю. А. КАЗАРИНОВ И А. А. ТЯЧКИН — СССР).

УЧАСТНИКАМИ КОНФЕРЕНЦИИ БЫЛИ УЧЕНЫЕ ИЗ 30 СТРАН.





ОДНА ИЗ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ДИСКУССИЙ. С МИКРОФОНОМ — ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК И. В. ЧУВИЛО.

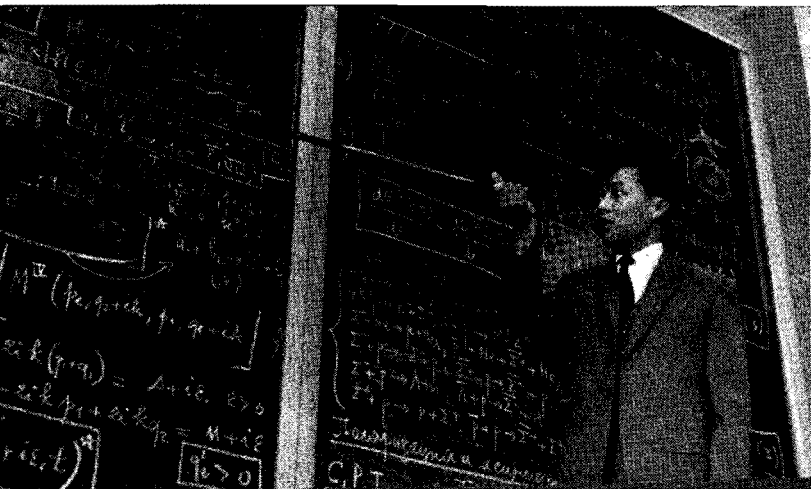


ПАКИСТАНСКИЙ ТЕОРЕТИК АБДУС САЛАМ СДЕЛАЛ В ДУБНЕ ОБЗОРНЫЙ ДОКЛАД О НОВОЙ СИСТЕМАТИКЕ ЧАСТИЦ — SU<sub>3</sub>-СИММЕТРИИ. ИНТЕРЕС К ЭТОЙ ТЕМЕ, НАД КОТОРОЙ РАБОТАЮТ МНОГИЕ ФИЗИКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА, БЫЛ ТАК ВЕЛИК, ЧТО БОЛЬШОЙ ЗАЛ ГОРОДСКОГО КЛУБА НЕ СМОГ ВМЕСТИТЬ ВСЕХ ЖЕЛАЮЩИХ.



ДЕЛЕГАТЫ КОНФЕРЕНЦИИ ОСМОТРЕЛИ ЛАБОРАТОРИИ ДУБНЫ. ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК Л. И. ЛАПИДУС (СПРАВА) ПОКАЗЫВАЕТ ИМ НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ. КРАЙНИЙ СЛЕВА НА ЭТОМ СНИМКЕ — Д. КРОНИН, В ЦЕНТРЕ — Д. ТРЕШЕР (АНГЛИЯ).

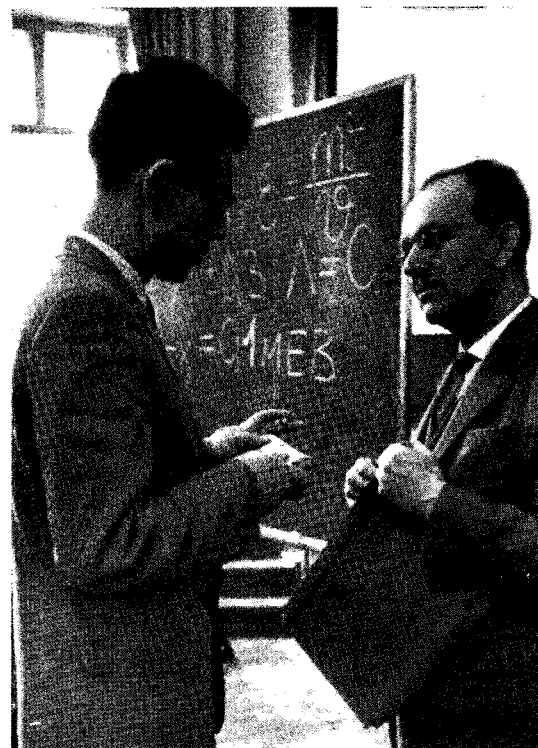




ВЬЕТНАМСКИЙ УЧЕНЫЙ НГУЕН ВАН ХЬЕУ ЗА ГОДЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ В ДУБНЕ, ЗАЩИТИЛ КАНДИДАТСКУЮ, А ЗАТЕМ ДОКТОРСКУЮ ДИСЕРТАЦИЮ.



МНОГО ЛЕТ ПРОРАБОТАВШИЙ В ДУБНЕ РУМЫНСКИЙ ФИЗИК-ЭКСПЕРИМЕНТАТОР АЛЕКСАНДРУ МИХУЛ (КРАЙНИЙ СПРАВА) НЫНЕ РУКОВОДИТ ЛАБОРАТОРИЕЙ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В БУХАРЕСТЕ. ОН ПРОДОЛЖАЕТ ВЕСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНО СО СВОИМИ КОЛЛЕГАМИ В ОИЯИ. НА СНИМКЕ: А. МИХУЛ (СПРАВА) НА ЗАСЕДАНИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ИНСТИТУТА БЕСЕДУЕТ С АКАДЕМИКАМИ В. И. ВЕКСЛЕРОМ И ХОРИЯ ХУЛУБЕЕМ.



ПРОФЕССОР Г. ПОЗЕ РУКОВОДИТ ФИЗИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ В ГДР. РАНЕЕ ОН МНОГО ЛЕТ РАБОТАЛ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ. РАССТОЯНИЕ, РАЗДЕЛЯЮЩЕЕ ДРЕЗДЕН И ДУБНУ, НЕ МЕШАЕТ ЕМУ ВЕСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕСНОМ КОНТАКТЕ СО СВОИМИ ДУБНЕНСКИМИ КОЛЛЕГАМИ. Г. ПОЗЕ — ЧЛЕН УЧЕНОГО СОВЕТА ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. НА СНИМКЕ: ПРОФЕССОР Г. ПОЗЕ (СПРАВА) И ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК А. И. ФИЛИПШОВ.

УЧЕНЫЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСОКО ЦЕНЯТ БОЛЬШОЙ ВКЛАД ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА ЦЕРНА ПРОФЕССОРА ВИКТОРА ВАЙСКОПФА В УСТАНОВЛЕНИЕ АКТИВНЫХ НАУЧНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭТИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ЦЕНТРАМИ. НА СНИМКЕ: В. ВАЙСКОПФ (В ЦЕНТРЕ) ВО ВРЕМЯ ОДНОГО ИЗ ПОСЕЩЕНИЙ ДУБНЫ.



ПОСЕЩЕНИЕ ДУБНЫ ВЕЛИКИМ ФРАНЦУЗСКИМ ФИЗИКОМ И ОБЩЕСТВЕННЫМ ДЕЯТЕЛЕМ ФРЕДЕРИКОМ ЖОЛИО-КЮРИ ПОЛОЖИЛО НАЧАЛО АКТИВНОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ УЧЕНЫХ ДУБНЫ И ФРАНЦИИ.

РАДОСТНОЙ БЫЛА ВСТРЕЧА ЖОЛИО-КЮРИ И БРУНО ПОНТЕКОРВО. ОНИ ВСПОМНИЛИ ВРЕМЯ, КОГДА РАБОТАЛИ ВМЕСТЕ (ВЕРХНИЙ СНИМОК).



ОСЕНЬЮ 1959 ГОДА ГОСТЕМ ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫЛ  
ВЫДАЮЩИЙСЯ ПОЛИТИЧЕСКИЙ ДЕЯТЕЛЬ  
ФРАНЦИИ МОРИС ТОРЕЗ.

1966 ГОД. ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ДЕЛЕГАЦИЯ  
ДРВ ОСМАТРИВАЕТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕ-  
НЕРАТОР ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИ-  
ЗИКИ.



СРЕДИ ПОЧЕТНЫХ ГОСТЕЙ  
ДУБНЫ БЫЛ ВРАЧ-КОСМО-  
НАВТ ГЕРОЙ СОВЕТСКОГО СО-  
ЮЗА Б. Б. ЕГОРОВ.



ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА ПРОФЕССОР ИВАН  
УЛЕГЛА БЕСЕДУЕТ СО СВОИМИ СООТЕЧЕСТ-  
ВЕННИКАМИ ЗНАМЕНИТЫМИ ЧЕХОСЛОВАЦКИ-  
МИ ПУТЕШЕСТВЕННИКАМИ И. ГАНЗЕЛКОЙ И  
М. ЗИКМУНДОМ. ПОСЕТИВ ДУБНУ, ОНИ ВЫ-  
СТУПИЛИ ЗДЕСЬ ПЕРЕД СОТРУДНИКАМИ ИНСТИ-  
ТУТА.





Г. СТЕМ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫЛ ВЫДАЮЩИЙСЯ АНГЛИЙСКИЙ УЧЕНЫЙ П. ДИРАК.



ПОСЕЩЕНИЕ ДУБНЫ ПРЕМЬЕР - МИНИСТРОМ АНГЛИИ Г. МАКМИЛЛАНОМ.



ВЫДАЮЩИЙСЯ ДАТСКИЙ ФИЗИК НИЛЬС БОР И ЕГО СЫН ОТЕ БОР БЫЛИ ГОСТЯМИ УЧЕНЫХ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПО ИНИЦИАТИВЕ НИЛЬСА БОРА ВОЗНИКЛА ТЕСНАЯ СВЯЗЬ ФИЗИКОВ ДУБНЫ И КОПЕНГАГЕНА: ПОСТОЯННЫЙ ОБМЕН УЧЕНЫМИ, СОВМЕСТНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. СЛЕВА НАПРАВО: ПРОФЕССОР И. М. ФРАНК, НИЛЬС БОР, ПРОФЕССОР Я. А. СМОРОДИНСКИЙ.



ВЫДАЮЩИЙСЯ ИНДИЙСКИЙ УЧЕНЫЙ ХОМИ БАБА НЕОДНОКРАТНО ПОСЕЩАЛ ДУБНУ. НА СНИМКЕ: ДОКТОР ФИЗИКО - МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК М. И. СОЛОВЬЕВ ЗНАКОМИТ ГОСТЯ (ТРЕТИЙ СЛЕВА) С НОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРОЙ ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ.

ДВАЖДЫ ПРИЕЗЖАЛА В ДУБНУ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧЕНИЦА ЖОЛИО-КЮРИ ЖАННА ЛАБЕРРИГ. НА СНИМКЕ: Ж. ЛАБЕРРИГ И СОВЕТСКИЙ ФИЗИК В. Б. ФЛЯГИН.





МНОГИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЕ ДЕЛЕГАЦИИ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАН ПОБЫВАЛИ В ДУБНЕ. ОДНОЙ ИЗ ПЕРВЫХ БЫЛА ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ДЕЛЕГАЦИЯ ЧЕХОСЛОВАКИИ ВО ГЛАВЕ С ПРЕЗИДЕНТОМ РЕСПУБЛИКИ АНТОНИИНОМ ЗАПОТОЦКИМ.



ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КАЭ США ГЛЕНН СИБОРГ (СПРАВА) БЕСЕДУЕТ С ПРОФЕССОРОМ Г. Н. ФЛЕРОВЫМИ И РУКОВОДИТЕЛЕМ НАУЧНОЙ ГРУППЫ Ю. А. ШЕРЕБАКОВЫМ.



ЧЕХОСЛОВАЦКАЯ СОТРУДНИЦА ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОТДЕЛА МИРОСЛАВА БЕМОВА ГОТОВИТ К ОТПРАВКЕ ОЧЕРЕДНУЮ ПАРТИЮ ПРЕПРИНТОВ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА.

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИМЕЕТ СОБСТВЕННУЮ ПОЛИГРАФИЧЕСКУЮ БАЗУ. ОТЛИЧНАЯ ТЕХНИКА МАЛОЙ ПОЛИГРАФИИ ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕЧАТАТЬ ПРЕПРИНТЫ БЫСТРО И НА ХОРОШЕМ ТЕХНИЧЕСКОМ УРОВНЕ.





приезжал для работы в Дубну. Датские физики ценят высокие качества радиоактивных изотопов, поступающих к ним из Дубны.

Очень хорошие деловые связи существуют между Объединенным институтом ядерных исследований и международным институтом западных стран в Женеве (ЦЕРНОм). В большой степени этому способствовал директор ЦЕРНа профессор Виктор Вайскопф. В течение нескольких лет оба института обмениваются группами ученых, которые командированы на длительный срок. На этой основе в ЦЕРНе работали физики из Венгрии, СССР, Китая, а в Дубне в это же время находились ученые Англии, ФРГ, Швейцарии, Франции.

Такие же дружественные связи установились с недавно созданным в Триесте международным теоретическим центром. Об этом уже упоминалось выше, в главе о Лаборатории теоретической физики.

Одной из эффективных форм международного сотрудничества оказались взаимные визиты ученых разных стран для чтения лекций и участия в семинарах. Обычно это бывают ведущие теоретики и экспериментаторы.

## **обмен научной информацией**

В Дубне ведутся исследования, связанные только с мирным использованием атомной энергии. Это одно из важнейших положений Устава ОИЯИ. Поэтому труды института широко публикуются и становятся достоянием физиков всего мира. Ежегодно сотни научных работ направляются в периодические издания Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, СССР, Чехословакии, Италии, Франции, США. Статьи ученых Объединенного института регулярно появляются на страницах международных научных журналов «Nuclear Physics», «Nuovo Cimento», «Nuclear Instruments and Methods», «Physics Letters».

Для того, чтобы работы, выполненные физиками социалистических стран, как можно быстрее стали известны ученым всего мира, в институте создан издательский отдел, имеющий собственную полиграфическую базу. Здесь установлены современные машины, изготовленные в Венгрии, ГДР, СССР и Чехословакии.

За 10 лет существования института в его издательском отделе отпечатано более 2500 наименований брошюр (препринтов), содержащих доклады о научных работах. В зависимости от тематики они рассылаются по более чем 1500 адресам в 37 государств всех континентов. А в обмен в библиотеку Объединенного института ежегодно поступает около 3000 препринтов, содержащих информацию о новейших работах ученых всего мира.

Фундаментальная библиотека в Дубне получает книги и на-

учную периодику из десятков стран. Её фонды содержат почти четверть миллиона печатных единиц. Ежегодно она обслуживает около ста тысяч читателей. Важную работу проводит библиографический отдел. Большим успехом пользуются библиографические бюллетени, которые издаются дважды в месяц тиражом более 200 экземпляров и рассылаются институтам стран-участниц.

■  
Не ослабевает интерес к Дубне со стороны ученых, государственных деятелей, журналистов. Следствием этого является непрекращающийся поток посетителей. Естественно, что приходится его ограничивать, т. к. осмотр лабораторий возможен лишь в то время, когда ускорители или реактор остановлены для подготовки к новой серии экспериментов.

Объединенный институт посетило значительное число ученых, партийных и государственных руководителей и журналистов из социалистических стран. Были здесь и многие известные деятели западных государств, стран Азии и Африки, такие, как П. Дирак, С. Пауэлл, П. Блэккет, Д. Кокрофт из Англии, Х. Баба и А. Рамкришнан из Индии, Ф. Перрен и Ж. Вижье из Франции, М. Чини и Э. Редже из Италии, Г. Сиборг, Р. Маршак, М. Ливингуд, Н. Рамзей, В. Панофский из США и многие другие. Институт посетили крупнейшие политические деятели: Г. Макмиллан, Г. А. Насер, Д. Хаммаршельд, послы почти всех стран, аккредитованные в Москве, большое число правительственных и научных делегаций.

ной работы. Таким образом, даже те, кто приезжает сюда, скажем, из Англии, Швейцарии, Канады или США, обычно обходятся без переводчиков. Одним словом, языковой барьер оказался мифом.

## **общие увлечения**

Что касается национальных привычек, или жизненного уклада, то здесь дело обстоит еще проще. Практически они попросту одинаковы. Оказалось, например, что ученые всех стран одинаково любят спорт. В Дубне для его приверженцев есть все условия. Зимой — каток, лыжные прогулки по прекрасному лесу или катанье с гор (здесь, конечно, есть своя собственная «Швейцария»). Летом — купанье (есть прекрасный пляж на Волге), яхты, лодки, катера, подводный спорт. В городе хороший гимнастический зал, теннисные корты.

Спортивные команды обычно состоят из представителей разных стран. Например, дубненцы еще долго будут помнить отличного баскетболиста — чехословацкого теоретика И. Бланка, отличавшегося ко всему прочему еще и рекордным ростом. Степенные и задумчивые теоретики почему-то оказались самыми активными футболистами. Чехословацкие и советские альпинисты дважды покоряли высочайшие вершины Памира. Польские и немецкие физики часто бывают инициаторами путешествий в экзотические места Средней Азии, а известный монгольский ученый Содном Намсарайн и румынский физик Александру Михул, поработав в Дубне, стали страстными кинолюбителями.

## **искусство сближает**

Конечно, у каждого из народов, представленных в Дубне, свои особенности в истории и формах культуры. Но этим-то как раз и интересна культурная жизнь города науки на Волге. Традиционные национальные вечера в Доме ученых, просмотры кинофильмов, диспуты на выставках картин и скульптуры, фотовыставки или демонстрация народных вышивок — все это сближает людей из разных стран, обогащает их внутренний мир. И если выступает на одном из вечеров в Доме ученых польский писатель-фантаст С. Лемм, советская поэтесса Юлия Друнина, прославленные М. Зикмунд и И. Ганзелка или оркестр венгерских студентов — это одинаково интересно для всех дубненцев независимо от их национальности.

## **так живут друзья**

Дружеское сотрудничество, взаимная выручка, прекрасные человеческие отношения, — это то, что отличает творческую атмосферу, царящую в лабораториях Дубны. Ну а как складывается личная жизнь тех, кто здесь работает? Не мешают ли, например, языковые различия, национальные привычки или склонность к своеобразной кухне?

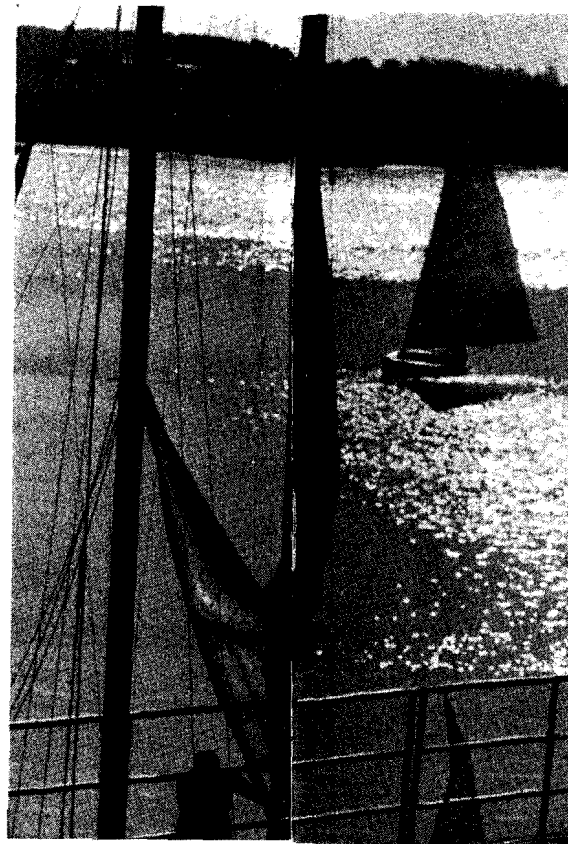
Нужно сказать, что подобные опасения не возникали даже в самом начале существования Объединенного института.

Поскольку страной местопребывания института является Советский Союз, языковой базой для общения физиков разных стран стал русский язык. Многие ученые знали его еще до приезда в Дубну, т. к. постоянно читали труды своих советских коллег. (Заметим, что по той же причине русский язык изучают очень многие ученые и в капиталистических странах.)

В то же время и советские ученые, которые внимательно читают труды физиков западных стран, в большинстве своем владеют английским языком. Это в особенности относится к тем, кому приходилось выезжать на Запад для чтения лекций или времен-



УЮТНЫЕ КОТТЕДЖИ — НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ ГОРОДСКОГО ПЕЙЗАЖА.



ДОМ ТОРГОВЛИ СНАБЖАЕТ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА МНОГИМИ НЕОБХОДИМЫМИ ВЕЩАМИ, НАЧИНАЯ ОТ ХОЛОДИЛЬНИКОВ И КОНЧАЯ СОВРЕМЕННЫМИ МЕБЕЛЬНЫМИ ГАРНИТУРАМИ



В ШКОЛАХ И ДЕТСКИХ САДАХ ДУБНЫ ВМЕСТЕ РАСТУТ И УЧАТСЯ ДЕТИ ВСЕХ НАЦИОНАЛЬНОСТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ОБЪЕДИНЕННОМ ИНСТИТУТЕ. МНОГИЕ ИЗ НИХ — ПОСТОЯННЫЕ ПОСЕТИТЕЛИ ДЕТСКОГО СЕКТОРА ГОРОДСКОГО КЛУБА.

ЧТО МОЖЕТ БЫТЬ ЛУЧШЕ ЛЫЖНОЙ ПРОГУЛКИ ПО ЖИВОПИСНЫМ ЛЕСАМ, ОКРУЖАЮЩИМ ДУВНУ?



## **Дружба навсегда**

Маленький Миша — сын вьетнамского теоретика Нгуена Ван Хьеу — бегает на лыжах среди могучих сосен. Он не удивляется тому, что снег такой белый и сверкающий: Миша родился в Советском Союзе. Он ходит в детский сад, где учит стихи и поет песни вместе с такими же маленькими ребятами, не задумываясь над тем, что один из них русский, другой — болгарин, а девочка в ярком платьице — немка.

Совсем не размышляя о том, что представляет собой международная дружба, ребята в детских садах, школах Дубны или в веселом пионерском лагере на волжском берегу — просто дружат, учатся, играют вместе. И эта дружба останется в их сердцах навсегда.



Мы рассказали Вам, уважаемый читатель, о том, как рос и развивался международный научный центр на берегу Волги, о жизни и основных достижениях его многонационального коллектива. И если у Вас создалось хотя бы самое общее впечатление о Дубне, мы можем считать свою первую задачу выполненной. Следующая наша задача — показать подготовленному читателю более конкретно наиболее интересные научные работы Объединенного института. Сведения о них находятся во второй части книги.

**ОСНОВНЫЕ  
НАУЧНЫЕ  
НАПРАВЛЕНИЯ**

Уже из первой части книги можно видеть, насколько широкую область ядерной физики охватывают научные исследования, проводимые Объединенным институтом в Дубне. Трудно перечислить коротко даже главные научные направления, поэтому здесь укажем только, что в институте изучаются многочисленные разнообразные процессы, протекающие при взаимодействии между элементарными частицами и атомными ядрами в различных областях энергий, от самых малых до миллиардов электронвольт. Эти процессы изучаются в экспериментах на пучках ускорителей (синхрофазотрона, синхроциклотрона, циклотронов многозарядных ионов, электростатических генераторов), а также с помощью импульсного реактора. Над раскрытием основных закономерностей микромира работают теоретики института. Большой многонациональный коллектив ученых за 10 лет существования ОИЯИ выполнил много интересных задач, среди них — целый ряд важнейших для современной физики работ, получивших признание международных научных кругов.

Здесь делается попытка перечислить результаты основных исследований, проведенных сотрудниками Объединенного института за прошедшее десятилетие. При этом авторы сожалеют, что не видят возможности указать без ущерба для краткости изложения имена тех ученых, которые выполнили эти труды. В некоторой степени этот недостаток восполняется рассказом о лабораториях в первой части книги и приводимым ниже списком лучших работ института, удостоенных премий ОИЯИ в 1961—1965 годах.

### ЛУЧШИЕ РАБОТЫ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, УДОСТОЕННЫЕ ПРЕМИЙ ОИЯИ

1961 ГОД

Три равноценные премии:

а) Ван Ган-чан, Ван Цу-Цзен, В. И. Векслер, Н. М. Вирясов, И. Врана, Дин Да-цао, В. Г. Иванов, Ким Хи Ин, Е. Н. Кладницкая, А. А. Кузнецов, А. Михул, Нгуен Дин Ты, А. В. Никитин, М. И. Соловьев, Чен Лин-янь, И. В. Чувило.

«Открытие антисигма-минус-гиперона и комплекс работ по изучению свойств странных частиц, рожденных отрицательными пионами с энергией 7—8 Гэв в пропановой пузырьковой камере».

б) Д. П. Василевская, А. А. Глазов, В. И. Данилов, Ю. Н. Денисов, В. П. Джелепов, В. П. Дмитриевский, Б. И. Замолотчиков, Н. Л. Заплатин, В. В. Кольга, А. А. Кропин, Лю Не-чуань, В. С. Рыбалко, Л. А. Саркисян, А. Л. Савенков.

Цикл работ «Циклотрон с пространственной вариацией напряженности магнитного поля».

в) Д. И. Блохинцев, М. А. Марков, Б. М. Понтекорво.  
Цикл работ, посвященных физике слабых взаимодействий при высоких энергиях.

1962 ГОД

Первая премия (общая):

а) Т. Д. Блохинцева, А. Т. Василенко, В. Г. Гребинник, В. А. Жуков, Г. Либман, Л. Л. Неменов, Г. И. Селиванов, Юань Жу-фан.

«Комплексная установка с восьмилитровой водородно-дейтериевой камерой в магнитном поле».

б) И. Габанец, А. А. Журавлев, М. Кармасин, В. И. Котов, Э. А. Мяз, В. А. Обозный, Ю. Л. Обухов, В. А. Петухов.

«Кольцевой фазотрон с радиальными секторами».

2 вторые премии:

а) Ю. К. Акимов, Л. И. Лапидус, О. В. Савченко, Л. М. Сококо.

«Цикл научных исследований по проверке принципа зарядовой инвариантности в реакции  $d + d \rightarrow \text{He}^4 + \pi^0$  при энергии дейтронов 400 Мэв».

б) А. А. Логунов.

Цикл исследований по теории дисперсионных соотношений для неупругих процессов.

1963 ГОД

Первая премия:

А. Ф. Дунайцев, А. И. Мухин, В. И. Петрухин, Ю. Д. Прокошкин, В. И. Рыкалин.

«Цикл работ по экспериментальному обнаружению процесса бета-распада пиона и определение вероятности этого распада».

2 вторые премии:

а) Г. М. Александров, О. А. Займидорога, М. М. Кулюкин, Б. М. Понтекорво, Р. М. Суляев, И. В. Фаломкин, А. И. Филиппов, В. М. Цупко-Ситников, Ю. А. Щербаков.

«Цикл работ по исследованию реакции  $\mu^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \nu$ ».

б) о б щ а я:

Г. Домокош.

Цикл работ «Поведение амплитуд рассеяния при высоких энергиях».

В. Г. Соловьев.

Цикл работ «Парные корреляции сверхпроводящего типа и свойства атомных ядер».

1964 ГОД

Первая премия:

В. А. Карнаухов, Л. А. Петров, В. Г. Субботин, Г. М. Тер-Акопян, Г. Н. Флеров.

«Протонный распад радиоактивных ядер».

## Вторая премия:

Е. М. Андреев, Н. Н. Говорун, И. А. Голутвин, В. Д. Инкин, Ю. А. Каржавин, С. М. Коренченко, В. Д. Неустроев, М. И. Попов, В. Д. Степанов, Г. Н. Тентюкова, Ху Чя-вей, И. В. Чувило.

Цикл работ по разработке и внедрению серии систем автоматической обработки фотографий пузырьковых камер.

## 1965 ГОД

### 2 первые премии:

а) Л. Ф. Кириллова, З. Корбел, П. Марков, В. А. Никитин, А. А. Номофилов, В. С. Пантуев, Л. Роб, В. А. Свиридов, И. М. Ситник, Л. А. Слепец, Л. Н. Струнов, М. Н. Хачатурян, Л. Христов, М. Г. Шафранова.

«Разработка методов исследования упругого рассеяния протонов и  $\pi$ -мезонов высоких энергий на протонах и ядрах в области кулоновской интерференции, открытие конструктивной интерференции в  $pp$ -рассеянии и исследование зависимости реальной части амплитуды упругого  $pp$ -рассеяния от энергии».

б) Ш. И. Барилко, В. А. Владимиров, Г. П. Жуков, Б. Е. Журавлев, Г. И. Забиякин, В. Н. Замрий, В. И. Семашко, В. Г. Тишин, В. Д. Шibaев.

«Измерительный центр Лаборатории нейтронной физики».

### 2 вторые премии:

а) Б. А. Арбузов, А. А. Логунов, Нгуен Ван Хьеу, А. Н. Тавхелидзе, И. Тодоров, Р. Н. Фаустов, А. Т. Филиппов, О. А. Хрусталев.

«Квазипотенциальный метод в теории поля».

б) К. А. Байчер, А. В. Богомолов, Ю. А. Будагов, А. Т. Василенко, В. П. Желепов, Н. И. Дьяков, В. Г. Иванов, В. С. Кладницкий, В. И. Лепилов, Ю. Ф. Ломакин, В. И. Москалев, Н. С. Толстой, В. Б. Флягин, Н. И. Фролов, П. В. Шляпников, Т. Шетет.

«Метровая пузырьковая камера в магнитном поле».

## лаборатория ядерных проблем

Старейшая лаборатория института — Лаборатория ядерных проблем — вошла в состав ОИЯИ, имея за плечами солидный груз серьезных научных исследований, действующий ускоритель — синхротрон на 680 Мэв, сложившийся квалифицированный коллектив.

Возможность получения на ускорителе пучков различных частиц (протонов, дейтронов, альфа-частиц, нейтронов, пи-мезонов и мю-мезонов) позволяет научным группам лаборатории вести интенсивные исследования широкого круга явлений, происходящих при столкновении элементарных частиц высоких энергий с нуклонами и атомными ядрами. В круг вопросов, изучением которых занимаются экспериментаторы лаборатории, входят: исследование элементарных процессов сильного взаимодействия (нуклон-нуклонные, пион-нуклонные и пион-пионные взаимодействия), изучение слабых взаимодействий, свойств мю-мезонов и мезоатомов, а также взаимодействий нуклонов и пионов с ядрами.

Среди основных направлений деятельности лаборатории — также разработка экспериментальной аппаратуры и работы в области ускорителей.

## Исследование элементарных процессов сильного взаимодействия

Область сильных взаимодействий ( $NN$ ,  $\pi N$  и других) при высоких энергиях является традиционной для Лаборатории ядерных проблем. Исследования в этом направлении ведутся на синхротроне уже в течение 15 лет, они внесли существенный вклад в физику элементарных частиц в области энергий до 1 Гэв.

**а) Нуклон-нуклонные взаимодействия.** Детальное изучение элементарных актов упругого рассеяния нуклонов нуклонами, которое ведется в лаборатории, позволило определить основные характеристики этих процессов в широком интервале энергий нуклонов — от 300 до 660 Мэв: сечения упругого рассеяния и угловые распределения для  $nr$ - и  $pp$ -соударений, а также полные сечения взаимодействия этих частиц. Здесь впервые были получены данные об упругом рассеянии нейтронов и непосредственно доказана зарядовая симметрия ядерных сил. С высокой точностью были проведены измерения  $pp$ -рассеяния. При исследовании зависимости сечения  $pp$ -рассеяния с большой передачей импульса от энергии было обнаружено проявление резонансного взаимодействия.

Подробно, вплоть до очень малых углов, изучено рассеяние нейтронов протонами. Результаты этих исследований показали, что с ростом энергии от 380 до 660 Мэв зависимость сечения упругого рассеяния от угла претерпевает сильное изменение. Это вызывается резким увеличением неупругих процессов при энергиях, значительно превышающих порог мезообразования, что придает упругому рассеянию нуклонов дифракционный характер.

Изучение рассеяния нейтронов протонами позволило установить вклады от обменных и обычных сил в  $nr$ -взаимодействие, а также разделить взаимодействия нуклонов в состояниях, характеризующихся изотопическими спинами  $T=0$  и  $T=1$ . При изучении обменного  $nd$ -рассеяния в лаборатории впервые были получены интересные данные о вкладе спиновообменных сил в обменное взаимодействие нуклонов.

Большой интерес проявляется к анализу сильных взаимодействий с точки зрения самых общих принципов теории поля. Изучение дифференциальных сечений  $nr$ -рассеяния в области малых передач импульса важно не только для непосредственного определения константы пион-нуклонного взаимодействия, но и для проверки развиваемых в ряде теоретических работ новых методов подхода к анализу широкого класса явлений. В Лаборатории были выполнены с высокой точностью исследования  $nr$ -рассеяния при энергии 630 и 190 Мэв. Эти данные позволили определить

константу  $\pi N$ -взаимодействия из опытов по нуклон-нуклонному рассеянию. Сотрудники Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории теоретической физики произвели обработку полученных экспериментальных результатов совместно с другими данными при разных значениях энергии. Использование предложенного авторами этой работы нового метода анализа с учетом двух полюсов приводит к лучшему, чем в ранее использовавшихся методах, согласию со значением константы  $\pi N$ -взаимодействия  $f^2=0,08$ .

Как известно, для однозначного фазового анализа опытных данных по упругому рассеянию нуклонов необходимы данные экспериментов не только с неполяризованными, но и с поляризованными пучками нуклонов. С 1956 года внимание физиков лаборатории направлено на изучение поляризационных явлений в упругом рассеянии нуклонов нуклонами.

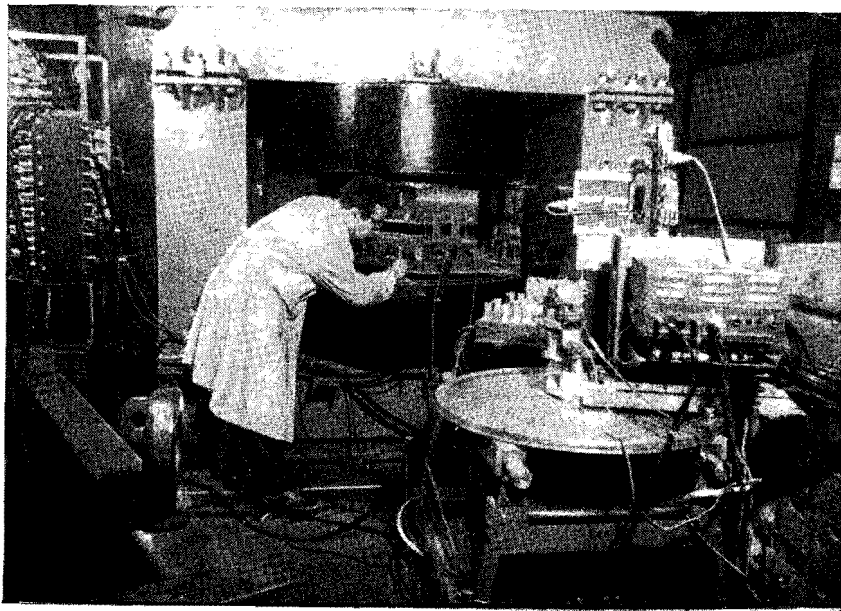
В соответствии с намеченной программой исследования нуклон-нуклонного рассеяния при энергии 650 Мэв выполнен ряд сложных и очень трудоемких экспериментов. В опытах были использованы сложные электронные схемы, оригинальные установки с искровыми камерами. В результате этого физиками лаборатории для протон-протонного рассеяния были получены данные о параметрах поляризации  $P$  и деполяризации  $D$ , коэффициентах спиновой корреляции  $C_{nn}$  и  $C_{np}$  и коэффициенте спиновой корреляции для поляризованного пучка, параметре вращения вектора поляризации  $R$  и параметре  $A$ . Таким образом, в значительной мере завершена выполнявшаяся в лаборатории в течение ряда лет программа исследований, необходимых для определения амплитуды  $pp$ -рассеяния при энергии 650 Мэв. Полученные данные позволили сделать ряд важных выводов о характере взаимодействия в этой области энергий и провести фазовый анализ, о чем будет сказано ниже.

Поляризация при рассеянии нейтронов протонами изучалась в опытах с квазисвободным  $pn$ -рассеянием на дейтроне. В результате анализа опытных данных, полученных при энергии 635 Мэв, была обнаружена значительная величина поляризации нуклонов в состояниях с изотопическим спином  $T=0$ . Это позволило сделать заключение о большой роли нецентральных сил во взаимодействии нуклонов в указанных состояниях, а также о неприменимости модели нуклона в виде черного шарика для описания взаимодействия нуклонов при энергиях 600—700 Мэв.

Интересное исследование было проведено в лаборатории с целью устранения неоднозначности фазового анализа данных о  $pp$ -рассеянии при 310 Мэв, выполненного в Беркли. Оригинальная годоскопическая система из сотен счетчиков с импульсным питанием явилась высокоэффективным регистрирующим прибором, позволившим осуществить сложный опыт по тройному рассеянию протонов в ранее недоступной (по интенсивности) области энергий 310 Мэв и измерить коэффициент спиновой корреляции  $C_{nn}(90^\circ)$ .

Значительным успехом ученых лаборатории является проведенный здесь совместный фазовый анализ данных о взаимодействии нуклонов с нуклонами. Идея о целесообразности такого подхода к анализу данных об *nr*- и *pp*-взаимодействиях была развита в лаборатории еще раньше. С помощью оригинального метода, предложенного математиками Вычислительного центра ОИЯИ, впервые удалось провести программу такого анализа при энергиях ниже порога рождения пи-мезонов. Этот модифицированный фазовый анализ, в котором последовательно использовались идеи, связанные с одномезонным обменом, был выполнен для энергий нуклонов 310, 210, 147, 95 и 40 *Мэв*. Анализу предшествовали точные измерения в Лаборатории ядерных проблем при энергиях 310 и 210 *Мэв* ряда параметров, которые были известны из измерений в других институтах с недостаточной точностью. В результате был получен практически один набор фаз для данных по нуклон-нуклонному рассеянию в области от 40 до 300 *Мэв*. Анализ с такой точностью и полнотой был проведен впервые.

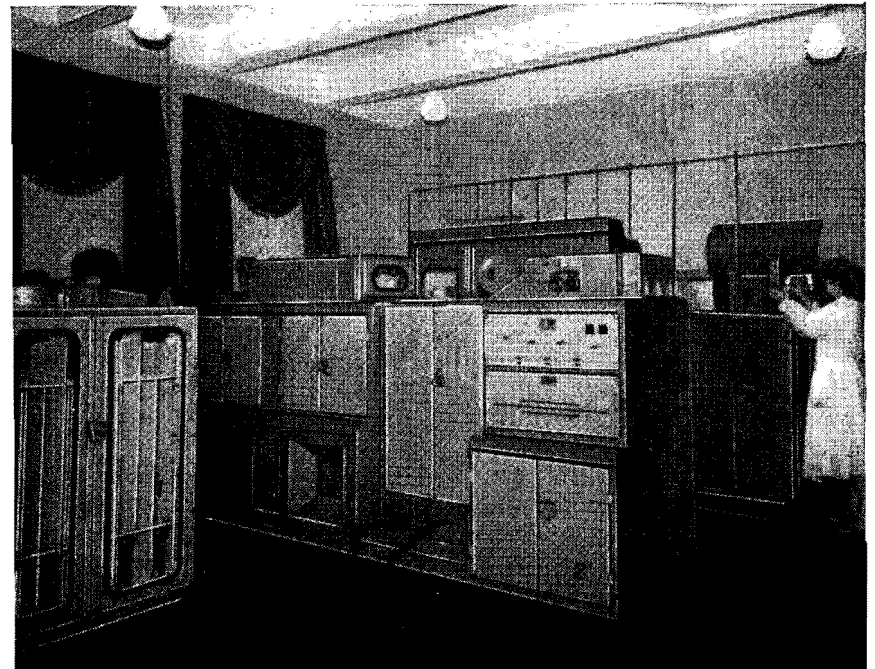
В лаборатории сделан также следующий шаг — проведен фазовый анализ экспериментальных данных о *pp*-рассеянии при энергиях 660 и 430 *Мэв*. При этом в первом случае была использована большая информация как об упругих, так и о неупругих



МАГНИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ПИ-МЕЗОНОВ, РОЖДАЮЩИХСЯ В НУКЛОН-НУКЛОННЫХ СОУДАРЕНИЯХ.

процессах (рождение мезонов), которая была накоплена непосредственно в Лаборатории ядерных проблем в результате нескольких лет систематических исследований, а во втором — данные других лабораторий. Получено небольшое число наборов фаз, причем один из них близок по характеру к решению, найденному для области ниже порога мезообразования. Фазовый анализ позволил определить, какие состояния играют основную роль в процессах рождения мезонов в области энергий 400—660 *Мэв*, а также указал, какие эксперименты целесообразно проводить для дальнейшего устранения многозначности анализа.

В соответствии с указаниями, полученными из фазового анализа, в лаборатории продолжают эксперименты по измерению различных поляризационных параметров, среди которых особенно трудными являются измерения в процессах *pp*-столкновений. Значительное число таких опытов выполнено в последнее время. Следует подчеркнуть, что в результате выполнения большой программы опытов и эффективного анализа в широкой области энергий нуклонов в лаборатории получена наиболее полная информация о ядерных силах, которая извлекается из эксперимента.



ФОТОЛАБОРАТОРИЯ ИНСТИТУТА ОБОРУДОВАНА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ ДЛЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ПЛЕНКИ.



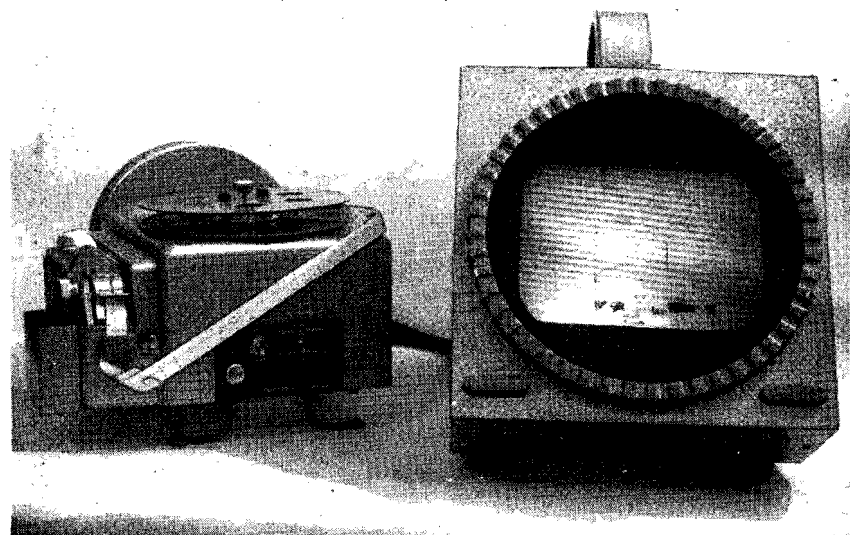
Ускорение протонов до энергии в несколько сотен  $Mэв$  дает возможность изучать процессы образования  $\pi$ -мезонов при столкновении нуклонов с нуклонами и ядрами в области энергий, значительно превышающих порог образования мезонов (около  $300 Mэв$  для нуклон-нуклонных соударений). Проведенное в лаборатории в течение ряда лет систематическое исследование процессов рождения нейтральных и заряженных  $\pi$ -мезонов, включающее большое число сложных и методически разнообразных опытов (анализ спектров  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов, магнитный анализ вторичных протонов и дейтронов, магнитный анализ заряженных мезонов, метод фотопластинок), позволило составить достаточно полную картину рождения пионов в широкой области энергий от порога до  $650 Mэв$ .

Исследования процессов образования мезонов в  $pp$ -и  $np$ -соударениях показали, что с ростом энергии сталкивающихся нуклонов от  $400$  до  $660 Mэв$  сильно растут сечения этих процессов, и при энергии  $660 Mэв$  вклад их в полное сечение нуклон-нуклонных взаимодействий достигает  $40\%$ . Экспериментами установлено, что при взаимодействии нейтронов с протонами  $\pi$ -мезоны обоих знаков образуются с одинаковой вероятностью. Это позволяет считать справедливой гипотезу зарядовой симметрии ядерных сил в области мезонных явлений. Впервые поставленные эксперименты по изучению образования  $\pi^0$ -мезонов нейтронами показали, что при соударении двух нейтронов (подобно соударению двух протонов) запрещено рождение  $\pi^0$ -мезонов около порога. Установлено также, что по мере удаления от порога сечение рождения  $\pi^0$ -мезонов в  $nn$ -соударениях быстро растет с энергией.

Цикл опытов по изучению рождения заряженных мезонов в  $np$ -соударениях при энергии около  $600 Mэв$  дал возможность выяснить особенности образования пи-мезонов в состоянии двух-нуклонной системы с изотопическим спином  $T=0$ . На многоканальном магнитном спектрометре измерены энергетические спектры  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов от  $np$ -соударений, определены их угловые распределения, найдено угловое распределение заряженных мезонов для состояния  $np$ -системы с изотопическим спином  $T=0$ . Было установлено, что сечение образования мезонов в этом состоянии системы двух нуклонов составляет не более  $30-40\%$  от сечения для состояния с  $T=1$ .

Изучение процессов рождения пи-мезонов, помимо сведений о механизме их образования, дает возможность непосредственной проверки одного из основных законов симметрии сильных взаимодействий — зарядовой независимости. В Лаборатории ядерных проблем были проделаны точные эксперименты, в которых выводы, следующие из закона сохранения изотопического спина, проверялись путем сравнения сечений рождения  $\pi$ -мезонов в реакциях:  $p+p \rightarrow \pi^+ + d$  и  $n+p \rightarrow \pi^0 + d$ .

Еще более точным методом является установление степени запрета реакции  $d+d \rightarrow \pi^0 + \alpha$ , которая может происходить лишь



ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ С ИСКРОВЫХ КАМЕР.

в случае несохранения изотопического спина. Путем нескольких последовательных измерений с помощью совершенной аппаратуры (сепаратор частиц, вакуумный тракт и т. п.) физики лаборатории установили, что величина полного сечения указанной реакции меньше  $10^{-33} \text{ см}^2$  (с  $90\%$ -ной достоверностью). Она близка к сечению электромагнитного процесса  $d+d \rightarrow \gamma + \alpha$ , в то время как при отсутствии запрета по изотопическому спину сечение может быть в  $100$  раз больше (что имеет место в ряде аналогичных процессов). Это свидетельствует о высокой строгости выполнения закона сохранения изотопического спина в процессах мезон-нуклонного взаимодействия.

Таким образом, совокупность полученных в лаборатории сведений о процессах рождения пи-мезонов в нуклон-нуклонных соударениях с хорошей точностью подтверждает закон сохранения изотопического спина.

**б) Пион-нуклонные и пион-пионные взаимодействия.** Исследования рассеяния  $\pi$ -мезонов нуклонами начались в лаборатории после получения хорошо коллимированных пучков  $\pi$ -мезонов в  $1954$  году, когда практически не имелось данных, относящихся к области энергий  $\pi$ -мезонов выше  $200 Mэв$ . В проведенных опытах использовалась самая различная методика исследований: фотоэмульсии, камеры Вильсона и диффузионные камеры, сцинтилляционные счетчики, годоскопические системы, позднее — жидко-

водородная пузырьковая камера и искровые камеры. В ряде работ были изучены энергетические зависимости полных сечений взаимодействия заряженных мезонов с водородом и дейтерием в области энергий 140—400  $Mэв$ , а также угловые распределения мезонов, упруго и с перезарядкой рассеянных водородом при энергиях мезонов от 176 до 360  $Mэв$ . Данные исследований подтвердили принцип зарядовой симметрии систем типа мезон — нуклон, а также принцип зарядовой независимости ядерных сил. Эти эксперименты также подтвердили резонансный характер взаимодействия мезонов с нуклонами в области энергии мезонов до 300  $Mэв$ , причем было показано, что максимум сечения взаимодействия лежит около 190  $Mэв$ .

Проведенные с большой точностью измерения позволили выполнить подробный фазовый анализ данных, из которого получена оценка радиуса мезон-нуклонного взаимодействия  $7 \cdot 10^{-14}$  см.

В связи с возникшими несколько лет назад сомнениями по поводу применимости дисперсионных соотношений к анализу  $\pi p$ -рассеяния в лаборатории был поставлен ряд экспериментов с целью получения новых данных об этих процессах. С помощью диффузионной камеры были измерены угловые распределения упруго рассеянных на водороде  $\pi^-$ -мезонов с энергией 128 и 162  $Mэв$  близ первого резонанса. Была определена действитель-

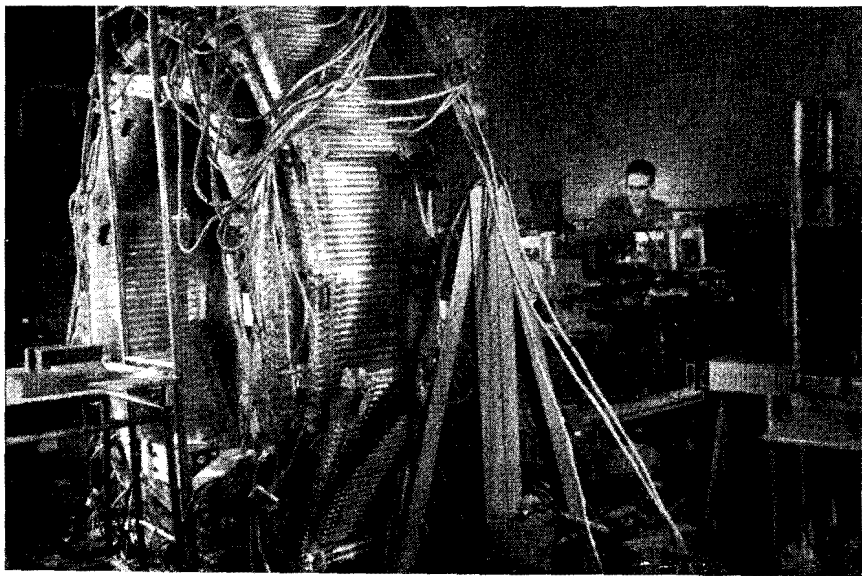
ная часть амплитуды  $\pi p$ -рассеяния вперед. Электронными методами с высокой точностью (1—2%) были измерены полные сечения  $\pi p$ -взаимодействия в области 140—330  $Mэв$  при 100 значениях энергии. С учетом наиболее точных данных, полученных в Лаборатории ядерных проблем и в других институтах, теоретиками ЛТФ была рассчитана реальная часть амплитуды рассеяния вперед для значения константы связи  $f^2=0,08$ . Сравнение показало, что полученные разными лабораториями наиболее точные данные о  $\pi^- p$ -рассеянии не противоречат дисперсионным соотношениям во всей хорошо исследованной области энергий вплоть до 400  $Mэв$ .

Предпринятые в лаборатории прецизионные измерения сечений  $\pi p$ -рассеяния позволили также проверить гипотезу теоретиков о существовании псевдоскалярного  $\rho_0$ -мезона со спином 0. Было показано, что в интервале масс 260—420  $Mэв/c^2$  нет указаний на существование такого мезона.

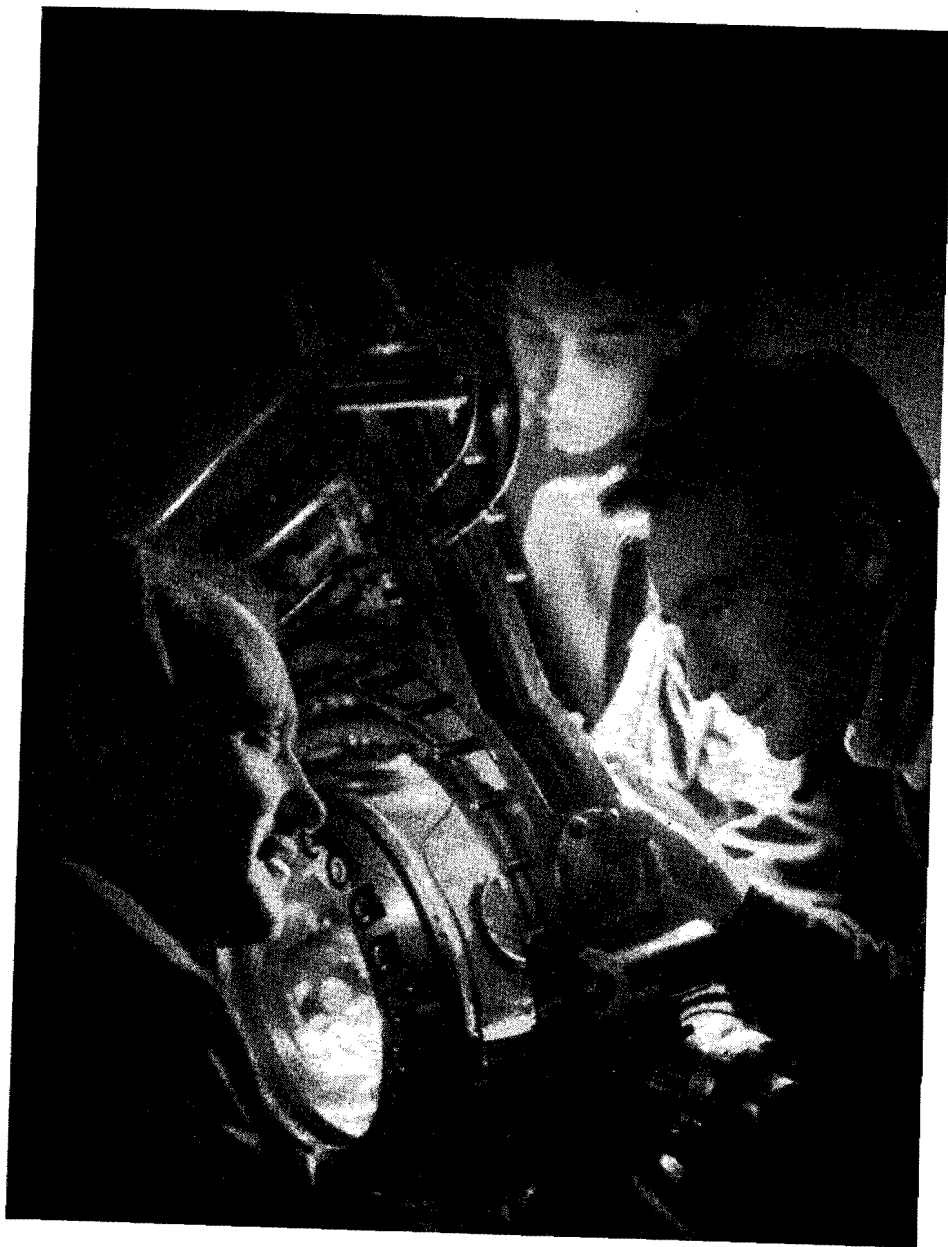
В связи с предсказаниями теоретиков о возможности существования второго нейтрального пи-мезона с массой, близкой к массе обычного  $\pi^0$ -мезона, и также распадающегося на 2 гамма-кванта, экспериментаторы лаборатории провели изучение углового распределения гамма-квантов, образованных при захвате  $\pi^-$ -мезонов в водороде. Для этих опытов была создана сложная годоскопическая установка из 1500 счетчиков, обладающая высокими эффективностью и угловым разрешением ( $1^\circ$ ). Чувствительный метод позволил прийти к заключению о невозможности существования такого мезона. С помощью этой же установки удалось сделать первую оценку верхнего предела вероятности распада  $\pi^0 \rightarrow 3\gamma$ , запрещенного требованием С-инвариантности. В дальнейшем на установке с тремя черенковскими спектрометрами полного поглощения относительная вероятность  $\lambda = W(\pi^0 \rightarrow 3\gamma)/W(\pi^0 \rightarrow 2\gamma)$  с 90%-ной достоверностью была оценена как  $\lambda < 5 \cdot 10^{-6}$ . Имевшиеся до этих пор более грубые оценки давали значение  $\lambda < 9 \cdot 10^{-4}$ .

Важной характеристикой взаимодействия пионов с нуклонами при малой энергии является отношение Папофского — отношение вероятностей мезонного и радиационного захвата  $\pi^-$ -мезонов в водороде:  $P = W(\pi^- p \rightarrow \pi^0 n)/W(\pi^- p \rightarrow \gamma n)$ . Несколько лет назад возник разнобой при определении этой величины различными группами физиков. В связи с этим в Лаборатории ядерных проблем было предпринято точное измерение указанного отношения. В отличие от ранее выполненных работ здесь величина отношения определялась непосредственно путем сравнения числа совпадений двух гамма-квантов, образовавшихся при распаде  $\pi^0$ -мезона, с числом гамма-квантов второй реакции. Величина отношения оказалась равной  $P = 1,40 \pm 0,08$ .

Максимальная энергия, при которой в лаборатории исследовалось  $\pi p$ -взаимодействие, равна 390  $Mэв$ . Эти опыты были проведены с помощью фотоэмульсий. Анализ полученных данных



ГОДОСКОПИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ИЗ 1500 ГАЙГЕРОВСКИХ СЧЕТЧИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ. СИСТЕМА ОБЛАДАЕТ ВЫСОКИМИ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ.



ЖИДКОВОДОРОДНАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА, РАБОТАЮЩАЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ. РАБОЧИЙ ОБЪЕМ КАМЕРЫ — 8 ЛИТРОВ.

об упругом  $\pi^+p$ -рассеянии позволил найти фазовые сдвиги для  $s$ - и  $p$ -состояний; фазы  $d$ -волны оказываются малыми. Оценка действительной части амплитуды рассеяния вперед хорошо согласуется с расчетами при помощи дисперсионных соотношений для  $f^2=0,08$ .

В последние годы одним из главных направлений работ лаборатории является изучение взаимодействия пи-мезонов с пи-мезонами. Ранее здесь при помощи сцинтилляционных счетчиков была определена энергетическая зависимость дифференциального сечения образования мезонов в процессах  $\pi^- + p \begin{cases} \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p \\ \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n \end{cases}$  в области

энергий 250—370 Мэв и впервые получены сведения об энергетической зависимости суммарной вероятности двух ветвей реакции. Особое значение имеет исследование процессов  $\pi N$ -взаимодействия с рождением дополнительного мезона вблизи порога, т. к. для этой области энергий имеется строгая теория, позволяющая анализировать это явление и выделять эффект  $\pi\pi$ -взаимодействия. Для таких экспериментов очень эффективным оказался метод фотоэмульсий. Проведенные за последние годы в лаборатории исследования реакций  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$  и  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$  в области энергий 210—310 Мэв позволили определить сечение процесса перезарядки  $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^0\pi^0$  при малых энергиях, а также длины рассеяния в  $s$ -состоянии со значениями изотопического спина  $T=0$  и  $T=2$ . Теоретический анализ данных дал важные количественные сведения об интенсивности  $\pi\pi$ -взаимодействия.

Опыты по исследованию рождения пар пионов в пион-нуклонных и протон-дейтронных столкновениях, проведенные с помощью фотоэмульсий и электронных систем, позволили получить интересные данные о пион-пионном взаимодействии при полной энергии в с. ц. м. 300 Мэв. Данные, полученные в Лаборатории ядерных проблем, показали, что обнаруженное американскими физиками сильное взаимодействие пионов при этой энергии не сводится к резонансу, как это первоначально считалось. В Дубне было впервые установлено значение изотопического спина состояния, в котором происходит сильное взаимодействие пионов при 300 Мэв. В дальнейшем эти заключения были подтверждены экспериментами в других центрах. Теоретическими работами (ЛТФ) обнаруженное экспериментаторами взаимодействие было связано с особыми свойствами аналитического поведения амплитуды пион-пионного взаимодействия.

При изучении процессов образования мезонов мезонами в ядерной эмульсии физики обнаружили новое явление — двойную перезарядку  $\pi^+$ -мезонов. Анализ привел авторов к заключению, что процесс, вероятно, идет по схеме:  $\pi^+ + n \rightarrow \pi^0 + p$

$$\downarrow \rightarrow \pi^0 + n \rightarrow \pi^- + p.$$

Вскоре ими была обнаружена также двойная перезарядка  $\pi^-$ -мезонов. Измерения полных сечений этих процессов в интервале энер-

гий 30—140 Мэв показали, что величина сечения перезарядки  $\pi^-$  значительно меньше величины сечения первого процесса. Этот недавно обнаруженный процесс вызывает большой интерес физиков, особенно в связи с возможностью образования необычных ядер. Исследования этих процессов начались также в ряде других институтов. Последующее изучение двойной перезарядки на различных ядрах (Be, C, Al, Pb) показало, что сечение процесса для пионов обоих знаков растет с увеличением атомного номера ядра.

Большой экспериментальный материал о механизме рождения пар пионов в пион-нуклонных соударениях получен в лаборатории с помощью 25-сантиметровой жидководородной пузырьковой камеры, помещенной в магнитное поле. При облучении камеры

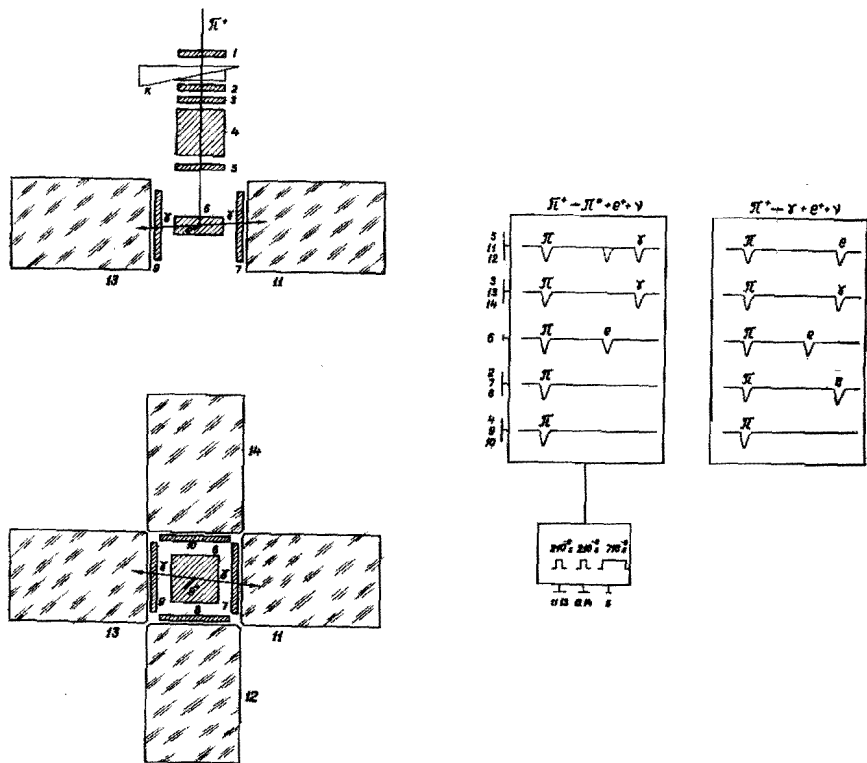


СХЕМА ОПЫТА ПО ПОИСКУ И ИССЛЕДОВАНИЮ БЕТА-РАСПАДА ПИ-МЕЗОНА. 1, 2, 3, 5 — СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ, ВЫДЕЛЯЮЩИЕ ПИОНЫ ПУЧКА; 6 — СЧЕТЧИК, В КОТОРОМ ПРОИСХОДЯТ РАСПАДЫ ОСТАНОВИВШИХСЯ  $\pi^+$ -МЕЗОНОВ; 7—10 — СЧЕТЧИКИ АНТИСОВПАДЕНИЙ, РАЗДЕЛЯЮЩИЕ ГАММА-КВАНТЫ И ЭЛЕКТРОНЫ; 11—14 — ЧЕРЕНКОВСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ; 4, 2К — ТОРМОЗЯЩИЕ ФИЛЬТРЫ. СИГНАЛЫ ОТ ВСЕХ СЧЕТЧИКОВ ПОДАЮТСЯ НА ВХОДЫ СКОРОСТНОГО ПЯТИЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.

в пучке  $\pi^-$ -мезонов с энергией 340 Мэв получено более 250 тысяч стереофотографий. Обработка снимков позволила определить сечения различных ветвей реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- \pi^+ n$ ,  $\pi^- \pi^0 p$ ,  $\pi^- p \gamma$ . Наиболее интенсивной оказалась реакция  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ n$ , второй процесс  $\rightarrow \pi^- \pi^0 p$  в несколько раз менее вероятен. Теоретический анализ данных об этих процессах, проведенный в Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории теоретической физики, позволил сделать интересные заключения о механизме реакций.

Неожиданно большим оказалось сечение радиационного канала реакции  $\sigma(\pi^- p \rightarrow \pi^- p \gamma) = 0,16^{+0,05}_{-0,03}$  мб при энергии гамма-квантов больше 70 Мэв (заметим, что это самое точное из выполненных в разных институтах измерений). Эта величина близка к величине сечения процесса  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^0 p$  и превышает ожидавшуюся теоретически. Тщательный теоретический анализ и значительный статистический материал, полученный в опытах, дали возможность отделить вклад возможного процесса фоторождения пиона на пионе  $\pi \pi \rightarrow \pi \pi$  в эту реакцию и оценить константу фоторождения ( $C^2 = 0,5 \pm 0,3$ ). Вероятно, впервые получены непротиворечивые сведения об амплитуде этого интересного процесса.

В экспериментах, проведенных при нескольких значениях энергии падающих пионов, обнаружен значительный рост сечения  $\pi^- \pi^+$ -взаимодействия в состоянии с  $T=0$ , начиная с энергии  $\pi \pi$ -системы 350 Мэв.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ; ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЮ-МЕЗОНОВ; МЕЗОАТОМЫ

В течение почти десяти последних лет физики разных стран особое внимание уделяют универсальной теории слабого взаимодействия. В этой теории на основании симметрии мюон-электрон делается попытка объяснить с единой точки зрения различные явления: распады и времена жизни нестабильных частиц, захват мюонов нуклонами и другие. В Лаборатории ядерных проблем был выполнен ряд фундаментальных экспериментов, направленных на проверку выводов универсальной теории слабого взаимодействия с участием пионов и мюонов.

В лаборатории был открыт очень редкий процесс бета-распада пи-мезона  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$ . Этот процесс представляет особенно большой интерес для теории слабого взаимодействия, так как является уникальной возможностью проверки гипотезы сохранения векторного тока, сформулированной советскими теоретиками. Использувавшаяся в опытах установка состояла из высоко-

эффективного блока регистрации гамма-лучей от распада нейтрального мезона и детектора позитронов; специальные электронные схемы позволяли отделить гамма-кванты других процессов. Последнее было возможно только благодаря исключительно высокому временному разрешению установки ( $3 \cdot 10^{-10}$  сек). Импульсы регистрируемых частиц наблюдались на специально разработанном скоростном пятилучевом осциллографе. Результаты последовавших затем измерений с помощью дополнительно усовершенствованной установки позволили определить отношение вероятности этой реакции и обычного мюонного распада

$$\lambda = W(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e) / W(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu) = (1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$$

(согласно универсальной теории величина  $\lambda$  составляет  $1,04 \cdot 10^{-8}$ ). Константа  $G$ , определяющая интенсивность этого процесса, равна отсюда:  $G = (1,03 \pm 0,11) G_3$ ; в предположении сохранения векторного тока теория дает  $G = G_3$ . Энергетический спектр позитронов, образующихся в бета-распаде пионов, совпадает с теоретически предсказанным. Таким образом, в этом сложном и тонком эксперименте получено подтверждение гипотезы сохранения векторного тока в слабых взаимодействиях. В этих же опытах попутно была получена оценка вероятности другого редкого процесса — радиационного распада пи-мезона  $\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu_e$ .

Учеными лаборатории впервые наблюдался и был изучен процесс захвата мю-мезонов ядрами гелия с испусканием мюон-

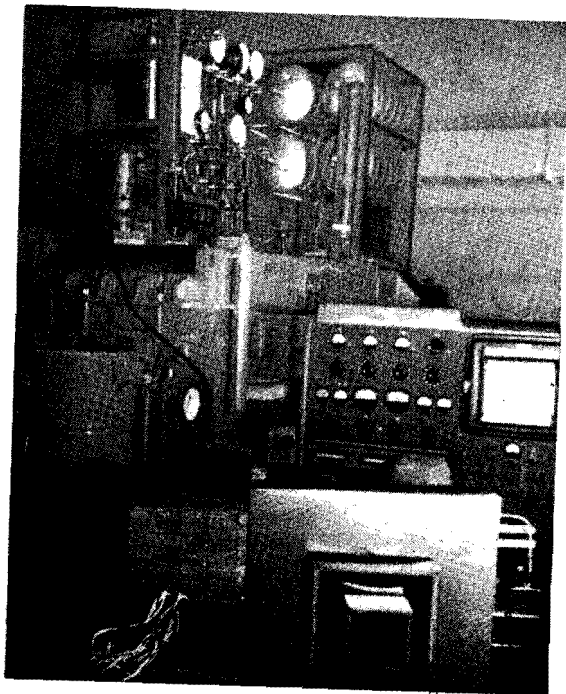
ного нейтрино:  $\mu^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \nu_\mu$ . Эксперименты выполнены с помощью диффузионной камеры высокого давления, наполненной гелием очень высокой степени очистки от трития. Исследования позволили сделать ряд важных выводов. Полученная из опыта величина вероятности захвата мюона гелием-3 составляет  $\Lambda = (1,4 \pm 0,14) \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ . Она согласуется с расчетом на основе теории универсального векторного и аксиально-векторного взаимодействия в предположении сохранения векторного тока ( $\Lambda = 1,54 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$  с 5—8%-ной ошибкой). Анализ полученных результатов, а также данных, приведенных в других работах, позволяет оценить константу фермиевского взаимодействия ( $G_F$ ) =  $(0,8_{-0,7}^{+0,4}) / G_{CT}$ , что является указанием на возможность его

присутствия наряду с гаммов-теллеровским в процессе мю-захвата. Величина фермиевского взаимодействия согласуется с оценкой теории универсального (V—A)-взаимодействия.

В экспериментах, проведенных в лаборатории, впервые наблюдался электронный распад отрицательного пи-мезона  $\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$ . Полученная в опытах величина относительной вероятности этого распада  $W(\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e) / W(\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu) = (1,2 \pm 0,7) \cdot 10^{-4}$  совпадает, в пределах ошибок, с аналогичной величиной для положительного пи-мезона и согласуется с предсказаниями универсальной теории слабого взаимодействия.

Можно видеть, что результаты всех описанных экспериментов совместимы с выводами универсальной теории. Однако полные вероятности процессов мало чувствительны к соотношениям некоторых констант теории. Поэтому в настоящее время нельзя с полной определенностью утверждать, что эти эксперименты строго доказывают справедливость универсальной теории слабого взаимодействия. Одним из элементарных процессов, в результате изучения которого можно с большой определенностью выяснить справедливость указанной теории, является процесс захвата отрицательных мюонов протонами:  $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ . Однако на пути изучения этого явления лежат большие трудности, связанные с различными тонкими мю-мезоатомными процессами, в частности с обнаруженной в лаборатории полной деполяризацией мюонов в жидком водороде и т. п.

Большой самостоятельный интерес и особую важность в связи с этим имеет исследование процессов, предшествующих ядерному захвату мюона, а именно, мезоатомной и мезомолекулярной стадии этого явления. Количественная теория таких процессов в основном была развита теоретиками ЛТФ. В Лаборатории ядерных проблем успешно осуществлена широкая программа экспериментального изучения явлений, характерных для мезоатомного состояния вещества, и в первую очередь процессов, протекающих при остановке медленных  $\mu$ -мезонов в водороде и дейтерии. Этому в значительной мере способствовала тонкая методика, которая



ДИФФУЗИОННАЯ КАМЕРА, С ПОМОЩЬЮ КОТОРОЙ ИЗУЧАЛСЯ ПРОЦЕСС ЗАХВАТА МЮОНА ГЕЛИЕМ-3.

позволила изучить ряд недоступных ранее для исследования процессов. В большой серии опытов, выполненных на пучке мюонов с помощью диффузионной камеры высокого давления в магнитном поле, получено более 500 тысяч фотографий, на которых зарегистрировано около 75 тысяч остановок мю-мезонов. Их изучение дало значительное количество новых сведений, относящихся как к собственно мезоатомным процессам, так и к мю-катализу ядерных реакций в системе водород — дейтерий. Впервые изучены процессы упругого рассеяния  $\rho$ -мезоатомов на протонах и  $d$ -мезоатомов на протонах, дейтронах и сложных ядрах и определены полные сечения этих процессов. Получены вероятности образования мезомолекул  $pp\mu$ ,  $p d\mu$ ,  $dd\mu$ , оценена вероятность захвата мю-мезона из состояния  $\rho$ -мезоатома и мезомолекулы  $pp\mu$ . Вероятности образования  $p d\mu$ - и  $dd\mu$ -мезомолекул получены путем измерения выхода реакций ядерного катализа  $d\mu + p \rightarrow \text{He}^3 + \mu$  и  $d\mu + d \rightarrow \text{T} + \mu^- + p$ . Здесь впервые наблюдалась и была изучена реакция ядерного синтеза  $d\mu + d \rightarrow \text{He}^3 + n + \mu^-$ . Измерены вероятности, а также абсолютные скорости перехода  $\mu^-$ -мезона от протона к дейтрону и сложным ядрам.

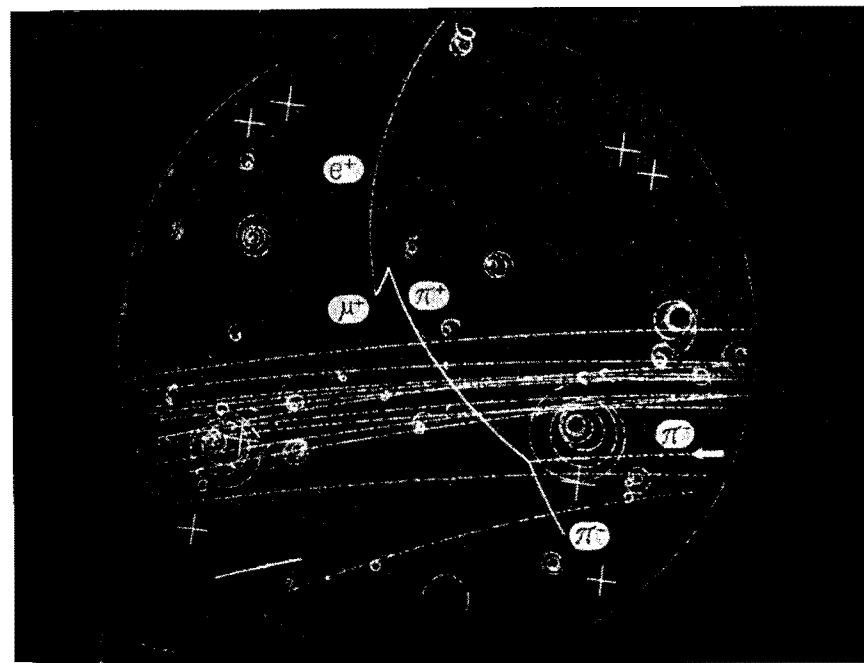
Можно уверенно сказать, что в настоящее время Лаборатория ядерных проблем располагает наиболее полной информацией о мезоатомных процессах в водороде, и это открывает возможность перехода к следующему этапу: изучению фундаментально важного процесса ядерного захвата мюонов протонами ( $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ ) в газообразном водороде.

Особый интерес представляют проведенные в лаборатории опыты по изучению углового распределения нейтронов от захвата поляризованных  $\mu^-$ -мезонов ядрами  $\text{Ca}^{40}$  в широком интервале энергий нейтронов от 6,5 до 30 *Мэв*. Интерес обусловлен тем, что, как показывает теория, указанные угловые распределения весьма чувствительны к значениям констант слабого взаимодействия. В опытах было обнаружено, что асимметрия углового распределения нейтронов растет с ростом энергии нейтронов и становится равной единице (с ошибкой 15%) при энергии около 25 *Мэв*. Найденная большая величина асимметрии находится в резком противоречии с выводами теории универсального слабого взаимодействия. С целью дальнейшего изучения явления та же группа физиков провела аналогичные измерения с ядром серы. В области энергий нейтронов около 45 *Мэв* коэффициент асимметрии также близок к  $-1$ . До настоящего времени не найдено удовлетворительного объяснения этим чрезвычайно интересным фактам.

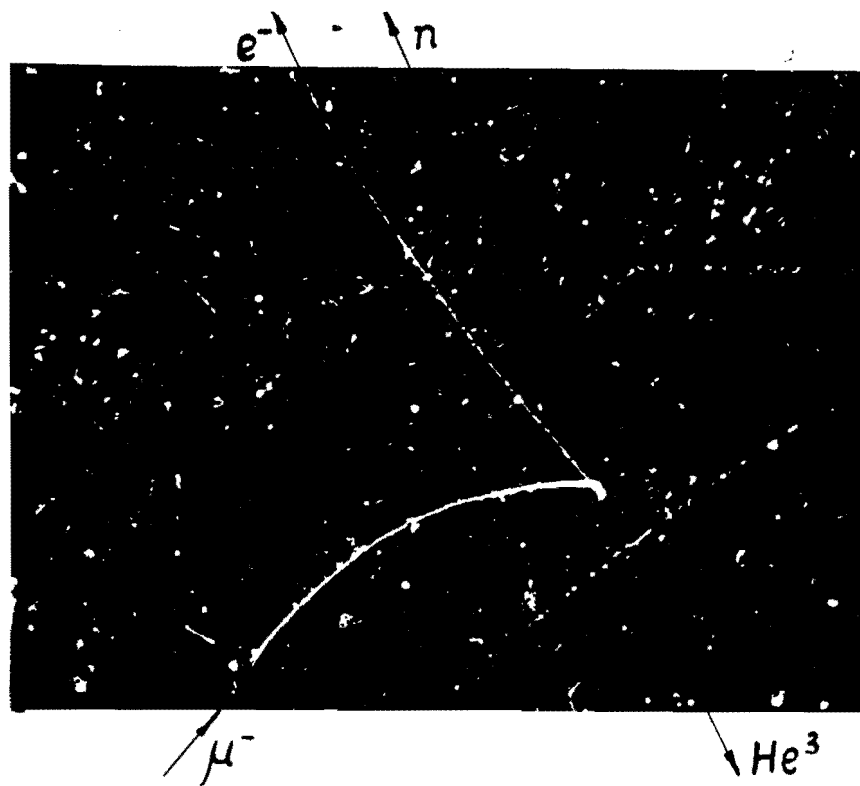
С помощью чувствительной аппаратуры в лаборатории обнаружено еще одно интересное явление — захват  $\pi^-$ -мезонов водородом в условиях, когда последний химически связан с другими ядрами. Оказалось, что вследствие интенсивного перехвата пи-мезона ядром вероятность захвата водородом падает пропорционально  $Z^{-3,5}$ , в то время как согласно механизму Ферми — Теллера вероятность захвата должна быть  $P \sim Z^{-1}$ .

Совместно с Институтом теоретической и экспериментальной физики АН СССР были выполнены интересные эксперименты по изучению безрадиационных переходов в тяжелых мю-мезоатомах. При помощи сцинтилляционного спектрометра исследовались спектры мезорентгеновских фотонов, испускаемых мю-мезоатомами изотопов свинца, висмута, тория-232, урана-235 и урана-238. Анализ полученных спектров указывает на присущий тяжелым мю-мезоатомам не наблюдавшийся до сих пор механизм безрадиационных переходов, при которых энергия перехода передается непосредственно ядру.

Безрадиационное деление тяжелых мю-мезоатомов изучается физиками Лаборатории ядерных проблем совместно с сотрудниками Бухарестского института атомной физики. Работа принята с целью проверки гипотезы советских теоретиков, объясняющей неожиданно малое наблюдаемое сечение безрадиационного деления ядер урана изменением барьера деления под действием мю-мезонов. Согласно этой гипотезе влияние мюонов должно уменьшаться с ростом атомного номера ядра. С помощью газового сцинтилляционного счетчика, служившего камерой деления, измерялось отношение вероятностей деления ядер плуто-



СНИМОК ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ПИОНА С ПРОТОНОМ В ЖИДКОВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ.



СЛУЧАЙ КАТАЛИЗА  $\mu^- + d \rightarrow \text{He}^3 + n + \mu^-$ , НАБЛЮДАВШИЙСЯ В ДИФФУЗИОННОЙ КАМЕРЕ.

ния-239 и урана-238 под действием мю-мезонов и распределение во времени осколков деления обоих ядер.

Недавно в лаборатории начаты интересные исследования химических реакций с участием мюония. Эти работы проводятся совместно с физиками ИТЭФ АН СССР. Были определены коэффициенты асимметрии распада  $\mu^+$ -мезонов в различных химических соединениях и их смесях: бензоле, бромформе и других, в результате чего удалось получить значения абсолютных констант скоростей соответствующих химических реакций с точностью около 20%. Ранее чисто химическими методами эти величины определялись очень грубо — с точностью до двух порядков.

В заключение укажем некоторые эксперименты, выполненные совместно физиками Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий на синхрофазотроне. Некоторые теоретики высказывали гипотезу о возможности аномально большого взаимодействия нейтрино высоких энергий с веществом. Для проверки этой гипотезы был проведен опыт, в котором использовалась годо-

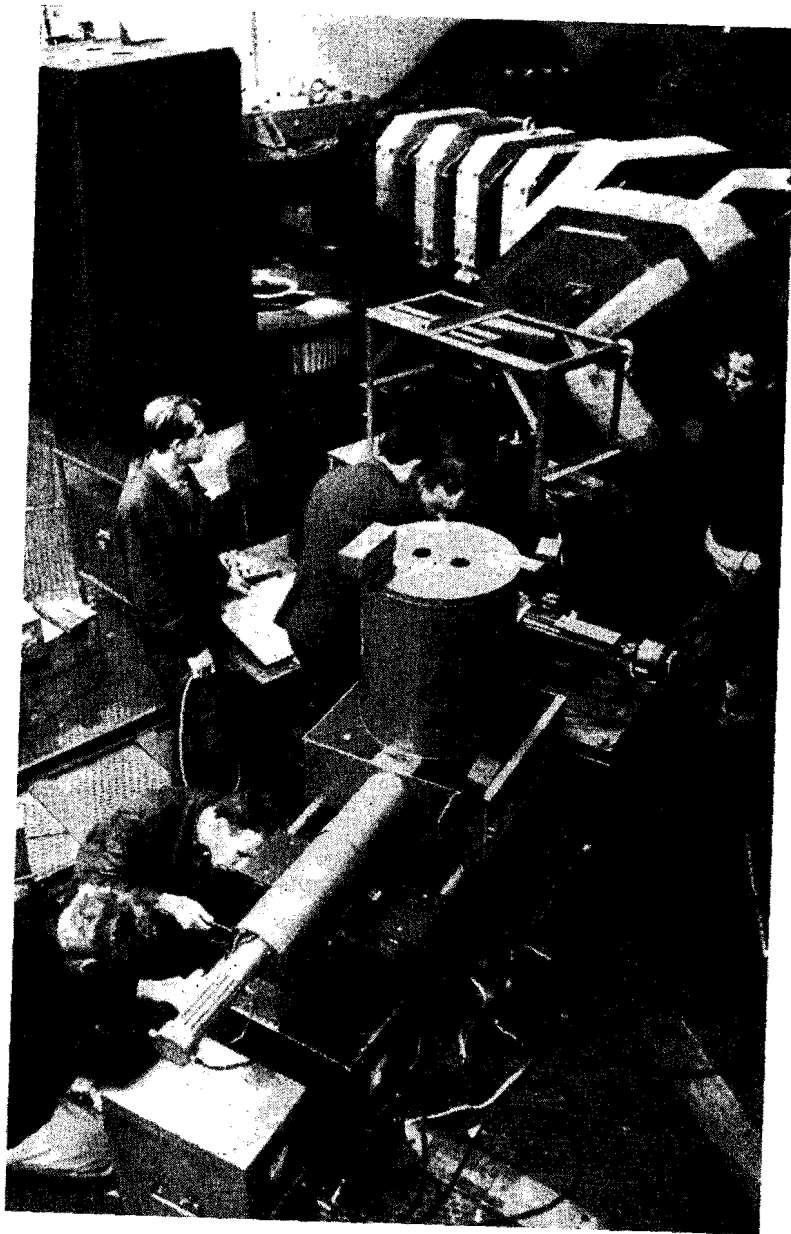
скопическая система управляемых счетчиков. Было показано, что такого аномального взаимодействия нет вплоть до сечений  $10^{-32} \text{ см}^2$ . С помощью камеры Вильсона в магнитном поле систематически изучаются распадные свойства  $K_2^0$ -мезонов. Эти исследования описываются в разделе работ, выполненных на синхрофазотроне ЛВЭ.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НУКЛОНОВ И ПИОНОВ С ЯДРАМИ

Основными исследованиями процессов, протекающих на сложных ядрах, являются в настоящее время работы, проводимые в лаборатории в области ядерной спектроскопии. Объединенный институт сохраняет одно из ведущих мест в этой области науки об атомном ядре. Ведется также изучение ядерных реакций, происходящих на сложных ядрах под действием протонов высокой энергии. Эксперименты проводятся в контакте с теоретиками ЛТФ. Большой интерес к сотрудничеству с институтом в этой области проявляют страны — участницы ОИЯИ. Это сотрудничество успешно развивается. Радиоактивные изотопы, полученные на синхроциклотроне, систематически поставляются также в институты Польши, Чехословакии, Венгрии и других стран. Исследования свойств деформированных ядер с помощью облученных в Лаборатории ядерных проблем образцов ведутся в институтах Москвы, Ленинграда, Риги, Алма-Аты, Ташкента. Проблемы деления и фрагментации изучаются на синхроциклотроне группами Радиевого института и Института геохимии АН СССР.

Главным направлением спектроскопических исследований является изучение свойств и квантовых характеристик нейтронодефицитных изотопов редких земель, образующихся при облучении разных ядер протонами с энергией 660 Мэв. За несколько лет было открыто и изучено более 40 новых изотопов. При этом с помощью нескольких спектрометров разных типов и классов точности, а также методами сцинтилляционной спектрометрии изучаются  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектры, спектры конверсионных электронов и спектры масс. Развита методика исследований  $\beta$ - $\gamma$ - и  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений. Для многих ядер построены схемы распада, определены квантовые характеристики уровней и т. п. Интерес к области сильнодеформированных ядер усиливается тем обстоятельством, что такого типа ядра изучаются теоретиками института на основе сверхтекучей модели ядра. Экспериментаторы получили ряд сведений, подтверждающих предсказания этой модели.

Установлено существование ряда новых изотопов редкоземельных элементов:  $\text{Yb}^{162, 164}$ ,  $\text{Er}^{156, 157, 158}$ ,  $\text{Ho}^{155, 157, 158}$  и других. Большое развитие получили радиохимические методы приготовления экспериментальных препаратов.



СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА — ТРЕКОВЫЙ ИСКРОВОЙ ПРИБОР НОВОГО ТИПА. УПРАВЛЯЕМЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ОТБОР И РЕГИСТРАЦИЮ РЕДКИХ СОБЫТИЙ В ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКАХ. КАМЕРА МОЖЕТ РАБОТАТЬ ТАКЖЕ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ ГАЗА, НАПОЛНЯЮЩЕГО РАБОЧИЙ ОБЪЕМ.

Ведется систематическое изучение простых ядерных реакций типа  $(p, pn)$ ,  $(p, n)$  и вторичных реакций, вызываемых протонами с энергией 130—660 *Мэв* на средних ядрах.

Недавно в отделе ядерной спектроскопии лаборатории вступила в строй новая установка — большой прецизионный магнитный альфа-спектрограф. По светосиле и разрешающей способности это один из двух лучших спектрографов мира. На нем впервые удалось наблюдать редчайшее явление — тонкую структуру альфа-спектра такого легкого ядра, как  $Tb^{151}$ .

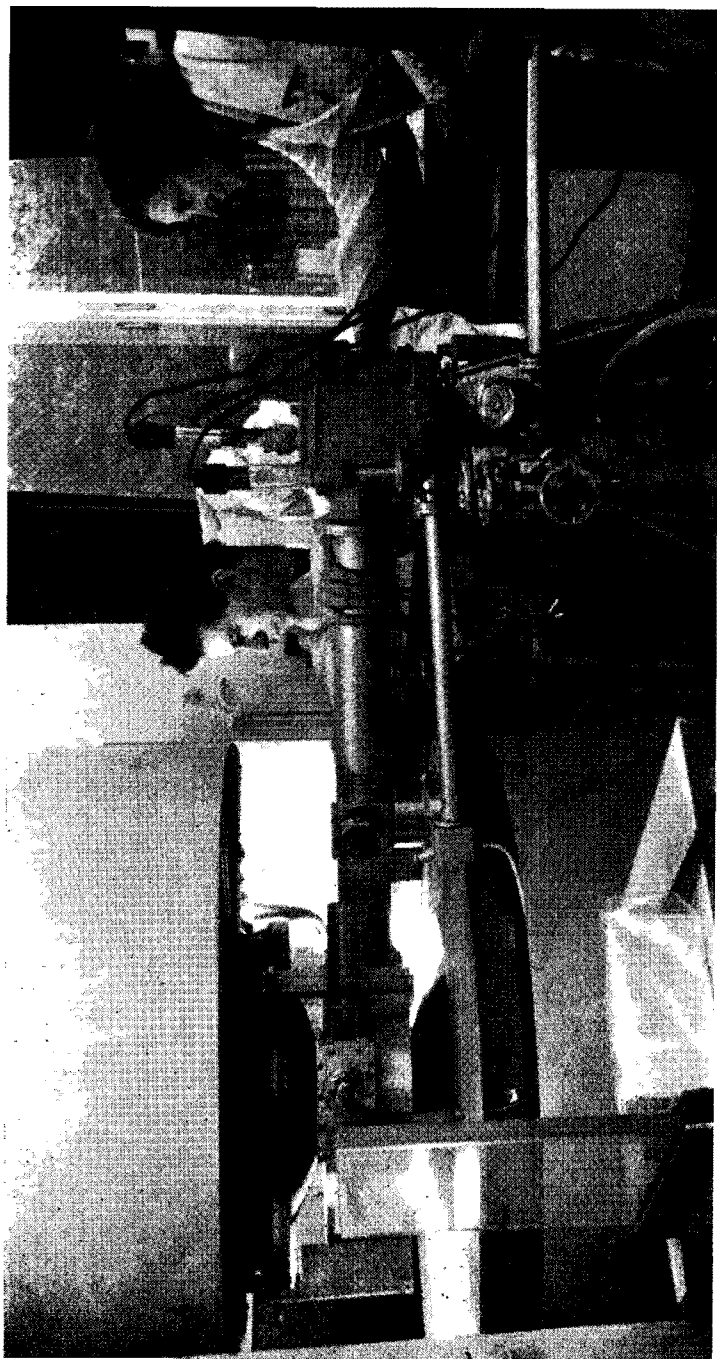
Ряд экспериментов выполнен и другими методами. При изучении взаимодействия альфа-частиц высоких энергий с ядрами с помощью электронных методов в сочетании с магнитным анализом, а также методом фотоэмульсий было обнаружено явление распада этих частиц на отдельные нуклоны. Электронными методами измерены энергетические зависимости полных ядерных сечений для нейтронов и протонов. В связи с проблемой непарных сил исследовались эффекты прямого выбивания дейтронов высокими энергиями протонами из легких ядер. Изучалось упругое рассеяние протонов на углероде при энергии 660 *Мэв*. Интересные данные получили физики, наблюдавшие в нескольких экспериментах с помощью диффузионных камер взаимодействие протонов и пи-мезонов разных энергий с ядрами гелия. Угловые распределения мезонов, упруго рассеянных на гелии, свидетельствуют о наличии интерференции кулоновского и ядерного взаимодействий в области малых углов, причем знаки кулоновской и ядерной амплитуд для рассеяния  $\pi^+$ -мезонов оказываются одинаковыми, а для отрицательных мезонов — разными.

Различными методами изучались и другие процессы взаимодействия пи-мезонов с ядрами. Сюда относятся эксперименты по изучению взаимодействия отрицательных  $\pi$ -мезонов с энергией до 400 *Мэв* с различными ядрами: С, О, Си, Рб и другими, опыты по измерению энергетических и угловых распределений  $\pi^0$ -мезонов, образованных протонами на углероде, исследования процессов рождения  $\pi^+$ -мезонов на углероде  $\pi^-$ -мезонами.

В Лаборатории ядерных проблем на синхротронном циклотроне выполнен большой объем исследований по проблеме радиационной защиты ускорителей. Кроме того, на этом ускорителе различными институтами Советского Союза выполнен комплекс экспериментов по биологии, дозиметрии, обеспечению радиационной безопасности полетов человека в космос, исследований по твердому телу и другим актуальным проблемам.

Подробно исследовалось в лаборатории явление свечения Вавилова — Черенкова от релятивистских протонов.





МАГНИТНЫЙ БЕТА-СПЕКТРОМЕТР. УСТАНОВКА ОТЛИЧАЕТСЯ ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ И МАЛЫМ ФОНОМ.

## теоретические работы

Сотрудниками Лаборатории ядерных проблем выполнен целый ряд теоретических исследований, некоторые из них связаны с экспериментами, проводимыми на синхроциклотроне. Мы имеем возможность лишь кратко перечислить основные теоретические работы.

Особую роль играет выполненный в лаборатории цикл работ по теории слабых взаимодействий и физике нейтрино. В частности, здесь впервые был предложен метод экспериментальной проверки гипотезы о существовании электронного и мюонного нейтрино. Поставленный по этому предположению опыт американских физиков доказал существование мюонного нейтрино. В ряде других работ была показана существенная роль некоторых процессов слабого взаимодействия в астрофизических явлениях, например, роль прямого  $\nu\nu$ -взаимодействия. Интересные результаты получены также при оценке плотности материи во Вселенной с учетом процессов, в которых участвуют нейтрино. При рассмотрении проблемы существования промежуточного бозона даны оценки возможного сечения одного из процессов образования этих частиц.

В ряде теоретических работ, выполненных в лаборатории, производился анализ процессов с участием сильновзаимодействующих частиц с помощью метода дисперсионных соотношений. Таким образом было проанализировано рассеяние гамма-квантов нуклонами в широкой области энергий, а также рассмотрена общая задача применения дисперсионных соотношений к исследованию околопороговых особенностей в амплитудах реакций. Предсказаны особенности спектров для ряда процессов с участием сильновзаимодействующих частиц. Удалось объяснить особенности в рассеянии гамма-квантов дейтронами и более сложными ядрами.

Среди других теоретических исследований следует отметить работы по изучению условий восстановления матрицы  $pp$ -рассеяния, анализ полного набора опытов, необходимых для определения амплитуды  $NN$ -рассеяния. Рассмотрен полный набор опытов для определения соотношений между амплитудами образования пионов в пион-нуклонных столкновениях в состояниях с различными изотопическими спинами.

Выше уже упоминалось о разработке совместно с сотрудниками ЛТФ оригинального метода фазового анализа. Ряд совместных работ был посвящен анализу  $\pi\pi$ -взаимодействия в процессах столкновения пионов с нуклонами. Интересные и важные для лаборатории результаты были получены при анализе новых возможностей, которые дают эксперименты по изучению поляризационных явлений при рассеянии поляризованных пучков нуклонов на поляризованной мишени.

## разработка экспериментальной аппаратуры

Из приведенного краткого описания физических исследований, которые ведутся в Лаборатории ядерных проблем, можно видеть, насколько широк и разнообразен круг этих работ. Для осуществления его потребовалось создание огромного комплекса экспериментальной аппаратуры, причем большая часть этих установок была разработана в научных группах и конструкторском бюро и изготовлена в экспериментальных мастерских лаборатории. Для опытов широко применяются телескопы из кристаллических и жидкостных сцинтилляционных счетчиков с фотоэлектронными умножителями и сложными схемами совпадений; используются годоскопические системы с импульсным питанием газовых счетчиков, искровые камеры, счетчики черенковского излучения, сложные жидководородные и жидкодейтериевые мишени. В лаборатории имеются диффузионные камеры высокого давления (до 25 атм), работающие в магнитных полях до 20 тысяч эрстед. В экспериментах с л-мезонами используются многоканальные магнитные спектрометры. Созданы полупроводниковые детекторы нескольких типов для регистрации частиц различных скоростей.

Была запущена и успешно работает на пучке л-мезонов быстродействующая жидководородная пузырьковая камера в магнитном поле с дистанционным автоматическим управлением. Рабочий объем ее около 8 литров. Для ряда экспериментов созданы газоразрядные трековые камеры разных конструкций размером до 1 метра, в том числе большая искровая камера, регистрирующая наклонные треки частиц под большими углами к плоскости электродов. Совершенствуется методика изотропных разрядных камер с водородным и гелиевым наполнением, осуществлен стримерный режим работы изотропной камеры при наполнении ее гелием под высоким давлением.

Большим достижением коллектива является создание метровой пропановой пузырьковой камеры, работающей в магнитном поле 17 000 э. Она установлена и работает на пучке л-мезонов синхрофазотрона, причем создан (в сотрудничестве с физиками ЛВЭ) тракт л-мезонов с импульсом 5 Гэв/с, состоящий из магнитов, мощных фокусирующих линз и других устройств со сложной системой управления. В процессе создания камеры был выполнен ряд теоретических работ, посвященных гидродинамике больших камер. Развита гидродинамика и разрабатывается новый тип камер — с резонансным режимом работы. Объединенной группой физиков Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий создана 2-метровая пропановая камера.

Новые возможности предоставит физикам разработанная сотрудниками Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории нейт-

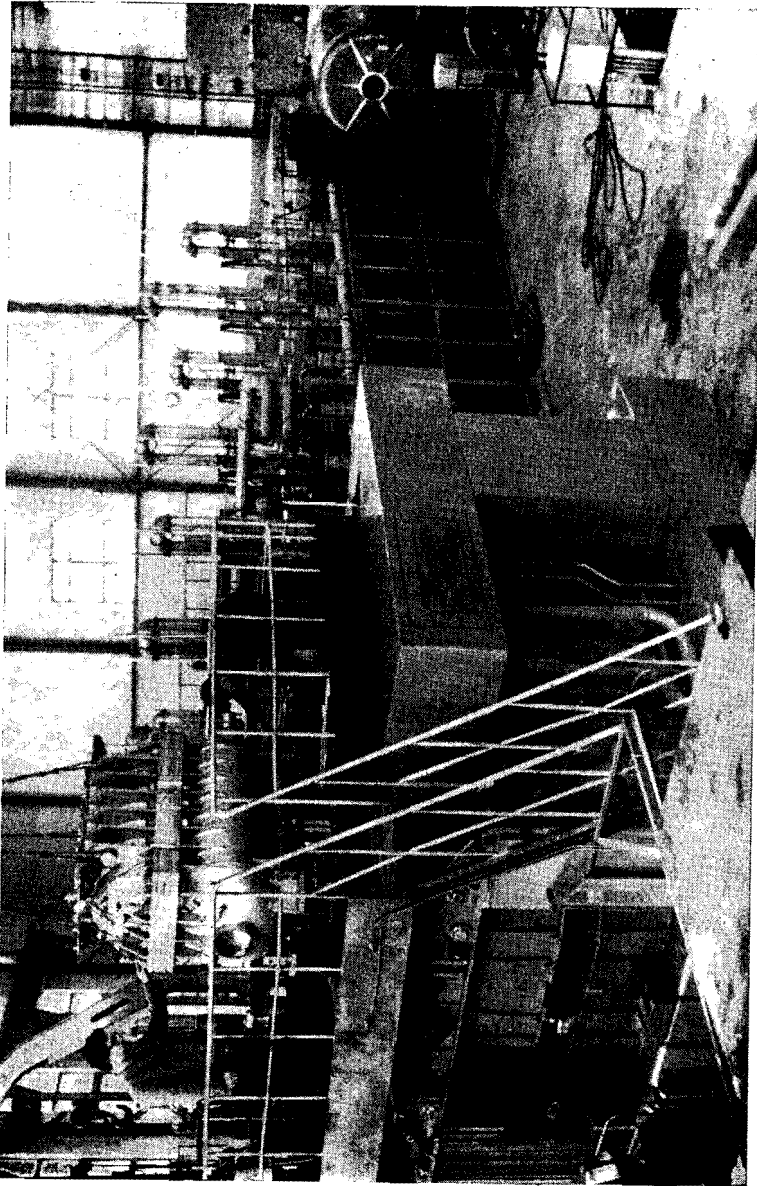


ИЗОТРОПНАЯ РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА — НОВЫЙ ТРЕКОВЫЙ ДЕТЕКТОР. ПРИМЕНЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ СВЕТА ПОЗВОЛЯЕТ РЕГИСТРИРОВАТЬ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД ВЕЛИЗИ ТРАЕКТОРИИ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ НА ТАКОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ, КОГДА ЯРКОСТЬ ТРЕКА И СТЕПЕНЬ ЕГО ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕ ЗАВИСЯТ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ОБЪЕМЕ КАМЕРЫ.

ронной физики поляризованная водородная мишень, в которой используется метод динамической поляризации.

В последние годы дальнейшее развитие получили разработка и создание электронной аппаратуры — это различные многоканальные системы для амплитудного и временного анализа очень коротких импульсов, стандартные схемы совпадений, рассчитанные на малые времена, и многие другие. Для изучения быстротекущих сложных временных процессов созданы многолучевые осциллографы с разрешающим временем до  $2 \cdot 10^{-10}$  сек.

В течение нескольких лет в лаборатории ведутся работы по автоматизации обработки экспериментальных данных. В частности, здесь созданы автоматические устройства для обработки снимков с пузырьковых камер, оригинальные полуавтоматические приборы для обработки снимков с искровых камер, создаются автоматы для этих целей. Все большее распространение получают



1-МЕТРОВАЯ ПРОПАНОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА РАБОТАЕТ НА ПУЧКЕ ПИ-МЕЗОНОВ ОТ СИНХРО-ФАЗОТРОНА.

различные системы памяти, установки для записи информации и последующей передачи для обработки на электронно-вычислительных машинах.

## работы по ускорителям

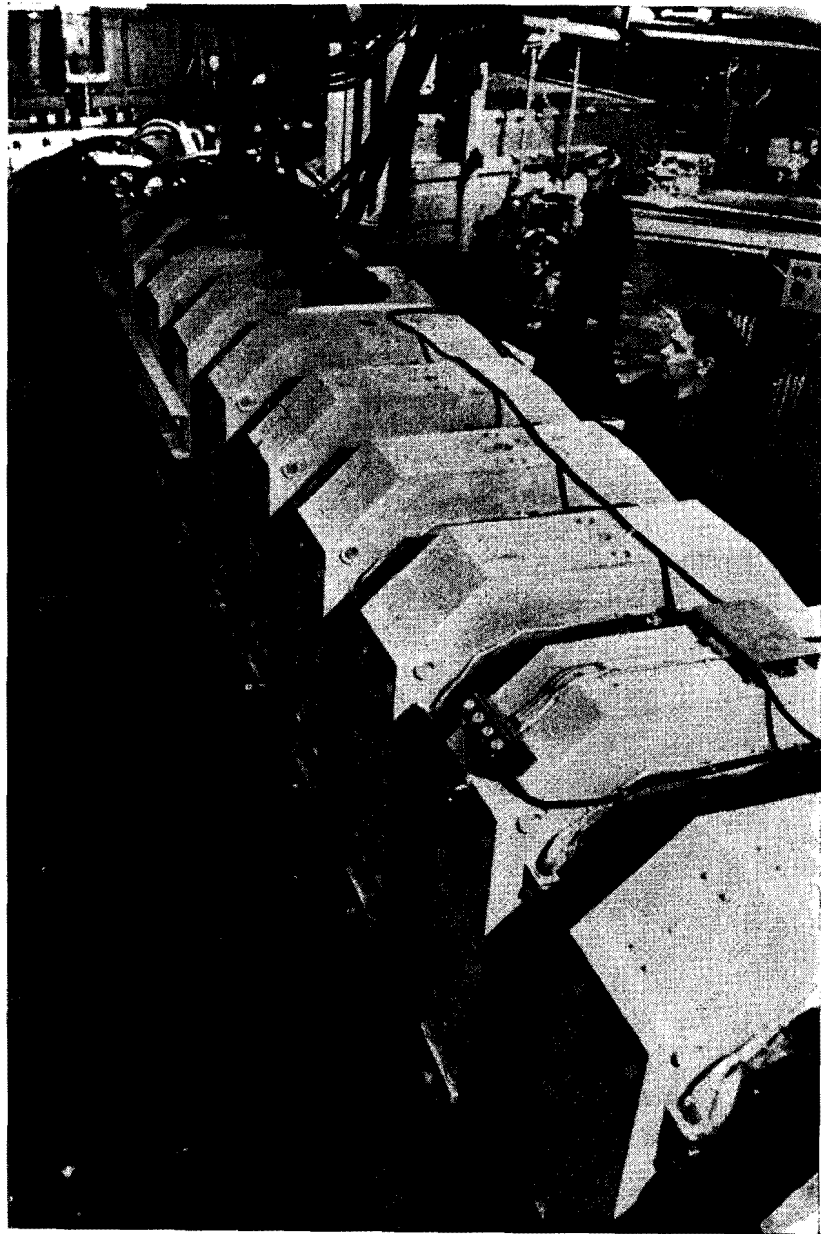
Значительное место в научных исследованиях Лаборатории ядерных проблем занимают работы по физике и технике ускорителей. Эти исследования ведутся в двух направлениях: в области разработки новых ускорителей с большими токами пучка и по усовершенствованию существующего синхроциклотрона.

В области новых ускорителей изучаются возможности создания изохронного циклотрона на энергию протонов в несколько сот *Мэв* с током пучка порядка 1 миллиампера. Разработана теория устойчивости движения частиц в ускорителях с пространственной вариацией поля. Проведено подробное теоретическое рассмотрение линейных и нелинейных резонансных явлений в таких ускорителях.

В 1959 году в лаборатории был построен и введен в действие первый в мире циклотрон с пространственной вариацией магнитного поля. Он является в определенном смысле моделью большого ускорителя. На этой модели был изучен ряд проблем пространственной устойчивости и фазового движения частиц, влияние резонанса в центре, влияние пространственного заряда на частоты свободных аксиальных колебаний и другие вопросы. Здесь разработаны методы расчета и формирования магнитных полей сложной конфигурации, создана тонкая аппаратура для измерений высокоградиентных полей (до 4000 *эрсед/см*) с точностью  $10^{-4}$  и т. д. Существенная здесь система стабилизации тока в магнитах обеспечивает изменение величины тока меньше чем на  $\pm 4 \cdot 10^{-3} \%$ .

Лабораторией совместно с проектными организациями разработан технический проект релятивистского протонного циклотрона на 700 *Мэв* с током 1 *ма*.

Основным направлением работ по усовершенствованию синхроциклотрона являются исследования, связанные с повышением интенсивности внутреннего пучка ускорителя и формированием новых пучков в экспериментальном зале. Улучшение высокочастотных характеристик синхроциклотрона с целью обеспечения захвата максимального числа ускоряемых частиц и их последующего ускорения без потерь позволило в 1960 году поднять интенсивность пучка примерно в 4 раза. В 1963 году интенсивность была увеличена еще в 2 раза путем введения дополнительной вертикальной фокусировки в центральной области синхроциклотрона, что компенсировало дефокусирующее действие пространственного заряда. В результате ток внутреннего пучка в синхроциклотроне



ГОЛОВНАЯ ЧАСТЬ МЮ-МЕЗОННОГО ТРАКТА. СИСТЕМА ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТЫХ ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ  $\mu$ -МЕЗОНОВ ИЛИ  $\pi$ -МЕЗОНОВ.

составляет 2,3 мка и превышает токи всех других машин этого класса. Ускоритель отличается высокой стабильностью и в течение последних десяти лет регулярно работает по 145—150 часов в неделю.

Произведенное пятикратное увеличение временной длительности пучка частиц от ускорителя и получение более равномерного распределения частиц в импульсе приводит к снижению фона в экспериментах и повышает эффективность измерительной аппаратуры, что особенно важно при исследовании очень редких процессов.

Из синхроциклотрона в атмосферу выведено 12 пучков частиц, позволяющих в разных комбинациях проводить одновременно несколько экспериментов. Часть пучков частиц поляризована, широко используются формирующие и фокусирующие магнитные системы. Создан тракт мю-мезонов — сложная система из 28 квадрупольных линз и сепарирующего магнита, обеспечивающая высокую интенсивность мюонов и высокую степень очистки их пучка от примеси пионов.

## лаборатория высоких энергий

В апреле 1957 года в Лаборатории высоких энергий был получен пучок протонов на синхрофазотроне. Впервые искусственным путем протоны были ускорены до энергии, достигающей средней энергии космических частиц, —  $10 \text{ Гэв}$ .

Наличие в распоряжении ученых частиц таких энергий не только позволяет дополнить сведения о ядерных процессах, полученные в области синхроциклотронных энергий, но и вводит физиков в мир совершенно новых явлений. Здесь становится доступным наблюдение таких новых процессов, как генерация антипротонов, антинейтронов, новых мезонов и гиперонов, изучение свойств этих частиц вдали от порога их рождения. Создаются также возможности обнаружения новых частиц. В связи с тем, что для протона с энергией  $10 \text{ Гэв}$  длина волны Де-Бройля много меньше размеров нуклонов, такие частицы становятся хорошим инструментом для исследования структуры нуклонов с помощью упругого рассеяния протонов.

Перечисленные возможности определяют основные направления научной деятельности Лаборатории высоких энергий.

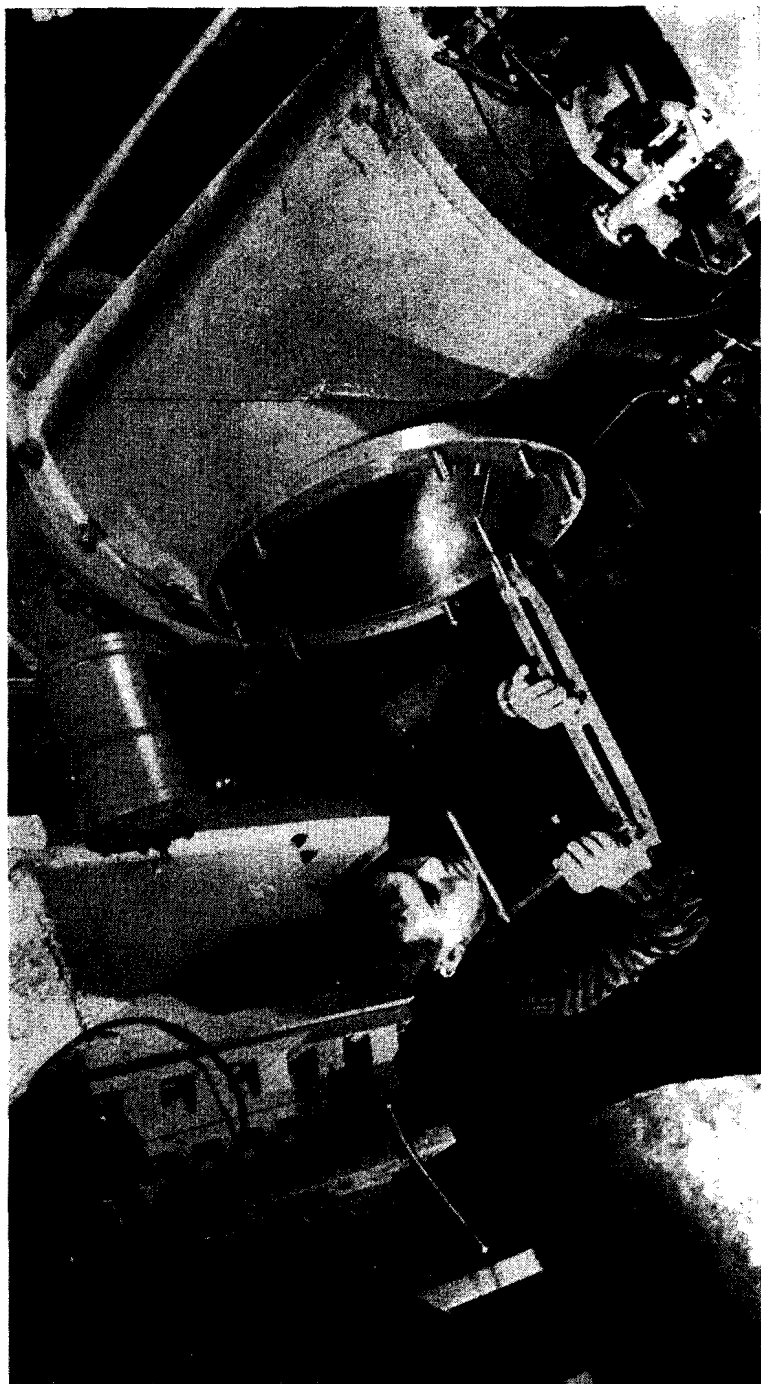
Естественно, что в центре внимания ученых лаборатории стоят

вопросы создания методических возможностей для развития исследований и постановки новых экспериментов. Поэтому здесь разрабатывается новая экспериментальная аппаратура и ведутся работы по усовершенствованию синхрофазотрона.

## проблема структуры нуклонов

Цикл научных работ, проводимых в Лаборатории высоких энергий и Лаборатории теоретической физики, позволил развить в Объединенном институте одно из фундаментальных направлений современной физики — изучение структуры нуклонов. Синхрофазотрон, ускоряющий протоны до энергии  $10 \text{ Гэв}$ , является источником настолько быстрых частиц, что физики имеют возможность наблюдать процессы взаимодействия на расстояниях, в сотни раз меньших размеров ядра, и таким образом получать сведения о строении нуклонов. Связанные с этим опыты ведутся в Лаборатории высоких энергий практически с первых дней работы ускорителя, причем уже в первые годы получен ряд важных качественных результатов. В частности, проведенные опыты свидетельствовали о наличии двух типов взаимодействий нуклонов, что могло быть объяснено существованием внешней оболочки нуклона и более плотной внутренней оболочки. В последующие годы перед физиками стоит сложная задача — получить точные количественные сведения о характере взаимодействия нуклонов при высоких энергиях. Большое значение имеют выполненные здесь эксперименты по рассеянию протонов и пионов протонами с передачей очень малых и очень больших импульсов.

Важную роль сыграл разработанный в лаборатории метод облучения ядерных фотоэмульсий в направлении, перпендикулярном их поверхности, позволяющий изучать акты рассеяния даже на очень малые углы (до  $2^\circ$  в с. ц. м.). С помощью этого метода в ряде экспериментов исследовалось упругое рассеяние на малые углы протонов протонами при энергии от 3 до 9  $\text{Гэв}$ . В опытах был получен ряд новых данных. В частности, измерения энергетической зависимости сечения упругого рассеяния протонов протонами на малые углы показали, что с ростом энергии оно сначала быстро падает от  $17 \text{ мб}$  (при  $2,8 \text{ Гэв}$ ) до  $9,5 \text{ мб}$  (при  $6,2 \text{ Гэв}$ ), а затем меняется медленно и составляет  $8,4 \text{ мб}$  при энергии  $8,2 \text{ Гэв}$ . Оценка радиуса взаимодействия при этих энергиях дала величину  $(1,1 \div 1,2) \cdot 10^{-13} \text{ см}$ , а анализ известных экспериментальных данных, полученных как в Объединенном институте, так и в других лабораториях мира, показывает, что с увеличением энергии в области от 2 до  $24 \text{ Гэв}$  радиус упругого  $pp$ -взаимодействия растет. Результаты опытов свидетельствуют о сложной картине процессов, не укладывающихся в рамки простых известных моделей.



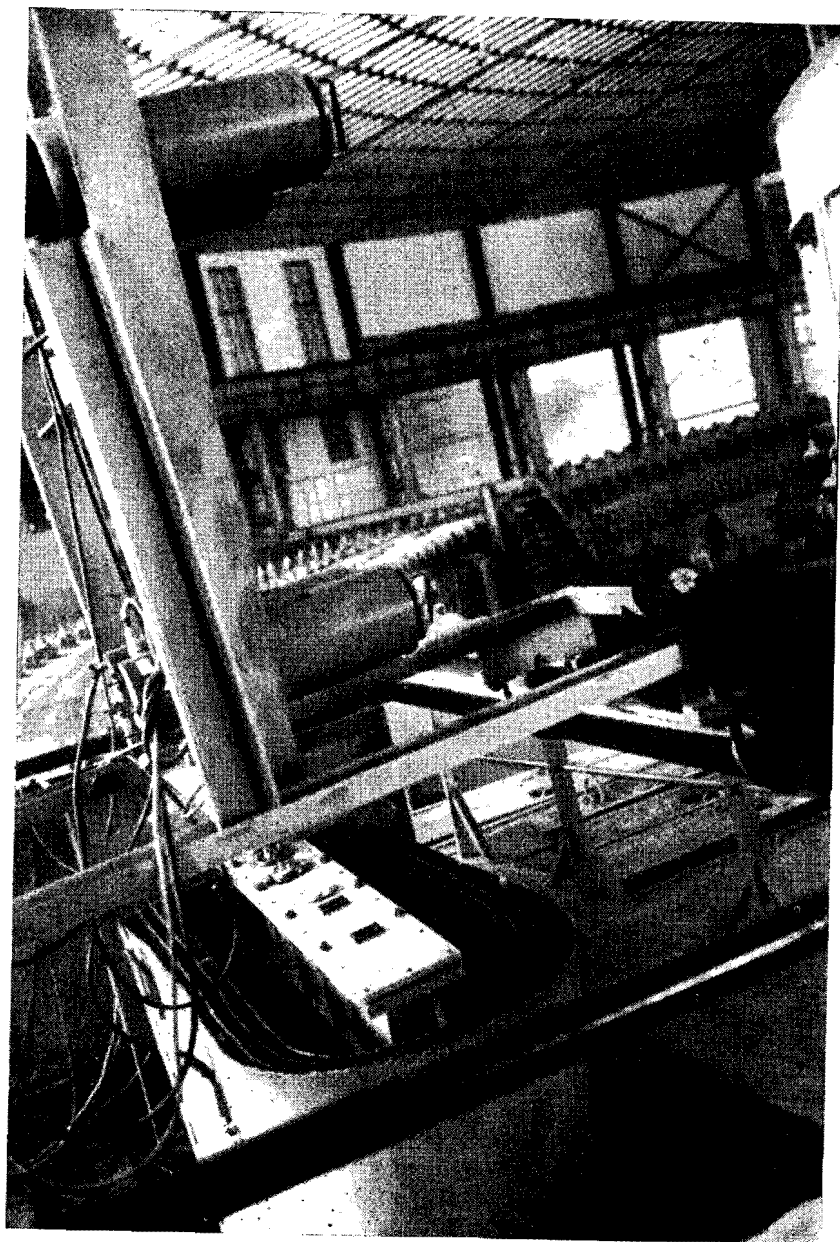
УСТАНОВКА МИШЕНИ ДЛЯ ОПЫТА ПО ИЗУЧЕНИЮ  $pp$ -РАСРЕЯНИЯ НА МАЛЫЕ УГЛЫ.

Большим успехом физиков лаборатории явилась разработка новых методов изучения процессов упругого рассеяния частиц в области высоких и сверхвысоких энергий. Предложенные методы не имеют ограничений по энергии сверху и позволяют исследовать упругое рассеяние в области малых переданных импульсов. Эта область представляет большой интерес, т. к. здесь существенную роль начинает играть электромагнитное рассеяние и сечение этого рассеяния становится сравнимым с сечением ядерного рассеяния. Эффект интерференции этих рассеяний позволяет оценить величину реальной части амплитуды упругого рассеяния. Метод исследования рассеяния протонов основан на использовании многократных прохождений внутреннего пучка ускорителя через сверхтонкую водородосодержащую мишень и детектировании медленных протонов отдачи с помощью эмульсионных камер. Для второго метода, используемого в опытах с выведенными пучками, разработан специальный режим камеры Вильсона, позволяющий регистрировать протоны отдачи в газе камеры, через которую пропускается пучок быстрых пи-мезонов с интенсивностью около  $10^4$  частиц за цикл.

Уже первые проведенные здесь исследования упругого  $pp$ -рассеяния позволили обнаружить в области очень малых углов рассеяния интересный эффект — превышение дифференциального сечения над значениями, вычисленными на основе простой дифракционной теории бесспиновых частиц. Это серьезно поколебало распространенное мнение о чисто мнимой амплитуде упругого рассеяния при высоких энергиях.

В последующих работах вместе с физиками ЛВЭ приняли участие ученые лабораторий Болгарии, Монголии, Чехословакии. Физикам удалось значительно повысить статистическую точность результатов, измерить абсолютные значения дифференциального сечения. Была исследована энергетическая зависимость обнаруженного эффекта в области от 1 до 10 Гэв. Анализ результатов привел к заключению о наличии отрицательной действительной части в амплитуде рассеяния и, таким образом, о существовании конструктивной интерференции в  $pp$ -рассеянии. Отношение реальной части амплитуды к мнимой меняется от  $\alpha = \text{Re}A/\text{Im}A = -0,17 \pm 0,07$  при энергии  $E_{\text{кин}} = 2$  Гэв до  $\alpha = -0,25 \pm 0,07$  при  $E_{\text{кин}} = 10$  Гэв. Результаты этих экспериментов согласуются с расчетами действительной части амплитуды упругого  $pp$ -рассеяния на основе дисперсионных соотношений.

При изучении упругого рассеяния на малые углы  $\pi^-$ -мезонов протонами в той же области энергий была получена оценка реальной части амплитуды также и этого процесса. Экспериментальные значения дифференциального сечения соответствуют деструктивной интерференции. Как и в  $pp$ -рассеянии, действующие здесь силы имеют характер отталкивания. Полученные знак и величина амплитуды  $p\pi^-$ -рассеяния в совокупности с данными других авторов пока не имеют удовлетворительного согласия с дисперсион-



АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  $pp$ -РАССЕЯНИЯ НА МАЛЫЕ УГЛЫ.

ными соотношениями, и эти данные в настоящее время уточняются.

Описанные методы, благодаря высоким энергетическим и угловым разрешениям, предоставляют большие возможности для исследования упругого (без развала и возбуждения ядер) рассеяния частиц на ядрах. В лаборатории изучается процесс упругого  $pd$ -рассеяния. Измеренные при энергиях от 1 до 10  $Гэв$  дифференциальные сечения процесса в области малых переданных импульсов соответствуют, как и в  $pp$ -рассеянии, наличию конструктивной интерференции кулоновского и ядерного рассеяний. Измерена вещественная часть амплитуды упругого  $pd$ -рассеяния.

Сопоставление полученных данных о величине действительной части амплитуды в  $pp$ - и  $pd$ -столкновениях позволило авторам, использовавшим дифракционное приближение в теории рассеяния, оценить также действительную часть амплитуды упругого  $pn$ -рассеяния. Исследование  $pn$ -рассеяния представляет не меньший интерес, чем изучение других упомянутых процессов, однако до сих пор для этого не было экспериментальных возможностей. Такие данные получены впервые.

Исследование упругого рассеяния назад пи-мезонов протопами представляет особый интерес для изучения структуры пучконов, т. к. в этих процессах затрагивается центральная область пучкона. Такие эксперименты могут служить также проверкой некоторых теоретических представлений, развиваемых в Дубне и в других институтах. К настоящему времени опубликовано несколько теоретических и экспериментальных работ, указывающих на возможное поведение дифференциального сечения упругого  $pn$ -рассеяния на большие углы. Однако статистика проведенных экспериментов бедна, а методические трудности здесь очень велики, поэтому область больших углов рассеяния, особенно вблизи  $180^\circ$ , практически не исследована.

В Лаборатории высоких энергий измерения дифференциальных сечений упругого  $\pi^+p$ -рассеяния на угол  $180^\circ$  проводятся с помощью сложного электронного канала. В него входят фокусирующая система квадрупольных линз, дифференциальный газовый черенковский счетчик для регистрации пионов пучка. Протоны отдачи, вылетающие под малым углом, отделяются от пучка и анализируются по импульсу магнитным спектрометром и регистрируются с помощью искровой камеры. В другой искровой камере наблюдаются следы падающего и рассеянного  $\pi^+$ -мезонов. Уже в первых измерениях физикам лаборатории удалось установить наличие значительного по величине узкого пика в дифференциальном сечении упругого рассеяния назад  $\pi^+$ -мезонов с импульсом 3,15  $Гэв/c$ . Это были впервые произведенные измерения рассеяния на  $180^\circ$  при столь высоких энергиях. Вслед за этим были проведены исследования рассеяния  $\pi^+$ -мезонов с импульсами 4,1 и 4,85  $Гэв/c$ . Анализ полученных данных свидетельствует о наличии узкого пика в дифференциальном сечении вблизи  $180^\circ$

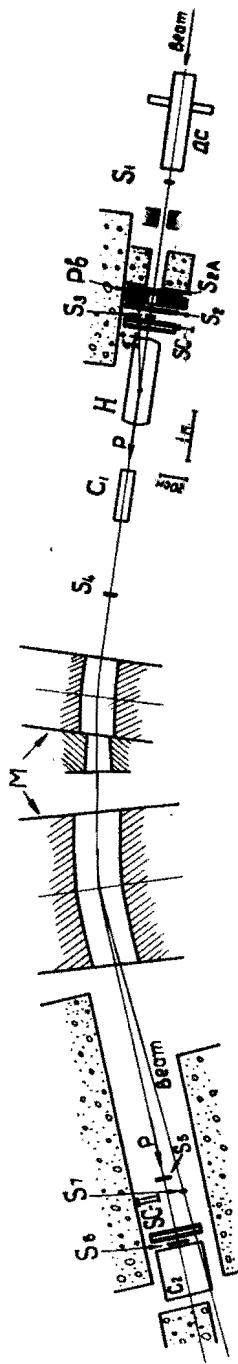


СХЕМА ОПЫТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ УПРУГОГО  $\pi^+p$ -РАССЕЯНИЯ НА УГЛУ  $180^\circ$ .  $S_1$ — $S_7$  — СИТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ; ДС — ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК;  $S_8$ — $S_{11}$  — ВЫЕ ГАЗОВЫЕ ЧЕРЕНКОВСКИЕ СЧЕТЧИКИ; SC-I, SC-II — ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ;  $C_1$ ,  $C_2$  — ПОРОГОВО-ДЛИНОЙ 168 см; М — МАГНИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ФОКУСИРУЮЩЕГО ТИПА.

при  $4 \text{ Гэв/с}$ . Имеется пик в  $\pi^+p$ -рассеянии назад также и при  $4,85 \text{ Гэв/с}$ . Существование пика в упругом  $\pi^+p$ -рассеянии назад в довольно широком интервале энергий выше  $3 \text{ Гэв}$  указывает на то, что этот пик не связан с появлением какого-либо резонанса, а является характерным для процесса упругого рассеяния в области высоких энергий.

Для понимания структуры элементарных частиц и природы сил их взаимодействия фундаментальное значение имеет знание полных сечений взаимодействия нейтронов с нуклонами, особенно при высоких энергиях. Но измерения с нейтронами технически очень трудны, поэтому в литературе очень мало данных об этих процессах. Физикам лаборатории потребовалось разработать принципиально новые устройства для эффективной регистрации нейтронов с энергией в несколько  $\text{Гэв}$ . Предложенный здесь метод, основанный на применении черенковского счетчика из свинцового стекла, позволяет из широкого спектра нейтронов, генерированных главным образом в неупругих процессах, выделить часть, имеющую наиболее высокую энергию. С другой стороны, система обладает большой эффективностью регистрации нейтронов высоких энергий. С помощью сложной установки были измерены полные сечения  $np$ -взаимодействия при энергии от  $2,6$  до  $8,3 \text{ Гэв}$ . Величина сечения мало меняется в этом интервале, а при энергии выше  $5,5 \text{ Гэв}$  совпадает с сечением  $pp$ -взаимодействия. Для  $pn$ -взаимодействия полное сечение измерено при энергии  $5,5$  и  $8,3 \text{ Гэв}$ .

В серии опытов систематически изучались импульсные и угловые характеристики вторичных частиц в неупругих нуклон-нуклонных и пион-нуклонных взаимодействиях в области энергий  $6$ — $10 \text{ Гэв}$ , а также зависимости характеристик от множественности генерируемых вторичных частиц. За несколько лет работы, используя толстослойные фотоэмульсии и пузырьковые камеры, физики лаборатории собрали большой экспериментальный материал о неупругих взаимодействиях  $\pi$ -мезонов с энергией  $7 \text{ Гэв}$  и протонов с энергией  $9 \text{ Гэв}$  с нуклонами. Изучение угловых распределений вторичных частиц привело к важным выводам: в процессах с множественностью рождения пионов от  $1$  до  $4$  распределение нуклонов в системе центра масс резко анизотропно, причем максимум соответствует направлению первоначального движения нуклонов. Анизотропия несколько уменьшается с ростом числа рождающихся мезонов от  $1$  до  $4$  и практически не наблюдается при дальнейшем увеличении множественности до  $6$ — $8$   $\pi$ -мезонов. Анализ экспериментальных данных позволил теоретикам ОИЯИ и других институтов сделать интересные заключения о  $\pi N$ - и  $NN$ -взаимодействиях и структуре нуклонов.

Более пяти лет Лаборатория высоких энергий совместно с лабораториями в Берлине, Будапеште и Праге ведет изучение методом фотоэмульсий неупругого взаимодействия  $\pi$ -мезонов с нуклонами. Главная задача работы — исследование множественного



рождения  $\pi$ -мезонов. В этих лабораториях просматривались эмульсионные камеры НИКФИ-Р, облученные на синхрофазотроне пучками  $\pi^-$ -мезонов с импульсами 6,8; 7,3 и 7,5 Гэв/с. При исследовании распределений протонов по импульсам, а также угловых распределений  $\pi$ -мезонов обнаружен ряд особенностей, указывающих на существование по крайней мере двух различных типов  $\pi N$ -взаимодействий, соответствующих разным степеням неупругости процесса.

Перечисленные в этом разделе эксперименты внесли много нового в представление о структуре нуклонов. В частности, нуклон стали рассматривать состоящим из некоторого «ядра» плотного вещества с размерами  $\sim 10^{-14}$  см, окруженного более рыхлой  $\pi$ -мезонной «атмосферой» размером  $\sim 10^{-13}$  см. Опыты показали также ограниченную применимость статистических методов для описания процессов генерации частиц при энергии до 10 Гэв и существенную роль периферических взаимодействий.

## **Сильные взаимодействия странных частиц**

Эта область физики высоких энергий, пожалуй, самая молодая, ей всего несколько лет. Развитие ее стало возможным лишь с созданием ускорителей, рассчитанных на энергии в несколько Гэв и способных генерировать тяжелые частицы.

Это направление деятельности Лаборатории высоких энергий — самое обширное по количеству исследований и разнообразию изучаемого круга явлений. Эксперименты здесь проводятся в основном с использованием различных пузырьковых камер и электронной аппаратуры.

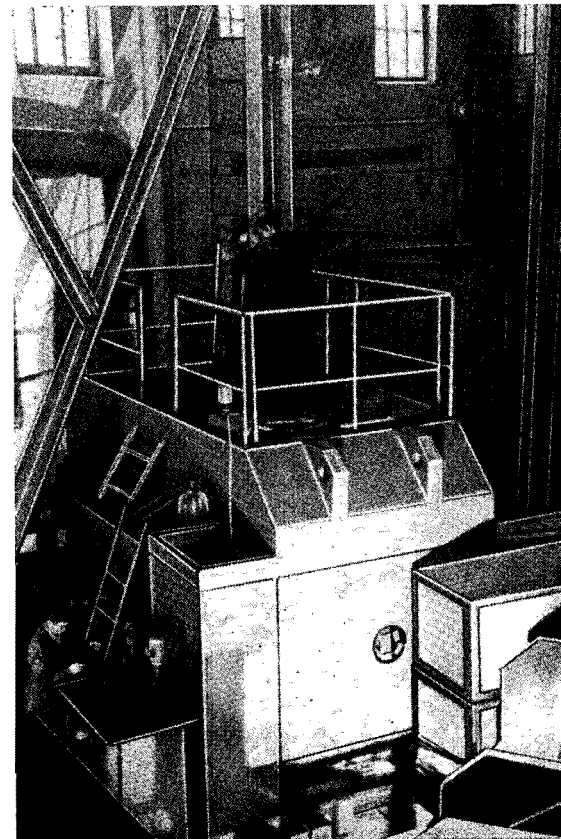
Наиболее крупным результатом исследований является открытие в 1960 году новой частицы — антисигма-минус-гиперона. Группа физиков лаборатории, состоящая из ученых нескольких стран, с помощью пропановой пузырьковой камеры, расположенной в постоянном магнитном поле на пучке генерируемых синхрофазотроном отрицательных  $\pi$ -мезонов (8,3 Гэв/с), впервые обнаружила случай рождения и распада  $\Sigma^-$ -гиперона. Это открытие пополнило семейство известных античастиц и еще раз подтвердило наиболее общие теоретические предсказания о свойствах частиц.

С помощью указанных выше методов в лаборатории выполнено большое число опытов по изучению генерации странных частиц. Так, были получены ценные количественные данные о сечениях и угловых распределениях при генерации странных частиц:  $K$ -мезонов,  $\Lambda$ -,  $\Sigma$ -,  $\Xi$ -гиперонов. Пожалуй, еще более интересными являются новые качественные закономерности процессов генера-

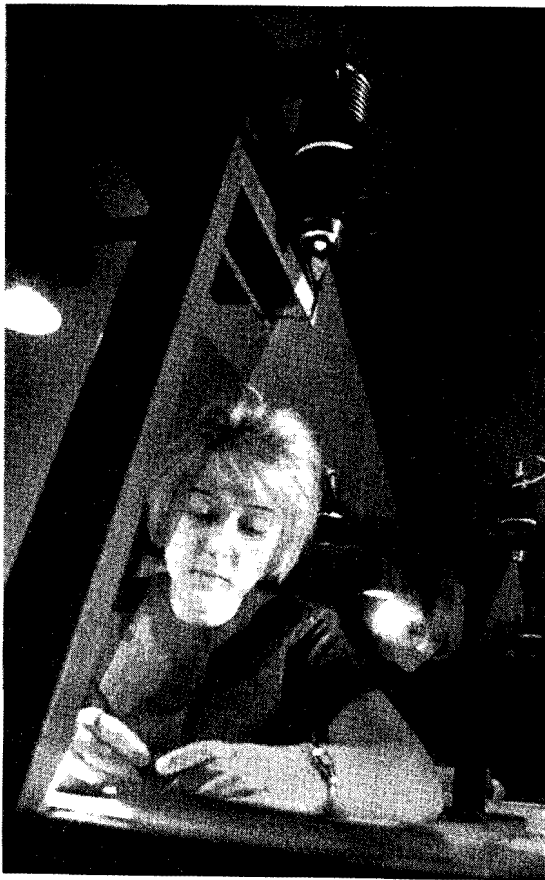
ции странных частиц, выявленные при анализе экспериментальных данных.

Серия экспериментов была посвящена изучению процесса образования  $K$ - и  $\Lambda$ -частиц. Измерение с помощью пузырьковой камеры сечения рождения  $\Lambda$ -гиперонов в  $\pi^-p$ -столкновениях показало, что полное сечение практически не возрастает с увеличением энергии налетающих  $\pi^-$ -мезонов до 7—8 Гэв. В импульсном распределении  $\Lambda$ -частиц, рождающихся в этих столкновениях, установлено наличие двух максимумов (в с. ц. м. реакции) в области малых и больших значений импульсов. Угловое распределение  $\Lambda$ -частиц также имеет особенности. Оно характеризуется очень острым пиком в направлении назад в с. ц. м. и очень малой изотропной частью.

Иную картину наблюдали физики, изучая  $K^0$ -мезоны, рождающиеся в  $\pi^-p$ -взаимодействиях. С ростом импульса мезонов с 2,8 до 8 Гэв/с наблюдается сильное возрастание сечения рождения



24-ЛИТРОВАЯ ПРОПАНОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.



ОБРАБОТКА СНИМКОВ  
С ПУЗЫРЬКОВЫХ КА-  
МЕР С ПОМОЩЬЮ СТЕ-  
РЕОРЕПРОЕКТОРА.

$K\bar{K}$ -пар. В импульсном распределении рождающихся  $K$ -мезонов нет таких особенностей, как у  $\Lambda$ -гиперонов. Угловое же распределение совершенно отличается от распределения гиперонов, причем оно сильно зависит от числа рождающихся в этом процессе пи-мезонов. Когда  $K$ -мезоны рождаются вместе с несколькими пи-мезонами (4 или более), то наблюдается изотропный разлет  $K$ -мезонов, а в случае малого количества пионов (0 или 2) угловое распределение  $K$ -мезонов имеет пик вперед в с. ц. м.

На материалах, полученных при облучении 24-литровой пропановой камеры  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $7,5 \text{ Гэв/с}$ , изучалось также парное рождение странных частиц  $\Lambda K^+$  и  $K^0 K^-$  в  $\pi^- p$ -взаимодействиях. Найдены угловые и импульсные распределения странных частиц.

Опыты по изучению взаимодействия  $\pi$ -мезонов с водородом, содержащимся в пропане пузырьковой камеры, были удачно до-

полнены исследованиями взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода. Импульсные и угловые распределения рождающихся в этих процессах  $K^-$  и  $\Lambda$ -частиц оказались аналогичными соответствующим распределениям в  $\pi^- p$ -столкновениях. Полученные данные были подтверждены в работах американских ученых.

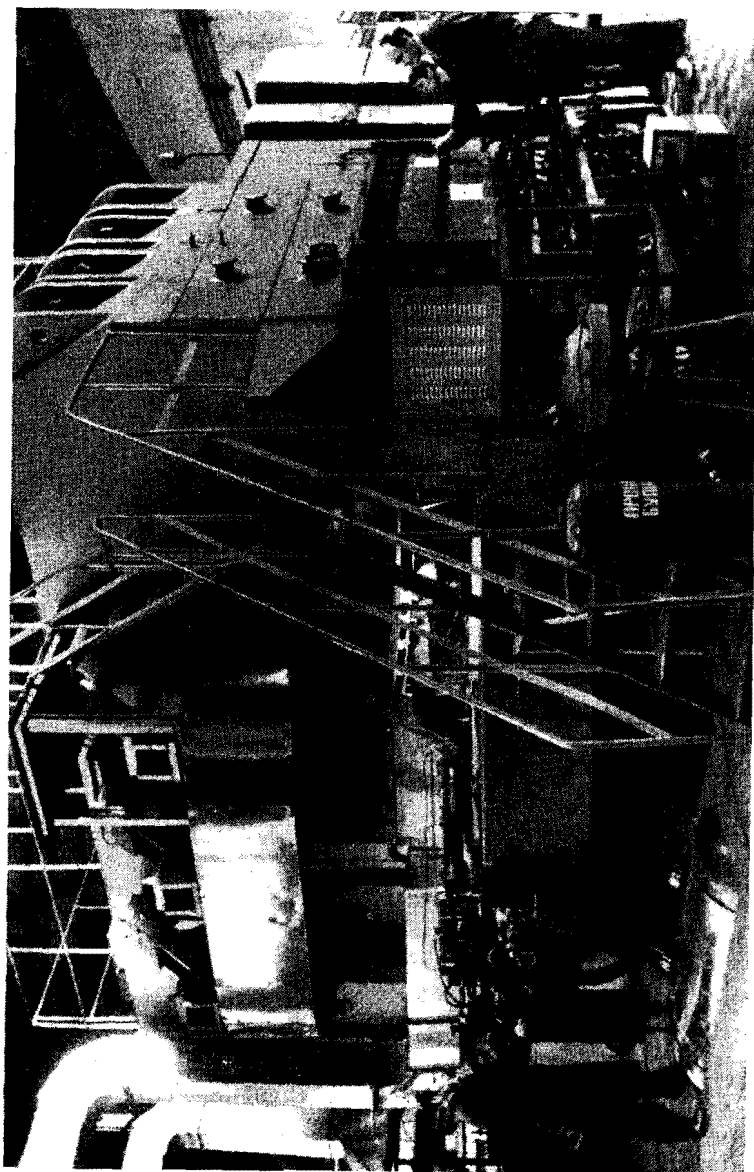
Эти эксперименты вместе с упомянутыми выше исследованиями неупругих нуклон-нуклонных и пион-нуклонных взаимодействий позволяют сделать важные заключения о характере процессов генерации при больших энергиях частиц. Одно из них — заключение о том, что барионы стремятся сохранить свои особенности в различных процессах с их участием. В частности, и нуклоны и гипероны имеют в системе центра инерции реакции преимущественное направление движения после реакции, одинаковое с первичным нуклоном. Преимущественно рождаются барионы того же электрического заряда, что и начальный нуклон, а также нейтральные.

Совокупность приведенных данных и результатов анализа заряженных частиц от  $\pi^- p$ -взаимодействий с рождением  $K^-$  и  $\Lambda$ -частиц свидетельствует о том, что процессы с рождением  $\Lambda K$ -пар разыгрываются в более глубоких областях нуклонов, чем множественное рождение пи-мезонов, а процессы генерации  $K\bar{K}$ -пар более «центральны», чем тот и другой.

Радиус области, где происходит взаимодействие частиц высоких энергий, одинаков для широкого круга явлений: нуклон-нуклонные, пион-нуклонные взаимодействия с рождением всех обычных и странных частиц. Эти факты также подтверждают выводы о структуре нуклонов, сделанные при анализе ранее описанных экспериментов.

Интересная особенность — наличие двух максимумов в импульсном распределении  $\Lambda$ -гиперонов, рождающихся в  $\pi^- p$ -взаимодействии, — еще не нашла, к сожалению, теоретического объяснения. Один из максимумов, правда, совпадает с кривой, полученной расчетом фазового объема, но другая группа  $\Lambda$ -частиц не описывается простым статистическим механизмом. Теоретики института провели сравнение полученных результатов с рядом моделей: оказалось, что какой-либо одной моделью рождение  $\Lambda$ -частиц описать нельзя, хотя отдельные схемы (например, схема резонансного взаимодействия  $\pi$ - и  $K$ -мезонов) дают некоторые качественные объяснения наблюдаемых явлений. Анализ, проведенный экспериментаторами ЛВЭ на основе известных данных о реакциях генерации частиц при больших энергиях, показывает, что существенную роль в этих процессах играет механизм генерации тяжелых изобар, как странных, так и нестранных.

Роль сложного ядра в механизме рождения  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов изучалась с помощью ксеноновой камеры, облученной пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $9 \text{ Гэв/с}$ . Сравнение измеренных сечений рождения  $\Lambda$  и  $K^0$  пионами на ядрах ксенона с сечениями для элементарных  $\pi^- p$ -актов показывает, что вероятность



2-МЕТРОВАЯ ПРОПАНОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

рождения  $\Lambda$  на ядре ксенона более чем в 3 раза, а  $K^0$  — примерно в 1,5 раза больше, чем на протоне. Это свидетельствует о существенном вкладе вторичных взаимодействий внутри ядра в сечение рождения странных частиц при таких энергиях. Полученные импульсные спектры  $\Lambda$  и  $K^0$ , рожденных на ядрах ксенона, мягче, а угловые распределения шире, чем для водорода. Опытные данные сравнивались с теоретически рассчитанными на основе каскадной модели взаимодействия частиц с ядром. Модель в общих чертах правильно описывает картину процессов, хотя и нуждается в уточнении ряда параметров.

Немало волнений физикам лаборатории доставили результаты изучения углового распределения протонов от распада  $\Lambda$ -гиперонов. Анализ предварительных данных указал на несимметрию этого распределения и, следовательно, на возможность существования продольной поляризации  $\Lambda$ -гиперона в плоскости его рождения. Это могло означать несохранение пространственной четности в сильных взаимодействиях с генерацией странных частиц. Этот интересный и очень важный вопрос был тщательно исследован в опытах на пропановой и ксеноновой пузырьковых камерах. В результате большой работы и более подробного изучения проблемы было установлено, что продольная поляризация при рождении  $\Lambda$ -гиперона отсутствует. К аналогичным выводам пришли также американские физики. Четность в процессах генерации странных частиц сохраняется.

Среди работ по изучению свойств  $K$ -мезонов отметим также исследование столкновения  $K$ -мезонов с протонами. С помощью больших жидководородных мишеней и черенковских счетчиков измерялось полное сечение процесса. Полученные данные свидетельствуют о постоянстве сечения в области импульсов  $K$ -мезона от 2,7 до 4,75 Гэв/с.

В ряде исследований, выполненных на синхрофазотроне, изучались и другие странные частицы. В пропановой пузырьковой камере наблюдались процессы рождения и распада  $\Sigma^-$ -гиперонов. При этом было просмотрено несколько десятков тысяч фотографий, полученных с камеры, облучавшейся пучками отрицательных  $\pi$ -мезонов с импульсами 6,8 и 8,3 Гэв/с. Установлено, что угловое распределение частиц, как и в случае  $\Lambda$ , в отличие от почти изотропного у порога генерации, аналогично обсуждаемому выше распределению нуклонов.

Измерения сечения рождения  $E$ -гиперонов, выполненные также с помощью пузырьковой камеры, показали, что в области энергий  $\pi^-p$ -взаимодействия от 5 до 8 Гэв сечение растет.

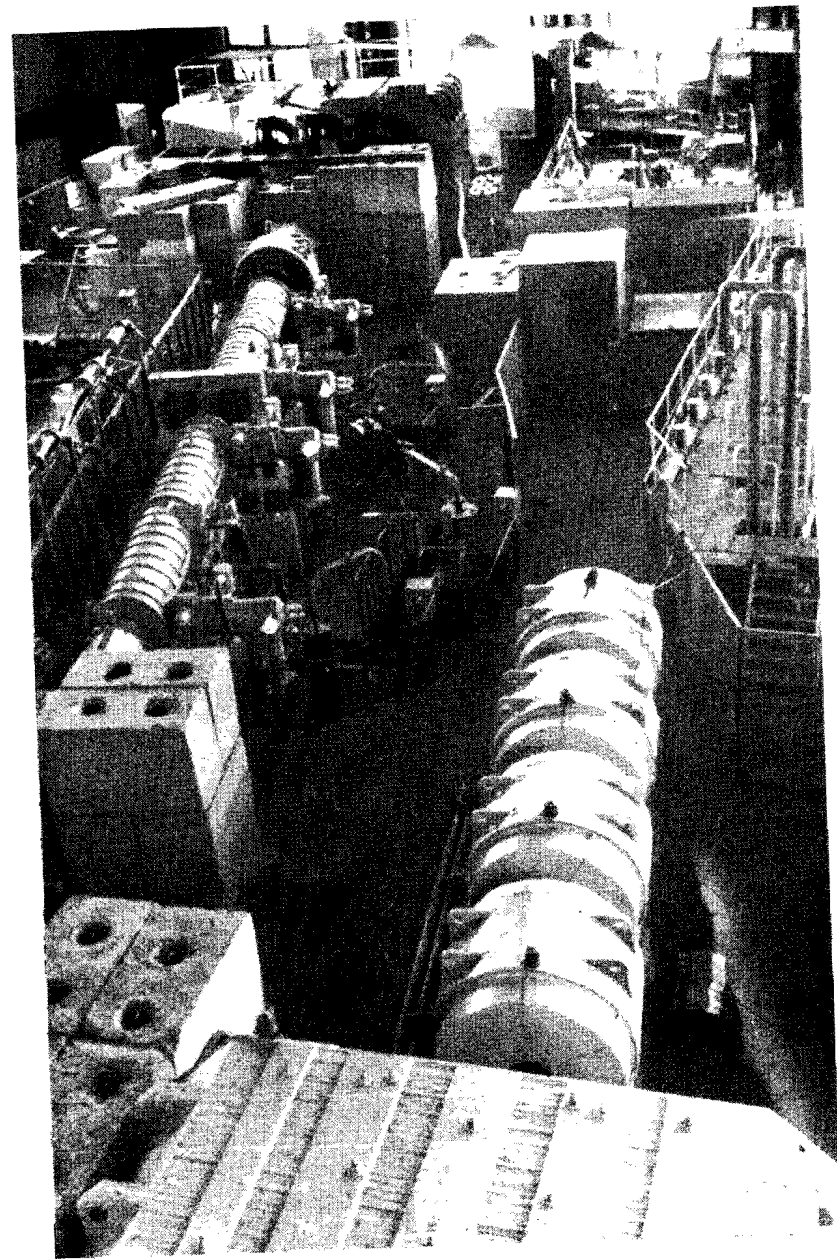
## резонансные состояния элементарных частиц

Эта проблема недаром рассматривается в отдельном разделе. В течение нескольких последних лет многие физики, работающие в области высоких энергий в различных лабораториях, выполнили большое число исследований резонансных состояний групп различных частиц. Это направление научных исследований было стимулировано экспериментальными работами в Лаборатории высоких энергий на основе материалов, полученных при облучении 24-литровой пропановой камеры в пучке отрицательных пи-мезонов с импульсом 7 Гэв/с. В опытах было обнаружено явление сильной корреляции пи-мезонов с  $K^0$ -мезонами, которое можно было интерпретировать как проявление сильного Кл-взаимодействия. Последующая серия экспериментов, выполненных в ряде лабораторий, показала, что это взаимодействие имеет резонансный характер при полной массе Кл-системы 890 Мэв. Однако большинство этих опытов выполнено в сепарированных пучках К-мезонов, либо при малых энергиях пионов. В более поздних экспериментах физиков ЛВЭ, изучающих  $\pi^-p$ -взаимодействия при энергиях 6—8 Гэв, анализировалось распределение эффективных масс Кл-,  $K2\pi$ - и  $K3\pi$ -систем. В Кл-системе для событий с множественностью заряженных частиц 4 наблюдались группировки масс 730 и 888 Мэв. Сечение образования  $K^*$  (730) составляет  $\sim 30$  мкбарн,  $K^*$  (888)  $\sim 50$  мкбарн. Для событий с образованием Кл-систем характерна анизотропия (в с. ц. м.) с преимущественным вылетом вперед. В распределении масс системы  $K3\pi$  наблюдается максимум в области 1660 Мэв.

В лаборатории был обнаружен также резонанс в системе  $K^0\bar{K}^0$ . Проведенный анализ с большой достоверностью подтвердил этот результат. Аналогичные данные затем были получены и в других институтах.

Анализ четырехлучевых событий в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при энергиях 6—8 Гэв привел к обнаружению максимумов в спектрах эффективных масс систем  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^+\pi^+\pi^-$  и  $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ . Резонанс в системе  $\pi^+\pi^-$  отождествлен с  $\rho^0$ -мезоном. Его детальное изучение показало, что он образуется только в событиях с множественностью заряженных частиц 4, причем интенсивность образования его вместе с  $LK^0$ -парами составляет 40%, а с  $K^0\bar{K}^0$ -парами — около 14%. Получено указание на совместное образование  $\rho^0$  с  $\omega^0$ -мезонами и  $Y_1^*(1385)$ -гиперонами. В опытах установлено, что как  $\rho^0$ -мезоны, так и продукты их распада  $\pi$ -мезоны в угловых распределениях в с. ц. м. направлены преимущественно вперед.

Далее, изучение максимума для системы трех пионов говорит о том, что в событиях с  $K\bar{K}$ -парами с интенсивностью 16% образу-



КАНАЛЫ ЧИСТЫХ ПУЧКОВ ОТ СИНХРОФАЗОТРОНА. СЛЕВА — ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ КАНАЛ АНТИПРОТОНОВ С ИМПУЛЬСОМ 3 ГЭВ/С, СПРАВА — КАНАЛ ПИ-МЕЗОНОВ С ИМПУЛЬСОМ 5 ГЭВ/С.

ется  $A_1$ -мезон с массой  $1040 M_{\text{эв}}$ . Он распадается каскадным способом с образованием  $\rho^0$  в промежуточном состоянии.

О наблюдении физиками ЛВЭ каскадных распадов других резонансов впервые сообщалось еще в 1962 году. Сейчас имеется много случаев, подтверждающих этот механизм распадов.

Наконец, резонанс в системе  $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$  соответствует массе  $1340 M_{\text{эв}}$ . Появлению этого пика в распределении масс  $M_{4\pi}$  еще не дано однозначной интерпретации. Оно может быть обусловлено несколькими эффектами.

В событиях с образованием  $\Lambda$ -гиперонов, сопровождающихся двумя и четырьмя заряженными частицами, изучались резонансы между гиперонами и  $\pi$ -мезонами. При этом установлено образование  $Y^{*+}$  (1385)-гиперона с сечением  $129 \pm 38$  мкбарн, образование  $Y^{*-}$  (1385) идет менее интенсивно. Измерено сечение образования  $Y$  (1660)-гиперона, оно составляет  $30 \pm 13$  мкбарн.

Результаты проведенной серии работ по изучению барионных и мезонных резонансов позволяют, в частности, отметить некоторые общие для этих процессов тенденции: с ростом массы образующихся частиц возрастают средние импульс и энергия этих частиц (резонансов), а также направленность их вылета (для барионных резонансов — назад, для мезонных — вперед).

Как в ЛВЭ, так и других институтах был обнаружен резонанс  $\Lambda^0 K^0$ , однако он не имеет отчетливо выраженного характера и может быть интерпретирован также как взаимодействие в конечном состоянии.

Совместно с сотрудниками Института атомной физики (Бухарест) ученые ЛВЭ ведут изучение системы из 4-х пионов в событиях без странных частиц. На основании анализа четырехлучевых событий получены импульсные и угловые характеристики пионов и протонов, рассчитаны и построены спектры эффективных масс  $2\pi$ -,  $3\pi$ - и  $4\pi$ -систем, а также систем  $p\pi$ ,  $p2\pi$ ,  $p3\pi$ .

Известный интерес физиков, особенно в последнее время, вызывают процессы с гамма-квантами в качестве конечных продуктов реакций. Регистрация их происходит по электрон-позитронным парам конверсии. Ученые ЛВЭ, используя фотографии с пропановой пузырьковой камеры, облученной  $\pi^-$ -мезонами с энергией  $6-8$  Гэв, изучали случаи рождения  $\Lambda$ -частиц вместе с гамма-квантами. Материалы облучения ксеноповой камеры в том же пучке используются для изучения радиационных распадов нейтральной резонансной частицы  $\omega^0$ -мезона, распадные свойства которого до сих пор плохо изучены. Радиационные резонансы исследуются также с помощью пропановой камеры, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $4$  Гэв/с.

Недавно учеными лаборатории совместно с румынскими физиками закончена обработка большого экспериментального материала с пропановой камеры, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $4$  Гэв/с. Полученные результаты подтвердили существование резонанса  $\Lambda\eta$  с массой  $1680 M_{\text{эв}}$ , который впервые был обнаружен

здесь же ранее в опытах с  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $7,8$  Гэв/с.

В заключение этого раздела отметим выполненную в лаборатории интересную теоретическую работу, в которой на основе анализа опубликованных данных сделаны заключения о степени строгости изотопической инвариантности в сильных распадах. Было показано, в частности, что в сильных распадах  $\eta$ -мезонов изотопическая инвариантность выполняется с точностью до  $10^{-4}$ . С этой точки зрения были проанализированы различные виды распадов  $\eta_0$ -мезонов и показана невозможность существования целого ряда гипотетических частиц, обсуждавшихся продолжительное время в печати.

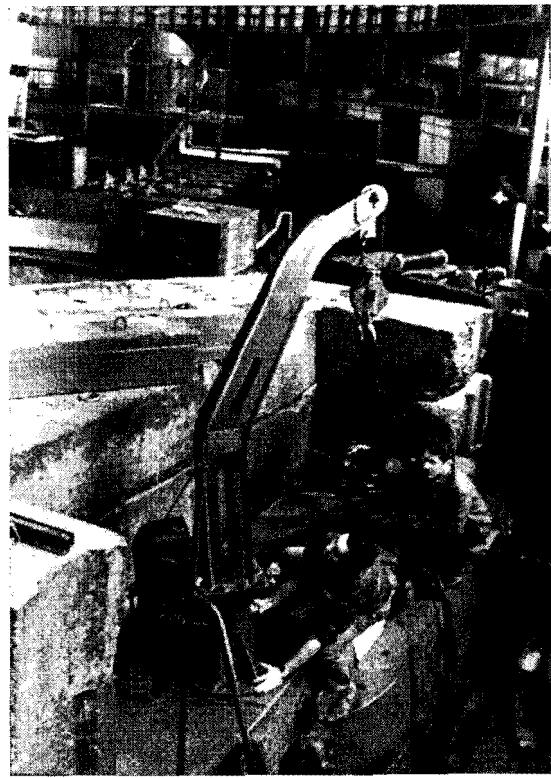
## процессы слабого взаимодействия

В 1959 году на синхрофазотроне начались исследования распадных свойств долгоживущего  $K_2^0$ -мезона, имеющие большое значение для проверки некоторых выводов теории слабого взаимодействия, а также правил отбора, связанных с изменением в процессе распада изотопического спина, электрического заряда и странности сильно взаимодействующих частиц. Интересно отметить, что эти работы начались всего год спустя после открытия долгоживущей компоненты нейтральных  $K$ -мезонов, когда проверка основных положений универсальной теории для распадов с несохранением странности находилась в начальной стадии.

Первые исследования проводились физиками Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем с помощью 40-сантиметровой камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле. Затем работы продолжались совместно с сотрудниками Института физики Грузинской ССР на 1-метровой камере Вильсона. За эти годы ученые обработали огромный экспериментальный материал — около 14 тысяч  $V^0$ -событий от распада  $K_2^0$ -мезонов, — полученный при облучении камер в пучках нейтральных частиц ускорителя.

На основе 360 идентифицированных  $K_{23}$ -распадов были построены энергетические спектры пионов и электронов и угловые распределения этих частиц для процесса  $K_2^0 \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu$ . Эти данные хорошо согласуются с правилом отбора  $\Delta I = 1/2$ . Анализ позволил также установить, что в соответствии с теорией универсального ( $V-A$ ) — взаимодействия векторный вариант хорошо описывает экспериментальные распределения. Вклады в распадное взаимодействие скалярного и тензорного вариантов при этом не превышают  $10-15\%$ .

В опытах на синхрофазотроне впервые была измерена вероятность  $K_{23}^0$  — распада (относительно всех распадов с заряженными



УСТАНОВКА С КАМЕРОЙ ВИЛЬСОНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ИСПОЛЬЗОВАЛАСЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПАДНЫХ СВОЙСТВ  $K_2^0$ -МЕЗОНОВ. НА СНИМКЕ — ПОДГОТОВКА КАМЕРЫ К ЭКСПЕРИМЕНТУ ПО ИЗУЧЕНИЮ АНТИГРАВИТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АНТИК-ЧАСТИЦ В НАКЛОННОМ ПУЧКЕ.

продуктами):  $0,48 \pm 0,07$ . Это значение совпадает с найденным на основе правил отбора по изотопическому спину из экспериментальных вероятностей  $K^+$ -распадов ( $0,46 \pm 0,04$ ) и, таким образом, свидетельствует в пользу справедливости этого правила отбора для лептонных распадов  $K$ -мезонов.

В этих исследованиях впервые получено доказательство существования распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ , зарегистрированного по парам Далицца от распада  $\pi^0$ , и сделана оценка относительной вероятности процесса. По уточненным в последующих измерениях данным, она составляет  $0,28 \pm 0,08$ . Полученный результат также свидетельствует о справедливости правила отбора по изотопическому спину  $\Delta T = 1/2$  в трехпионных распадах  $K$ -мезонов.

Благодаря наблюдению четырехлучевых событий типа  $\pi^+\pi^-e^+e^-$ , физики Дубны получили более прямое доказательство существования распада  $K_2^0$  на 2 заряженных и один нейтральный пион. Статистический анализ позволил затем отделить этот  $K_{\mu\pi}$ -распад от лептонных распадов и определить его относительную вероятность:  $0,20 \pm 0,02$ .

Изучая распады типа  $K_{\mu\pi}$  (на  $\pi^\pm\mu^\mp\nu$ ), ученые группы оценили относительную вероятность таких процессов: она составляет  $0,33 \pm 0,08$ . Полученное при этом отношение вероятностей распадов  $K_{\mu\pi}$  и  $K_{e\pi}$  согласуется с таким же отношением для распада  $K^+$  и может свидетельствовать об идентичности свойств слабого взаимодействия для электронов и мюонов.

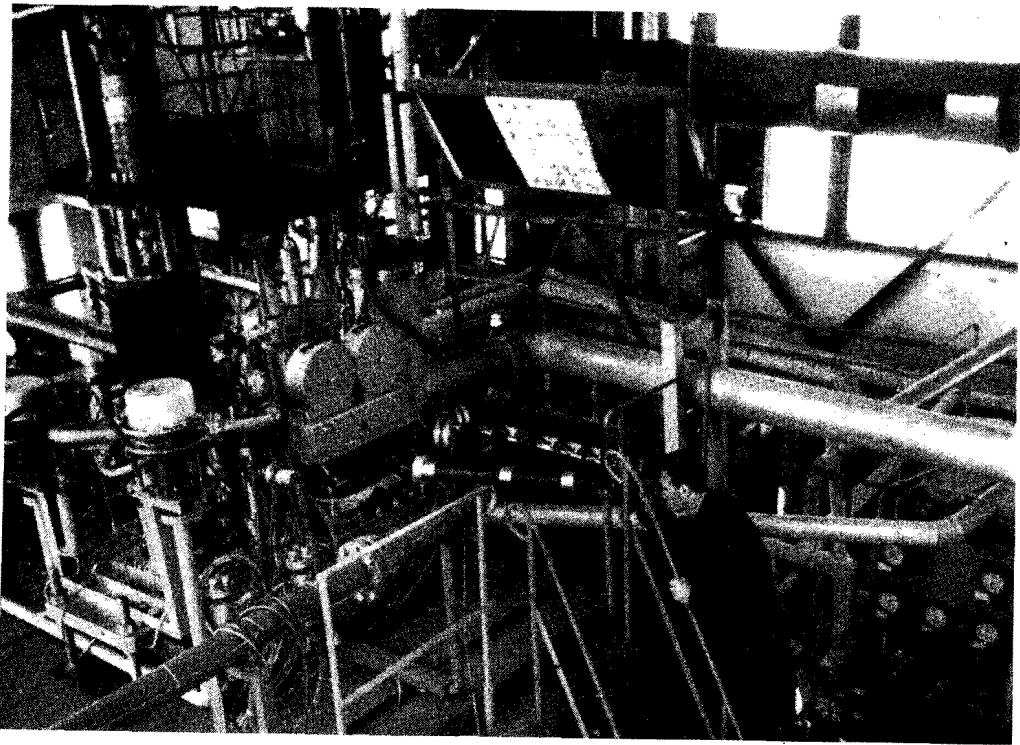
Та же группа физиков провела на синхрофазотроне интересный поисковый опыт. Сделана попытка проверить гипотезу антигравитации, согласно которой гравитационные массы частиц и античастиц имеют разные знаки. Исследование свойств  $K_2^0$ -мезонов, являющихся суперпозицией  $K^0$ - и  $\bar{K}^0$ -частиц, дает редкую возможность проследить влияние гравитационных сил на эти частицы. Если гипотеза верна, в наклонном пучке  $K_2^0$ -частиц за счет различного взаимодействия  $\bar{K}^0$ - и  $K^0$ -компонент с полем земного тяготения должен происходить переход  $K_2^0$  в  $K_1^0$ -мезоны с последующим распадом на два пиона. Разность высот источника  $K^0$ -мезонов и регистрирующей камеры Вильсона составляла 1,3 м, ожидаемая при этом доля двухчастичных распадов должна составлять 9%. Анализу было подвергнуто 550  $V^0$ -событий в наклонном пучке, соответствующих распадам  $K_2^0$ . Оказалось, что и в горизонтальном, и в наклонном пучках вклад двухчастичных распадов находится на уровне расчетного фона трехчастичных распадов, т. е. заведомо меньше 1%. Таким образом удалось показать, что указанный вариант гипотезы антигравитации не согласуется с экспериментальными данными.

На основании результатов, полученных в наклонном и горизонтальном пучках  $K_2^0$ -мезонов, сделана оценка вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow 2\pi$ . Эта вероятность  $\leq 2,5 \cdot 10^{-3}$ , она согласуется с данными других исследований.

Еще один поисковый опыт был выполнен на синхрофазотроне физиками Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий с целью проверки теоретического предположения о возможности аномально сильного взаимодействия нейтрино. Эксперименты показали, что такого взаимодействия не существует.

Интересное явление радиационного распада остановившихся  $K^+$ -мезонов  $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$  наблюдалось в ксеноновой камере, облученной  $K^+$ -мезонами с импульсом 470 Мэв/с. Распад сопровождался конверсией всех гамма-квантов. Таких событий было зарегистрировано 2 среди изученных 4500 всех  $K^+$ -распадов, наблюдавшихся в камере. Оценка вероятности этого процесса дает значение  $4,4 \cdot 10^{-4}$ .

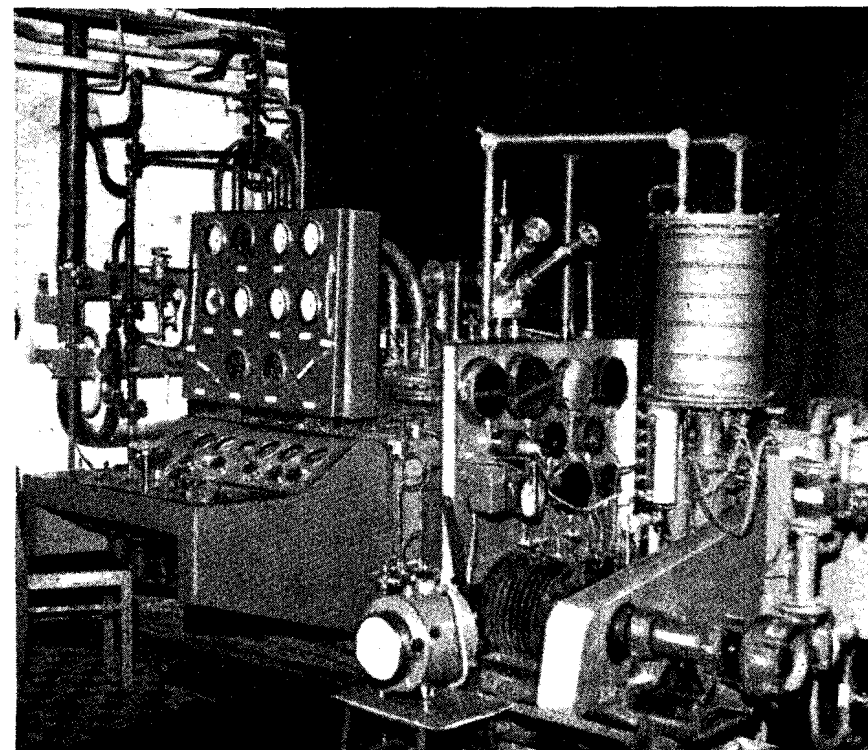
На этом же материале изучались свойства трехчастичных лептонных распадов положительных  $K$ -мезонов. Было показано, что они хорошо соответствуют векторному варианту универсальной четырехфермионной теории слабого взаимодействия. Примесь других возможных вариантов маловероятна. В  $K_{\mu\pi}^+$ -распаде из



1-МЕТРОВАЯ ЖИДКОВОДОРОДНАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА ДЛЯ РАБОТЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.

мерены величины отношения двух возможных здесь формфакторов  $f_-$  и  $f_+$ . Оказалось, что  $\xi = f_-/f_+$  близко к нулю в соответствии с предсказаниями  $SU(3)$ -симметрии для этих процессов.

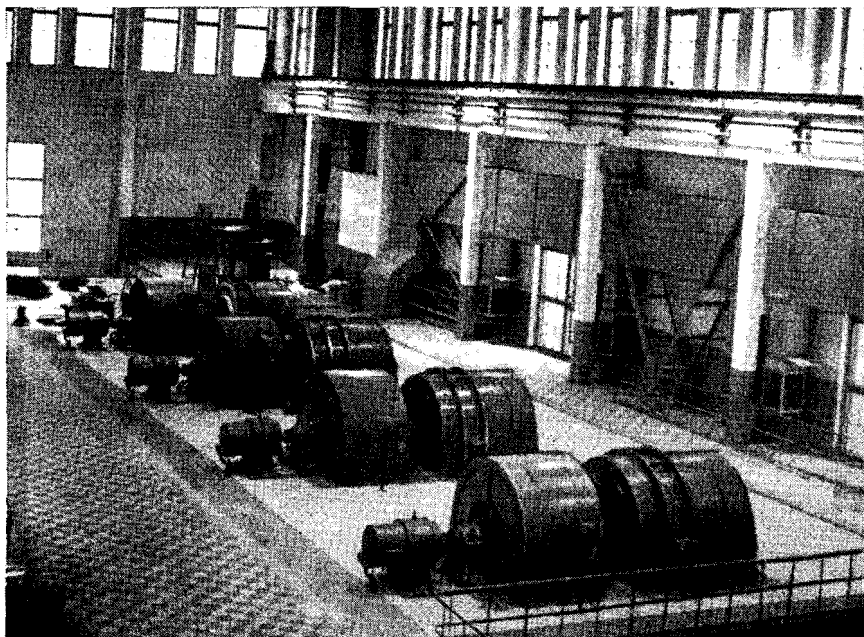
Отметим некоторые работы, выполненные в Лаборатории высоких энергий, которые не упомянуты выше при перечислении основных направлений исследований. Интересный процесс перезарядки  $\pi^-$ -мезона  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$  впервые изучался в области очень высоких импульсов  $\pi^-$ -мезонов ( $4,1 \text{ Гэв/с}$ ). Измерения сечения этой реакции выполнены с помощью черенковского гамма-спектрометра полного поглощения из свинцового стекла. Имеющиеся в печати сведения относятся к области энергий лишь до  $2 \text{ Гэв}$ , причем получены они, как правило, с помощью камерной методики. Опыты физиков лаборатории дали величину сечения перезарядки  $\sigma_n = 0,12 \pm 0,02 \text{ мб}$ . Это значение согласуется с результатом, полученным в ЛВЭ позднее в опытах по исследованию процессов  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$  с помощью пузырьковой камеры.



ДЕТАНДЕРНЫЙ ОЖИЖИТЕЛЬ ВОДОРОДА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ РАБОТЫ С БОЛЬШИМИ ЖИДКОВОДОРОДНЫМИ КАМЕРАМИ.

Начаты исследования упругого рассеяния  $\Lambda$ -гиперонов на протонах в области высоких импульсов. Первые измерения для  $\Lambda$ -гиперонов со средним импульсом  $2,7 \pm 1,2 \text{ Гэв/с}$  дают величину сечения  $\bar{\sigma} = 15 \pm 4 \text{ мб}$ . Получены указания на то, что упругое  $\Lambda p$ -рассеяние описывается с помощью модели обмена  $\omega$ -мезоном.

В различных лабораториях начались эксперименты по изучению рассеяния частиц на электронах. Эти работы интересуют физиков с точки зрения получения информации об электромагнитной структуре элементарных частиц. В ЛВЭ с помощью 24-литровой пропановой камеры, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом около  $4 \text{ Гэв/с}$ , изучалось рассеяние  $\pi^-$ -мезонов на электронах, представляющее в этой области энергий в основном методический интерес. Полученное дифференциальное сечение



АГРЕГАТЫ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТА 1-МЕТРОВОЙ ЖИДКОВО-ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ.

$\pi$ -рассеяния согласуется с результатами теоретического расчета для рассеяния на точечном электроде, при этом оценка размеров  $\pi$ -мезона дает значение  $r_{\pi} \leq 6,6 \cdot 10^{-13}$  см.

### экспериментальная аппаратура

На пучках синхрофазотрона действует целый ряд электронных установок и более десяти различных трековых камер, с которыми работают физики ЛВЭ и других лабораторий и институтов. Часть установок уже упоминалась при описании физических исследований.

«Ветераном» лаборатории можно назвать 24-литровую пропановую пузырьковую камеру, помещенную в магнитное поле. Это прекрасно работающий прибор, на котором за несколько лет получено огромное количество снимков. Обработка материала позволила провести значительное число физических исследований. Большое количество снимков отправлено для обработки в институты стран — участниц ОИЯИ. Успешно работают также 50-литро-

вая жидководородная пузырьковая камера и 30-литровая ксенонная камера.

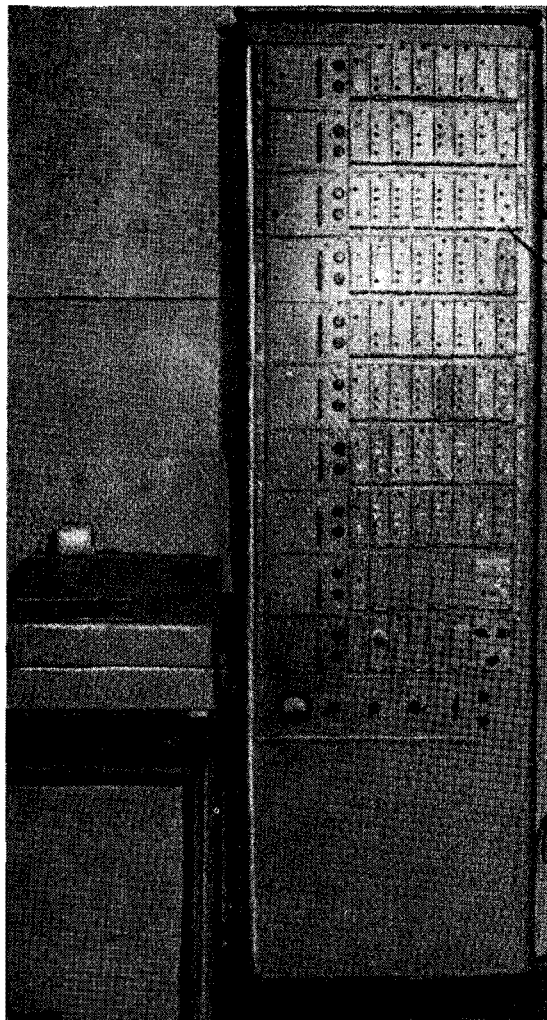
В лаборатории завершено создание и запущена огромная 2-метровая пропановая камера в магнитном поле, на пучке  $\pi$ -мезонов работает 1-метровая пропановая камера в магнитном поле, построенная физиками Лаборатории ядерных проблем. Состоялся запуск 1-метровой водородной камеры. Конструкция последней оказалась очень удачной, и при первом комплексном запуске с водородом был получен устойчивый режим работы и сделаны фотографии треков от источника гамма-частиц и космических лучей. В лаборатории создается 2-метровая водородная пузырьковая камера.

В экспериментах физиков широко используются искровые камеры, изготовлены камеры с большими разрядными промежутками, стримерная камера, разрабатываются различные системы бесфильмовых искровых камер.



УСТАНОВКА ИЗ ПРОВОЛОЧНЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И УГЛОВ ТРАЕКТОРИЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ. СЪЕМ ДАННЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМ МЕТОДОМ.





8-КАНАЛЬНАЯ  
ПЕРЕСЧЕТНАЯ  
СТОЙКА.

Большое внимание в лаборатории уделяется изготовлению и стандартизации основных схем быстрой электроники — это многоканальные пересчетные схемы, схемы совпадений и антисовпадений на основе высокочастотных модулей, многоканальная аппаратура для регистрации частиц и запуска искровых камер и т. п.

С каждым годом по мере усложнения экспериментов и перехода к изучению все более тонких эффектов и редких процессов возрастают требования к автоматизации обработки экспериментального материала. Созданные всего несколько лет назад полуавтоматы и автоматы для обработки камерных снимков сегодня

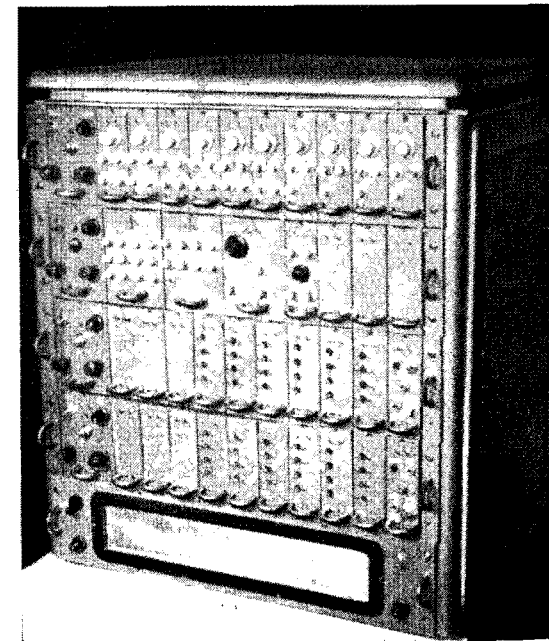
уже не удовлетворяют физиков. Поэтому в лаборатории ведется разработка более совершенной, более производительной аппаратуры разных типов и назначений, все шире внедряется в физические эксперименты техника электронно-вычислительных машин.

В Лаборатории высоких энергий создан большой криогенный отдел, в котором разрабатываются низкотемпературные системы физических установок. В частности, здесь разработаны ожижители водорода для больших пузырьковых камер, различные водородные мишени и т. п. Построен и успешно работает азотный завод. Экспериментаторы института обеспечены жидкими газами: водородом, кислородом, гелием, азотом.

## усовершенствование синхрофазотрона

За годы, прошедшие со времени запуска, синхрофазотрон подвергся многим усовершенствованиям. Здесь проделан большой комплекс работ по улучшению системы инжекции, вакуумной системы, а также системы питания электромагнита ускорителя.

Ввод в действие нового линейного ускорителя — инжектора, разработанного и изготовленного в лаборатории, позволил существенно повысить стабильность работы синхрофазотрона и поднять интенсивность его пучка. В настоящее время ускоритель

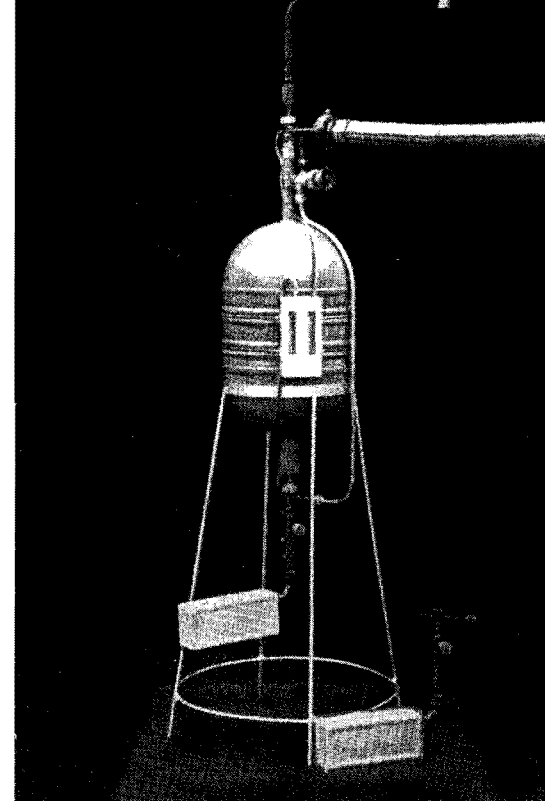


МНОГОКАНАЛЬНАЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ  
УСТАНОВКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИСКРОВЫМИ  
КАМЕРАМИ.



КАНАЛ АНТИПРОТОНОВ С ИМПУЛЬСОМ 5 ГЭВ/С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ОРИГИНАЛЬНОГО МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ  
ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ РАЗДЕ-  
ЛЕНИЯ ЧАСТИЦ (АНТИПРОТОНОВ И ПИ-МЕЗОНОВ).

ПЛОСКАЯ ТОНКОСТЕН-  
НАЯ ЖИДКОВОДОРОД-  
НАЯ МИШЕНЬ. УДОБНА  
В РАБОТЕ С ИСКРОВЫМИ  
КАМЕРАМИ. ОБЕСПЕЧИ-  
ВАЕТ НЕБОЛЬШОЕ КО-  
ЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА  
НА ПУТИ ЧАСТИЦЫ,  
ПРОЛЕТАЮЩЕЙ ЧЕРЕЗ  
МИШЕНЬ.



устойчиво дает пучок ускоренных протонов с интенсивностью до  $1 \cdot 10^{11}$  частиц в импульсе. Надежность и стабильность работы ускорителя повышена в результате реконструкции системы коррекции магнитного поля машины. Разработана и осуществлена система подавления пульсаций магнитного поля, что улучшает структуру циркулирующего пучка.

Существенно расширяет возможности физических экспериментов с пузырьковыми камерами созданная в лаборатории система быстрого (в течение 50 мксек) сброса пучка на мишень. Введена в эксплуатацию серия рычажных мишеней, позволяющих снизить потери интенсивности на мишенях.

Успешное проведение экспериментов в значительной мере связано с качеством пучков частиц, подводимых к регистрирующей аппаратуре. Поэтому физики лаборатории уделяют большое внимание созданию трактов, формирующих и подводящих пучки, а также созданию каналов чистых пучков.

В заключение отметим, что в лаборатории выполнен ряд работ по исследованию новых методов ускорения. В 1960 году здесь была запущена модель нового типа ускорителя заряженных частиц — кольцевого фазотрона, в его создании принимали участие советские и чешские ученые.

## лаборатория ядерных реакций

Лаборатория ядерных реакций — самая «молодая» в Объединенном институте. В сентябре 1960 года было закончено создание основной экспериментальной установки лаборатории — 300-сантиметрового циклотрона для ускорения многозарядных ионов. В течение короткого времени были намного превышены проектные параметры ускорителя (набор ускоряемых частиц и интенсивность пучков), и ученые Лаборатории ядерных реакций приступили к экспериментам на пучках циклотрона. В 1964 году в строй вступил второй ускоритель многозарядных ионов — 150-сантиметровый циклотрон.

Ускорение тяжелых ионов и изучение их взаимодействия с ядрами вводит физиков в мир особых явлений: многообразных и сложных явлений взаимодействия коллективных состояний большого числа нуклонов. Наличие пучков многозарядных ионов позволяет исследовать такие процессы, которые недоступны для изучения никакими другими средствами. Эти особенности характерны для тематики научных исследований ЛЯР.

Следует отметить, что за короткое время коллектив лабораторий добился очень больших успехов. Уникальные качества циклотронов лаборатории — возможность получения мощных пучков

различных тяжелых ионов в диапазоне от углерода до аргона, эффективное использование ускорителей, разработанная здесь тонкая методика исследований — все это помогло ученым провести целый ряд важнейших исследований, которые привели к синтезу новых элементов, открытию новых свойств ядер: протонной радиоактивности, спонтанного деления ядер, находящихся в изомерном состоянии, и других.

## синтез трансурановых элементов и изучение их физических и химических свойств

Успех в проведении этих исследований обеспечивается работами по усовершенствованию ускорителей и созданию экспериментальной аппаратуры.

Как известно, при получении элементов тяжелее урана с помощью атомных реакторов в настоящее время не удастся продвигнуться дальше 100-го элемента (фермия) вследствие значительного уменьшения времени жизни ядер с ростом их порядкового номера. Ускоритель тяжелых ионов является уникальным инструментом для получения трансфермиевых элементов.

Первые эксперименты ученых Лаборатории ядерных реакций были посвящены выяснению закономерностей образования калифорния (98), фермия (100) и менделевия (101) при использовании различных комбинаций мишеней и ускоренных частиц. Опыты показали, что при переходе к более тяжелым элементам сечение заметно уменьшается (в 10—20 раз при изменении атомного номера  $Z$  на 1—2 единицы). На основании данных, полученных в предварительных экспериментах, можно было ожидать, что, в частности, для 102-го элемента сечение образования составит величину порядка  $10^{-31}$ — $10^{-32}$  см<sup>2</sup>.

Для синтеза 102-го элемента была разработана методика регистрации используемого изотопа по его дочернему продукту — фермию-252, возникающему в результате альфа-распада искомого изотопа 102-го элемента. В первых опытах мишени из урана-238 облучались пучками ионов неона-22, изучалась ядерная реакция  $U^{238}(Ne^{22}, 4n)102^{256}$ . В созданной для экспериментов установке продукты реакции, среди которых имеются ядра  $102^{256}$ , выбиваются из мишени налетающими частицами в замкнутый объем, тормозятся в газе и диффундируют на стенки. Ядра, адсорбированные на поверхности кольцевого углубления диска, переносятся при его вращении в зону собирания ядер отдачи после альфа-распада. Ионизированные продукты альфа-распада осаждаются отрицательным напряжением на сборник, и обнаружение на сбор-

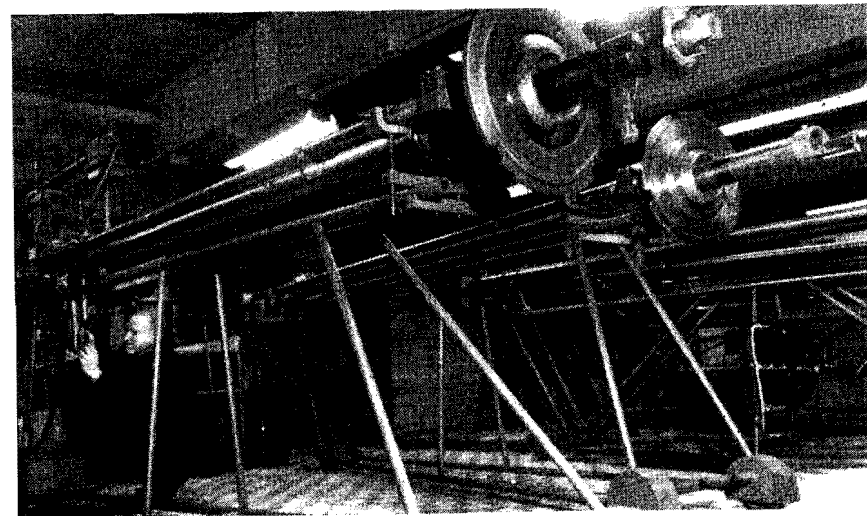


СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ТРАНСУРАНОВЫХ ЯДЕР.

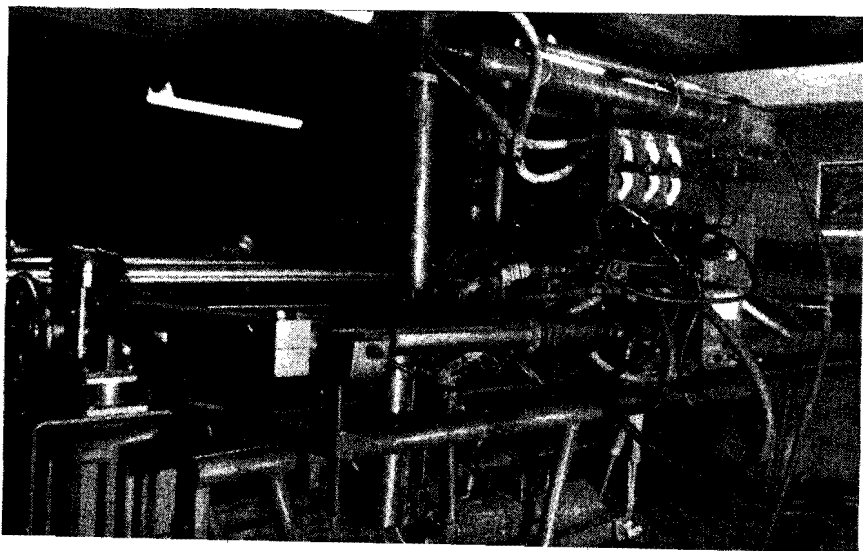
${}_{100}^{252}\text{Fm}$ . Кроме того, была снята кривая возбуждения для процесса образования нового изотопа, которая хорошо согласуется с расчетными данными. Результаты эксперимента и контрольных опытов привели к однозначному заключению, что в исследованной реакции синтезирован новый изотоп  ${}_{103}^{256}\text{Lw}$ , имеющий период полураспада около 45 сек. Основной тип распада — альфа-распад. Сечение образования этого изотопа в максимуме составляет  $6 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ . Эти эксперименты дали также сведения о том, что в процессе  ${}_{95}^{243}\text{Am} (\text{sO}^{18}, \alpha \text{Zn})$  образуется изотоп  ${}_{101}^{254}\text{Mv}$ , который испытывает электронный захват с периодом  $T_{1/2} > 2 \text{ мин}$ .

Следующим «шагом по таблице элементов», который сделали физики лаборатории, был синтез 104-го элемента. Теоретические и экспериментальные исследования спонтанного деления ядер, находящихся в основном состоянии, показали, что вероятность этого деления растет с увеличением отношения  $Z^2/A$ . Это позволяло надеяться, что основным видом распада изотопа  ${}_{104}^{260}$  будет спонтанное деление. Теоретическое предсказание времени жизни этого изотопа относительно спонтанного деления чрезвычайно затруднительно (в разных предположениях теория дает значения от  $5 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$  до  $1 \text{ сек}$ ), однако результаты экспериментального исследования изотопа  ${}_{102}^{256}$  позволяли надеяться, что время жизни

будет не очень малым. Для опытов была создана специальная высокочувствительная установка. Внутренним пучком ионов неона-22 от 310-сантиметрового циклотрона облучалась мишень из плутония-242. Ядра — продукты реакции  $\text{Pu}^{242} (\text{Ne}^{22}, 4n) {}_{104}^{260}$ , попадавшие на пикелевую ленту-конвейер, — транспортировались к детектору. Скорость ленты могла значительно меняться, в качестве детекторов осколков деления применялись фосфатные стекла. При заданной скорости движения ленты распределение треков по детекторам дает сведения о времени жизни синтезированных ядер. При энергии бомбардирующих частиц 113—115 Мэв наблюдалось образование спонтанно делящегося продукта с периодом полураспада около 0,3 сек и с сечением примерно  $2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ . В контрольных экспериментах изучалась энергетическая зависимость сечения образования продукта, спонтанно делящегося с периодом полураспада 0,3 сек, причем оказалось, что функция возбуждения имеет максимум при  $E_{\text{Ne}^{22}} = 114 \text{ Мэв}$  и полуширину  $\sim 10 \text{ Мэв}$ . Это соответствует испарительной реакции  $\text{Pu}^{242} (\text{Ne}^{22}, 4n)$ . При облучении урана-238 ионами неона-22 и плутония-242 ионами неона-20 изотоп с периодом 0,3 сек не образовывался. Верхняя граница сечения реакции с неоном-20 оказалась  $\sim 2 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$ . Таким образом, результаты экспериментов, в том числе вид функции возбуждения, величина сечения в максимуме, отсутствие эффекта в опытах с другими частицами и мишенями, позволили идентифицировать синтезированный продукт как новый изотоп  ${}_{104}^{260}$ , испытывающий спонтанное деление



ГАЗОВЫЙ ПРОБНИК — УСТАНОВКА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЭКСПРЕССНОГО ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ГАЗООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.



КОМПЛЕКС ХИМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ, В КОТОРЫХ ПРОИСХОДИТ РАЗДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ, ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ.

с периодом полураспада  $0,3 \pm 0,1$  сек. Так был впервые синтезирован 104-й элемент.

Важными исследованиями являются ведущиеся в лаборатории работы по изучению химических свойств трансурановых элементов. После первых же опытов стало ясно, что большие интенсивности пучков циклотрона дают возможность получать значительное число ядер Cf, Fm, Mv. Это позволило химикам приступить к изучению некоторых химических свойств 98-го, 100-го и 101-го элементов. Следует напомнить, что, например, 101-й элемент был идентифицирован по нескольким атомам. В 8 опытах американских физиков было получено всего 17 атомов. В дальнейшем удавалось получать десятки атомов, но химия менделевия не изучалась. Ускоритель Лаборатории ядерных реакций позволяет получать сотни атомов Mv за один опыт, и здесь по существу начато систематическое изучение его химических свойств. В Варшаве группа польских химиков разработала методику, которая затем была использована в опытах в Дубне. Участие в работе приняли также чехословацкие ученые. В результате этих исследований был сделан ряд заключений о химических свойствах калифорния, фермия, менделевия.

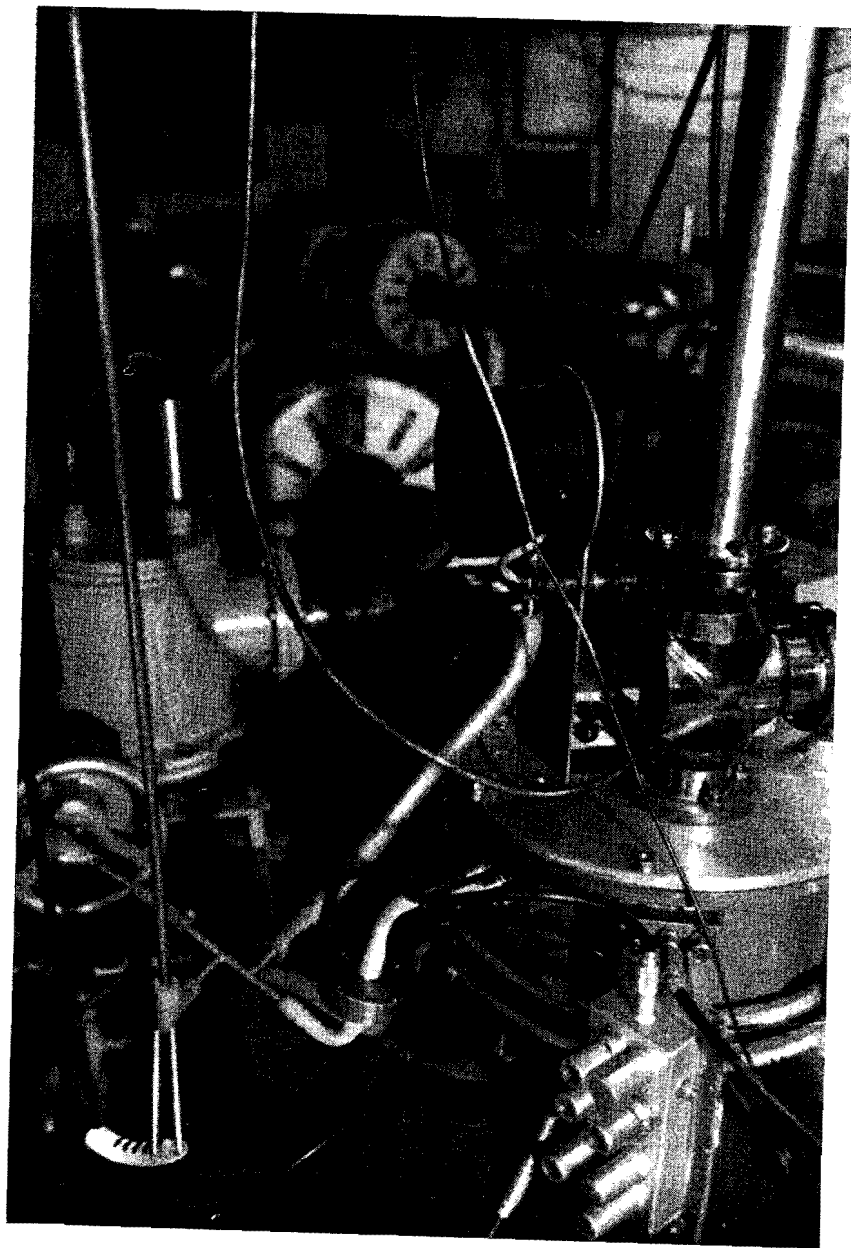
Чрезвычайно короткие времена жизни всех известных изотопов элементов, следующих за менделевием (101), и низкий выход

реакций синтеза этих ядер представляют очень серьезное препятствие для изучения их химических свойств. В одной из радиохимических групп лаборатории разрабатываются оригинальные экспрессные методы исследования газообразных соединений новых элементов. Для синтеза молекул определенных соединений используется взаимодействие атомов отдачи, вылетающих из мишени, с химически активной газовой средой. Все химические операции и транспортировка атомов от мишени к детектору излучения происходят в газовом потоке. В модельных опытах с хлористыми соединениями родственных элементов было показано, что эти методы позволяют изучать химические свойства считанных атомов изотопов с периодом полураспада всего в десятки доли секунды. Интересной проблемой, на решение которой в первую очередь нацелены исследования, является химическая идентификация атомов 104-го элемента. Она связана с проверкой «актинидной гипотезы», согласно которой 104-й элемент должен быть химическим аналогом гафния.

### **изучение спонтанного деления ядер, находящихся в изомерном состоянии**

Одним из наиболее интересных явлений, обнаруженных в лаборатории, является спонтанное деление ядер с очень коротким периодом полураспада. Хорошо изученные к настоящему времени ядра имеют периоды полураспада в пределах от  $10^{21}$  лет до 2,7 часа. Они получены на ядерных реакторах. Создание ускорителей тяжелых ионов и получение на этих установках интенсивных пучков сделало возможным получение новых изотопов тяжелых элементов, которые могут испытывать спонтанное деление с коротким периодом полураспада.

На 300-сантиметровом циклотроне лаборатории при облучении мишени из урана-238 ионами неона-22 и кислорода-16 были зарегистрированы осколки спонтанного деления неизвестного изотопа, делящегося с периодом полураспада около 0,02 сек. В опытах использовалась установка, способная регистрировать быстрые распадные процессы. Внутренний пучок циклотрона бомбардировал тонкую урановую мишень, и продукты ядерных реакций, получившие большой импульс, выбивались из мишени и попадали на вращающийся сборник. Осколки спонтанного деления ядер, попавших на сборник, регистрировались с помощью двух ионизационных камер. Эти эксперименты привели к предположению о возможности образования ядер в изомерном состоянии с повы-



УСТАНОВКА ДЛЯ СИНТЕЗА И ИЗУЧЕНИЯ АЛЬФА-РАСПАДА КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР. СБОР СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЯДЕР ПРОИЗВОДИТСЯ МЕТОДОМ АДСОРЕЦИИ ИХ ГАЗОВОЙ СТРУИ.

шенной (более чем в  $10^{20}$  раз) вероятностью спонтанного деления. Совершенно необычные свойства нового изотопа потребовали доказательств осколочной природы этого эффекта. Эти подтверждения были получены в более строгих опытах с пучком ионов неона-22 с энергией 135 Мэв. Следы осколков спонтанного деления регистрировались с помощью фотопластинок. Последующие более точные измерения периода полураспада дали значение  $\sim 13$  мсек. В дальнейших экспериментах в качестве мишеней использовался не только уран-238, но и изотопы плутония и америция, облучение мишеней производилось как тяжелыми ионами, так и дейтронами и альфа-частицами. Результаты этих исследований подтвердили предположение, что здесь физики имеют дело с распадом ядра, находящегося в изомерном состоянии, причем было установлено, что атомный номер изомера  $Z \leq 95$ , а масса  $M \leq 242$ . Детальное сопоставление данных о выходе изомера в различных реакциях позволило предположить, что наблюдаемый распад объясняется спонтанным делением ядра америция-242, находящегося в изомерном состоянии. Для проверки этого предположения ученые решили получить тот же изомер другим путем: облучением  $\text{Am}^{243}$  нейтронами с энергией 14 Мэв. В этом случае изомер  $\text{Am}^{242m}$  образуется с большим сечением в реакции  $\text{Am}^{243}(n, 2n)\text{Am}^{242m}$ . Нейтроны получались бомбардировкой тритиевой мишени дейтронами. Чтобы отделить эффект спонтанного деления от вынужденного деления  $\text{Am}^{243}$  нейтронами, а также измерить период спонтанного деления, был использован импульсный режим работы нейтронного генератора. Осколки деления регистрировались с помощью детекторов из стекла. Результаты эксперимента показали, что в этой реакции образуется изотоп, распадающийся путем деления с периодом полураспада  $13,5 \pm 1,0$  мсек. Это значение совпадает с величиной  $13,5 \pm 1,2$  мсек, полученной для спонтанно делящегося изомера, синтезированного в реакциях с заряженными частицами.

Характер процесса образования изомера  $\text{Am}^{242m}$  изучался также в реакции с тепловыми нейтронами. В настоящее время совместно с румынскими физиками начаты эксперименты по изучению образования  $\text{Am}^{242m}$  в реакциях  $(p, n)$  и  $(p, 2n)$  на циклотроне Института атомной физики в Бухаресте.

Обнаруженный эффект резкого увеличения вероятности спонтанного деления ядер является качественно новым в ядерной физике. Его исследование может дать дополнительные сведения о структуре ядер и механизме их деления. С точки зрения методической впервые в мировой практике была показана возможность успешной работы различных детекторов ядерных частиц и электронной аппаратуры внутри камеры циклотрона, что позволяет наиболее полно использовать интенсивность пучка ускорителя.

В последующих экспериментах физиками лаборатории было предпринято изучение других спонтанно делящихся изомеров. С помощью специально созданной чувствительной аппаратуры,

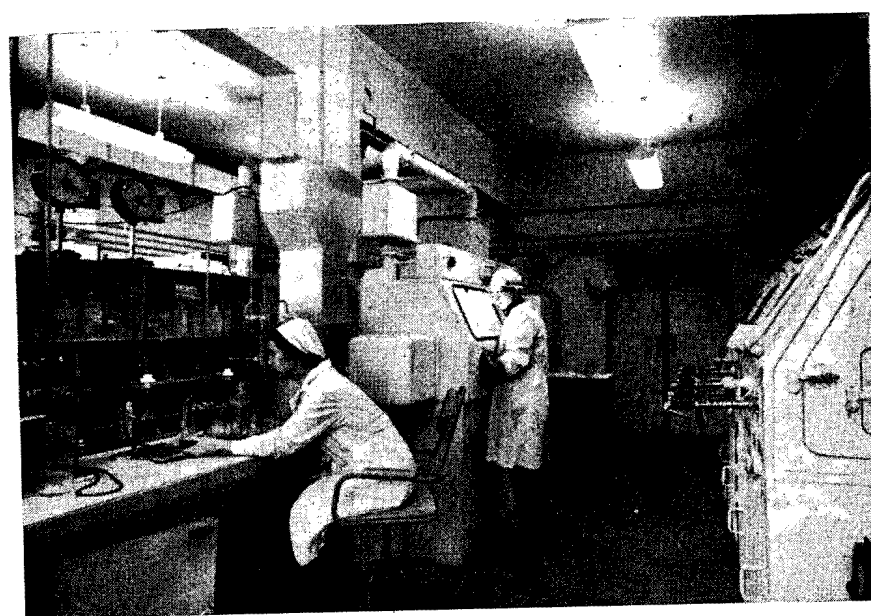
в которой использовалось сочетание различных способов детектирования осколков деления, производились опыты по поиску короткоживущих изомеров со временем жизни в несколько секунд, образующихся в реакциях  $U^{238} + Ne^{20}$  и  $U^{238} + O^{16}$ . В обоих процессах были зарегистрированы осколки спонтанного деления ядер с периодом полураспада около 3,5 сек. Этот эффект может быть обусловлен распадом ядра с  $Z \leq 100$ .

Поиск короткоживущих изотопов в миллисекундной области проводился путем облучения мишеней из урана-238 и плутония (естественная смесь изотопов) ионами неона-20 и неона-22, а также бора-11. Во всех реакциях, кроме  $U + B^{11}$ , синтезировался один и тот же изотоп с периодом полураспада  $(0,85 \pm 0,08) 10^{-3}$  сек. Его атомный номер  $Z \leq 99$ . Позднее в экспериментах американских ученых было показано, что изотопы америция-240 и америция-244 имеют спонтанно делящиеся изомеры с периодом полураспада около 1 мсек. Эти опыты проводились с заряженными частицами. В Лаборатории ядерных реакций было предпринято изучение ядерной реакции на ядре  $Am^{241}$  под действием нейтронов с энергией 14,1 Мэв. При этом наблюдалось спонтанное деление с  $T_{1/2} = 0,6 \pm 0,2$  мсек. Измерения показали, что оно обусловлено изомером  $Am^{240m}$ , который образуется в реакции  $Am^{241}(n, 2n)Am^{240m}$  с большим сечением, и это позволяет надежно идентифицировать наблюдаемое в опыте спонтанно делящееся ядро.

Недавно в экспериментах на внутреннем пучке циклотрона лаборатории был синтезирован ряд новых спонтанно делящихся изомеров. Их периоды полураспада составляют 1 мин, 2,5 мин. Изомер с периодом  $T_{1/2} = 1$  мин идентифицирован как  ${}_{93}Np^{228m}$ .

## исследования протонно- радиоактивных ядер

Вопрос о вероятности нового типа радиоактивного превращения ядер — протонного распада — обсуждался давно. Энергетическая возможность такого распада обусловлена снижением энергии связи протона при уменьшении числа нейтронов в ядре и возрастанием роли кулоновского отталкивания. Некоторые физики рассматривали возможные механизмы протонного распада и пути синтеза протонноактивных ядер. Еще в 1949 году были предприняты попытки синтезировать излучатели протонов в ядерных реакциях, однако эти эксперименты не привели к желаемому результату, так как существовавшие тогда ускорители не давали необходимых широких возможностей для получения пересыщен-



В РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.

ных протонами ядер. Впервые протонный распад удалось экспериментально обнаружить только в 1962 году. Это было сделано в Дубне учеными Лаборатории ядерных реакций. Независимо явление протонной радиоактивности наблюдали канадские физики.

Ядерные реакции с тяжелыми ионами дают наиболее широкие возможности для синтезирования ядер с избытком протонов. Несколько лет назад в лаборатории начались эксперименты по изучению радиоактивных продуктов реакций, вызываемых в никеле ускоренными ионами неона-20 с энергией 130 Мэв. Была создана специальная установка, действующая в вакуумной камере циклотрона и включающая в себя телескоп из двух пропорциональных счетчиков для измерения энергии и удельной ионизации частиц распада. Протоны регистрировались в интервалах между облучениями продолжительностью от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. Результаты этих экспериментов позволили сделать однозначный вывод о том, что в реакции  $Ni+Ne$  возникают радиоактивные ядра, испытывающие протонный распад. Время жизни протонных излучателей грубо оценивалось в интервале от 0,1 сек до 5 мин. В следующих измерениях было установлено наличие периодов полураспада 0,5—1 сек и более длинного.

Для проведения точных измерений потребовалось создание новой установки, к которой были предъявлены более высокие требования. Выбитые пучком ускоренных ионов ядра — продукты реакций вылетали из мишени и останавливались в сборнике, который был выполнен в виде вращающегося диска. Радиоактивные ядра переносились диском к спектрометру заряженных частиц, состоящему из пропорционального счетчика и двух кремниевых детекторов. Сопоставление одновременно измеряемых энергии и удельной ионизации позволяет определить тип частицы, надежно отделить протоны от электронов и альфа-частиц. Используемая электронная аппаратура позволяла устанавливать тип распада, вести амплитудный анализ импульсов, измерять период полураспада. При облучении никеля ионами неона-20 и кислорода-16 было установлено образование двух протонных излучателей. Первый имеет период полураспада  $(85 \pm 15) \cdot 10^{-3}$  сек и испускает протоны с энергией  $5 \pm 0,2$  Мэв, второй — период  $23 \pm 4$  сек и испускает протоны с энергией  $2,5 \pm 0,2$  Мэв. Большим интерес представляло установить, какие ядра являются протонно-радиоактивными. Эта сложная задача решалась в целом ряде опытов. В результате анализа данных был сделан вывод, что излучателем протонов с энергией 2,5 Мэв является один из легких изотопов Вг или Кг с массой 79—81, а протоны с энергией 5 Мэв излучаются одним из изотопов  $Ne^{17}$  или  $Mg^{21}$  (позднее канадскими физиками было показано, что это был  $Ne^{17}$ ). Наиболее вероятный механизм испускания протонов следующий. Изотопы (Вг, Кг) и (Ne, Mg), возникающие в ядерной реакции, испытывают позитронный распад с большой энергией, который и опреде-

ляет измеряемый период полураспада. Дочернее ядро обладает невысокой устойчивостью относительно испускания протона. Достаточно некоторого возбуждения после  $\beta^+$ -перехода, чтобы из ядра вылетел протон.

Описанный механизм не является единственно возможным для протонного распада. В реакциях с тяжелыми ионами возможно образование ядер, неустойчивых по отношению к испусканию протонов в основном состоянии. Механизм протонного распада в данном случае аналогичен альфа-распаду, при этом протон покидает ядро путем квантово-механического проникновения сквозь барьер, и вероятность этого процесса определяет время жизни радиоактивного ядра. Экспериментально наблюдаемые времена относительно распадов этого типа лежат в диапазоне  $10^{-10}$ — $10^{-1}$  сек (верхний предел обусловлен конкуренцией со стороны  $\beta^+$ -распада).

Возможность существования протонно-радиоактивных ядер с  $Z > 50$  подвергалась в печати сомнению в связи с сильной конкуренцией со стороны альфа-распада. Оценки, сделанные физиками Лаборатории ядерных реакций показали, что область протонного распада, напротив, должна простираться практически через всю таблицу изотопов, а область ядер с  $Z > 50$  представляется наиболее перспективной для исследования этого явления. В связи с этим в лаборатории были предприняты эксперименты по поиску протонно-радиоактивных ядер тяжелее олова. Для этой цели пучками ионов кислорода-16 и кремния-28 облучались мишени из Ru, Pd и Cd. В результате измерения спектров протонов и периодов полураспада протонной активности был установлен факт образования излучателей протонов с  $Z > 50$ . Более подробно изучены излучатели протонов среди легких изотопов теллура. Эти изотопы получались в лаборатории при облучении пучком ионов неона-20 мишеней из разделенных изотопов молибдена. Было обнаружено 4 протонных излучателя с периодом полураспада  $(4,2 \pm 0,2)$  сек,  $(19 \pm 0,7)$  сек,  $(13 \pm 2)$  сек и  $(60-70)$  сек; два первых были идентифицированы как теллур-109 и теллур-111.

Изучение протонного распада радиоактивных ядер дает новые возможности для определения свойств атомных ядер. Поэтому число лабораторий, где занимаются исследованиями явления, открытого в Дубне, непрерывно растет. К настоящему времени обнаружено уже 15 протонных излучателей.

## изучение механизма взаимодействия тяжелых ионов с ядрами

Ядерные реакции, происходящие при столкновении тяжелого иона с ядром, отличаются большим многообразием. При больших параметрах столкновения, когда ядра взаимодействуют только



с помощью электромагнитных сил, основными процессами являются упругое и неупругое рассеяние. Большой заряд и малая проницаемость кулоновского барьера для тяжелых зарядов делает тяжелые ионы очень эффективным средством кулоновского возбуждения коллективных уровней ядер.

В случае касательных столкновений ядра соприкасаются своими поверхностями и в игру вступают ядерные силы, однако из-за большого углового момента слияния ядер не происходит. В момент столкновения от ядра к ядру могут передаваться один или несколько нуклонов. Поскольку процесс разыгрывается в поверхностном слое ядра, реакции такого типа особенно чувствительны к структуре ядерной поверхности. Если энергия иона велика, при соударении может произойти распад налетающего ядра на альфа-частицы и отдельные нуклоны.

При малых параметрах столкновения и достаточной энергии сталкивающиеся ядра сливаются, образуя компаунд-ядро с большой энергией возбуждения и большим угловым моментом. Изучение свойств таких систем представляет большой интерес. В частности, с помощью реакций такого типа можно синтезировать новые трансурановые элементы, протоннорадиоактивные ядра, изучать деление очень тяжелых ядер.

Механизм реакций поверхностного типа изучался в лаборатории довольно широко с использованием различных экспериментальных методов. Одна из работ была направлена на получение информации о «спектре» реакций передач. Мишени из тантала и тербия облучались ионами неона, затем радиохимическим путем выделялись элементы редкоземельной группы и по гамма-спектрам проводилась идентификация отдельных изотопов. Каждому изотопу соответствовал определенный канал реакции. Таким путем были измерены эффективные сечения нескольких десятков реакций поверхностного типа. Эти реакции охватывали совокупность процессов передачи от одного до более чем 20 нуклонов. Реакции с передачей таких больших групп нуклонов наблюдались впервые. По-видимому, физики столкнулись здесь с новым типом ядерных реакций, присущих только тяжелым ионам, реакций, в которых во время столкновения от ядра к ядру «перетекает» значительная часть ядерной материи. В этих же экспериментах была установлена другая интересная особенность: при передаче небольшого числа нуклонов сечение реакции очень сильно зависит от соотношения нейтронов и протонов в передаваемой группе. Так, например, сечение срыва двух протонов оказалось на два порядка ниже сечения срыва группы двух протонов и двух нейтронов. Эти результаты заставляют думать, что отдельные группировки нуклонов типа  $\alpha$ -частиц могут играть особую роль на поверхности ядра. Идея о возможности образования нуклонных ассоциаций в поверхностном слое ядра довольно широко обсуждается в научной литературе, и для изучения этого вопроса тяжелые ионы могут быть очень полезным инструментом.

В лаборатории была разработана оригинальная методика, в которой для изучения реакций передач использовалась запаздывающая нейтронная активность ядер  $N^{17}$ . Благодаря уникальному характеру этой активности, в области легких ядер удавалось надежно выделять продукты реакций передачи на фоне огромного числа других радиоактивных изотопов. С помощью этой методики впервые наблюдался подхват 3 нейтронов, на ряде элементов были измерены энергетические зависимости сечения реакций ( $N^{14}$ ,  $N^{17}$ ), ( $N^{15}$ ,  $N^{17}$ ), ( $O^{16}$ ,  $N^{17}$ ), ( $Ne^{20}$ ,  $N^{17}$ ), ( $Ne^{22}$ ,  $N^{17}$ ). Особенно интересные результаты были получены при изучении подхвата 2-х нейтронов на разделенных изотопах циркония  $Zr^{90}$ ,  $Zr^{92}$ ,  $Zr^{94}$ . Первый из этих изотопов обладает замкнутой нейтронной оболочкой из 50 нейтронов, два другие имеют соответственно два и четыре нейтрона сверх нее. Оказалось, что сечение подхвата 2 нейтронов на изотопе  $Zr^{92}$  в пять, а на  $Zr^{94}$  в десять раз больше, чем на  $Zr^{90}$ . Результаты указывают на то, что, по-видимому, в реакции происходит подхват коррелированной пары нейтронов с периферии ядра.

В серии экспериментов подробно исследовались такие важные характеристики реакций передачи, как угловые распределения и энергетическая зависимость эффективных сечений. Здесь, в частности, изучались реакции много-нуклонного срыва при облучении  $Th^{232}$  ионами  $Ne^{22}$ : ( $-5n$ ), ( $-p-5n$ ), ( $-p-6n$ ), ( $-p-7n$ ). Продукты реакции наблюдались с помощью импульсной ионизационной камеры. Большой экспериментальный материал по угловым распределениям и эффективным сечениям реакций передачи был получен в работах с использованием метода гамма-спектроскопии для регистрации продуктов реакций. При этом наблюдались такие радиоактивные продукты, как  $F^{18}$ ,  $Na^{22}$ ,  $Na^{24}$ ,  $Ar^{41}$ . Полученные функции возбуждения и угловые распределения продуктов реакций позволили сделать ряд качественных выводов. В угловых распределениях были обнаружены новые интересные особенности, которые проливают свет на механизм реакций передачи нескольких нуклонов.

Перечисленные выше работы были выполнены на внутреннем пучке циклотрона У-300. Запуск ускорителя У-150 и получение на нем выведенного пучка позволили применить в исследованиях реакций передачи ряд новых методов, дающих более полную и точную информацию о параметрах реакций. Была разработана методика, в которой частицы — продукты реакции выделяются по удельной ионизации и энергии. В сочетании с двумерным анализом на многоканальном анализаторе эта методика позволяет наблюдать в одном эксперименте большое число каналов прямых реакций, связанных с образованием как радиоактивных, так и стабильных продуктов. Проведены эксперименты по изучению подхвата одного, двух и трех нейтронов, включающие измерения углового распределения, эффективного сечения и энергетического спектра продуктов реакции. При исследовании процессов

подхвата протона  $Al^{27}$  ( $C^{12}$ ,  $N^{13}$ )  $Mg^{26}$  и  $C^{12}$  ( $C^{12}$ ,  $N^{13}$ )  $B^{11}$  впервые наблюдалась дифракционная картина в реакциях передачи. Проводимые работы позволяют глубже понять механизм прямых ядерных реакций с тяжелыми ионами и выяснить новые интересные особенности этих процессов. С помощью реакций такого типа могут быть получены новые ядра, например, с большим избытком нейтронов.

Описанным реакциям передачи нуклонов был посвящен широкий круг экспериментов, в результате которых в лаборатории собрано значительное количество разносторонней информации об этом типе процессов. Кроме этого, в Лаборатории ядерных реакций ведется также исследование и двух других упомянутых выше типов взаимодействия тяжелых ионов с ядрами. Так, методами гамма-спектроскопии здесь выполнен ряд работ по изучению кулоновского возбуждения некоторых ядер под действием тяжелых ионов. С помощью различных методов в лаборатории исследуются реакции слияния и свойства образующихся при этом компаунд-ядер. В ряде опытов наблюдалось влияние высокого углового момента на свойства составных сильновозбужденных ядер. Сведения о высоковозбужденных уровнях ядер были получены при изучении спектров испускаемых ядрами нейтронов и каскадов гамма-квантов. Успешно развиваются в лаборатории исследования в области ядерной спектроскопии.

### **усовершенствование ускорителей и разработка экспериментальной аппаратуры**

Те большие достижения, которых за короткое время добились физики лаборатории, связаны в первую очередь с успешной работой ускорителя тяжелых ионов — 300-сантиметрового циклотрона. На протяжении пяти лет эксплуатации производилось его усовершенствование, в результате которого в настоящее время имеется возможность получать пучки различных многозарядных ионов в диапазоне от углерода до аргона. По интенсивности пучков этот циклотрон в сотни раз превосходит лучшие современные ускорители многозарядных ионов (например, интенсивность пучка ионов неона-20 составляет 100 мка). Интересно отметить, что в ряде опытов интенсивность пучков ограничивалась не возможностями ускорителя, а опасностью теплового разрушения облучаемой мишени.

Большая теоретическая и экспериментальная работа предшествовала выводу пучка тяжелых ионов из ускорителя. Эта работа успешно завершена созданием системы вывода, состоящей



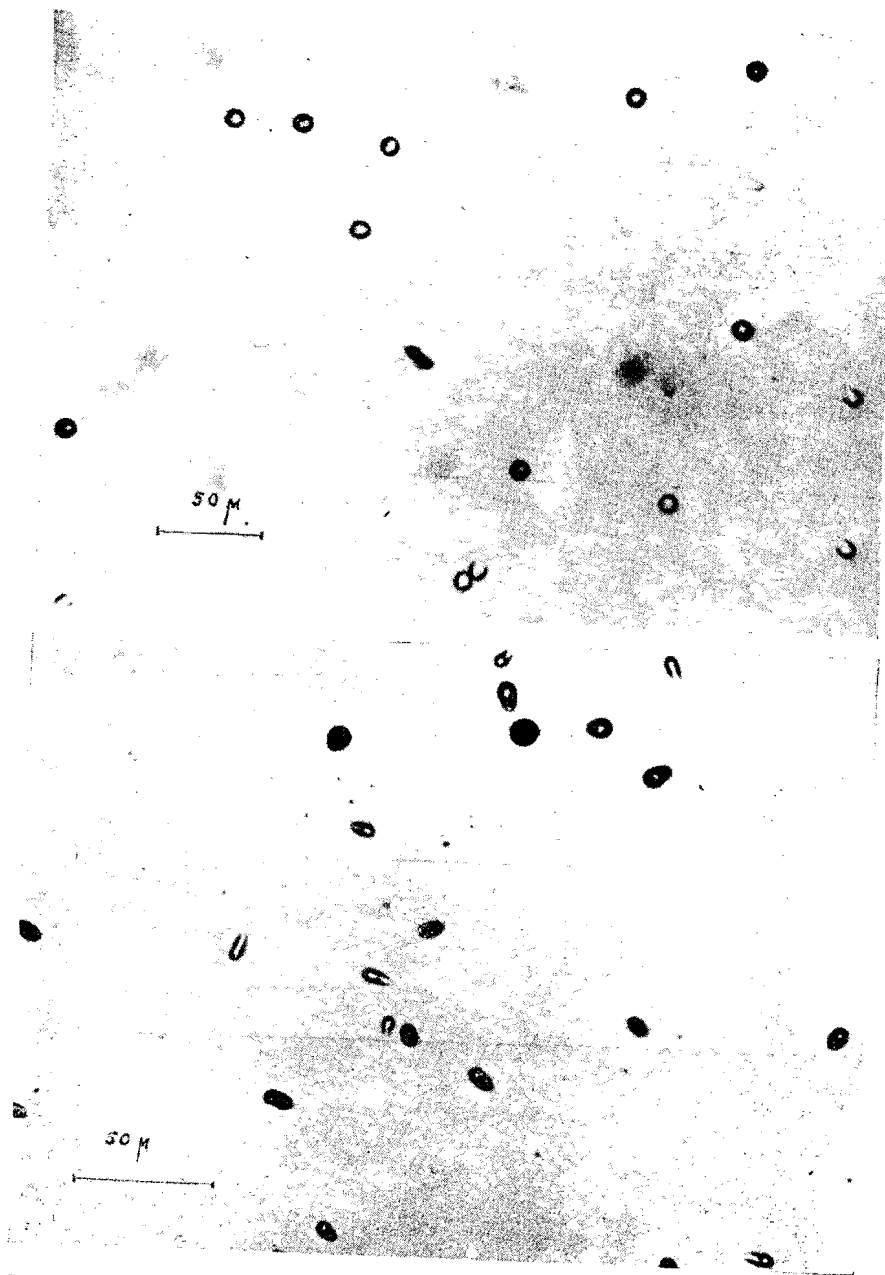
ДУАНТЫ 3-МЕТРОВОГО ЦИКЛОТРОНА.

из электростатического дефлектора и магнитных каналов, фокусирующих пучок.

В лаборатории действует еще один ускоритель — серийный циклотрон с диаметром полюсных наконечников 150 см, предназначенный для ускорения дейтронов и альфа-частиц. В конструкцию ускорителя были внесены изменения, которые позволили перестроить его в режим ускорения многозарядных ионов. На этом ускорителе могут быть получены пучки ионов углерода и азота с интенсивностью порядка 30 мка, выведенного и сфокусированного на площадь  $1,5 \text{ см}^2$  пучка. Коэффициент вывода пучка очень высок: он достигает 0,6—0,7.

Большое внимание уделяется в лаборатории вопросам, связанным с изготовлением мишеней. Поскольку сечения многих исследуемых процессов очень малы (например, сечения образования трансурановых элементов порядка  $10^{-34} \text{ см}^2$ ), возникает необходимость работы с пучками высокой интенсивности. При этом выделяются большие тепловые мощности, представляющие существенную опасность разрушения мишеней. Успешное решение задач по созданию ряда специальных мишеней позволило выполнить многие важнейшие научные исследования.

Лаборатория располагает современной физической аппаратурой для детектирования образующихся в различных ядерных реакциях продуктов с очень короткими временами жизни (до тысячных долей секунды). Разработаны методы изготовления полупроводниковых детекторов большой площади, а также способы



СЛЕДЫ ОСКОЛКОВ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ КЮРИЯ-244 НА СИЛИКАТНОМ СТЕКЛЕ (ВЕРХНИЙ СНИМОК) И ФОСФАТНОМ СТЕКЛЕ (НИЖНИЙ СНИМОК). ЭТИ ДЕТЕКТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯДЕР 102-го и 104-го ЭЛЕМЕНТОВ, А ТАКЖЕ СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ ИЗОМЕРОВ.

обработки ядерных фотоэмульсий, позволяющие обнаруживать осколки деления ядер при большом фоне от альфа-частиц и гамма-квантов. Для регистрации крайне редких событий деления ядер применяется оригинальная методика с использованием специальных стекол. В лаборатории создан масс-сепаратор, его высокая разрешающая способность обеспечивает надежную идентификацию самых тяжелых продуктов ядерных реакций (вплоть до массовых чисел  $\approx 260$ ).

Отметим, что используемые в настоящее время высокочувствительные методы ядернофизических исследований могут с успехом применяться для решения некоторых практических задач промышленного производства. Так, в Лаборатории ядерных реакций была показана возможность вести с помощью рассеяния тяжелых ионов на большие углы экспрессный элементный анализ веществ с чувствительностью  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  г. Обеспечиваемая при этом высокая производительность (10—20 анализов в час) представляет большой интерес, в частности, для горнодобывающего производства и геологоразведки.

Многие работы в лаборатории связаны с созданием электронной аппаратуры для различных исследований и в первую очередь экспериментов по синтезу и изучению трансурановых элементов. В частности, только за последнее время здесь была разработана электронная аппаратура, позволяющая проводить спектрометрию на полупроводниковых детекторах и определять периоды полураспада продуктов реакций как на внутреннем, так и на внешнем пучке ускорителя. Созданный многомерный анализатор редких событий с непосредственным выводом данных на бумажную ленту обеспечивает высокую стабильность измерений и надежную защиту от помех.

Расширение тематики работ и усложнение физических экспериментов на ускорителях многозарядных ионов поставило задачу организации лабораторного измерительного центра для накопления и обработки информации. Он будет связан с Вычислительным центром института.

## лаборатория нейтронной физики

В связи с большим интересом, который проявляют ученые стран — участниц института к исследованиям с нейтронами, при организации ОИЯИ в 1956 году было принято решение о строительстве исследовательского реактора и создании новой лаборатории.

Запуском в 1960 году импульсного реактора на быстрых нейтронах в Объединенном институте была создана реальная база для развития здесь исследований в области нейтронной физики.

Уникальные свойства созданного реактора определили основные направления работ, которые развиваются в Лаборатории нейтронной физики. Использование импульсного источника нейтронов упростило постановку опытов и открыло новые экспериментальные возможности для исследований в области нейтронной спектроскопии и физики жидкостей и кристаллов.

Кроме нейтронных пучков импульсного реактора, для исследования атомных ядер в Лаборатории нейтронной физики используются электростатические генераторы. С помощью этих генераторов ведутся интересные исследования реакций, происходящих под действием ионов трития и гелия-3.

## импульсный реактор на быстрых нейтронах

Запуск реактора и первые его исследования явились прекрасным подтверждением того факта, что современные знания происходящих в реакторе процессов достигли высокого уровня, позволяющего заранее рассчитать с большой надежностью характеристики проектируемого реактора. Первые же испытания показали, что все выполненные расчеты динамики реактора оправдались. Новая установка оказалась очень эффективной для изучения ядер и конденсированных сред методами спектроскопии по времени пролета нейтронов.

В большой части научных исследований по изучению структуры ядер, а также (с помощью медленных нейтронов) структуры вещества, проводимых на ядерных реакторах, производится выделение моноэнергетических нейтронных пучков или измерение нейтронных спектров. Использование для этих целей стационарных реакторов по существу нерационально. Например, в экспериментах, связанных с измерениями времени пролета, пучок нейтронов открыт лишь в течение 1% времени, в промежутках же между полезными импульсами реактор не только не используется, но излучает посторонний, мешающий измерениям фон. Поэтому для нейтронноспектроскопических исследований гораздо более удобным и выгодным является реактор, работающий импульсами. Дубненский реактор ИБР — «мигающий» реактор. Он работает в режиме периодических импульсов длительностью 40—60 микросекунд. Конструкция его дает возможность менять частоту повторения таких импульсов (в первоначальном варианте от 8,3 до 83 в секунду). Таким образом, при небольшой средней мощности в 1 *квт* предусматривалось получение значительной мгновенной мощности до 3000 *квт*. Создавая при исследованиях по времени пролета возможности, соответствующие возможностям обычного стационарного реактора большой мощности, ИБР имеет существенные эксплуатационные преимущества, свойственные реакторам малой мощности. Сложность таких проблем, как охлаждение активной зоны, активация деталей, замена делящихся материалов, радиационная безопасность и другие, зависит от средней мощности реактора, которая в ИБРе как раз мала.

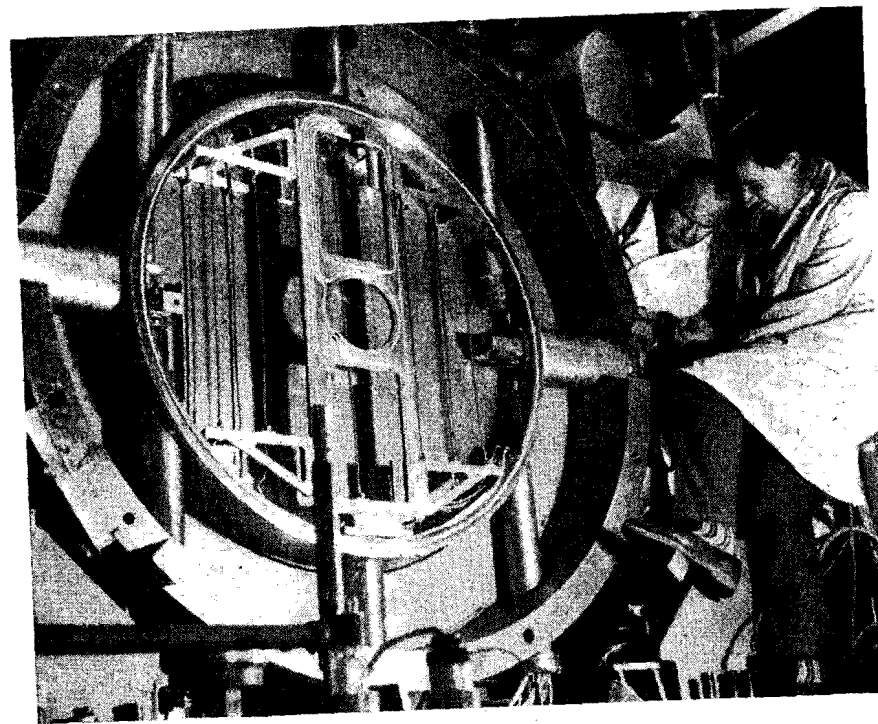
Как установка новой конструкции реактор, естественно, потребовал большой работы по изучению его свойств, детальному изучению его параметров и характеристик. Эти исследования велись при запуске реактора, испытаниях различных режимов его работы и продолжались во время проведения физических экспериментов. В настоящее время все основные испытания и изучение характеристик этой установки можно считать законченными.

В течение относительно небольшого периода испытания и эксплуатации реактора коллектив инженеров и физиков лаборатории сумел улучшить его эксплуатационные и физические характеристики. Так, усовершенствованию подвергся ряд узлов механической части ИБРа — соответственно повысилась стабильность и надежность его работы. Был заменен вращающийся диск с основным подвижным вкладышем из урана, установлены специальные датчики, регистрирующие состояние покрытия этого вкладыша. В настоящее время ведется разработка новой конструкции основного узла реактора.

Важное значение имеют работы по повышению мощности реактора. Произведенные конструктивные и технологические изменения ИБРа позволили поднять его среднюю мощность сначала с 1 *квт* до 3 *квт*, а затем до 6 *квт*. Таким образом, в настоящее время реактор может развивать огромную мгновенную мощность в импульсе до 30 *вт*. Частота следования импульсов может быть установлена 2; 5; 10; 50 *имп/сек*.

Отметим, что реактор ИБР до сих пор является единственным «мигающим» реактором в мире. Однако опыт использования ИБРа доказал перспективность импульсных реакторов, и в ряде стран уже рассматриваются проекты мощных установок такого типа.

Большим достижением коллектива Лаборатории нейтронной физики явился запуск в 1965 году микротрона. Сравнительно короткие времена (около 50 *мксек*) нейтронных вспышек ИБРа и большая пролетная база (до 1000 метров) обеспечили довольно высокое разрешение (0,05 *мксек/м*) в спектрометрических исследованиях и позволили физикам выполнить ряд важных и точных измерений. Однако для многих интересных исследований необходима гораздо большая точность, ограничиваемая прежде всего длительностью вспышек реактора. Конструкция ИБРа позволяет использовать его в подкритическом режиме как размножитель быстрых нейтронов, поступающих в реактор из внешнего источника. Достоинством ИБРа является возможность использования больших коэффициентов умножения на мгновенных нейтронах. Для запаздывающих нейтронов реактор, в отличие от стационарных размножителей, глубоко подкритичен. Работы, проведенные в Институте физических проблем АН СССР и показавшие возможности и пути создания эффективно работающих микротронов, позволили выбрать микротрон в качестве инжектора для ИБРа. Совместными усилиями ученых Лаборатории нейтронной физики и ИФП АН СССР был создан микротрон, ускоряющий электроны до энергии 30 *Мэв*. Успешное решение ряда основных вопросов конструкции, в частности применение специальной формы (квадратного) резонатора и оригинальной конструкции катода (с подогревом путем бомбардировки электронами), дало возможность получить большой ток ускоренного пучка. Микротрон 50 раз в секунду дает импульсы ускоренных электронов с током пучка



СБОРКА МИКРОТРОНА — ИНЖЕКТОРА ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА.

до 60 *ма*. Длительность этих импульсов по желанию физиков можно менять от 1 до 3 *мксек*. Магнитный канал микротрона обеспечивает вывод практически 100% ускоренного пучка. Микротрон расположен над реактором, и по 10-метровому электроно-оптическому тракту пучок электронов от микротрона подается к центру активной зоны реактора на урановую мишень. Возникающие при бомбардировке фотонейтроны размножаются реактором. Таким образом достигнуто значительное сокращение длительности вспышек реактора: до 2—6 *мксек* по сравнению с длительностью 50 *мксек* в обычном режиме реактора. Нейтронная интенсивность при этом остается достаточно большой: средняя мощность реактора при наиболее короткой вспышке составляет 0,5 *квт*. Полученные результаты представляют значительный интерес для ускорительной техники и открывают перед физиками лаборатории новые перспективы.

Импульсный реактор расположен в центре зала, двухметровые бетонные стены которого служат биологической защитой. Для про-

ведения физических экспериментов через горизонтальные каналы в защите выводятся 7 нейтронных пучков, 5 из них выведены в экспериментальный зал. Пучки используются для работы на различных пролетных расстояниях: до 17, 50, 100, 120 и до 1000 м. Все длинные пучки оборудованы стальными вакуумированными трубами — нейтронноводами диаметром 40—80 см.

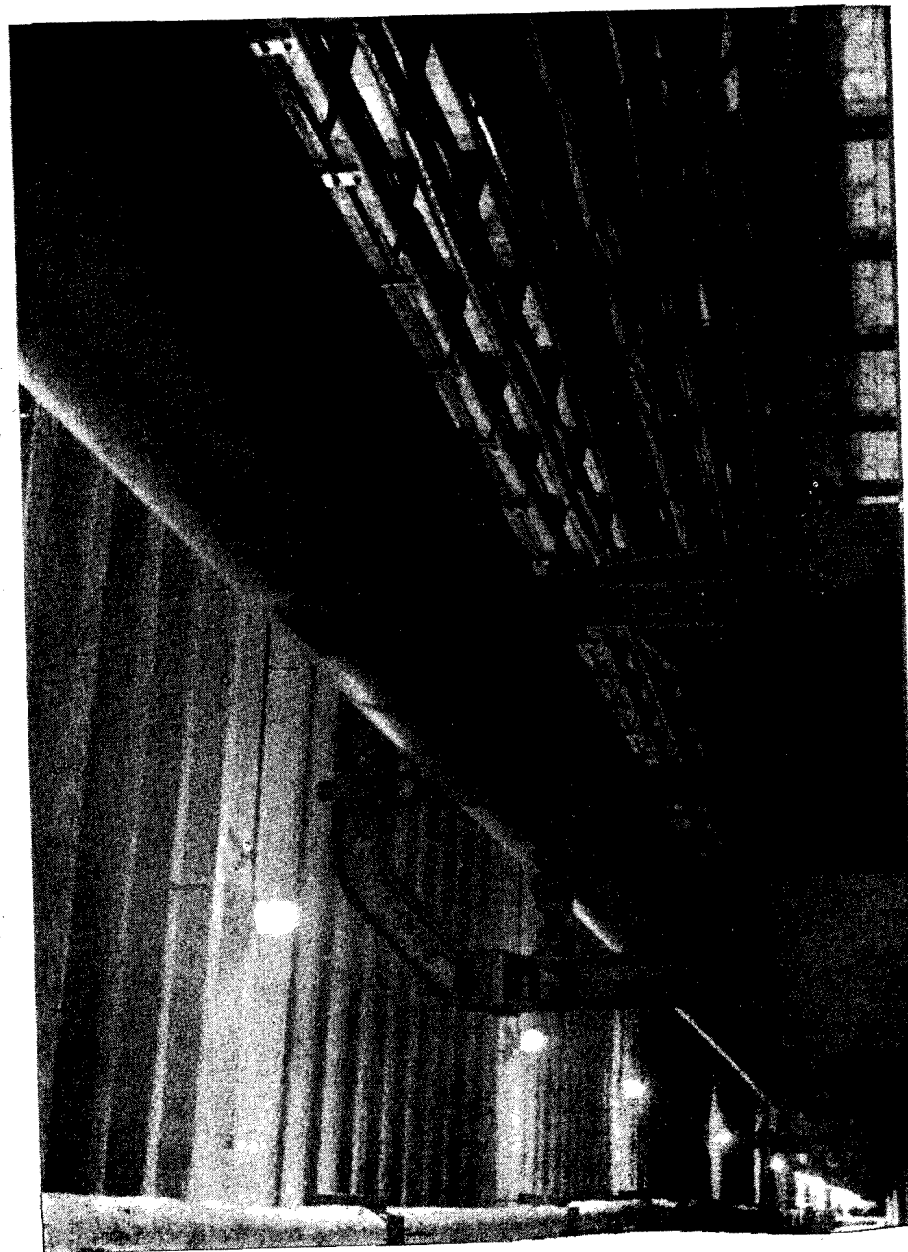
В различных пунктах на нейтронных пучках расположены экспериментальные установки. Сигналы от детекторов поступают по кабелям в измерительный центр лаборатории, который описан ниже.

### **исследования в области нейтронной спектрометрии**

Эти исследования представляют большой интерес в связи с тем, что они дают уникальные сведения о расположении и свойствах уровней сильновозбужденных ядер. Следует подчеркнуть, что характеристики уровней сильно флюктуируют и задача состоит в изучении законов распределения и средних значений этих характеристик. Отсюда возникает необходимость изучения возможно большего числа уровней каждого ядра, причем немалую роль в установлении закономерностей в свойствах уровней сыграет сравнение данных о ядрах, отличающихся числами нейтронов и протонов.

Спектрометрические исследования в Лаборатории нейтронной физики ведутся различными методами. С одной стороны, измеряются полные сечения взаимодействия нейтронов с ядрами по ослаблению пучка нейтронов образцами. Для этой цели используется боросодержащий жидкостной сцинтилляционный детектор, имеющий большую площадь и обладающий высокой эффективностью. Он расположен на 1000-метровом пролетном расстоянии. С другой стороны, с помощью установки из больших жидкостных сцинтилляционных счетчиков измеряются интенсивности гамма-лучей из образцов и тем самым — парциальные сечения радиационного захвата нейтронов и так называемые сечения самопоглощения. Этот детектор установлен в 750 метрах от реактора. Наконец, специальный нейтронный детектор позволяет измерять парциальные сечения рассеяния нейтронов. Здесь пролетная база составляет 500 м. Многосторонний подход дает возможность получить наиболее надежные данные.

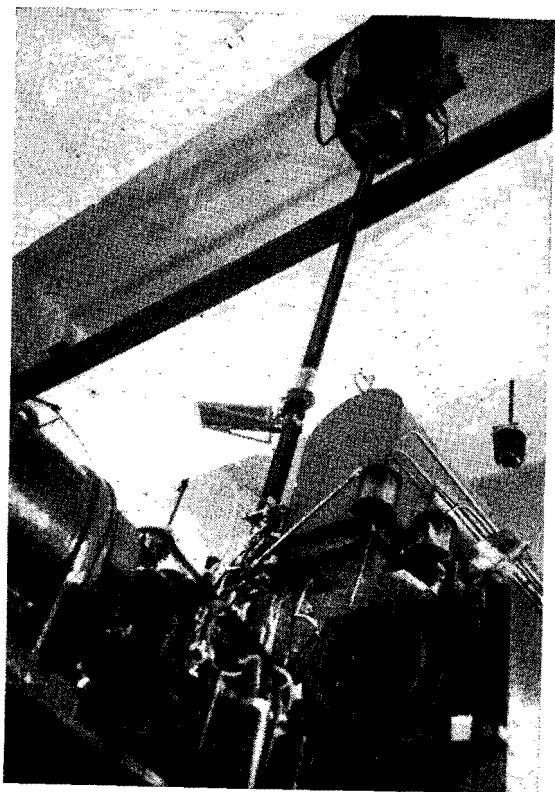
Одним из первых экспериментов было изучение резонансного взаимодействия нейтронов с ядрами родия. Методом времени пролета (на базе 1000 м) было проведено исследование энергетической зависимости полного сечения для родия. Затем были измерены парциальные сечения захвата и рассеяния. Исследования нейтронных резонансов родия проведены в области энергий до



ГЛАВНЫЙ НЕЙТРОНОВОД (ДЛИНА — 1000 МЕТРОВ).

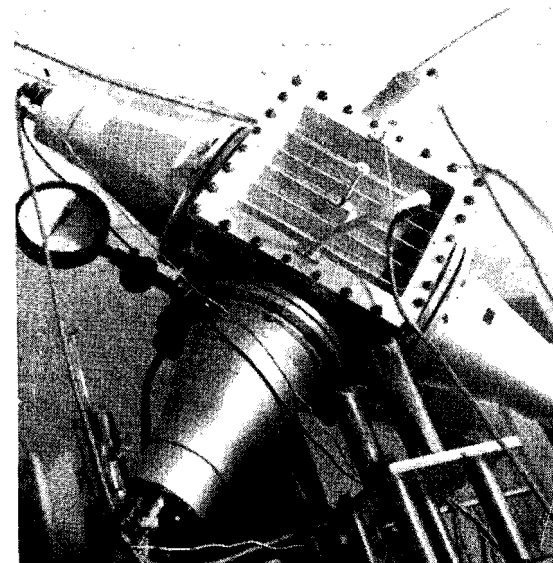
1200 эв. Удалось определить спины ряда резонансов. Обработка полученных данных об уровнях родия дала интересные результаты. В исследованной области энергий были измерены ширины 17 уровней, при этом обнаружена аномалия: вместо ожидаемого непрерывного распределения нейтронных ширин наблюдаются два сорта уровней: с малой и большой нейтронной шириной (порядка  $10^{-5}$  и  $10^{-3}$  эв). Хотя указания на такого рода особенности имелись ранее в опытах с другими ядрами, но в родии эта аномалия проявилась особенно резко. По-видимому, две группы уровней различаются по четности, т. е. орбитальным моментам захватываемых нейтронов ( $l=0$  для широких и  $l=1$  для узких уровней). В анализе этого явления может помочь использование других методов, как, например, наблюдение углового распределения рассеянных нейтронов и изучение прохождения нейтронов через образцы с ориентированными ядерными сцинтилами.

Подобным же образом исследовались нейтронные резонансы брома, а позднее — тербия, празеодима, гольмия, иттербия, бария, ниобия, рутения, рубидия. При изучении многоизотопных эле-



ВЫХОД ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА, ИДУЩЕГО ОТ МИКРОТРОНА, В ЗАЛ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА.

ГАЗОВЫЙ СЦИНТИЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР АЛЬФА-ЧАСТИЦ С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОКОЛО ОДНОГО КВАДРАТНОГО МЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИЙ ТИПА  $(n, \alpha)$  С РЕЗОНАНСНЫМИ НЕЙТРОНАМИ.



ментов (брома, рутения, иттербия) применялись образцы разделенных изотопов. В опытах с гольмием, рутением, ниобием использовалась повышенная разрешающая способность (5 наносекунд/метр), которая стала доступной уже в самом начале совместной работы системы микротрон — ИБР. Это позволило «видеть» гораздо больше резонансов, чем удавалось раньше. Так, для гольмия были определены параметры более чем 90 резонансов.

Использование комплексного подхода к задаче изучения нейтронных резонансов дало хорошие результаты: было обнаружено много пропущенных ранее слабых резонансов, удалось впервые определить спины значительного числа уровней, а данные о параметрах резонансов в ряде случаев оказались более точными, чем полученные в других лабораториях. Это позволило, в частности, внести ясность в вопрос об изменении полных радиационных ширин уровней при переходе от ядра к ядру. Из данных ряда экспериментаторов следовало, что радиационные ширины имеют высокий максимум в районе каждого магического числа. Понять такое поведение радиационных ширин было трудно. Тщательные опыты физиков ЛНФ показали, что, вероятно, имела место ошибка: во всяком случае вблизи магического числа 50 нейтронная радиационная ширина не обнаруживает сколько-нибудь значительного выброса.

Опыты по изучению радиационных переходов в барии-135 обнаружили весьма интересную аномалию. С помощью сцинтилляционного спектрометра с использованием многомерного амплитудно-временного анализатора импульсов измеряются и сравни-

ваются спектры гамма-лучей, возникающих при радиационном захвате нейтронов в различных резонансах одного и того же ядра. Анализ наблюдавшихся 11 резонансов бария-135 с энергией от 24,5 до 500 эв показал, что в резонансе при 24,5 эв испускается гораздо больше жестких гамма-квантов, чем в остальных 10 резонансах: парциальные ширины для гамма-квантов с энергией 9,23 и 8,4 Мэв в этом резонансе на два порядка больше, чем для остальных. Из предыдущих же опытов следует, что резонанс 24,5 эв, по-видимому, не выделяется ни по спину, ни по четности. Таким образом, исключительно большая вероятность жестких гамма-переходов в этом резонансе загадочна. Явление представляет тем больший интерес, что особенности спектров гамма-лучей от захвата резонансных нейтронов часто используются для определения природы уровня. Дальнейшее изучение этого явления проводится с применением повышенного разрешения как по энергии нейтронов, так и по энергии гамма-лучей. Последнее становится возможным благодаря использованию нового достижения в технике гамма-спектроскопии — полупроводниковых германиевых детекторов гамма-лучей.

В лаборатории ведутся исследования делящихся элементов, выполнены измерения, важные для изучения физики деления и физики реакторов. Тщательно измерено полное сечение, сечения деления и захвата нейтронов в уране-235 в труднодоступной области энергий от 0,3 эв до 30 кэв, получены параметры ряда уровней, включая радиационную и делительную ширину. При этом были получены указания на разделение уровней на две системы по делительным ширинам. Измерено также сечение деления плутония-239.

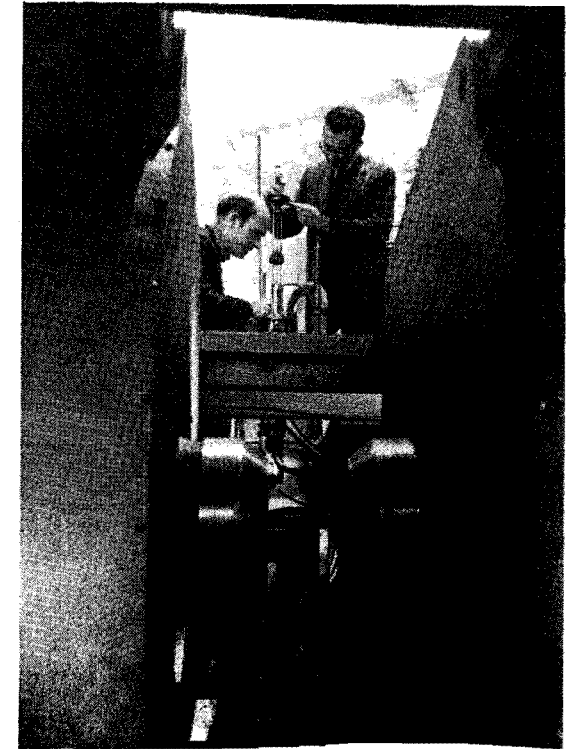
Для понимания механизма реакции деления интересен вопрос об отношении вероятностей тройного и двойного деления. Имевшиеся в печати данные были противоречивы, существовали указания на значительные колебания этого отношения. Уже в первый год работы реактора ИБР с помощью газового сцинтилляционного счетчика были выполнены сложные измерения выхода альфа-частиц из  $U^{233}$  и  $Pu^{239}$ , сопровождаемых тяжелыми осколками деления. Впоследствии физиками ЛНФ были проведены аналогичные, но более детальные измерения для  $U^{235}$ . Результаты свидетельствуют о постоянстве относительного выхода тройного деления во всем изученном интервале энергий от 0,1 до 100 эв.

Для проведения многих важных исследований, в частности для изучения сложной проблемы закономерностей, которым подчиняются уровни ядер, необходимо знание одного из основных параметров — спина соответствующего уровня. Между тем, определение спинов существующими методами очень трудно, облегчить эту задачу может использование поляризованных пучков нейтронов и поляризованных ядерных мишеней. Этот метод уже в течение нескольких лет используется некоторыми американскими физиками, однако измерения были ограничены крайне узкой об-

ластью энергий (до 10—20 эв), в которую попадает мало резонансов. Дело в том, что не существовало методов получения поляризованных пучков нейтронов с энергией в области 10 эв — 100 кэв.

Учеными Лаборатории нейтронной физики был предложен новый метод поляризации нейтронов путем фильтрации через поляризованную протонную мишень, основанный на использовании сильной спиновой зависимости *pp*-рассеяния. Этот метод одинаково эффективен для поляризации нейтронов во всей области энергий от нуля до десятков кэв. Поляризованная протонная мишень была разработана сотрудниками Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных проблем. Поляризация протонов осуществляется описанным ранее в литературе динамическим методом в монокристалле двойного лантан-магниевого нитрата, в котором некоторое количество диамагнитных атомов лантана замещается парамагнитными атомами неодима. Кристалл объемом около 30 см<sup>3</sup> помещен в микроволновый резонатор, который возбуждается на частоте 37 Ггц ( $\lambda=8,1$  мм). Волноводная линия с резонатором находится в кристате при температуре около 1° К, кристат размещен в зазоре электромагнита, обеспечивающего

ПОЛЯРИЗОВАННАЯ ВОДОРОДНАЯ МИШЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ НЕЙТРОНОВ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЧКА ЧЕРЕЗ МИШЕНЬ. НОВЫЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧИВАЕТ ЭФФЕКТИВНУЮ ПОЛЯРИЗАЦИЮ ПУЧКОВ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ ДО ДЕСЯТКОВ КИЛОЭЛЕКТРОНОВОЛЬТ.





в образце поле 10 кэ. Усиление поляризации по отношению к статической, измеренное по сигналу ядерного магнитного резонанса, достигает 500. Это соответствует поляризации протонов в мишени около 50%. Пропускание нейтронов от реактора через такую мишень дает поляризацию пучка около 50% для нейтронов с энергией от 1 эв до 10 кэв и заметно большую для тепловых нейтронов.

Использование поляризованного пучка нейтронов и поляризованной мишени позволило успешно провести эксперименты по определению спинов нейтронных резонансов в гольмии-165. Поляризация ядер гольмия производилась охлаждением образца в магнитном поле до температуры 0,3° К, достигавшейся откачкой паров жидкого гелия-3 в специальном криостате. Измерялась интенсивность пучка нейтронов, прошедших через образец гольмия, когда спицы нейтронов и ядер мишени параллельны и когда они антипараллельны. В этих опытах были определены спины 11 резонансов гольмия (8 из них найдены впервые) в области энергий до 55 эв. Использование в таких измерениях микротрона позволит продвинуться до значительно больших энергий. Эти эксперименты наглядно показали преимущества нового метода поляризации нейтронных пучков.

На импульсном реакторе лаборатории группа сотрудников Физико-энергетического института исследовала спектры нейтронов, образующихся в массивных образцах из различных конструкционных материалов при «впрыскивании» в них быстрых нейтронов из реактора. В связи с признанной перспективностью реакторов на быстрых нейтронах эти работы имеют большое значение.

## **Исследования по физике жидкостей и кристаллов**

Вообще говоря, исследования ядерных уровней, о которых речь шла выше, могут давать информацию и о динамике атомов изучаемого образца. Атомные движения влияют на видимую ширину нейтронных резонансов, обуславливая так называемое доплеровское уширение. Измерив это уширение, можно определить среднеквадратичную скорость атома, связанную с частотой его колебаний в молекуле или кристалле. Такого рода эксперименты ведутся в ЛНФ. Так, для различных соединений хлора измерялось доплеровское уширение резонанса при 405 эв в хлоре-35 и было показано, что уширение, действительно, зависит от химической структуры соединения.

Хотя этот новый подход к изучению динамики атомов с помощью нейтронов в резонансной области энергий интересен для определенного круга задач, наиболее широкие перспективы, однако, связаны с исследованиями структуры вещества путем

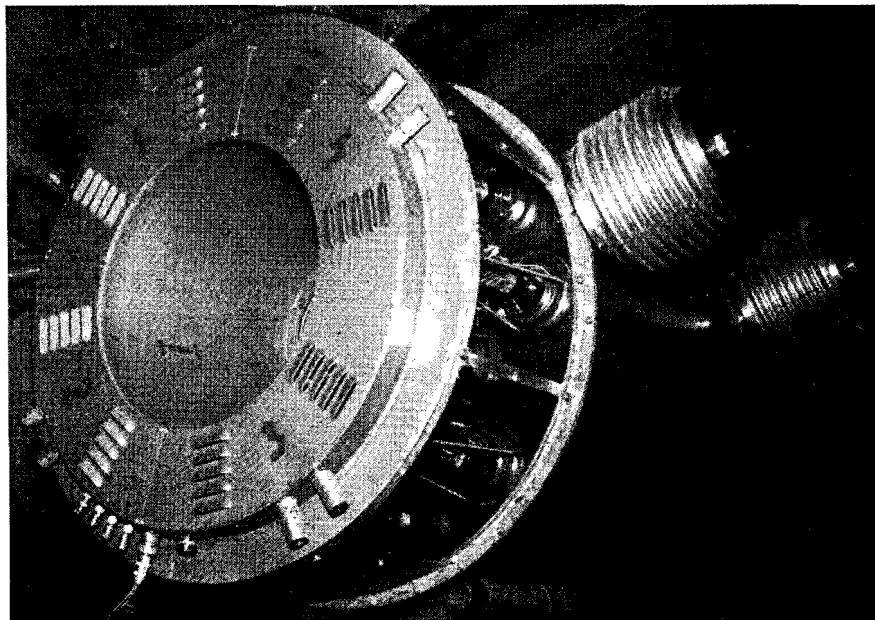
рассеяния медленных (тепловых и холодных) нейтронов. Применение для таких опытов импульсного реактора упрощает эксперимент и позволяет иметь лучшие разрешения, большие скорости счета и меньший фон, чем в обычных стационарных реакторах.

Одной из первых задач явилось исследование рассеяния холодных нейтронов в воде. Имевшиеся в печати сведения содержали противоречивые данные о диффузии молекул в этой жидкости. Уже первые полученные в лаборатории данные о квазиупругом рассеянии холодных нейтронов в воде вызвали значительный интерес физиков. В опытах образцы помещались на расстоянии 60 см от отражателя реактора, после замедлителя и бериллиевого фильтра, охлаждаемых жидким азотом. Пролетное расстояние для рассеянных нейтронов — 10, 17 и 45 метров, регистрируются рассеянные нейтроны сцинтилляционным детектором. В условиях лучшего разрешения, обеспечиваемого использованием ИБра в качестве источника нейтронов, была изучена передача очень малых порций энергии. Полученные результаты, в отличие от данных других авторов, показали несущественную роль обмена дискретными порциями энергии. Наблюдаемый нейтронами коэффициент самодиффузии молекул воды оказался в несколько раз больше, чем это принималось ранее. Успешно осуществляется сотрудничество в этих экспериментах с физиками из Кракова. Исследования воды имеют не только теоретическое значение, они весьма полезны для уточнения расчетов замедления и термализации нейтронов в реакторах с водяным охлаждением.

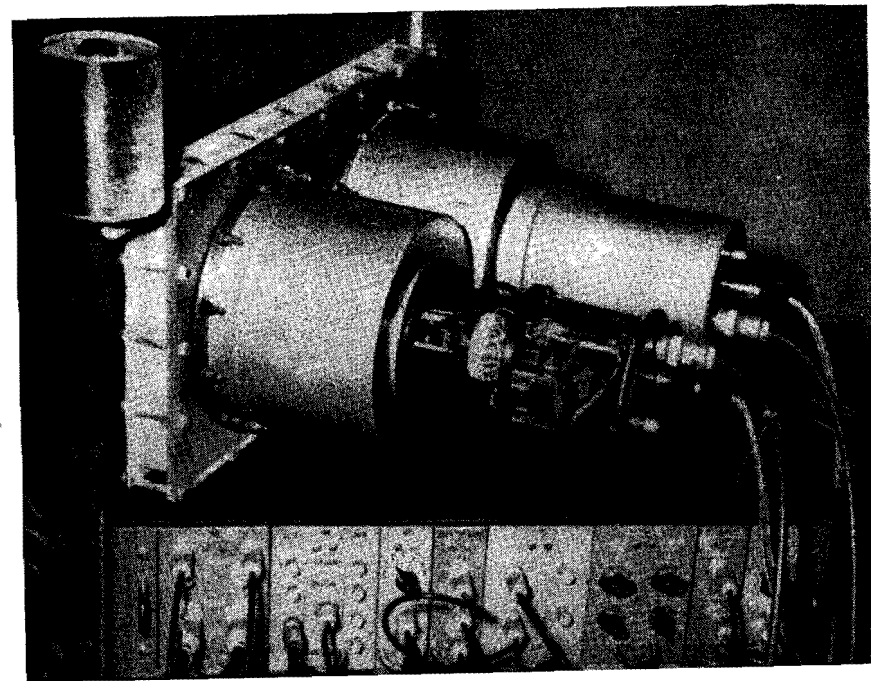
В последующих экспериментах наряду с водой исследовались другие водородосодержащие жидкости, как образующие межмолекулярные водородные связи, так и не образующие подобных связей. Усовершенствования, введенные в установку, позволили распространить измерения на процессы неупругого рассеяния. Исследования проводились в широкой области температур, включая температуру плавления. Интересные явления были отмечены в опытах с этиленгликолем, веществом, вязкость которого быстро растет с понижением температуры. Изучение спектров рассеянных нейтронов показало большое расхождение данных о диффузии при низких температурах, полученных с помощью нейтронов, и данных классических методов измерения. Это указывает на то, что за очень короткие времена взаимодействия нейтрон регистрирует более быстрые диффузионные движения, чем те, которые проявляются за гораздо большие времена наблюдения другими методами.

В лаборатории был создан спектрометр по времени пролета с бериллиевым фильтром перед детектором. В условиях так называемой обратной геометрии на образец падает белый нейтронный спектр, причем энергия падающих нейтронов анализируется по времени пролета (на базе 20 м), а энергия рассеянных частиц определяется полосой пропускания фильтра. При таком расположении

жении регистрируются случаи, когда нейтрон отдает энергию среде; вероятность такого события достаточно велика и тогда, когда соответствующие степени свободы при рабочей температуре почти не возбуждаются. Установка, обеспечивающая хорошее разрешение и малый фон, позволила довольно быстро исследовать эффекты, сложные для изучения другими методами. Нейтронная спектрометрия особенно эффективна для исследования свойств водородосодержащих групп в соединениях, содержащих водород только в этих группах. Спектр рассеянных нейтронов здесь дает информацию о движении протонных групп в условиях окружения их другими атомами или группами. Физикам ЛНФ и Краковского института ядерной физики удалось провести исследование по выяснению природы фазовых переходов и влияния разных кристаллических конфигураций на динамику групп аммония и кристаллизационной воды в различных химических соединениях. Измерениями был охвачен широкий интервал температур. Спектры различных веществ оказались схожими. Во всех спектрах были обнаружены очень узкие пики при низких температурах, связанные с торсионными колебаниями молекулярных групп. Существование такого слабо затухающего нерасщепленного колебания в твердом теле — не простое явление, оно заслуживает



Жидкостной сцинтилляционный детектор для одновременного исследования деления и радиационного захвата нейтронов в делящихся ядрах.



Жидкостной сцинтилляционный детектор площадью 800 см<sup>2</sup> для измерения полных нейтронных сечений.

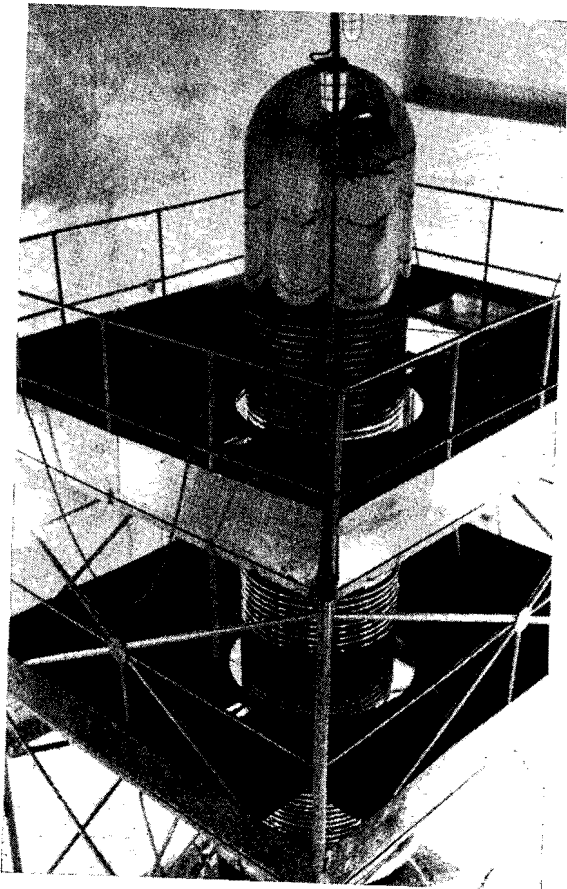
внимания экспериментаторов и теоретиков. В опытах были определены частоты колебаний группы  $\text{NH}_4$ . При анализе температурного поведения упругой части спектра отмечено проявление некоторых фазовых переходов, в частности переходов в фазу кубической структуры из фаз более низкой симметрии веществ  $\text{NH}_4\text{I}$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Особенности реактора Лаборатории нейтронной физики были использованы при выполнении очень трудной технической работы по измерению дисперсионных соотношений для фононов в висмуте. Такие измерения требуют двойной монохроматизации нейтронов, т. е. выделения монохроматического пучка нейтронов, а затем анализа по энергиям рассеянных нейтронов (или наоборот). Одна из этих операций проводилась с помощью отражения пучка от монокристалла; импульсный характер работы ИБРа автоматически обеспечивает проведение второй операции по времени пролета. Полученные для ряда углов нейтронные спектры дали информацию о дисперсионных кривых для фононов в висмуте.

В одном из методов исследования используется синхронизованная селекция пучка. Основой установки для измерения двой-

ных дифференциальных сечений рассеяния, разработанной сотрудниками Физико-энергетического института, является механический прерыватель нейтронного пучка. Он вращается синхронно и синфазно с диском ИБРа и установлен в 10 м от него. Изменяя фазу вращения прерывателя, можно менять энергию нейтронов, проходящих через прерыватель импульсами определенной длительности. Спектр, образующийся в результате рассеяния моноэнергетической нейтронной вспышки на образце, измеряется по времени пролета. С помощью этой установки исследовалась динамика атомов водорода в некоторых гидридах.

Новые методические возможности дает реактор и в области структурной нейтрографии. В этих исследованиях угол рассеяния фиксируется, а переменной является длина волны (энергия) нейтрона. По времени пролета измеряется спектр нейтронов, рассеянных образцом на заданный угол из падающего белого спектра.



ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ  
ГЕНЕРАТОР НА ЭНЕРГИЮ  
5 МИЛЛИОНОВ  
ЭЛЕКТРОНОВ ОЛЬТ  
(ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ).

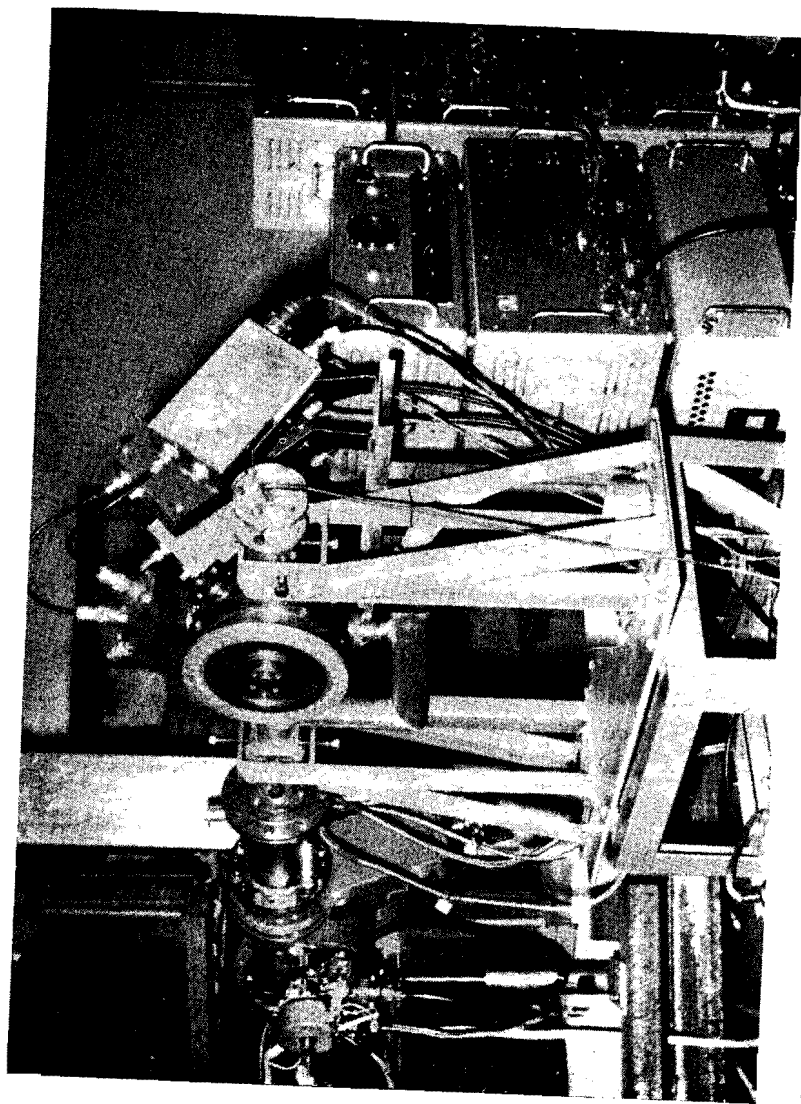
Форма падающего спектра изучается в отдельном опыте. В условиях гораздо лучшего разрешения, чем на стационарных реакторах, в лаборатории исследовалась атомная и магнитная структура плохо изученного соединения, антиферромагнетика сегнетоэлектрика  $\text{ViFeO}_3$ . Полученные дифракционные спектры позволили впервые решить интересный вопрос об ориентации магнитного момента атомов железа относительно кристаллографических осей. Подтверждено предположение о существовании атомной сверхструктуры решетки вещества. Работы по дифракции нейтронов так же, как опыты с фононами, ведутся в самом тесном сотрудничестве с Варшавским институтом ядерных исследований.

В заключение отметим, что в Лаборатории нейтронной физики ведутся также исследования резонансного рассеяния гамма-лучей ядрами, так называемого эффекта Мёссбауэра, большой интерес к которому проявляется в последние годы во многих лабораториях мира. Этот тонкий эффект, способный служить чувствительным инструментом исследований, заинтересовал, естественно, и физиков ЛНФ. Наблюдался эффект на цинке-67. Сложность этого эксперимента обусловлена тем, что относительная ширина (относительно частоты линии излучения) резонансной линии здесь рекордно мала, порядка  $5 \cdot 10^{-16}$ , а сам эффект имеет очень малую вероятность (величина резонансного поглощения не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$ ). В условиях гелиевых температур удалось наблюдать этот эффект и обнаружить тонкую структуру резонансной линии. В лаборатории впервые исследовался эффект Мёссбауэра на ядре самария-149.

В настоящее время эффект Мёссбауэра наиболее широко используется для экспериментов в области физики твердого тела, особенно в области магнетизма. В ЛНФ также ведутся такие работы. В частности, сотрудники этой лаборатории совместно с венгерскими, польскими и советскими учеными других институтов этим методом изучают структурные особенности и другие характеристики сплава  $\text{Fe}_3\text{Al}$ , соединения  $\text{FeS}$ , некоторых ферритов и железосодержащих минералов.

## **изучение ядерных реакций с помощью электростатических генераторов**

С помощью электростатических генераторов в лаборатории ведутся исследования реакций на легчайших ядрах. Реакции, вызываемые ускоренными ионами трития и гелия-3, интересны в первую очередь тем, что при захвате этих ионов образуются сильно возбужденные ядра. Такое возбуждение ядер в случае



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ЗАЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА. ФИЗИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА НА ОДНОМ ИЗ КАНАЛОВ.

бомбардировки их, например, протонами достигается лишь при значительно больших энергиях протонов. Вследствие высокого возбуждения ядер протекают разнообразные реакции, и отсюда извлекается богатая информация о механизме реакций, уровнях составных ядер и уровнях продуктов.

На генераторе в области энергий от 700 до 1500 кэв исследовалась реакция  $T+He^3$ . Были измерены угловые распределения для углов  $0-135^\circ$ , дифференциальные и полные сечения трех каналов реакции ( $He^4+n$ ;  $He^4+n+p$ ;  $He^3+p$ ). Результаты измерений указывают на отсутствие изотропии в угловых распределениях для каждого канала реакции. Полное сечение реакции растет, достигая 71,3 мбарн при энергии 1521 кэв. По экспериментально найденной энергии протона определена энергия распада  $He^5$  на альфа-частицу и нейтрон; она равна  $0,84 \pm 0,06$  Мэв.

Проводилось изучение реакции  $T+C^{12}$ . Эти эксперименты помимо самостоятельного значения, имели и серьезное вспомогательное, методическое значение, так как вследствие загрязнения мишеней углеродом во всех экспериментах с тритием в той или иной степени имеется фон этой реакции. Были измерены дифференциальные сечения и угловые распределения различных ветвей реакции в области энергий 600—1800 кэв. Получены значения полных сечений, в функциях возбуждения ветвей реакции обнаружен ряд резонансов. Результаты этих опытов свидетельствуют о том, что в изученном интервале энергий реакция идет преимущественно через составное ядро  $N^{15}$ . На основе анализа угловых распределений по резонансной теории удалось определить параметры уровня  $N^{15}$  с энергией возбуждения 15,74 Мэв.

На электростатическом генераторе также проведены исследования малоизученной реакции  $He^3+C^{12}$  в интервале энергий 1—1,8 Мэв. Были измерены дифференциальные сечения и угловые распределения каналов реакции. Получены также полные сечения реакции. В функциях возбуждения всех четырех каналов процесса наблюдается резонанс при 1,31 Мэв, что приписывается уровням составного ядра  $O^{15}$ . Угловые распределения продуктов реакции резко асимметричны относительно угла  $90^\circ$  с. ц. м. и имеют сложный характер.

С помощью тонкой газовой мишени измерялись дифференциальные сечения реакции  $He^3+He^3$  под углом  $90^\circ$  в области энергий 500—1700 кэв. Для некоторых энергий измерены также угловые распределения, рассчитаны полные сечения процесса.

Недавно в лаборатории вступил в строй новый электростатический генератор ЭГ-5, на котором в настоящее время можно ускорять протоны, дейтроны, ионы гелия-3 и гелия-4 до энергии 4 Мэв. Генератор расположен таким образом, что могут вестись измерения на любом из 6 пучков в двух экспериментальных залах. С помощью генератора уже выполнены некоторые измерения, в частности измерения дифференциальных сечений реакции  $He^3+C^{12}$  в области энергий 1,4—3,55 Мэв.

## Разработка экспериментальной аппаратуры

Уникальные свойства импульсного реактора Лаборатории нейтронной физики позволили ученым провести целый ряд интересных и важных исследований, обнаружить новые физические явления. Многие из выполненных работ очень сложны и трудоемки, и их реализация стала возможной благодаря использованию эффективной аппаратуры, созданной в лаборатории. Почти во всех установках используется метод времени пролета, неизбежно связанный с анализом времени поступления импульсов от ядерных детекторов. Это обусловило очень большую роль ядерной радиоэлектроники во всей работе лаборатории. В течение нескольких лет здесь были разработаны методы регистрации экспериментальных данных в амплитудных, временных и многомерных измерениях. При этом обязательным требованием, предъявляемым к аппаратуре, является возможность вести длительные измерения.

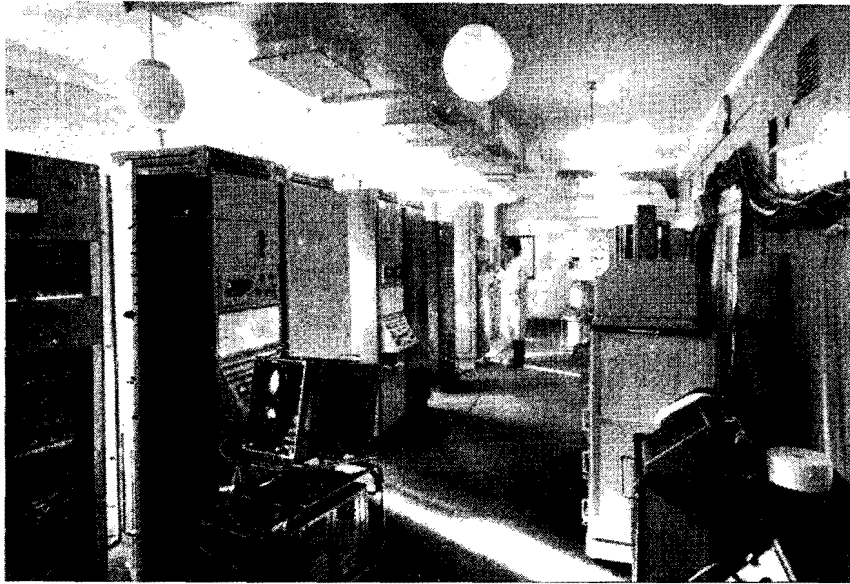
Большим достижением лаборатории является создание измерительного центра. С помощью детекторов и электронной аппаратуры, находящейся в измерительных павильонах, производится

предварительный отбор и передача по кабелю сигналов, которые через входной коммутатор поступают на блоки преобразования. Закодированная информация накапливается в запоминающих устройствах на ферритах или на магнитной ленте, причем вывод ее возможен на быстрое цифропечатающее устройство, перфоратор на ленте или по кабелю в машины Вычислительного центра института.

В настоящее время измерительный центр позволяет проводить регистрацию данных от семи независимых экспериментов. Аппаратура работает надежно и обеспечивает измерения по всем каналам.

Измерительный центр состоит из отдельных самостоятельных устройств, которые могут соединяться в различных комбинациях в зависимости от требований конкретного эксперимента. При его создании в лаборатории был выполнен целый ряд оригинальных разработок. Так, была разработана методика и создан ряд устройств для многомерного анализа с использованием многодорожечной записи на магнитную ленту. Эта аппаратура позволяет вести анализ импульсов по времени, амплитуде и другим параметрам по  $10^6$  каналам. Сотрудниками Лаборатории нейтронной физики и Вычислительного центра ОИЯИ осуществлен двусторонний обмен информацией между накопительными устройствами и электронно-вычислительной машиной по кабелю. Для измерительного центра ЛНФ создан ряд уникальных специализированных блоков: блок амплитудно-цифрового преобразования с большим числом каналов (4096), который обеспечивает работу с полупроводниковыми детекторами высокого энергетического разрешения, созданными чешскими инженерами; блоки время-цифрового преобразования; блоки промежуточной памяти и другие. Значительная часть электронных схем, связанных с детекторами в измерительных павильонах, выполнена на разработанных в лаборатории стандартных блоках.

Измерительный центр лаборатории является новым комплексным решением вопроса организации экспериментальных работ и конструирования многоканальной регистрирующей аппаратуры. Он является первым действующим измерительным центром в физических институтах стран — участниц Объединенного института ядерных исследований.



РЕГИСТРАЦИОННЫЙ ЗАЛ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ЛАБОРАТОРИИ.

## **лаборатория теоретиче- ской физики**

Лаборатория теоретической физики была создана при организации Объединенного института летом 1956 года. Сравнительно небольшой, но высококвалифицированный коллектив лаборатории ведет научную работу, успешно развивая многие важнейшие направления современной теории. Среди них: вопросы теории поля, теория взаимодействия элементарных частиц и применение теории симметрий, структура нуклонов, теория сверхпроводимости и вопросы теории ядра, феноменологический анализ, статистические методы.

Достижения экспериментальной физики последних лет тесно связаны с успехами, достигнутыми в теоретической физике, а часто и обусловлены ими. Пожалуй, именно такое сотрудничество, теоретическое планирование экспериментов и экспериментальная проверка теоретических предсказаний являются ключом быстрого развития ядерной физики.

Ученые лаборатории активно участвуют в планировании новых экспериментов и в разработке вопросов теоретической физики, имеющих прямое отношение к экспериментальным работам, проводимым в институте.

В связи с возможностью проведения экспериментов на пучках протонов,  $\pi$ - и  $K$ -мезонов от ускорителей как в ОИЯИ, так и других институтах ряда стран большой интерес представляет изучение сильных взаимодействий частиц. Как известно, сильные взаимодействия не могут быть описаны методами теории возмущения, поэтому в Лаборатории теоретической физики большое внимание уделялось изучению аналитических свойств амплитуды рассеянных частиц, в особенности исследованиям дисперсионных соотношений. Эти соотношения устанавливают некоторые точные зависимости между экспериментально наблюдаемыми величинами, а опытная проверка их может дать важные сведения о состоятельности основных принципов современной так называемой локальной теории поля. В лаборатории были тщательно изучены принципиальные вопросы дисперсионных соотношений и разработан математически строгий метод их построения, основанный в первую очередь на требованиях микропричинности. Привлечение ряда теорем функционального анализа и теории функций многих комплексных переменных позволило преодолеть основную трудность в доказательстве дисперсионных соотношений — установить аналитичность амплитуды рассеяния и тем самым доказать дисперсионные соотношения как для упругих, так и для ряда неупругих процессов.

Помимо общей теории дисперсионных соотношений, в лаборатории исследуются вопросы применения ее к конкретным процессам, получены соотношения для многих наиболее интересных процессов. В частности, подробно изучались дисперсионные соотношения для фоторождения  $\pi$ -мезонов на нуклонах, проведены исследования рассеяния нуклонов нуклонами,  $K$ -мезонов нуклонами, упругого рассеяния  $\pi$ -мезонов нуклонами и дейтронами и других реакций. Для целого ряда процессов при помощи дисперсионных соотношений удалось получить приближенные уравнения типа Лоу. Дисперсионный подход оказался эффективным и при описании пион-пионного взаимодействия в области малых энергий. Применение метода дисперсионных соотношений к анализу конкретных процессов показало, что этот метод во многих случаях позволяет хорошо объяснить экспериментальные данные, в том числе данные по упругому рассеянию  $\pi$ -мезонов и протонов нуклонами в области малых углов, полученные на ускорителях института.

В Лаборатории теоретической физики был выполнен большой цикл работ по доказательству дисперсионных соотношений для неупругих процессов, в том числе процессов с переменным числом частиц (для вершин распада, амплитуд реакций рождения мезона или гамма-кванта), а также для виртуальных процессов. Таким

образом, была расширена область применимости метода и вместе с тем улучшены ранее достигнутые результаты исследований процессов упругого рассеяния.

Применение теории дисперсионных соотношений к слабым взаимодействиям показало, что невыполнение соотношений свидетельствует о нарушении требования локальности взаимодействия частиц.

В работах другого направления изучались аналитические свойства ряда теории возмущений. Теоретиками лаборатории был развит общий метод мажорирования диаграмм Фейнмана, являющийся эффективным инструментом анализа аналитических свойств амплитуд процессов по теории возмущений. Метод позволяет установить дисперсионные соотношения по энергии и переданному импульсу для ряда важнейших процессов. В частности, следует отметить доказательство дисперсионных соотношений для амплитуд рассеяния нуклона на нуклоне. Развитый метод получения интегральных уравнений для парциальных волн из представления Мандельштама дает возможность с большой строгостью учесть вклад лл-взаимодействия в различные процессы упругого рассеяния пи-мезонов.

Важное место в работе лаборатории занимает изучение структуры теории поля на основе моделей. Разработка квазиоптического подхода дала в руки теоретиков эффективный метод анализа связанных и резонансных состояний системы частиц в квантовой теории поля. Эти работы возбудили большой интерес физиков и способствовали проведению ряда исследований в различных лабораториях мира. Предложенный метод позволяет систему из двух взаимодействующих частиц описать уравнением типа Шредингера с обобщенным комплексным потенциалом, зависящим от энергии. При исследовании общих свойств квазипотенциала было показано, что для описания связанных состояний в квантовой теории поля можно построить локальный потенциал, являющийся суперпозицией потенциалов Юкавы, с интенсивностями, зависящими от энергии. На основе квазипотенциального уравнения разработан метод исследования аналитических свойств парциальных амплитуд в  $l$ -плоскости и изучены асимптотические свойства полной амплитуды рассеяния. Как это следует из результатов выполненных работ, амплитуда рассеяния в квантовой теории поля имеет, вообще говоря, реджевское поведение. Квазипотенциальный подход использовался при изучении амплитуд рассеяния многоканальных реакций. Метод оказался весьма эффективным также для вычисления уровней энергии связанных состояний в квантовой электродинамике.

В лаборатории проводились исследования реджевского поведения амплитуды рассеяния в квантовой теории поля. Эти исследования проводились в рамках теории возмущения, квазипотенциального подхода, а также уравнения Бете — Солпитера. Результаты анализа свидетельствуют о том, что реджевское по-

ведение амплитуд рассеяния в теории поля не является обязательным. В частности, при рассмотрении трехчастичных задач выяснилось, что, кроме полюсов, могут быть также движущиеся разрезы в комплексной плоскости, нарушающие реджевский характер амплитуд. В последующих работах было произведено релятивистское обобщение трехчастичных уравнений Фаддеева, которое в настоящее время многие теоретики начинают успешно применять для объяснения свойств резонансов.

При изучении рассеяния в области очень высоких энергий советским теоретикам удалось вывести важные соотношения между полными сечениями различных процессов для частиц и античастиц. Сотрудники Лаборатории теоретической физики обобщили этот метод на очень важную область ненулевых передаваемых импульсов. Разработанный ими метод позволил получить асимптотические соотношения между сечениями неупругих процессов с рождением частиц, в том числе с рождением резонансов. Этот метод позволил установить, в частности, поведение дифференциальных сечений и поляризаций при высоких энергиях. Так как в основе метода лежат лишь общие требования локальной теории поля, экспериментальная проверка полученных соотношений имеет принципиальный интерес. Среди исследований в области сверхвысоких энергий следует отметить также работы по изучению асимптотических свойств диаграмм Фейнмана.

В теоретической лаборатории развивалась общая теория квантованных полей. Актуальной проблемой векторных полей — калибровочной инвариантности — придается большое значение при попытках построить теорию поля подобно электродинамике. Из работ, выполненных сотрудниками лаборатории, следует, что в теории векторного поля калибровочная инвариантность есть просто один из способов обеспечения спина 1 (к этому сводится ее роль) и что, вопреки распространенному мнению, она не требует, чтобы масса векторного поля была равна нулю.

Было введено понятие взаимодействующих полей с определенным спином. При этом удалось показать, что основные законы сохранения тесно связаны с пространственно-временным свойством векторных полей — свойством обладать спином 1 во взаимодействии. Так, существование нейтральных полей со спином 1 (например, фотон или  $\omega^0$ -мезон) порождает инвариантности, соответствующие сохранению аддитивных квантовых чисел, например, электрического, барионного зарядов или гиперзаряда. Соответствующие теории есть теории типа электродинамики Максвелла и ее обобщений на случай ненулевой массы покоя. Существование заряженных полей со спином 1 (например,  $\rho$ -мезона) ведет к изотопической инвариантности или SU(3)-симметрии, причем векторные поля с необходимостью образуют октет (в случае SU(3)). Соответствующая теория есть теория Янга — Миллса для взаимодействия с векторными полями ненулевой массы.

Исследование возможных локальных теорий взаимодействующего нейтрального симметричного тензорного поля со спином 2 привело к заключению, что в безмассовом случае существует только одна такая теория — теория Эйнштейна. Тем самым был дан теоретико-полевой вывод уравнений Эйнштейна и показано, что и в плоском пространстве-времени есть принцип, приводящий к этим уравнениям с нелинейной структурой, — спиновый принцип.

Группой теоретиков ЛТФ успешно развивались функциональные методы в теории поля. Эти методы были применены для изучения расходимостей, возникающих в современной теории поля, и для качественного анализа некоторых типов нелинейных уравнений. Так, были получены модели поля с фиксированным (тяжелым) нуклоном, исследована инфракрасная асимптотика функции Грина и т. п. Особый интерес представляют работы по изучению нелинейных уравнений и разработка методов регуляризации матрицы рассеяния для нелинейного уравнения. В последнее время достигнут успех в решении классических нелинейных уравнений поля М. Борна и намечены пути квантования этого поля, которое имеет ту особенность, что скорость «сигнала» зависит от амплитуды поля.

К проблемам нелинейных уравнений следует отнести и проводимые здесь исследования по общей теории относительности. В частности, совместное решение уравнений гравитации и уравнений квантовой теории поля приводит к выводу, что длина и промежуток времени становятся стохастическими величинами (для очень малых масштабов).

В лаборатории впервые было получено кинетическое уравнение Больцмана для релятивистского газа. При этом учитывается теория гравитации Эйнштейна, в общую схему включены частицы с нулевой массой покоя. Все главные выводы кинетической теории нерелятивистского газа переносятся на релятивистский случай вплоть до вывода гидродинамических уравнений для вязкой жидкости.

В ряде работ, выполненных в лаборатории, исследовались возможности выхода за рамки современной квантовой теории поля и изучались следствия обобщения современной теории. Сюда относятся работы по квантованию пространства-времени, из которых следует, что такое квантование эквивалентно появлению некоторых «квазичастиц», уносящих импульс и энергию. Другой подход носит отчасти феноменологический характер: изучались аналитические свойства матрицы рассеяния, в которой на малых расстояниях нарушалась микропричинность. Было сформулировано условие микропричинности и показано, что оно предоставляет весьма широкие возможности для существования различных мыслимых типов нарушений микропричинности. Выяснилось, что чисто формально возможны два существенно отличных класса таких нарушений: связанные с нарушением однородности про-

странства-времени и с нарушениями причинности только внутри системы взаимодействующих частиц. Естественно, что дисперсионные соотношения для акаузальной матрицы рассеяния отличаются от обычных.

В связи с этим представляет интерес тщательное сопоставление результатов теоретических расчетов по дисперсионным соотношениям с экспериментальными данными, которое систематически проводится в лаборатории. В последнее время наметились некоторые расхождения (в области энергий  $10 \text{ Гэв}$ ). Если они подтвердятся, то это может привести к существенному изменению наших основных представлений о характере явлений в микромире.

## теория взаимодействия элементарных частиц

В этом цикле работ применялись различные методы, в том числе и описанные в других разделах. Существенно, что значительное число работ, выполненных в Лаборатории теоретической физики, посвящено изучению взаимодействия элементарных частиц применительно к исследованиям, проводившимся в экспериментальных лабораториях института. Некоторые задачи решались совместно с физиками-экспериментаторами, работающими на синхротроне и синхрофазотроне.

Большая совокупность процессов — таких, как упругое  $\pi N$ -рассеяние,  $\pi\pi$ -взаимодействие, распад  $\pi^0$ -мезона, фоторождение пионов, неупругое  $\pi N$ -рассеяние — была изучена с точки зрения влияния на них двухпионного и трехпионного резонансов. Интерес к полученным результатам обусловлен тем, что связь между процессами установлена с помощью ограниченного числа параметров. Особое внимание при этом уделялось вопросам неупругого  $\pi N$ -рассеяния ( $\pi N \rightarrow 2\pi N$ ) в связи с исследованиями его физиками Лаборатории ядерных проблем на водородной камере. Необходимость интерпретации интересных результатов, полученных на той же камере, вызваны также расчеты процесса  $\pi N \rightarrow \pi N \gamma$ . Полученное значение константы фоторождения пиона на пионе  $\pi\pi \rightarrow \pi\gamma$  согласуется с данными по распаду  $\rho \rightarrow \pi\gamma$ .

С помощью двойных мандельштамовских представлений изучалось  $\pi K$ -рассеяние, причем были получены выражения для  $s$ - и  $p$ -фаз рассеяния. Решены уравнения для процесса рождения  $K\bar{K}$ -пар в  $\pi\pi$ -взаимодействиях. Рассмотрение в нерелятивистском пределе влияния  $\pi\pi$ -взаимодействия на процесс  $\pi N$ -рассеяния показало, что для правильного описания низкоэнергетического пион-нуклонного рассеяния необходим учет  $\pi\pi$ -взаимодействия.

В лаборатории разработан эффективный метод исследования множественного рождения частиц высоких энергий. Он был с



успехом применен к расчету пучков частиц синхрофазотрона на  $10 \text{ Гэв}$  и дал возможность вычислить сечения, а также угловые и энергетические распределения пучков антинуклонов, гамма-квантов, нейтрино, странных частиц. Расчеты пучков были также проделаны в связи с широко обсуждавшимися проектами ускорителей на сверхвысокие энергии. В лаборатории собрана и с помощью электронно-вычислительных машин статистически проанализирована известная экспериментальная информация о сечениях взаимодействия элементарных частиц. Результаты этих исследований опубликованы в обширной монографии.

В связи с выполняемой на синхрофазотроне программой экспериментов большое внимание уделяется изучению процессов с участием странных частиц, исследованиям взаимодействия различных частиц и способов их обнаружения в опытах, анализу возможности и необходимости постановки ряда экспериментов. В ряде работ были рассмотрены резонансы при неупругом рассеянии, указаны методы определения спина и четности мезонных резонансов, основанные на запретах для систем бозонов в состояниях с определенным спином, четностью и изотопическим спином.

Интересен проведенный в лаборатории полный анализ проблемы сохранения четности в сильных взаимодействиях. Он позволил предложить эксперименты по доказательству сохранения комбинированной четности и по поиску эффектов несохранения четности в реакциях с участием гиперонов и  $K$ -мезонов.

Различными методами анализировались результаты экспериментов по изучению взаимодействия пионов и нуклонов при высоких энергиях. Анализ с помощью дисперсионных соотношений упругого рассеяния на малые углы при энергиях до  $10 \text{ Гэв}$  показал, что экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими расчетами действительной части амплитуды упругого  $pp$ -рассеяния. Для анализа упругих и неупругих взаимодействий пионов и нуклонов использовалась модель, в которой нуклон состоит из ядра и периферической оболочки. Такая модель удовлетворительно описывает результаты экспериментов по рассеянию быстрых пионов и нуклонов. Ряд процессов неупругого взаимодействия при высоких энергиях рассчитывался на основе модели центральных и периферических столкновений. Здесь теоретики совместно с математиками Вычислительного центра проводят большую программу исследований. Выполненные расчеты удовлетворительно согласуются с известными экспериментальными данными в пределах достигнутой точности.

Большая работа была выполнена в лаборатории по систематизации данных, полученных в различных институтах мира при изучении свойств гиперонов и  $K$ -мезонов. Предложена систематика элементарных частиц, которая наряду с другими известными систематиками дала определенное направление в дальнейших экспериментальных работах физиков многих стран.

Успешно развиваются в лаборатории исследования процессов слабого взаимодействия. Результаты работ по мю-мезоатомным и мю-мезомолекулярным явлениям были широко использованы и подтверждены в экспериментах на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем. Теоретики рассмотрели процессы захвата мюонов в гелии-3 и литии-6 и предложили механизм перехода отрицательных мюонов от водорода к другим ядрам.

Круг проблем, поставленных и разрабатываемых учеными Лаборатории теоретической физики и Лаборатории ядерных проблем, охватывает такие важнейшие вопросы, как проблема характерной критической длины слабых взаимодействий и ее роль в процессах взаимодействия элементарных частиц, проблема возникновения существования двух типов нейтрино и промежуточного векторного мезона, проблема сродства и различия мюона и электрона. Эти работы сыграли большую роль в создании новой области физики элементарных частиц — физики слабых взаимодействий при высоких энергиях и физики нейтрино высоких энергий. В них обращалось внимание на особенности слабых взаимодействий при высоких энергиях, причем было показано, что при ультравысоких энергиях слабые взаимодействия будут конкурировать с взаимодействиями электромагнитными.

Наряду с принципиальными вопросами теории слабых взаимодействий были рассмотрены практические возможности осуществления на ускорителях и при исследовании космических лучей экспериментов, позволяющих ответить на ряд упомянутых уже вопросов физики слабых взаимодействий, в частности, на вопросы о существовании двух типов нейтрино и векторного мезона и об особенностях их поведения при высоких энергиях. Особый интерес представляло предложение использовать земной шар как фильтр для получения очищенного потока нейтрино. Это предложение, теперь осуществленное в подземных опытах, привело к интересным и неожиданным экспериментальным открытиям. В ряде работ были произведены расчеты пучков частиц, полезные для планирования подземных экспериментов, и расчеты пучков (сечения и спектры) мюонов, фотонов и нейтрино, получаемых на ускорителях при больших энергиях.

## **применение теории симметрий к теории элементарных частиц**

В последние годы многие работы теоретиков посвящены исследованиям в области теории симметрий элементарных частиц. Здесь выделяются два направления: исследования с помощью теории групп и исследования динамической модели составных

частиц. Важную роль в объяснении свойств элементарных частиц сыграла группа  $SU(6)$ , которая получается при объединении группы унитарного спина  $SU(3)$  и спиновой группы  $SU(2)$ . Однако такое объединение не является релятивистским, и поэтому естественно возник вопрос о возможности релятивистского обобщения этой группы. Особое внимание уделялось общей линейной группе  $SL(6)$  и ее связи с  $\tilde{U}(12)$ . Теоретиками лаборатории на основе синтеза группы Пуанкаре, включающей релятивистское вращение и смещение, и группы внутренней симметрии была получена наиболее общая группа  $SL(6) \times T_{36}$ . Исследованы модельные уравнения, инвариантные относительно этой группы.

Работы другого направления связаны с моделью составных частиц, согласно которой элементарные частицы являются связанными состояниями некоторых фундаментальных частиц-кварков, являющихся носителями основных свойств симметрии. Ученые лаборатории предложили модель элементарных частиц, основанную на некоторых простых предположениях о взаимодействии кварков. Были получены релятивистски-инвариантные и  $U(12)$ -инвариантные уравнения, описывающие элементарные частицы. С помощью этой модели исследовались электромагнитные и слабые формфакторы элементарных частиц и были получены сечения радиационных и слабых распадов различных резонансов. Очень важным успехом модели является предсказание величины аномального магнитного момента протона, согласующейся с экспериментальными значениями.

Использование теоретикогруппового метода позволило получить ряд соотношений для формфакторов элементарных частиц, а также установить связь между сечениями при рассеянии барионов барионами. Взаимодействие барионов рассматривалось в рамках  $SU(4)$ - и  $SU(6)$ -симметрий сильных взаимодействий. Подробно исследовано рассеяние нуклонов нуклонами, причем оказалось возможным провести прямое сравнение результатов теории с экспериментальными данными (для  $s$ -волны).

В связи с применением теории групп к теории элементарных частиц возник ряд вопросов, связанных с развитием аппарата самой теории групп. Был развит графический метод для записи решений уравнения Лапласа для классических групп, подробно исследовался вопрос о разделении переменных в уравнении Лапласа для группы Лоренца и о связанном с ним интегральном разложении инвариантных амплитуд. Рассмотрена задача об аналитическом продолжении этих разложений на всю плоскость Манделстама. Работам по интегральным представлениям предшествовали исследования по релятивистской кинематике и ее связи с геометрией Лобачевского. Методы интегральной геометрии позволили связать представления групп со свойствами интегральных преобразований.

## структура нуклонов

В течение ряда лет в Лаборатории теоретической физики ведутся исследования внутренней структуры нуклонов. Здесь была обоснована применимость геометрической оптики к изучению упругих столкновений быстрых частиц и развиты новые способы оптического анализа, использованные для расчетов пространственного распределения «виртуального» вещества в нуклонах. Результаты этого анализа позволили предложить модель нуклона с «кernом» (под «кernом» понимается область особо сильного поглощения) и периферической оболочкой, которая дала правильные величины среднеквадратичных электрических и магнитных радиусов нейтрона и протона и удовлетворительно объясняла экспериментальные данные по рассеянию быстрых электронов и пионов нуклонами.

Проведенный в лаборатории фазовый анализ данных  $pp$ - и  $pp$ -рассеяния при энергиях выше  $1 \text{ Гэв}$  и расчеты при помощи оптической модели позволили оценить пи-мезонный радиус нуклона  $0,8 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ . При этом было установлено, что заметный вклад дает  $pp$ -взаимодействие. Исследование взаимодействия нуклонов с ядрами при энергии выше  $1 \text{ Гэв}$  показало, что величины сечений можно объяснить на основе оптической модели в том случае, когда плотность вещества ядра берется такой же, как получаемая из опытов по рассеянию быстрых электронов ядрами.

Изучение комптоновского рассеяния на нуклонах привело к заключению, что сечение такого процесса в самом общем случае может быть выражено с точностью до членов 3-го порядка через электрический заряд, магнитный момент и электромагнитную поляризуемость нуклона. Из сравнения с опытом удалось определить величины электрической и магнитной поляризуемостей протона. Эти исследования интересны тем, что электромагнитная поляризуемость нуклонов описывает деформацию их внутренней структуры под действием сильных полей. В ряде работ изучалось влияние поляризуемости электрических зарядов внутри нейтрона на электрический формфактор, была выяснена величина вклада различных резонансных состояний в электромагнитную структуру нуклона.

К числу работ по структуре нуклона следует отнести и описанную выше «кварковую» модель нуклона.

## теория сверхпроводимости и вопросы теории ядра

Одним из крупнейших достижений теоретической физики последних лет явилось создание теории сверхпроводимости. Развитие метода, разработанного ранее для теории сверхтекучести, позво-

лило построить теорию, строго последовательно описывающую сверхпроводящее состояние вещества. Очень важный результат получен при исследовании вырожденных систем. Было введено и обосновано понятие квазисредних и разработан метод описания вырожденных состояний статистического равновесия. Этот метод получил всеобщее признание, он применяется в различных областях теоретической физики. Большой интерес представляют исследования по гидродинамике сверхтекучей жидкости. В них сделан изящный вывод уравнений гидродинамики сверхтекучей жидкости на основе уравнений движения системы одинаковых бозе-частиц и получено гидродинамическое приближение для функций Грина.

Вариационный принцип, используемый в теории, является настолько общим, что появилась возможность использовать методы, развитые в теории сверхпроводимости, для изучения свойств ядер. Была исследована модель тяжелого ядра, названная сверхтекучей моделью, в которой наряду со средним полем ядра учитываются взаимодействия, приводящие к парным корреляциям сверхпроводящего типа, и мультиполь-мультипольные взаимодействия, ответственные за коллективные возбуждения ядер. Учет взаимодействия частиц позволил описать особенности спектров четно-четных ядер, что не удавалось сделать при помощи других моделей, например, при помощи оболочечной модели. Работа по изучению свойств трансурановых элементов выполнена в сотрудничестве с ЦИФИ (Будапешт). В контакте с отделом ядерной спектроскопии Лаборатории ядерных проблем интересные физические представления удалось довести до конкретных расчетов, результаты которых согласуются с экспериментальными данными. В работах указывалось на необходимость существования трех-квазичастичных состояний, причем были указаны ядра, где такие состояния легче всего обнаружить экспериментально. В Копенгагене и в отделе ядерной спектроскопии Лаборатории ядерных проблем были найдены такие состояния.

Изучение свойств основных и возбужденных состояний сильнодеформированных ядер позволило предложить новые эксперименты. Значительный прогресс в этом направлении исследований был достигнут при изучении влияния парных корреляций сверхпроводящего типа на скорость альфа-распада атомных ядер. При этом удается объяснить многие экспериментально наблюдаемые явления. Парные корреляции нуклонов значительно повышают вероятность альфа-распада между основными состояниями тяжелых четно-четных сильнодеформированных ядер. Это позволяет, в частности, согласовать радиусы ядер, полученные из альфа-распадов и из ядерных реакций. Выполненные расчеты факторов запрета альфа-распадов для различных типов ядер хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Совместно с сотрудниками Вроцлавского университета (Польша) проведены исследования точности математических методов,

используемых при расчетах свойств основных и возбужденных состояний сильнодеформированных ядер. В последующих работах был предложен улучшенный метод канонического преобразования для описания парных корреляций и произведены расчеты характеристик редкоземельных элементов. Эта работа проведена совместно с Копенгагенским университетом. Исследованы также особенности электромагнитных переходов в нечетных деформированных ядрах.

Серия работ посвящена определению свойств коллективных состояний сильнодеформированных ядер. Рассчитанные значения энергий и вероятностей электромагнитных переходов хорошо согласуются с экспериментальными данными. Объяснены такие экспериментальные факты (которые долгое время были непонятны), как опускание октупольных состояний в изотопах тория, урана и плутония ниже бета- и гамма-вибрационных состояний, опускание гамма-вибрационных состояний ниже бета-вибрационных состояний в изотопах диспрозия и эрбия и ряд других. Предложенная модификация метода расчета энергий коллективных состояний более точно учитывает закон сохранения числа частиц. Представляет интерес также метод рассмотрения коллективных состояний в нечетных ядрах, учитывающий взаимодействие фоонов с квазичастицами.

В лаборатории начаты работы по изучению равновесных деформаций в тяжелых ядрах. Были проведены расчеты свойств ядерной материи для модели с потенциалом, имеющим мягкую сердцевину.

Чтобы подчеркнуть роль этих исследований, заметим, что успехи в применении к изучению свойств сложных ядер методов, развитых в теории сверхпроводимости, особенно видны на фоне тех больших трудностей, которые еще несколько лет назад испытывала теория ядра.

Одним из сравнительно новых направлений в лаборатории является изучение свойств легких ядер, эксперименты с которыми ведутся в Объединенном институте. Так, усовершенствование теории Бракнера позволило приступить к расчетам матрицы рассеяния для легких ядер. Модельные расчеты использованы для вычисления энергии связи легких ядер с точным учетом движения центра тяжести двух нуклонов, разработан новый метод для учета твердой сердцевины. В сотрудничестве с НИИ ядерной физики исследовались процессы бета-распада в литии-6, захват  $\mu^-$ -мезонов в кислороде, вопросы фрагментации в легких ядрах. Влияние структуры легких ядер на захват отрицательных мюонов ядрами рассматривалось с учетом резонансного механизма захвата.

В связи с экспериментами на ускорителе многозарядных ионов ведутся работы по теории упругого рассеяния тяжелых частиц, реакций, связанных с передачей групп нуклонов, и процессов образования компаунд-ядер. Совместно с сотрудниками Лаборатории ядерных реакций была сформулирована квазиклассическая

теория реакций передачи и рассчитаны сечения реакций взаимодействия легких ядер. Исследовались процессы рассеяния тяжелых частиц с возбуждением коллективных состояний.

Подробно рассмотрен также механизм взаимодействия быстрых частиц с ядрами. В широкой области энергий от нескольких десятков *Мэв* до десятков *Гэв* такого типа взаимодействие хорошо описывается с помощью механизма внутриядерных каскадов. Полученные результаты были использованы для расчетов прохождения пучков быстрых частиц через плотные среды, это имеет большое значение для конструирования радиационной защиты целого ряда современных установок.

## **Феноменологический анализ**

Общим направлением ведущихся в лаборатории работ по изучению вопросов, связанных с теорией рассеяния, является феноменологический подход к описанию взаимодействия элементарных частиц. При таком анализе используются лишь общие свойства симметрии *S*-матрицы. Изучение этих свойств позволило в ряде работ получить интересные результаты: сформулировать для простейшего случая упругого рассеяния нуклонов полный набор опытов, необходимый для восстановления амплитуды упругого рассеяния при произвольных спиновых взаимодействиях частиц. Важный результат был достигнут при использовании свойств унитарности, что позволило вдвое сократить необходимый набор опытов. В дальнейшем этот вопрос исследовался в применении к неупругим процессам, задача была решена для двухчастичных реакций. Исследования свойств симметрии *S*-матрицы при обращении времени показали возможность связать между собой поляризационные явления во взаимно обратных реакциях.

Ряд работ посвящен общей теории ядерных реакций с поляризованными частицами, ее релятивистским обобщениям и приложениям к анализу конкретных процессов. Большой интерес для экспериментаторов представляет выполненный здесь цикл работ о возможных применениях поляризованной протонной мишени. В этих работах были предложены в том числе методы определения внутренних четностей элементарных частиц. Эти методы основываются лишь на общих предположениях о динамике реакций и применимы к любым процессам с двумя частицами в конечном состоянии. В частности, был предложен интересный способ определения четностей странных частиц при изучении реакций рождения гиперонов на поляризованной водородной мишени. Проанализированы также возможности использования поляризованных мишеней в задачах восстановления амплитуд различных процессов при заданных значениях угла рассеяния и энергии падающих частиц.

В работах по изучению общих свойств амплитуд различных процессов, в частности, было проведено релятивистски-ковариантное разложение амплитуд различных процессов по мультипольным моментам. Произведена классификация матричных элементов в бета-распаде, не связанная с одночастичным приближением.

В заключение отметим цикл интересных работ, в которых рассматривалось приложение геометрии Лобачевского к расчету кинематики релятивистских частиц. В работах была показана глубокая связь теории относительности Эйнштейна с представлениями геометрии Лобачевского, сложные расчеты кинематики различных процессов с участием релятивистских частиц оказываются эквивалентными простым формулам гиперболической тригонометрии. Процесс рассеяния двух частиц, например, представляется простой геометрической фигурой в пространстве скоростей Лобачевского, откуда с помощью простых тригонометрических формул рассчитывается вся кинематика процесса. Очень просто учитывается наличие античастиц, рассмотрена возможность расчета кроссинг-реакций.

## **Статистические методы**

Круг работ, в которых используются методы статистической теории множественного рождения, довольно широк, многие задачи решены непосредственно в порядке планирования экспериментов на ускорителях. По статистической теории рассчитаны вероятности рождения мезонов, нуклонов и странных частиц в процессах столкновений нуклонов и пи-мезонов с нуклонами при разных энергиях — от 1 до 10 *Гэв*, проведен расчет импульсных распределений вторичных частиц в *pp*- и *pn*-соударениях в том же интервале энергий. Выполнены также расчеты множественного образования частиц в соударениях нуклонов с антинуклонами, получено релятивистское обобщение различных физических соотношений для реакций с поляризованными частицами. Обработка результатов экспериментов по изучению взаимодействия нуклонов при энергии около 9 *Гэв* показала, что наблюдается заметное отклонение от статистической теории Ферми в угловых распределениях, импульсных спектрах и т. д., в особенности для событий с малым числом рождающихся частиц. Было показано также, что это расхождение можно устранить учетом периферических столкновений.

В лаборатории разработаны эффективные методы вычисления статистических весов, для их расчета с успехом применяется также метод Монте-Карло. Выполнен обширный цикл исследований по статистическому анализу надежности получаемой в эксперименте информации и оптимальному планированию проводимых экспериментов.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Огромное количество информации, получаемой физиками из эксперимента, зачастую требует для ее обработки применения специальных математических и вычислительных методов. Такие же проблемы стоят и перед теоретиками при выполнении многих работ, в особенности связанных с расчетами по статистическим моделям, с фазовым анализом, решением систем сложных уравнений численным методом и т. д. Все это, естественно, потребовало практически с первых шагов организации института создания математической и вычислительной базы. Такая база была организована в математическом отделе Лаборатории теоретической физики. Впоследствии в связи со значительным ростом объема работы, оснащением отдела электронно-вычислительными машинами и расширением работ по автоматизации обработки данных на основе отдела был создан Вычислительный центр, развитие которого продолжается с каждым годом. Основная деятельность ВЦ связана с разработкой математических методов решения физических задач, поставленных лабораториями ОИЯИ, и в первую очередь задач по обработке экспериментальных данных, и реализацией этих методов на вычислительных машинах; с организацией программирования на вычислительных машинах и разработкой

методов автоматического программирования; с решением важных технических задач по автоматизации обработки экспериментальных данных на вычислительных машинах. Эти работы выполняются в отделах Вычислительного центра — отделе вычислительной математики и отделе вычислительной техники.

Один из основных типов экспериментальных приборов — различные пузырьковые камеры. Они позволяют получать сотни тысяч фотографий, на которых зафиксированы следы событий. Введение автоматов и полуавтоматов ускорило процесс измерения треков, но для последующего восстановления пространственной картины события, определения импульсов, масс частиц требуется настолько большая вычислительная работа, что она возможна только с помощью быстродействующих электронно-вычислительных машин. Для этой цели в отделе вычислительной математики составлен ряд геометрических и кинематических программ, позволяющих определить параметры происшедших в камере событий. Трудности, связанные с вводом огромного численного материала, с контролем ввода и затратами большого времени вычислительной машины на ввод были решены организацией предварительного приема данных и их накопления на магнитной ленте с помощью вспомогательной машины. Эта система позволила значительно увеличить объем обрабатываемого материала. Введение в геометрические программы предложенного здесь нового метода определения параметров пространственной кривой привело к значительному уменьшению погрешностей вычисления. Ряд программ, разработанных в отделе, предназначен для идентификации событий с помощью проверки выполнения законов сохранения энергии, импульса и других в зависимости от гипотезы о типе события. Программы предусматривают самые различные типы событий, в том числе с участием не зафиксированных на пленке частиц.

Значительный объем материала, подлежащего обработке в Вычислительном центре, поступает из измерительного центра Лаборатории нейтронной физики. Решена важная проблема кабельной связи этих центров, причем составленный здесь комплекс программ позволяет по ходу эксперимента принимать информацию с различных анализаторов ЛНФ непосредственно в оперативную память вспомогательной машины Вычислительного центра. Эти программы контролируют работу каналов связи и накапливают передаваемую информацию на магнитных лентах. Они позволяют также выбрать с магнитных лент данные, относящиеся к любому эксперименту, и передать их для дальнейшей обработки с помощью вычислительной машины.

Важной темой в исследованиях, развиваемых в отделе вычислительной математики, является проблема минимизации функционалов и функций многих переменных при обработке экспериментальных данных. Существенный успех в этом направлении достигнут при решении задач фазового анализа данных о нуклон-

нуклонном рассеянии. Совместно с теоретиками был разработан алгоритм для минимизации, реализованный в стандартной программе для вычислительной машины. Этими работами в значительной степени обусловлены успехи ОИЯИ в фазовом анализе.

Одно из больших направлений работы ВЦ — решение задач о движении заряженных частиц в переменных магнитных полях. Это расчеты движения частиц в ускорителях, вывода пучков, расчеты, связанные с установкой приборов и мишеней на пучках ускорителей и другие.

Среди методов решения задач ядерной физики, с успехом используемых здесь, следует отметить так называемые методы Монте-Карло, т. е. методы статистического моделирования физических процессов. Эти методы в настоящее время используются довольно широко. С их помощью производятся расчеты моделей рождения частиц, движения частиц в веществе камеры или детектора, определяются параметры некоторых проектируемых экспериментальных установок и т. д. В Вычислительном центре созданы программы случайных чисел, необходимые для использования этого метода. Разработаны программы, моделирующие внутриядерные каскады, распады К-мезонов, множественные рождения частиц и многие другие процессы.

Математики Вычислительного центра выполнили ряд работ по исследованию сингулярных интегральных уравнений, возникающих при описании взаимодействия элементарных частиц с помощью дисперсионных соотношений. Они предложили различные способы численного решения этих уравнений, а также решения приближенных уравнений. Ряд работ был посвящен исследованию нелинейных дифференциальных уравнений и систем этих уравнений, часто встречающихся в задачах взаимодействия элементарных частиц и в теории ядра.

Большая и разветвленная тема — расчеты свойств сильнодеформированных ядер на основе сверхтекучей модели, разработанной в ЛТФ. В работе над этой темой принимали участие ученые из Чехословакии, Польши, Румынии, Дании, Советского Союза. Разработан комплекс программ для расчетов с помощью этой модели на вычислительных машинах.

Для ускорения и облегчения процесса составления необходимых программ большое значение имеют стандартные программы. Созданная здесь большая библиотека таких программ позволяет применять при решении самых различных задач уже готовые проверенные алгоритмы с минимальными затратами времени на их подключение. Эти программы очень эффективны, они успешно используются не только в ОИЯИ, но и в других институтах. В ВЦ была составлена также программирующая программа, с помощью которой труд по составлению программ для вычисления ряда сложных и громоздких формул был возложен на вычислительную машину. Существенным этапом в деле облегчения составления программ было введение транслятора с языка АЛГОЛ

на язык машин Вычислительного центра. Существенно более простой язык АЛГОЛ позволяет расширить круг лиц, которые могут решать свои задачи без посредничества программистов.

Отдел вычислительной техники ВЦ оснащен несколькими электронно-вычислительными машинами. Сотрудники отдела уделяют много внимания модернизации вычислительной техники, расширению возможностей ее применения. Особое значение придается разработке прямых двусторонних связей вычислительных машин с физическими установками, позволяющих контролировать процесс физических измерений и выдавать информацию о качестве измерений и необходимых параметрах.

Вычислительный центр ОИЯИ поддерживает многочисленные международные связи с физическими институтами стран — участниц института, вычислительными центрами этих стран, а также с вычислительным отделом ЦЕРНа. Это совместные работы по составлению программ обработки экспериментальных данных, обсуждение методики обработки, составление стандартных программ, выполнение конкретных расчетов на машинах ВЦ по заявкам институтов стран-участниц и другие работы.

Современная физическая теория предъявляет к экспериментаторам очень высокие требования. В большинстве случаев одного лишь качественного описания явления сегодня уже недостаточно, необходимы количественные сведения, причем часто эти сведения должны быть очень точными. Это требует тщательного изучения явлений, требует резкого увеличения статистического материала. Постановка исследований сложных и редких процессов связана не только с применением тонкой, чувствительной аппаратуры, но и со значительным ростом информации, извлекаемой из эксперимента. Обработать такой большой экспериментальный материал ученым под силу лишь с помощью машин, причем машин высокопроизводительных. Поэтому одним из важнейших вопросов для физиков является вопрос автоматической обработки информации, получаемой в опыте самыми различными методами: с помощью трековых камер, годоскопических систем счетчиков, многоканальных анализаторов и т. д.

В Объединенном институте ядерных исследований этой проблеме уделяется большое внимание. В лабораториях и Вычислительном центре института были разработаны полуавтоматические и автоматические установки для обработки камерных снимков, различные анализирующие системы, системы памяти разных типов, вводные и выводные устройства для многих установок, а также для вычислительных машин. Создание этих приборов и установок способствовало успешному выполнению в институте целого ряда важных исследований, описанных выше.

Однако требования к автоматизации эксперимента растут необычайно быстро. Сегодня ученых не может удовлетворить то,

что они имели еще вчера. Особенно остро стоит этот вопрос при обработке данных, полученных с помощью различных трековых камер. Если еще недавно для проведения исследования, например с помощью пузырьковой камеры, достаточно было обработать несколько тысяч снимков, сделанных в камере, то уровень сегодняшнего эксперимента требует получения десятков и даже сотен тысяч фотографий. Наиболее интересные опыты, которые уже готовятся учеными, потребуют обработки миллионов фотографий. Техника мощных современных ускорителей и пузырьковых камер может обеспечить получение такого огромного объема экспериментального материала. Но, пожалуй, впервые физики столкнулись с невозможностью обработать в разумные сроки даже с помощью имеющихся средств автоматизации тот материал, который они в состоянии получить. Решению этой задачи ученые, ведущие исследования в области высоких энергий, придают первостепенное значение.

В Объединенном институте ядерных исследований ведутся работы по созданию новых, значительно более производительных автоматов, более сложных анализирующих устройств, накопительных систем информации большой емкости. Во всех лабораториях создаются измерительные центры для автоматизированной обработки результатов эксперимента. Большое значение придается развитию непосредственных связей автоматических систем предварительной обработки данных с электронно-вычислительными машинами, контролю ввода данных в машины и установлению обратных связей вычислительных машин с измерительными центрами — образно говоря, развитию непосредственных связей эксперимента с вычислительными машинами. Перспективной задачей является связь Вычислительного центра с имеющимися и создаваемыми измерительными центрами лабораторий, создание единой вычислительной системы.

**В. А. БИРЮКОВ  
М. М. ЛЕБЕДЕНКО  
А. М. РЫЖОВ**

**Д У Б Н А  
1956—1966**

**Редактор**

**Н. Н. ЗРЕЛОВА**

**Технический редактор**

**Л. В. КРЕЧЕТОВА**

**Обложка — художника**

**В. П. БОЧКАРЕВА**

**На обложке — фотография кольца излучения Вавилова — Черенкова, полученная на лучке протонов от синхротрона научным сотрудником В. П. Зреловым.**

Сдано в набор 14/IV 1966 г. Подписано к печати  
19/V 1966 г. Т-04250. Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup>.  
Печ. л. 17,25. Уч.-изд. л. 17,09. Тираж 10 000.  
Заказ № 334. Цена 1 р. 50 к.

Издательский отдел  
Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1966 г.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова  
Главполиграфпрома Комитета по печати  
при Совете Министров СССР.  
Москва, Ж-54, Валовая, 28