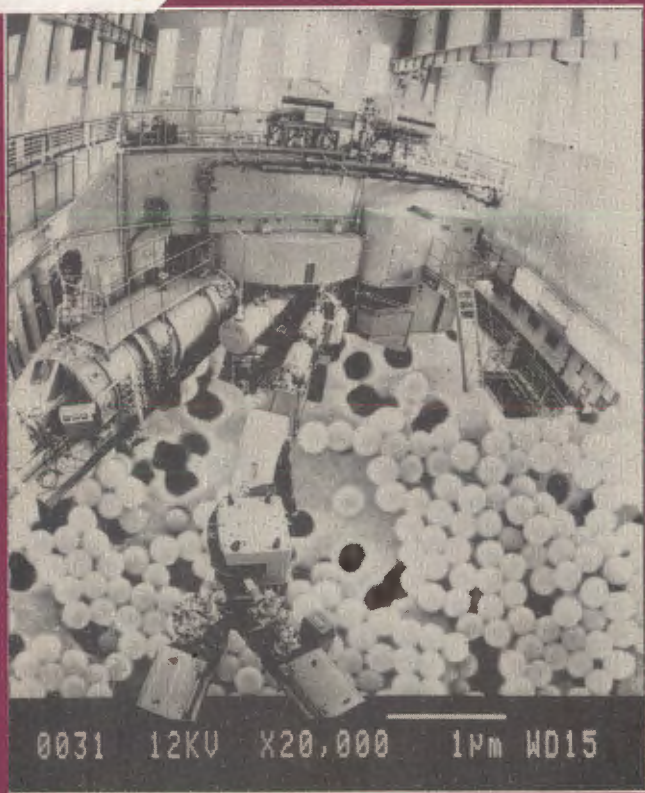


Г. Н. Флеров  
Е. М. Молчанов

# ЭТИ ВЕЗДЕСУЩИЕ ИОНЫ

СЗГ  
Ф-716



502706

98-21

Г. Н. Флеров  
Е. М. Молчанов

СЭГ  
Ф-716

# ЭТИ ВЕЗДЕСУЩИЕ ИОНЫ

183746р.



Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1998

## КАК ПОЯВИЛАСЬ ЭТА БРОШЮРА

Эта брошюра по планам издательства «Советская Россия» должна была выйти в свет в 1990 году. Георгий Николаевич Флеров очень ее ждал. Но — план издательства трещал по швам, не было бумаги. И хотя в редакции научно-популярной литературы нам передали уже готовую верстку и оставалось ждать сигнального экземпляра, издательство вынуждено было пойти на расторжение договоров с большинством авторов. Однако, то, что не смогло сделать государственное издательство, взял на себя издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Брошюры серии «Наука — народу» печатались в «Советской России» много лет. Авторами каждой маленькой книжечки были два человека — ученый и журналист или писатель. Когда я пришел в научно-популярную редакцию с планом и заявкой, имя Георгия Николаевича произвело магическое действие — тема была сразу одобрена и началась работа. Она оказалась долгой и кропотливой. Первоначальный замысел изменился неузнаваемо. В последней, четвертой редакции, предпринятой по инициативе Георгия Николаевича, едва ли осталась четверть от того, что было в первом варианте. Таким уж беспокойным автором был академик Флеров.

Процесс писания казался вначале простым: вечерами мы собирались у Георгия Николаевича в дубненском

доме, по выходным иногда встречались в московской квартире или «методическом кабинете», там же, на Соколе. Он щедро разбрасывал мысли и идеи. Кое-какие факты и сюжеты заимствовались из публикаций в нашей институтской газете, научных докладов, научно-популярных выступлений. Потом все написанное в очередной раз подвергалось острой нещадной критике и переделывалось.

Текст этот передавался во многие руки, был объектом строгой экспертизы коллег и учеников академика. Пока, наконец, в один прекрасный весенний день на московской квартире не была поставлена последняя точка.

Конечно, кое в чем эта книжечка уже устарела. Все-таки последние три-четыре года очень многое изменили и в нашей жизни и в науке. Кое от чего в материалах, рассчитанных на массового читателя, теперь пришлось отказаться. Мне же эта брошюра дорога тем, что сохранила мысли и идеи Георгия Николаевича о развитии науки, ее практическом значении. О необходимости ее перестройки. О губельных для науки административно-чиновных подходах. О новых планах и надеждах. Он по природе своей был оптимистом. Строки эти писались в первые годы перестройки. Жизнь бурлила ключом. Духовное освобождение несло надежды, что творческий труд превратится, наконец, в главный смысл жизни.

Он очень ждал выхода «Этих вездесущих ионов», предвкушал, как разошлет брошюру своим коллегам, друзьям, смежникам, которых у него было великое множество. Огорчался, когда в издательстве в очередной раз отвечали, что выпустить брошюру с иллюстрациями нет никакой технической возможности. «Ну, ничего, — говорил он себе в утешение. — У Туманова есть прекрас-

ные фотографии, и мы вместе с книжкой разошлем их тоже по адресам».

В этом выпуске и издательский отдел, и Юрий Туманов, и я постарались учесть пожелания Георгия Николаевича. Жалко, конечно, что так поздно...

Е. Молчанов.

Дубна, февраль 1993 г.

## ОСНОВЫ НОВОЙ ИНДУСТРИИ

Некий остроумный человек заметил, что ученые — это люди, которые стремятся удовлетворить собственное любопытство за счет государства. Но ведь и государство не остается здесь внакладе! Подтверждений тому немало, о чем, в частности, свидетельствует наш рассказ. Рассказ о тяжелых ионах, рожденных в ускорителях. О том, как нелегок и порой драматичен путь от идеи до результата и его «приложения» к практике. Словом, о преодолении неожиданностей, встречающихся каждый день на пути исследователя.

Для одного из авторов предмет данного разговора — синтез сверхтяжелых элементов и использование методов ядерной физики в смежных областях науки и техники, различных отраслях народного хозяйства — главное дело его жизни. Начато оно было под руководством академика Игоря Васильевича Курчатова, который был настоящим стратегом: дальновидным, умеющим принимать решения, многим поначалу казавшиеся неочевидными. Возглавлял огромный коллектив, где рядом с учеными трудились инженеры, специалисты самого широкого профиля. Это была целая армия, и она создала в конце концов атомный щит Родины. Сейчас о той поре написаны книги, а тогда все работы держались под строгим секретом. Между тем в рамках «атомной проблемы» зрела отрасль, которую сегодня можно уверенно назвать «тяжелоионной индустрией».

Физика тяжелых ионов — магистральное направление деятельности Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований. Лаборатория внесла большой вклад в фундаментальную науку и заложила основы для многих практических применений.

В отличие от академика Флерова — почетного директора этой лаборатории, второй автор — журналист, отдавший более двух десятков лет печатному органу ОИЯИ.

Лаборатория ядерных реакций — «не самая старая» в числе научно-исследовательских коллективов международного научного центра социалистических стран в Дубне. Да и сам центр сравнительно молод: он основан в 1956 году, а его цели и задачи в Уставе сформулированы так:

— обеспечение совместного проведения теоретических и экспериментальных работ в области ядерной физики;

— содействие ее развитию в странах-участницах путем обмена опытом и достижениями;

— поддержание связи с заинтересованными национальными и международными научно-исследовательскими и другими организациями для изыскания новых возможностей применения атомной энергии;

— содействие всестороннему развитию творческих способностей научно-исследовательских кадров.

Всякое новое возникает там, где бьют фонтаны идей, а мечтатели нередко опираются на глубокие, точные знания и разносторонний опыт. Идея, которой поклонялись алхимики, пренебрегая насмешками и гонениями, пробилась сквозь века. «...Я думаю, — писал академик А.Е.Ферсман свыше полувека назад, — алхимики должны были бы признать, что их фантазии претворены в

жизнь и даже превзойдены человеческим гением». А ведь в те годы еще не были построены мощные циклотроны и в их пучках не рождались искусственные химические элементы.

Многое изменилось за последнее время. Поистине пророческим оказался вывод известного датского физика-теоретика Оге Бора, младшего в династии нобелевских лауреатов, о том, что ядерная физика ближайших лет — это преимущественно физика тяжелых ионов. Ее сегодня ученые называют уникальным испытательным полигоном, где можно «конструировать» и изучать свойства новых атомных ядер и связанных с ними процессов. Подобные «полигоны» есть как в Дубне и в лабораториях стран — участниц Объединенного института ядерных исследований, так и в ускорительных центрах Англии, Франции, ФРГ, США и других государств. Одна из самых захватывающих и перспективных задач — синтез новых элементов таблицы Менделеева.

Как часто бывает, идеи, методы, мощная ускорительная база и тонкие инструменты, предназначенные для раскрытия фундаментальных законов природы, привели к поистине удивительным результатам, которые, став достоянием ученых, нашли свое место и в практике.

Что же это за результаты?

В лабораториях Дубны, где развивается методическая база — основа основ современной науки, создано уже немало точных электронных приборов для биологических исследований и медицинской диагностики, математических программ, которые, как известно, начинают играть роль «золотого запаса» не только в науке, но и в практике.

И все же даже в этом замечательном ряду выделяют-ся ядерные фильтры — продукт облучения полимерных

пленок ускоренными тяжелыми ионами. Эти новые мембраны получили известность далеко за пределами Дубны. Породив их, наши «вездесущие ионы» не почтили на лаврах — они сослужили хорошую службу специалистам по радиационному материаловедению в качестве имитаторов радиационных повреждений в конструкционных материалах, которые задействованы в атомной энергетике.

О «профессиях» тяжелых ионов речь пойдет дальше, а сейчас еще раз подчеркнем, что «вначале было Дело». Современник французских энциклопедистов и сам естествоиспытатель, великий Гете, думается, вполне мог вместе с ними разделять науки на «светоносные» и «плодоносные». Правда, он не преминул вложить в уста Мефистофеля свое, заветное: «Суха, мой друг, теория везде, а древо жизни пышно зеленеет». И тем не менее такое деление не означало преимущественного положения одних наук перед другими. Все они были нужны всегда. Да и сейчас ни у кого не вызывает сомнений тесная между фундаментальными и прикладными исследованиями. Они идут не врозь, не сами по себе, а опираясь друг на друга, взаимно обогащаясь.

## ПО «РЕКОМЕНДАЦИИ» МЕНДЕЛЕЕВА

С давних пор человек задавал себе вопросы: из чего состоит окружающий мир? Почему вокруг столько веществ, находящихся в газообразном, жидком, твердом состояниях? Можно ли превращать одни вещества в другие или в совсем новые? И лишь около двух столетий назад стало известно, что все многообразие в природе — следствие тех или иных сочетаний сравнительно малого числа химических элементов.

Но их свойства казались вовсе не связанными друг с другом. Никто не мог сказать, должен появиться новый элемент или нет, а если случайно он и появлялся, то облик «новорожденного» подчас был полной неожиданностью для первооткрывателей. Список же элементов росс каждым годом, и ко второй половине прошлого века их уже насчитывалось около шести десятков.

Процесс открытия новых элементов шел на протяжении столетий и был всегда одним из самых важных факторов научно-технического прогресса, оказывающих влияние на производительные силы и духовную жизнь человечества. Не так давно, уже в нашем веке, на основе Периодического закона Менделеева были заполнены 92 клетки разработанной им системы.

Прорыв к атомным номерам за «барьером» 92-го, в заурановую область, потребовал от ученых создания мощной индустрии эксперимента. Трансураны ждали своего часа. И он настал.

Убежденный в том, что изучение урана, начиная с его природных источников, поведет еще ко многим новым открытиям, Менделеев в свое время писал: «Я смело рекомендую тем, кто ищет предмет для новых исследований, особенно тщательно заниматься урановыми соединениями». И присуждение в 1988 году одному из авторов этой брошюры, академику Флерову, почетной награды Академии наук СССР — медали имени Менделеева стало признанием заслуг всего коллектива ученых, инженеров, рабочих, раздвинувших рамки Периодической системы, вписавших названия новых — трансурановых — элементов в клетки таблицы, гениально начертанной великим русским химиком.

В последних опытах в Дубне получено несколько десятков ядер сверхтяжелого элемента с порядковым номером 110. Он сейчас замыкает Периодическую таблицу. С этой, пока самой высокой точки трудного пути чрезвычайно поучительной представляется история поисков и находок в синтезе трансуранов.

Половина из 18 рукотворных элементов была синтезирована в 40—50-е годы в Радиационной лаборатории имени Лоуренса в Беркли (США) группой под руководством одного из самых известных американских ученых — профессора Гленна Сиборга. Все 9 элементов обязаны своим появлением ядерным реакторам — основному инструменту для овладения атомной энергией. Таким образом, американские физики и химики, опередившие советских ученых, монопольно открыли химические элементы от 93-го — нептуния до 101-го — менделевия: их синтез проводился при захвате нейтронов ядрами-мишенями, принадлежащими более легким элементам.

Как мы убедимся чуть позже, «реакторный» метод даст специалистам США возможность первыми применить «ядерную технологию» и для производства высококачественных ядерных фильтров. Чтобы регистрировать осколки деления новых ядер, которые образуются в результате бомбардировки тяжелых ядер потоками нейтронов, они использовали пластиковые детекторы — кусочки полимерной пленки, и оказалось, что травление треков полимера — следов радиоактивного дождя создает пористую структуру. Так появился первый ядерный фильтр.

С конца 50-х годов синтез новых элементов осуществляется на ускорителях тяжелых ионов. Поскольку ионы обладают электрическим зарядом, их с помощью сильных электромагнитных полей можно разогнать до больших скоростей, благодаря чему они приобретают энергию, достаточную для преодоления электростатических сил отталкивания, и могут сливаться с ядрами различных элементов — мишеней. При этом удастся совершить прыжок на несколько ступеней вверх и «сконструировать» ядро с атомным номером, равным сумме номеров ядер — снарядов мишеней.

Начало «ионному» направлению было положено в Швеции, США и СССР. Однако задача синтеза новых элементов решалась с трудом. Поэтому впервые положительных результатов добились только в середине 60-х годов. Ускоритель тяжелых ионов У-300, построенный в Дубне, обеспечивал рекордную для той поры интенсивность пучков. Он позволил синтезировать ядра 104-го элемента, который дубненцы предложили назвать курчатовием в честь академика Игоря Васильевича Курчатова, развернувшего в Советском Союзе работы по физике тяжелых ионов.

Но на разных этапах поисков звучали и пессимистические ноты. Например, в книге «Нобелевские премии. Ученые и открытия», вышедшей в 1985 году в Софии и переведенной на русский язык в 1987-м, болгарский науковед В.Чолаков, заканчивая перечисление искусственных элементов 104-м — курчатовием, утверждает: «Последнее время этот раздел радиохимии пребывает в застое». Правда, потом он поправляется: «Но ученые не теряют надежды, что удастся синтезировать и другие элементы...»

Ход научного поиска опережает самых оперативных историков науки, поправляет футурологов. Как раз в 1985 году в Дубне готовились к экспериментам по синтезу 110-го элемента, и там уже дали о себе знать ядра элементов с атомными номерами 105—109.

С первых же опытов синтез новых элементов проходил в атмосфере жесткой научной конкуренции, острых споров и дискуссий. Достаточно привести такой пример: ниобий и титан были открыты двести лет назад, а названия «колумбий» и «тунгстен», данные этим элементам незадачливыми конкурентами первооткрывателей, встречаются вплоть до наших дней.

Полувековая история 18 трансурановых элементов насчитывает немало неожиданных поворотов, сопутствующих открытий и неудач, прозорливых догадок и заблуждений. Вот что, например, пишет в книге «Превращение элементов» кандидат химических наук Б.И.Казakov: «Летом 1957 г. интернациональная группа ученых в Нобелевском физическом институте Стокгольма произвела обстрел ионами углерода-13 мишени из изотопов кюрия. Эксперимент был очень сложный, но, как оказалось, удачный. В небе над зданием газеты «Нью-Йорк



таймс» поздней ночью вспыхнули гигантские пляшущие буквы: «Открыт элемент 102! Он назван нобелием!»

Когда же эксперимент стокгольмской группы был повторен физиками Института атомной энергии имени Курчатова в Москве и Радиационной лабораторией в Беркли, то выяснилось, что концы с концами не сходятся. Явно не совпадал и сильно различался период полураспада новообразованного элемента. Да и у стокгольмских физиков зарегистрированный полураспад составлял 10 минут, а по их же расчету он не должен был превышать 10 секунд».

В середине 50-х годов американские ученые сделали ставку на синтез трансурановых элементов в потоках нейтронов, генерируемых в подземных ядерных взрывах. Их выбор мог показаться естественным, если вспомнить, что все природные элементы возникли в мощных потоках, сопровождающих взрывы нейтронных звезд. Но ставка на подземные взрывы себя не оправдала — ни один новый элемент в них получен не был.

Опыты на пучках тяжелых ионов осложнялись тем, что жизнь искомым атомам измерялась секундами. Это исключало применение традиционных химических методов. К тому же отдельные атомы образовывались на фоне большого количества побочных продуктов реакции, имитирующих эффект. И неудивительно, что результаты опытов в Беркли по синтезу элементов 102 и 103, которым к тому времени уже были присвоены названия «нобелей» и «лоуренсий», в последующем в Дубне пришлось проверять и, по существу, воспроизводить заново.

Чтобы избежать подобных ситуаций, лучше всего ставить эксперименты двумя разными методами, желательнее даже в разных лабораториях. Только совпадение

результатов дает гарантию надежности. Так поступили в Лаборатории ядерных реакций, например, при синтезе курчатовия. Физики-экспериментаторы во главе с Ю.Ц.Оганесяном вычисляли период полураспада нового элемента с помощью детекторов, а химики под руководством ученого из Чехословакии Иво Звары взяли на вооружение методы быстрой химии, доказав, что атомы нового элемента являются химическими аналогами гафния, и подтвердив положительные итоги многоступенчатых экспериментов на ускорителе.

Свыше двадцати лет прошло с тех пор, и сейчас умудренные опытом профессор Юрий Цолакович Оганесян, избранный Ученым советом ОИЯИ директором Лаборатории ядерных реакций, и член-корреспондент Чехословацкой Академии наук Иво Звара вместе со своими коллегами из ряда стран ищут пути синтеза все более тяжелых элементов, продвигаясь к «острову стабильности»: как полагают теоретики, существуют такие гигантские ядра с атомными номерами где-то около 114, обладающие в отличие от своих кратковременных трансурановых предшественников большим сроком жизни.

Синтез элементов стимулировал рождение мощных ускорителей тяжелых ионов, развитие высокочувствительных тончайших методик. Это создало благоприятную почву для исследований в целом ряде других передовых направлений ядерной физики. В Лаборатории ядерных реакций, кроме синтеза трансуранов, было сделано еще несколько открытий, существенно расширивших наши знания об атомном ядре.

Исчерпав себя после первых попыток синтеза новых элементов, «реакторный» метод, выбранный на Западе, оказался менее эффективным и для получения фильтрующих материалов. Между тем интенсивные пучки тяже-

лых ионов, ускоряемых на мощных циклотронах Дубны, позволили «готовить» ядерные фильтры с уникальными характеристиками и в количестве, достаточном для удовлетворения спроса большинства потребителей, причем заметно расширилась сфера службы этих материалов.

За годы испытаний, массового применения разнообразных ядерных фильтров (с момента появления в 1974 году первых образцов) в Лаборатории ядерных реакций сложился целый архив — толстые папки с письмами из многих организаций, весьма высоко оценивающими роль фильтров в разных областях науки, техники, народного хозяйства. И все же признание приходило медленно. Поистине нет пророка в своем отечестве. Сказывалась сложившаяся у некоторых министерских чиновников инерция мышления — предпочитали покупать за валюту фильтры зарубежных фирм. Что из того, что в отличие от западных «реакторных» фильтров свои пленки, облученные на ускорителях, были намного лучше?

Директора лаборатории мягко журили в высоких инстанциях: «Скажите, ну зачем вам это надо? Что вы беспокоитесь о каких-то там фильтрах? У вас ведутся серьезные научные работы, а вы размениваетесь на мелочи:...»

И — платили огромные деньги, до тысячи долларов за квадратный метр импортных аналогов, в то время как совсем рядом уже разворачивалось, не без известного сопротивления тех же чиновников «при науке», изготовление ядерных фильтров, имеющих гораздо более широкую область применения.

Уже когда рукопись была почти закончена, еще одно подтверждение сказанному мы нашли в опубликован-

ных совсем недавно воспоминаниях об Игоре Васильевиче Курчатове. Они принадлежат известному физико-теоретику, первому директору Объединенного института ядерных исследований, члену-корреспонденту АН СССР Дмитрию Ивановичу Блохинцеву, безвременно ушедшему от нас в 1979 году. Вот что он писал незадолго до смерти:

«В нашей стране существует давно и трудно исправимая традиция — искать обоснование нового в зарубежной поддержке. Вспоминаю, как покойный Борис Львович Ванников (советский государственный деятель, в 1953—1958 гг. первый заместитель министра среднего машиностроения. — Авт.) как-то шутя сказал по поводу одного моего предложения: «Куда вы торопитесь с этой идеей, ведь Трумен еще не указал нам на нее!»

18374 ВР.  
Как хорошо знаком ученым подобный смех сквозь слезы! Нелегко было пробиваться новому через частокол непонимания, формальных обещаний и реальных проволок... И все же свежие всходы прорастают сквозь слой равнодушия, ведь за ними — будущее!

За прошедшие годы в Лаборатории ядерных реакций основано настоящее производство. Установки, специально созданные с помощью смежников-потребителей, позволяют ежегодно выпускать тысячи квадратных метров ядерных фильтров. И этого еще мало — спрос на новые материалы увеличивается день ото дня.

Давайте посмотрим, «как это делается», и сравним дубненские достижения с достижениями западных ученых и технологов.

## УСКОРИТЕЛИ ИЛИ РЕАКТОРЫ?

В экспериментах по синтезу задачи исследователей осложнялись тем, что количество искомых ядер было чрезвычайно мало. Для получения только одного атома 107-го элемента потребовалось приблизительно  $10^{16}$  ядер-снарядов. Иными словами, в синтезе участвовала лишь одна, деленная на единицу с шестнадцатью нулями, часть ионного пучка. Более низкий коэффициент полезного действия трудно себе представить. Тут меркнет даже известное поэтическое сравнение Владимира Маяковского, которое, будучи переложенным на знакомый специалистам язык цифр, означает КПД всего лишь  $10^{-6}$ !

Поэзия —  
та же добыча радия.  
В грамм добыча,  
в год труды.  
Изводишь  
единого слова ради  
Тысячи тонн  
словесной руды...

Однако существует другой, также связанный с применением тяжелых ионов процесс, где «трудится» буквально каждый ускоренный ион, и условно можно ска-

зать, что его КПД равен ста процентам. Речь идет о ядерных фильтрах.

Все мы заинтересованы, конечно, в том, чтобы наука как можно скорее приносила свои плоды. Но фундаментальные исследования не могут дать быстрой отдачи, хотя они закладывают базу научно-технического прогресса. А методика этих исследований, если она оригинальна, может найти выход в практику гораздо быстрее. И именно методика трековых детекторов была взята за основу при разработке специальных пористых мембран — ядерных фильтров. (Напомним, что трековые детекторы — это полимерные материалы, в которых осколки деления радиоактивных ядер оставляют следы — треки. С их помощью физики распознают, регистрируют редкие ядра.)

Несмотря на то, что научные аспекты здесь восходят скорее к радиационной физике и химии, чем к физике ядра, легко проследить «генетическую» связь между работами по синтезу новых элементов и развитием технологии новых фильтрующих материалов.

Все дело в поразительной способности ионов, разогнанных в ускорителях до высоких энергий, вызывать разрушения на своем пути в веществе. Эту особенность ученые заметили, когда занялись экспериментами на циклотронных пучках и понадобилось однозначно определить, каковы же «продукты» синтеза.

Для регистрации атомов, рождающихся в ядерных реакциях, использовались диэлектрические детекторы ядерных частиц. Начало их применения относится к рубежу 50—60-х годов, когда было выяснено, что тяжелые заряженные частицы создают в неорганических кристаллах протяженные дефекты, выявляемые при хими-

ческом травлении. Образно говоря, ионный луч выжигает материал, оставляя канал, заполненный «пеплом».

В 1963 году сотрудники Лаборатории ядерных реакций обнаружили в стекле эффект травления треков осколков деления. Стекланные детекторы сразу заняли свое место в экспериментах по ядерной физике.

Как тут не вспомнить знаменитое письмо о пользе стекла, которое академик российский Ломоносов адресовал графу Шувалову, покровителю наук и искусств! Облекая в изящную поэтическую форму рассуждения о многих привлекательных сторонах известного с древности материала, ученый и поэт внушает сановнику и меценату мысль о неисчисленных пользах его, в том числе и для науки:

Как много Микроскоп нам тайностей открыл,  
Невидимых частиц и тонких в теле жил!  
Хоть острым взором нас природа одарила,  
Но близок оног конец имеет сила...

Конечно, Михаилу Васильевичу не могло и присниться, что любимое им стекло найдет признание у современных физиков. Да и микроскоп-то им нужен, чтобы увидеть в стекле треки, «проложенные» осколками деления...

И уж совсем далеко ушла вперед химия, способная синтезировать полимерные материалы. Примерно тем же временем, серединой 60-х, датируется открытие американцами эффекта травления треков в полимерах.

Все три названные нами вида детекторов — неорганические кристаллы, стекло и полимеры — впоследствии были широко использованы в работах по синтезу и

изучению свойств трансфермиевых элементов и в целом ряде других ядерно-физических исследований.

Если тонкую полимерную пленку, облученную осколками деления, подвергнуть соответствующей химической обработке, например, в растворе щелочи, вытравливающей «пепел» в зоне треков до образования сквозных пор, то такая пленка превращается в высококачественный фильтрующий материал. Этот принцип был запатентован в США в 1962 году, однако своей практической реализации в заметных масштабах он ожидал десять лет.

Чем обусловлена сложность проблемы? Чтобы мембраны нового типа могли конкурировать с фильтрами других типов, необходимо добиваться в облучаемых пленках очень высокой плотности пор. Значит, дело в интенсивных потоках бомбардирующих частиц. Лучшее, что было найдено в данной ситуации американцами, — это урановая мишень, которая дает осколки деления при воздействии потоков нейтронов, выходящих из реакторов. Но тогда интенсивность потока осколков жестко лимитирована: она зависит от плотности потока нейтронов и толщины урановой мишени, а у обеих есть предел.

Максимальная плотность потока нейтронов связана с возможностями реактора и не превышает  $10^{15}$  на квадратный сантиметр за секунду; толщину мишени нельзя увеличивать из-за самопоглощения осколков в урановом материале. Что же касается ускорителей тяжелых ионов, имевшихся в то время в США, то их параметры были весьма далеки от тех, какие требуются для массового производства мембран.

Так в 70-е годы на мировом рынке появились полкарбонатные мембраны и фильтры фирмы «Нуклепор», изготавливаемые «реакторным» способом.

Говоря о продукции этой фирмы, следует подчеркнуть, что дисперсия осколков деления урана по заряду, массе и энергии приводит к различиям в интенсивности оставляемых ими разрушений. Отсюда — и определенный разброс диаметров отверстий в фильтре, особенно заметный при самых малых размерах пор. Кроме того, короткий пробег осколков деления в полимере ограничивает толщину фильтрующего материала — не более 10 микрон. С возрастанием плотности пор резко возрастает и стоимость фильтров, поэтому максимальное число пор на одном квадратном сантиметре составляет  $6 \cdot 10^8$ .

Недостатки методики «осколочного» облучения сказались на последующей судьбе мембран «Нуклепор». Их производство не стало масштабным, а круг применения в основном замкнут на аналитических задачах — контроль за загрязнениями, исследование микрофлоры и т.п.

В Дубне пошли иным путем. В 1974 г. в Лаборатории ядерных реакций было решено использовать для ядерных фильтров, как мы говорили, не реактор и урановую мишень, а ускоритель тяжелых ионов. Тяжелые ионы, несущие одинаковый заряд, с одинаковой скоростью проходя через полимер, образуют каналы радиационного повреждения с одинаковой плотностью дефектов. Последующее химическое травление превращает их в цилиндрические отверстия одного размера.

Облучение пленки на циклотроне позволяет изменять энергию и массу бомбардирующих частиц, угол их входа в полимер, а следовательно, формировать заданную структуру микрофильтра. Более того, появляется

возможность формировать и другие микроструктуры — функционально совершенно отличные от пористых мембран.

Благодаря относительно мощной интенсивности пучков на ускорителях многозарядных ионов дубненский метод в сотни раз и даже в тысячи превосходит производительность «осколочного». Например, в течение часа на ускорителе У-300 облучали от 500 до 1000 квадратных метров полимерного материала и достигали плотности треков  $10^9$  — миллиард! — на квадратный сантиметр.

Вот вам и сравнение — и по количеству и по качеству! Причем могут быть сделаны фильтры и на случай, когда нужна уж совсем высокая плотность пор.

Еще одно преимущество «ядерных» фильтров перед «осколочными» в том, что ядра ускоряемых на циклотронах ионов стабильны, а энергия их недостаточна для вступления в реакции с ядрами элементов мишени. Это значит, что активация полимерного материала при облучении полностью исключена. Сегодня, когда чернобыльская катастрофа сильно подорвала доверие к «мирному атому», все, что касается ядерных методов, должно выдерживать самую строгую экспертизу. Ядерным фильтрам никакая экспертиза не страшна.

В соревновании методов пока последнее слово — за циклотронами Дубны.

## РОЖДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Чтобы проследить все этапы производства, где задействованы ускорители, щелочные растворы, ультрафиолетовое облучение, мы с вами побываем на разных участках, побеседуем с теми, кто так или иначе занят ядерными фильтрами, оперативно дает ответы на множество задач, которые все чаще ставит практика.

Ведь это на схеме, которую вам покажут в кабинете директора, все просто, понятно, но в отделе прикладной ядерной физики Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ мы убедимся, что непрерывный процесс изготовления ядерных фильтров с заданными свойствами требует от специалистов и высочайшей квалификации, и стремления к постоянному совершенствованию методики, технологии, конструкций. Инициативно, творчески работает коллектив, много ответственных дел поручается здесь молодежи, вчерашним выпускникам технических вузов.

Устремленность в будущее — наиболее характерная черта в коллективном портрете группы, которой руководит Александр Дидык. Физики, инженеры, механики облучают пленки на ускорителях, испытывают образцы материалов на радиационную устойчивость.

Время идет, циклотронная база прогрессирует, и сейчас сотрудники группы радиационных исследований осваивают «карманный» (по сравнению со своими «старшими братьями» циклотронами) циклический имплантатор ИЦ-100. О нем речь впереди.

Пока же внимательно присмотримся к многочисленным комбинациям, сумма которых вызывает к жизни новые фильтрующие материалы. На выходе ускорителя установлен лентопротяжный механизм, с нужной скоростью подающий пленку. Для равномерного облучения всех ее участков тяжелыми ионами переменное электрическое поле с частотой 2 тысячи герц разворачивает пучок в горизонтальной плоскости. На пути пучка можно поставить различные маски и поглощающие фольги, чтобы направить, распределить треки в полимере так, как желают специалисты.

Подобная свобода обращения с материалом знакома разве что скульптору, только здесь в роли резца выступает ионный луч, и «художникам» остается лишь варьировать интенсивность ионов, скорость движения пленки, форму пучка...

Рождение современных технологий — процесс творческий. В нем как нельзя кстати оказались таланты выросших в лаборатории мастеров-умельцев, изобретателей и рационализаторов. Благодаря их активному вмешательству, например, обеспечена такая скорость движения пленки, равномерность ее намотки на валики, что из травильного устройства выходит ровный рулон. Такую лентопротяжку не грех применить в любом другом месте для сходных задач.

А чтобы у читателя сложилось верное впечатление о степени сложности рационального решения, заметим: намотать в ровный рулон предстояло не менее километра полимерной пленки толщиной немногим больше, чем, допустим, сусальное золото. И результат не заставил себя ждать — раньше у ванны постоянно дежурили два оператора, теперь операция целиком автоматизирована...

Много можно рассказывать о тех, кого ученые с полным правом называют своими соавторами. Это люди замечательного мастерства, глубоких знаний и удивительной скромности. Вот они — подлинные открытия лаборатории!

А молодые специалисты? На их счету немало авторских свидетельств. На первой Всемирной выставке изобретательского творчества молодежи в болгарском городе Пловдиве придуманный ими прибор для измерения радиуса пор — в общем-то, не столь значительный «винтик» в налаженном механизме создания ядерных фильтров — был удостоен золотой медали и почетного диплома. Прибором очень серьезно заинтересовались представители болгарских текстильных, химических предприятий, имеющих дело с пористыми структурами.

...Коллектив группы физико-химической обработки пленки разрабатывает оптимальные режимы и параметры при крупномасштабном производстве фильтров. Особенно остро стоит задача интенсификации процессов, получения фильтрующих материалов с заранее заданными свойствами.

Сначала пленку облучают ультрафиолетовым светом. В холодно-голубоватых этих лучах усиливается деградация (то есть разрушение структуры) поврежденных ионами молекул полимера, ядерные треки «проявляются» значительно быстрее, улучшается форма и повышается однородность отверстий.

Химическое травление облученных ионами полиэфирных пластиков (например, полиэтилентерефталата или поликарбоната) производится в растворах щелочей. Скорость операции регулируют изменением температуры и концентрации щелочи. Исследования показали, что в различных режимах можно придавать порам самую

разнообразную конфигурацию, варьируя в широких пределах технологические параметры химической обработки.

Так, с помощью высокотемпературного травления облученного тяжелыми ионами лавсана в разбавленных растворах щелочей создаются узкие каналы пор: в пленке толщиной 10 микрон могут образоваться поры-цилиндры диаметром 100 ангстрем.

Напротив, травление в концентрированном растворе щелочи при низкой температуре дает конусообразные поры. И угол вершины конуса тем больше, чем меньшей ионизирующей способностью обладают бомбардирующие частицы. Если травление ведут с одной стороны пленки, то получается фильтрующий материал, у которого сечение каналов пор равномерно возрастает от одной поверхности до другой.

Такая геометрия, как мы позже убедимся, может быть чрезвычайно полезной. Например, конусные поры оказывают меньшее сопротивление газу или жидкости по сравнению с эквивалентными по «проходному» диаметру цилиндрическими. Словом, комбинаций великое множество. Надо только умело ими распорядиться.

Руководитель группы Павел Апель достает материалы с тезисами доклада на научной конференции. Вот, скажем, снимок увеличенного в миллион раз разреза асимметричного ядерного фильтра. Это анизотропный фильтр с повышенной производительностью. Он ячеистой структуры, а на дне каждой ячейки — несколько пор. Методика его изготовления разработана сравнительно недавно: полимерную пленку облучают через специальную сетчатую мембрану ускоренными ионами, длина пробега которых чуть уступает толщине пленки. Дозу облучения и условия химического «вмешательства»

ва» подбирают так, чтобы полностью протравить материал до глубины, равной длине пробега ионов. После травления остаются ячейки размером до 1—2 микрон. С помощью дополнительных операций облучения и травления дно ячеек превращается в тонкий фильтрующий слой. Участки пленки, защищенные маской при первом облучении, составляют армирующую сетку и обеспечивают необходимую механическую прочность фильтра. Тем самым усиливается пропускная способность фильтра, снижается его сопротивление. Известно ведь, что скорость течения вязкой среды через капилляр и обратно пропорциональна его длине.

Тем исследований у химиков много, но здесь не тот случай, когда многотемье не позволяет сосредоточиваться на наиболее перспективных направлениях.

Процесс производства фильтров изо дня в день совершенствуется, и постоянно возникают новые задачи. Хорошие перспективы сулит, к примеру, разработка ядерных фильтров со сверхтонким селективным слоем, то есть таким, который настроен «пропускать» только молекулы определенного размера. Они могут применяться в системах с большим расходом жидкости или газа, проходящих через мембрану, но с минимальным перепадом давления — прежде всего для защиты органов дыхания от пыли, дыма.

О респираторах с такими фильтрами академик А.П.Александров отзывался весьма оптимистично: «Они превосходно фильтруют воздух, удобны в пользовании — дышать через них будет легко».

А вот и вовсе странная фотография — на ней одиноко зияет круглое черное отверстие. «Дырка» относится к последним достижениям химиков. Ряду организаций нужны фильтры со строго заданными параметрами —

так сказать, социальный заказ. Вот и медикам для анализа крови понадобились фильтры с прецизионными — очень точными в диаметре! — одиночными порами. Дело в том, что, как недавно было показано, деформируемость красных кровяных телец связана с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Лучшего диагностического теста не придумаешь! Здоровые клетки деформируются легко, а ухудшение этой их способности может привести к опасным для организма последствиям. Пришлось немало потрудиться, чтобы проделать в пленке отверстие, которое чуть меньше, чем сама клетка.

Таков качественный диапазон «продукции» специалистов-ядерщиков, обусловленный запросами заказчиков, — от миллиарда пор на квадратном сантиметре до одной-единственной!

Еще раз посмотрим на фотографию. Одиночное отверстие в пластинке — след ее облучения лишь одним ускоренным ионом (вспомним, что в физических экспериментах на атом нового элемента расходуется примерно  $10^{16}$  ускоренных частиц). Оказывается, при помощи мембран с одиночным отверстием решаются интересные задачи не только в медицине: они используются для счета, определения величины и подвижности частиц субмикронных размеров, в том числе биологических объектов — бактерий, вирусов, клеток.

Чтобы лучше понимать процессы, сопутствующие появлению фильтров, ученые постоянно накапливают знания о высокомолекулярных веществах, облученных тяжелыми ионами. (Результаты бывают любопытные и порой неожиданные.) И все потому, что им, как немногим химикам, посчастливилось проводить свои исследования на уникальных пучках тяжелых ионов.



Одно из новых направлений получения мембран с улучшенными характеристиками — направленное изменение их поверхностных свойств. Если стенки цилиндрической поры с очень малым диаметром микрона покрыть тончайшим слоем полимера, то, оказывается, такая мембрана будет обладать уже новыми свойствами. В зависимости от природы полимера можно, например, изменить водопроницаемость мембраны, ее способность удерживать одни частицы и, наоборот, беспрепятственно пропускать другие.

Подобный фильтр устанавливают между двумя растворами, один из них содержит смесь солей, а другой способен принимать из органической жидкости, которая содержится в порах мембраны, строго определенный компонент. Таким образом можно выделять из смеси определенные ионы, не трогая остальные, в один прием разделять растворы с двумя растворенными веществами.

К настоящему времени в Лаборатории ядерных реакций разработана технология изготовления ядерных фильтров с диаметром пор от десятков ангстрем до десятков микрон. Столь широкий диапазон обеспечивает возможность применения таких фильтров в различных операциях по отделению одних веществ от других, очистке рабочих сред в промышленности и многих других, без которых не обойдется современная технология.

Продукция отдела прикладной ядерной физики — рулоны ядерных фильтров. Исходный материал — лавсановая пленка, давно признанная в технике и массово выпускаемая отечественной промышленностью, — отличается механической прочностью, устойчивостью к многим растворителям и реактивам, большой радиационной «выносливостью» и, что немаловажно, дешевой.

Существуют, однако, другие полимеры, по отдельным параметрам превосходящие лавсан. Так, у разных видов полиарилатов лучшая, чем у лавсана, теплостойкость. Среди полиамидов есть рекорсмены, совершенно равнодушные к радиации. Высока химическая инертность полипропилена. Фторопласты успешно противостоят воздействию агрессивных сред.

Вот вам и еще обширное поле деятельности, новые комбинации и — новое качество мембранных материалов, столь ценное в современных технологиях. Как показали исследования, методом ядерных треков можно «проделать» микропоры в пластиках всех видов, необходимо лишь подобрать режим облучения и химической обработки.

Итак, мы познакомились с процессом создания ядерных мембран. Что же дальше?

## СКВОЗЬ «ЯДЕРНОЕ СИТО»

Из глубины веков пришло к нам это немудреное приспособление. Тысячелетиями земледельцы сеяли, жали, молотили. Чтобы испечь хлеб, зерно размалывали в муку, муку просеивали сквозь сито. Самый лучший пшеничный хлеб — ситный — пекли из муки самого мелкого помола. Одному из нас и теперь помнится вкус того, довоенного еще, ситничка.

Стремительный наш век, разлучаясь с предметами старины, расставляя их в музейных витринах, порой упорно не желает отказываться от привычных названий, обозначая ими совсем новые явления. Сначала они живут в метафорах, а потом, утрачивая свой переносный смысл, теряют связь с прообразами. И вот уже ядерные фильтры гуляют по страницам научно-популярных журналов «ядерным ситом». А что? Создатели не протестуют.

И уже не муку просеивают сквозь новые фильтрующие материалы — даже мучная пылинка кажется огромным айсбергом рядом с мельчайшими частицами, которые задерживаются, отсеиваются микропорами полумиллиметровой пленки, облученной тяжелыми ионами.

Что же «просеивают» сквозь ядерные мембраны?

Для ответа на вопрос обратимся к обсуждению на заседании Президиума Академии наук доклада о синтезе сверхтяжелых элементов и применении методов ядерной физики в смежных областях. Это историческое для мем-

бранной технологии заседание проходило в 1984 году. Оно подтвердило фундаментальное значение выполненных работ для развития новых технологий.

Академик И.В.Петрянов-Соколов подчеркнул, что ядерные фильтры обладают двумя уникальными качествами. Первое: они имеют строго калиброванные отверстия, величину которых можно варьировать в широких пределах, что особенно важно для микробиологии и медицины, где требуется очень тонкая сепарация частиц по размерам (например, когда нужно отделить патогенные микроорганизмы от вакцины). Второе важнейшее качество фильтров — их гладкая зеркальная поверхность, благодаря чему легко сбрасывать скопившийся на ней осадок, поэтому хорошо использовать такие фильтры для защиты, допустим, от угольной пыли. Необходимо разрабатывать самые различные технологии и организовывать массовый выпуск изделий на основе ядерных фильтров.

Они находят применение в производстве радиокерамики, позволяют также увеличивать поверхностное сопротивление электрических устройств, могут занять видное место в процессах изготовления кристаллов. Однако существует несоответствие между значением проблемы и масштабом ее решения. Надо незамедлительно улучшить организацию и координацию работ, отмечалось на Президиуме Академии наук. (Часть задач, наряду с поисковыми исследованиями новых образцов ядерных фильтров, и взяла на себя созданная некоторое время спустя в Институте кристаллографии АН СССР Лаборатория ядерных фильтров — дочерняя по отношению к Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Ее возглавил Б.В.Мчедlishvili. Эти практические шаги были предприняты после заседания Президиума Академии

наук при активном содействии директора Института кристаллографии академика Б.К.Вайнштейна.)

Многие знают фильтры Флерова, сказал академик А.М.Прохоров, но нужна более широкая информация о предоставляемых ими возможностях. Может быть, следует издать большим тиражом специальный буклет.

Высоко оценил новые фильтрующие материалы академик А.П.Александров. По его словам, сейчас уже реально наладить производство ядерных фильтров на многих ускорителях Советского Союза, без ущерба для проводимых там научных экспериментов. Трудно переоценить роль фильтров в борьбе с профессиональными заболеваниями, вызванными попаданием в легкие вредных веществ, например, при добыче угля, кремнистых пород. Они могут оказаться полезными для предупреждения стафилококковой инфекции. Незаменимы, как уже отмечалось, в микробиологической технологии. Наверняка дадут впечатляющий эффект в системах обессоливания воды.

А.П.Александров высказал мнение о том, что Академии наук надо организовать небольшое производство ядерных фильтров различных модификаций для науки и техники. Он поздравил докладчика — Флерова — и весь его коллектив с крупным успехом.

Это обсуждение еще раз показало, что в Лаборатории ядерных реакций идут по верному пути. Ведущие советские ученые наметили чрезвычайно широкий круг применения новых фильтрующих материалов.

Главная «работа» ядерных фильтров сегодня — в области микроэлектроники. На их основе создается «мембранный щит», который надежно очистит технологические среды, употребляемые в этой сверхчистой отрасли, от любых примесей.

Вряд ли кому-нибудь нужно доказывать, что без электроники немислим дальнейший прогресс науки и техники, а значит, и новые качества окружающего нас рукотворного мира. Но далеко не все понимают, что в электронике в течение последних 15—20 лет произошла своя научно-техническая революция, вызвавшая к жизни бурно развивающееся любимое дитя конца XX века — микроэлектронику.

Даже неспециалист, решивший сравнить начинку таких относительно простых устройств, как радиоприемник или телевизор, сделанных в середине нашего столетия и сегодня, поймет, что «обычных» электронных компонентов уже не стало. Появилось нечто новое, и называется это явление — интегральная схема. Она оказалась сродни элементарным частицам в ядерной физике — тем же универсальным «кирпичиком», который лежит в основе всякого сколь угодно сложного и совершенного творения.

Современные интегральные схемы объединили в крохотном кристалле полупроводникового кремния размером менее одного квадратного сантиметра от сотни тысяч до миллиона элементарных функциональных устройств электроники. Специалисты утверждают, что уже близок день, когда на единой кремниевой пластине диаметром 15—20 сантиметров разместится несколько сот миллионов взаимосвязанных микроскопических компонентов. Это означает, что если сегодня микроэлектроника способна на кусочке кристалла «смонтировать» любую самую сложную часть мощной вычислительной машины (ее память, центральное вычислительное устройство — процессор, схемы ввода-вывода информации), то завтра мы станем свидетелями рождения ЭВМ — интегральной схемы. Причем не простейшего

варианта типа калькулятора (такие давно существуют), а супермашины, еще недавно занимавшей оборудованное для нее большое помещение.

И совсем уж узкому кругу специалистов известна «страшная» профессиональная тайна: могучий гигант по имени «микроэлектроника» необычайно уязвим для крохотных микрочастиц вещества — пылинок, бактерий и их фрагментов, следов растворенных солей металлов и т.д. Одной прозаической бактерии coli, обитающей в воде, величиной около 0,2 микрона (в сотни раз меньше толщины человеческого волоса!) достаточно, чтобы полностью вывести из строя современное чудо — интегральную схему еще при ее производстве. А дальше... Нетрудно представить себе потери, которые эта совершенно безопасная для наших с вами организмов бактерия нанесет суперкристаллу в будущем...

Бактерия убивает компьютер. Между тем микроорганизмы в водопроводной (очищаемой!) воде — до сотен тысяч в литре, и в благоприятных условиях они быстро размножаются. Добавьте сюда миллионы (!) пылевидных частиц в литре воздуха даже внутри зданий. Не забудьте, что и некурящий человек при каждом выдохе выделяет в окружающее пространство тысячи субмикронных частиц, а когда мы движемся, наша одежда генерирует в минуту более двух миллионов микрочастиц.

Итак, конец микроэлектронике и научно-техническому прогрессу? Нет. Выход, к счастью, найден. Искусственные полимерные мембранные фильтры взяли на себя надежную защиту интегральных схем на всем их долгом и сложном пути — от исходных материалов до сборки и герметизации. В совокупности с комплексом других физико-химических методов поддержания высочайшей чистоты жидких и газообразных сред, окружаю-

щих интегральную схему, в производственном процессе мембранной фильтрации отведена финишная и самая ответственная роль — быть последним барьером, не пропускающим микрочастицы к столь уязвимому кремниевому кристаллу.

«Ядерные мембраны», по сумме своих свойств идеальные или, если хотите, «абсолютные» поверхностные фильтры, как никакие другие материалы, больше всего подходят для задач гарантированной финишной очистки технологических сред в микроэлектронике. Первое их появление, однако, не стало триумфом, так как зарубежные мембраны типа «Нуклепор», рожденные при ядерных реакторах, были как мы уже знаем, слишком дороги для массового применения. К тому же они выпускались по ряду причин только в виде дисковых фильтров площадью не более 0,1 квадратного метра малой производительности для лабораторных препаративных и аналитических целей.

Свечевые же патроны из ядерных фильтров, изготавливаемые нашей промышленностью, имеют площадь рабочей поверхности около 0,6 квадратного метра и производительность свыше 250 литров чистой воды в час. Они компактны, удобны и могут быть полезны кроме микроэлектроники в других областях народного хозяйства. Во многих случаях для очистки газовых сред ядерные фильтры целесообразно использовать в сочетании с лучшими из существующих химических фильтров — фильтрами из «ткани» академика И.В.Петрянова-Соколова.

Разработка и освоение в Лаборатории ядерных реакций опытно-промышленного выпуска отечественных «ядерных мембран» с помощью технологии облучения полимерных пленок тяжелыми ионами позволили полу-

чить достаточно дешевый и однородный материал в виде лент.

В середине 80-х годов электронная промышленность на основе этого материала сумела успешно внедрить в производство и научно-исследовательскую практику эффективные финишные мембранные фильтры для особо чистой воды и специальных технологических газов.

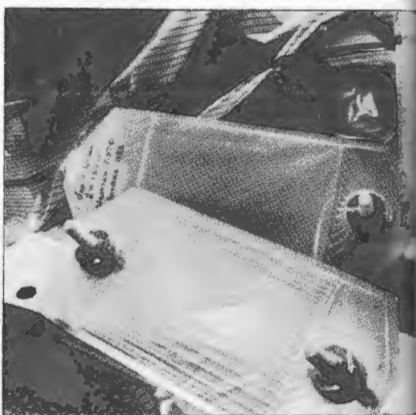
Таким вот неожиданным образом ускоренные до высокой энергии тяжелые ионы сослужили неоценимую службу развитию микроэлектроники. А физики вновь доказали, что «есть еще порох в пороховницах», когда надо надежно защитить нечто очень важное.

В этом здании  
ЛЯР в 60-е годы  
начинались рабо-  
ты по синтезу  
сверхтяжелых эле-  
ментов и приклад-  
ные исследования



Начало 60-х го-  
дов. Монтаж ус-  
корителя У-300,  
на котором выпол-  
нены первокласс-  
ные научные и  
прикладные иссле-  
дования

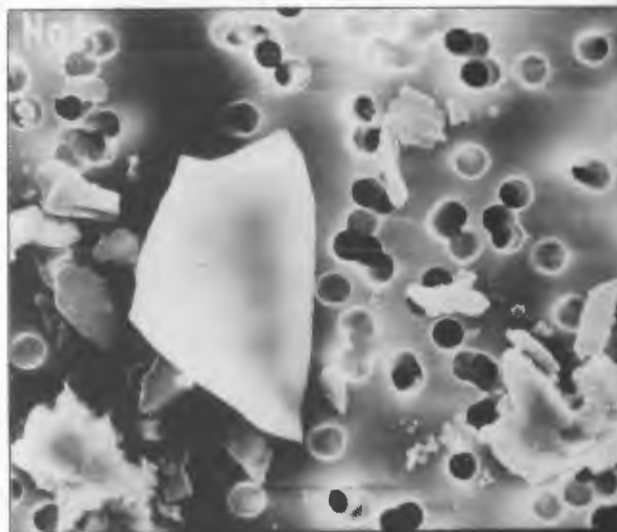




Фильтры тонкой  
очистки техно-  
логических сред

От «чистых» ком-  
нат в микроэлект-  
ронной промыш-  
ленности до одно-  
разовых шприцев  
— таков диапазон  
применения ядер-  
ных мембран

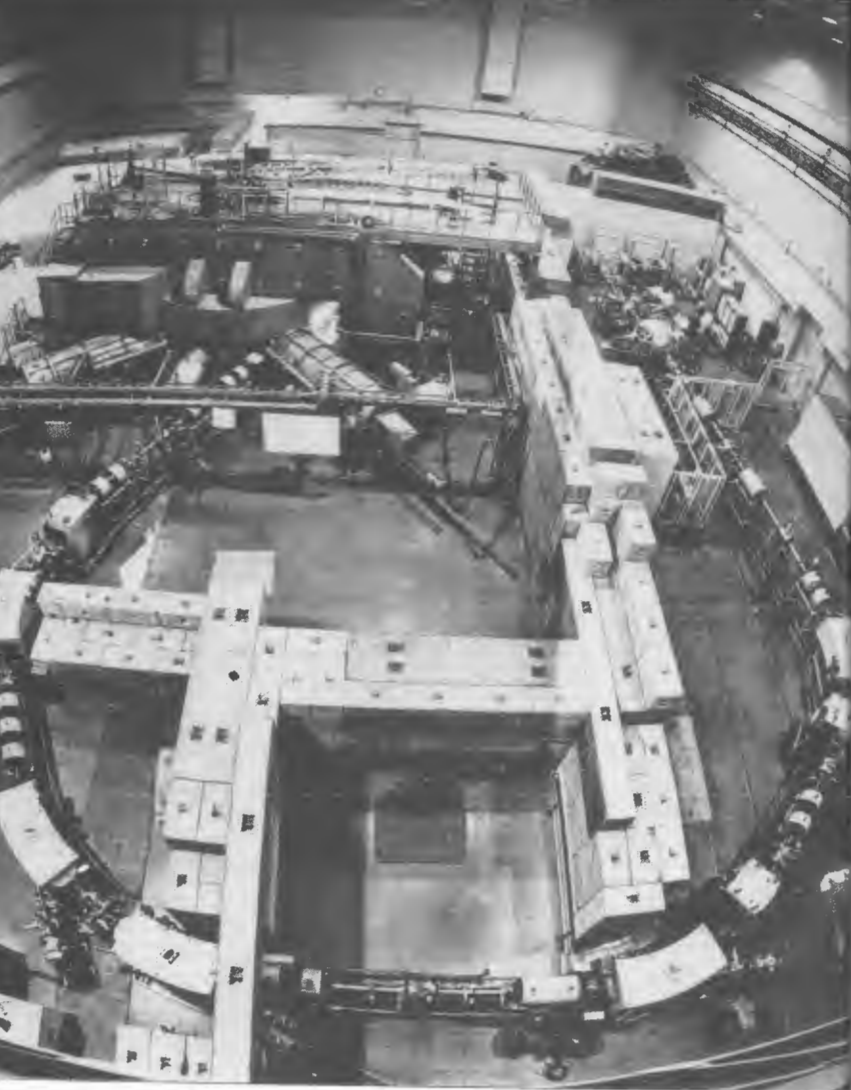
Микроскопки  
стекла на мембра-  
не шприца



15KV

X5,000

1µm WD14



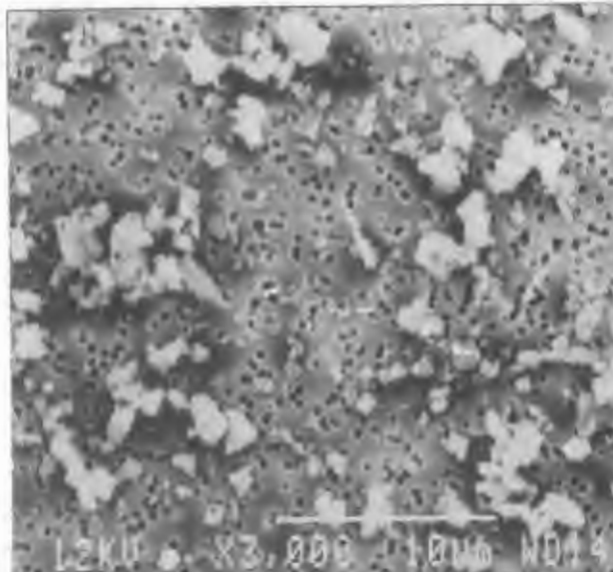
В зале ускорителя У-400М. Здесь развиваются новые ядерно-физические исследования и будут облучаться полимерные пленки для получения ядерных мембран



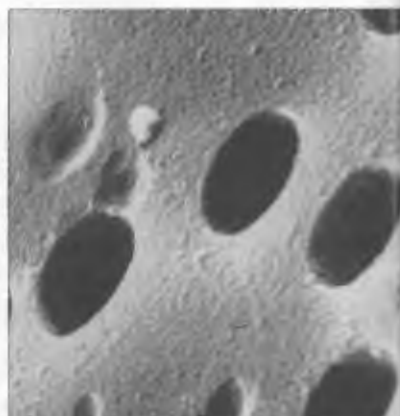
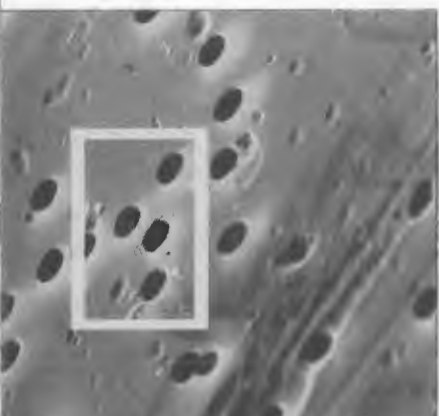
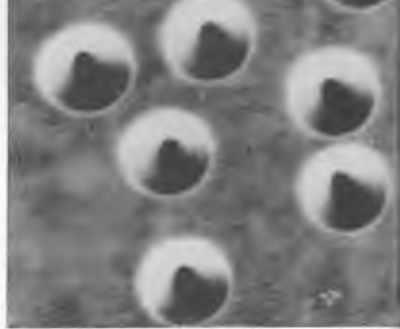
Е.Д.Воробьев начинал работать с академиком И.В.Курчатовым. Науке отдана вся его жизнь, а последние годы он много занимался использованием ядерных мембран

В зале ускорителя У-400

Микрочастицы пыли на поверхности фильтра респиратора







## ТЕСТ НА СПИД И «ИСКУССТВЕННОЕ ЛЕГКОЕ»

География распространения по территории Советского Союза новых фильтрующих материалов, изготовленных по самой совершенной технологии, исключительно широка — «от Москвы до самых до окраин». Их потребители — более ста организаций, от НИИ и учебных институтов до научно-производственных объединений.

Широка и география сотрудничества специалистов, занимающихся совершенствованием ядерных фильтров. К примеру, вместе с сотрудниками Харьковского физико-технического института низких температур в Дубне разработали слоисто-вакуумную теплоизоляцию на основе металлизированных ядерных фильтров. Участвовали в этом также ученые и инженеры Латвии — в Риге были созданы нужные установки.

Коэффициент теплопроводности многослойных пакетов из металлизированных ядерных фильтров оказался существенно ниже, чем у экранно-вакуумной теплоизоляции из перфорированных металлических пластин. Такое преимущество особенно ценно в криогенных системах, в частности, в сосудах для жидкого газа — гелия, водорода, в системах глубокого охлаждения, действующих на отвердевших газах.

Для промышленных процессов очистки вирусов в Ленинградском политехническом институте сконструировали

ровали аппараты-держатели ядерных фильтров, которые обеспечивают высокую эффективность приготовления вирусных суспензий.

Что еще сулят медикам мембранные технологии с присутствием ядерных фильтров, если внимательно разобраться в проблеме? На одном из проходивших в Дубне совещаний возникла оживленная дискуссия. Академик АМН СССР Ю.М. Лопухин, выступивший с докладом о роли ядерных фильтров в фильтрации и консервации донорской крови, отметил:

— Я убежден, что любая современная наука не может развиваться изолированно. То же самое правомерно сказать о медицине, одной из синтетических наук. С дубненцами у нас уже давние связи — мы хотим использовать их фильтры для целей медицины, отделения форменных элементов крови от плазмы. Мне кажется, данное направление очень перспективно, оно способно вырасти в целую область новой медицины, которую мы называем гемофильтрацией. Успешное внедрение научных достижений в практику возможно только при комплексном подходе. Я не верю в одиночек, не верю в изолированные решения. Поэтому надеюсь, что наши контакты с физиками и учеными других специальностей будут расширяться и крепнуть. Мы благодарны сотрудникам Лаборатории ядерных реакций за то, что они так быстро и активно откликнулись на самые актуальные задачи.

Незаменимы ядерные фильтры в процессах концентрирования, предварительной фильтрации и очистки суспензии вирусов и вакцин. В составе большого авторского коллектива вместе с уже знакомым нам Б.В. Мчедlishvili из Института кристаллографии АН СССР начальнику отдела прикладной ядерной физики ЛЯР Вла-

диславу Ивановичу Кузнецову присуждена премия Совета Министров СССР — за разработку специальных ядерных фильтров для нового типа вакцины против клещевого энцефалита с повышенной иммунологической защитой и выход препарата в серийное производство. Вот что рассказал Кузнецов:

— Как известно, во всякой противовирусной вакцине содержится много инородных тел, например, клеток белков. Отделить посторонние компоненты от вирусов могут лишь фильтры с поистине ультрамикроскопическими порами — диаметром 0,05—0,1 микрона. Кроме того, в них должно быть громадное число отверстий — несколько миллиардов на один квадратный сантиметр. Это в десятки раз превосходит плотность пор промышленных мембран, выпускаемых на Западе. Полученные в Дубне фильтры просто идеальны при производстве нового типа вакцины против клещевого энцефалита, которая значительно увеличивает силу иммунитета, сохраняет здоровье и жизнь изыскателей, первопроходцев тайги.

Сейчас отработаны технологические режимы очистки и концентрирования препаратов вирусов гриппа, бешенства, причем новые вакцины оказались в 10—20 раз эффективнее своих предшественниц.

Уже сегодня ядерные фильтры с диаметром пор около 0,1 микрона помогают очистке и концентрированию препаратов вируса СПИДа, используемых в системах диагностики синдрома приобретенного иммунодефицита — этой «чумы XX века», которая представляет собой серьезную опасность для человечества.

Кстати, это черта, свойственная деятельности Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и Лаборатории ядерных фильтров Института кристаллографии, — здесь газетные сенсации воспринимаются как данность вчераш-

него дня, потому что каким-то неведомым образом ученые ухитряются упреждать новости и оказываются в центре событий, находя свои способы воздействия на неведомые пока большинству людей явления...

Почему же столь важны для решения одной из глобальных проблем современности новые фильтрующие материалы?

Традиционными сетчатыми мембранами химического происхождения выделить вирус СПИДа не удается, так как он застревает в сильно разветвленной поверхности пор (в грамме таких мембран — до ста квадратных метров поверхности). Вирус вступает во взаимодействие с материалом мембраны, и оторвать его уже невозможно. В ядерных же фильтрах сетка пор не хаотическая, а более упорядоченная, поверхность пор значительно меньше. Вирус легче отделить, и в результате очистки он не повреждается.

Технологию выделения (очистки и концентрирования) инактивированного вируса СПИДа с помощью дубненских фильтров разработали сотрудники Института кристаллографии имени А.В.Шубникова АН СССР, Института вирусологии имени Д.И.Ивановского АМН СССР и Московского института вирусных препаратов Минмедбиопроба СССР.

— Темпы диктовались потребностями общества, — рассказывает Борис Викторович Мчедлишвили. — Раньше технология выделения вакцины против клещевого энцефалита отняла около пяти лет. А сейчас нашим коллегам-вирусологам и нам понадобилось полгода. Это при том, что надо было выделить из суспензии только вирусы, которые составляли одну десятитысячную процента.

Участники «аврала» продемонстрировали высочайшую культуру эксперимента, пройдя почти в немости-

мые сроки через все этапы — от идеи до получения препарата. Достаточно сказать, что для решения поставленных задач потребовались фильтры с очень точными по диаметру порами. Их допуски в пределах заданного размера — 0,1 микрона не должны были превышать 5 процентов.

Свои усилия объединили специалисты в области ядерной физики, физики твердого тела, химической технологии, биотехнологии, вирусологии. Мы полностью исключили всякую бумажную возню — оказывается, можно обойтись без бюрократии. И такое содружество ученых, вдохновленных благородной идеей служения человечеству, дало уникальные результаты!

Все без исключения лекарственные препараты и многие пищевые продукты могут быть очищены с помощью мембранных процессов. На финишных операциях выпуска ряда лекарственных средств микрофильтрация действует уже давно. Прежде шли в дело импортные мембраны — теперь в основном отечественные. Используется и ультрафильтрация — преимущественно для аналитических целей и наработки небольших пока партий новых препаратов.

От внедрения этих технологий ожидается экономический эффект в миллионы рублей, а главное, переход на «мембранную» очистку антибиотиков обеспечит ей кардинально иной технический уровень. Обнадеживающими, с точки зрения медиков, выглядят в текущей пятилетке и перспективы, связанные с ядерными фильтрами.

На чем же основан такой оптимизм? Важнейшая проблема в производстве медицинских препаратов — контроль за их стерильностью. Соответствующие приборы, называемые «Стеритест», приобретаются сейчас за

рубежом, а потребность в них велика. Экспериментальная проверка, проведенная во Всесоюзном НИИ антибиотиков, показали, что подобные устройства можно изготовить на основе ядерных фильтров. В приборах «Стеритест» они гораздо целесообразнее, чем традиционные мембраны «Миллипор».

Сейчас на Западе широко применяются так называемые индивидуальные насадки на шприцы одноразового пользования, для того чтобы лекарственные средства очищались во время инъекций. Это метод оказался весьма надежным, но и весьма дорогим. А в Дубне предложили образцы многоразовых, разборных насадок с мембранами из ядерных фильтров, которые успешно прошли испытания. Опытные партии уже осваиваются промышленностью.

Разработали, предложили, испытали... Кажется, наш рассказ несколько грешит глаголами совершенного вида. И чтобы читатель получил представление о «терниях и розах» на пути от идеи до внедрения, мы познакомим его еще с одним действующим лицом.

Понадобился не один год, прежде чем начальнику сектора отдела прикладной ядерной физики Евгению Дмитриевичу Воробьеву было выдано «добро» на изобретение — респиратор на основе ядерных фильтров. И не просто респиратор, а диффузионный.

И Кузнецов и Воробьев работали вместе с Курчатовым. Не случайно именно они возглавляют теперь в лаборатории решающие участки создания ядерно-физических технологий. Школа замечательного ученого научила их идти неизведанными путями, во что бы то ни стало добиваться осуществления поставленных задач, какими бы сложными они ни были, полностью отрешаться от

всего второстепенного во имя достижения цели. Так выковывались специалисты высочайшей квалификации.

Задача была сформулирована предельно ясно: найти способ применения ядерных фильтров для защиты органов дыхания людей, которые трудятся в условиях повышенной загрязненности воздуха. В открытых карьерах горняки окутаны клубами пыли. Эта пыль вызывает тяжелую болезнь — силикоз. Волокнистые фильтры Петрянова-Соколова — хорошая защита, но при избытке влажности нарушается электростатичность, частицы хуже прилипают к фильтру, и пыль все-таки попадает в органы дыхания. Повторение принципа прямой фильтрации, очень эффективного для волокна с его пористостью 80 процентов, для ядерных фильтров, где поры занимают лишь около десятой части поверхности, — вряд ли приемлемо. Попытались использовать тонкие пленки, но технология их изготовления была тогда чересчур сложной.

Старый принцип явно не годился... А если отказаться от фильтрации вообще? Если воздух для дыхания замкнуть в объеме мешка из ядерных фильтров? Евгений Дмитриевич изучал когда-то теорию диффузионного разделения изотопов. И хотя с тех пор прошел не один десяток лет и было решено немало сложных вопросов совсем в других, даже не смежных областях науки и техники, — надо же, когда вспомнились добросовестно проштудированные в свое время основы этой дисциплины, явно не вмещающейся в сухое определение энциклопедии (диффузия — взаимное проникновение прикасающихся веществ в результате молекулярного движения). Сработают ли диффузионные принципы в новом респираторе, чьи контуры уже забрезжили в воображении?

Евгений Дмитриевич сел за расчеты. Толщина пленки — 10 микрон. Это путь, который предстоит пройти молекулам газа через поры фильтра. Эквивалентная толщина слоя воздуха — примерно десятая часть миллиметра... Получается, через квадратный метр фильтра (при разности концентрации кислорода внутри мембраны и снаружи в одну десятую процента) проходят две десятых литра кислорода в минуту. Человек вдыхает за минуту литров 20 воздуха, расходуя всего около 25 кубических сантиметров кислорода в секунду.

Еще и еще проверить... Так, площадь «искусственного легкого» (как потом окрестят в лаборатории респиратор Воробьева) должна быть в четверть квадратного метра, объем газа в нем — примерно три литра. Человек вдыхает воздух, усваивая кислород, выдыхает углекислый газ; изменения концентрации этих газов в «искусственном легком» создают условия для диффузионного обмена, поддерживая состав воздуха, пригодный для дыхания. В таком режиме поры фильтра не забиваются пылью при любом уровне загрязнения атмосферы, любой влажности. И внутрь «искусственного легкого» не попадут никакие аэрозоли.

Когда Евгений Дмитриевич проделал все расчеты и понял, что новый принцип фильтрации должен работать, он позвонил в свою группу и попросил склеить «подушку» из ядерных фильтров. Пошел в лабораторию, взял соединительную трубку, погрузил ее в «подушку», дышал — легко, будто и фильтров нет. Не поверил себе. Попробовал дышать через обычный полиэтиленовый мешок.

Не тут-то было!

Очень смущали его на первых порах простота и очевидность решения, не имеющего аналогов в практике

применения фильтрующих материалов. Ведь этот принцип знаком, наверно, каждому из нас. Кто, засыпая, не натягивал на себя простыню, спасаясь от комариных атак? Не накрывался с головой в детстве, чтобы при свете электрического фонарика прочесть тайком несколько страниц увлекательной книжки? И что же, разве мы задыхались? Воробьев уточняет — процентов десять воздуха просачивается в подобные «убежища» непосредственно, остальное — результат диффузии молекул газа.

Почему же никто не придумал этого раньше? Собственно, такой вопрос можно задавать всякий раз, когда появляется новое, неожиданное видение любой проблемы.

А ко времени ли оказалось это изобретение? Еще как! Кроме своего непосредственного назначения — защиты органов дыхания, респиратор, в силу уникальной особенности, позволяющей поддерживать в рабочем объеме постоянную микроатмосферу, может быть незаметным в ряде исследований по биотехнологии. В одной из самых «стерильных» отраслей промышленности — микроэлектронике респиратор обеспечит атмосферу идеальной чистоты. Подумайте еще раз, товарищи курильщики, — ведь только один ваш выдох способен на сутки вывести из строя целое производственное помещение, где рождаются микросхемы. И то, что на некоторых предприятиях (и не только в микроэлектронной промышленности) некурящим работникам устанавливают прибавку к жалованью, — совсем не филантропия. Элементарная забота о завтрашнем дне...

Опытные образцы респиратора прошли испытания в аварийно-восстановительных работах на Чернобыльской атомной электростанции. Эти испытания вместе с директором лаборатории проводили Е.Д.Воробьев,

В.Д.Шестаков, В.Н.Покровский, Н.И.Житарюк и другие сотрудники. Одним из первых поехал в Чернобыль механик Г.Н.Сорокин, а вскоре прислал в Дубну письмо, которое опубликовала институтская газета. В письме были такие строки: «Наши респираторы здесь очень нужны». Рассказывая о том, с чем он столкнулся в экстремальных условиях, автор письма не забыл о делах и заботах коллектива, направившего его в Чернобыль.

Но все-таки респиратор Воробьева — это не маленькая противогазовая коробка, уже не говоря о «лепестке» на основе фильтров Петрянова-Соколова, всего лишь закрывающем рот и нос... И в силу конструктивных особенностей, слабой защищенности пленки от механических повреждений сфера его применения пока довольно ограничена. «Искусственное легкое» (вспомните, площадь фильтров должна быть не менее четверти квадратного метра) — нечто вроде ранца за плечами, соединенного с маской на лице гибким шлангом. Для подвижных работ он, прямо скажем, не очень приспособлен. Однако, допустим, для дежурных смен на атомных станциях, целого ряда других профессий диффузионные респираторы могут оказаться крайне полезными. И уже заведомо нужны они в клинических операционных кабинетах.

И тест на СПИД, и «искусственное легкое» — все это звенья одной цепи превращений «ядерного сита», восходящей ко все более сложным технологиям завтрашнего дня.

## «МЕМБРАННЫЙ ЩИТ» ВСЕМ НУЖЕН

Как мы говорили, «продукцию» физиков ждут на многих предприятиях, связанных с мембранными технологиями. Это одно из приоритетных направлений научно-технического прогресса, которое обещает дать, по оценкам некоторых специалистов, уже в этом году экономический эффект около миллиарда рублей. Но, кроме экономического, нельзя не учитывать и социальный аспект — оздоровление производств.

Вряд ли реально рассказать все о мембранных технологиях сегодня и в ближайшей перспективе. Важно только понять, что это очень прогрессивные, прямо-таки революционные технологии, позволяющие значительно, а то и многократно повысить производительность труда. Плюс экологическая чистота. Плюс рациональное использование сырьевых ресурсов. Плюс безотходность... Не случайно этому направлению сейчас придается особое значение: в работе по созданию и практическому воплощению данных технологий примут участие предприятия тридцати министерств и ведомств, а МНТК «Мембраны» стал одним из первых в стране межотраслевым научно-техническим комплексом.

Ядерные фильтры уже вышли на космические орбиты. 26 июля 1987 года «Правда» поместила материал, посвященный технологической программе советско-сирийской космической экспедиции. Сирийских ученых интересовали прежде всего те эксперименты, которые

могут дать ощутимые практические результаты. Например, по космическому материаловедению, заметно обогатившему земную технологию.

Идея выращивания кристаллов из водных растворов получила свое воплощение в многогранном эксперименте «Пальмира». Он был важен ученым, потому что позволял с точки зрения физики невесомости понять процесс образования довольно большого количества мельчайших кристалликов, иначе говоря, массовой кристаллизации.

Но осуществить столь любопытное предложение оказалось не так-то просто. В невесомости самая элементарная операция вырастает в сложную проблему. Решение нашлось довольно оригинальное. Взяв пару медицинских шприцев, экспериментаторы соединили их пластиковой трубкой с зажимом от капельницы. На земле шприцы заполнялись растворами разной концентрации, в космосе оставалось лишь открыть замок, произвести два-три движения поршнем — и материалы перемещены. Исходные растворы должны быть тщательно очищенными. Это удалось благодаря уже знакомым нам совершеннейшим ядерным фильтрам, изготовленным в Дубне.

Потребности в фильтрах растут из года в год. И не только в нашей стране, как показало проведенное в Дубне совещание по перспективам сотрудничества специалистов в области разработки и создания ядерных фильтров и радиационного материаловедения.

— «Тяжелоионная индустрия», — констатировал доктор Ханс Бернхард Люк из ГДР, один из ведущих ученых Центрального института ядерных исследований в Россендорфе, — переживает в настоящее время столь бурное развитие, что трудно стало следить за ее новыми

достижениями. Существенному прогрессу здесь способствовало бы объединение усилий всех заинтересованных научно-исследовательских и промышленных организаций.

— Такое объединение, — продолжил нашу беседу профессор Милан Виндушка, заместитель директора Института ядерной физики Чехословацкой Академии наук, — помогло бы преодолеть некоторую «монохроматичность» науки Дубны. В наших странах есть хорошие возможности привлекать к этим работам специалистов разного профиля.

Большую потребность в ядерных фильтрах испытывают в Социалистической Республике Вьетнам, о чем поведал на семинаре в Институте кристаллографии АН СССР президент Академии наук СРВ профессор Нгуен Ван Хьеу (кстати, он долгое время провел в Дубне и недавно стал лауреатом Ленинской премии).

Вьетнамские ученые решают целый комплекс экологических проблем, оставленных в «наследство» опустошительной войной, и, восстановить равновесие в природе удастся еще не скоро. Множество людей трудятся на плантациях гевеи — благородного растения-каучуконоса, из которого получают латекс, столь необходимый в технике и технологии. Но вода в джунглях Южного Вьетнама, где произрастает эта культура, из-за насыщенности микроорганизмами совершенно непригодна для питья. Лишь тщательная ее фильтрация с помощью ядерных фильтров на конечном этапе очистки позволит удовлетворить потребности населения. И ученые Вьетнама заинтересованы в том, чтобы развернуть у себя в полном объеме технологию использования ядерных фильтров.



Петр Златков, ведущий сотрудник предприятия научного приборостроения Болгарской Академии наук, предложил такую форму сотрудничества: полимерные пленки, облученные на ускорителе в Дубне, передаются для химической обработки болгарским специалистам. Да и их коллеги из других стран охотно примут подобный вариант.

На заре своей деятельности Объединенный институт ядерных исследований стал одним из первых научных центров, где развивалась «физика на расстоянии»: ядерные фотоэмульсии, облученные в пучках синхрофазотрона — самого большого ускорителя Дубны, пересылались в лаборатории мира, там обрабатывались, измерялись следы взаимодействий, запечатленные на фотопластинках, а затем научные результаты сравнивались. Так ученые получали очень важные сведения о жизни элементарных частиц. В лучах «светоносной» науки рождались исследования в области физики высоких энергий. Наука же «плодоносная» и здесь не прочь позаимствовать не только методы, но и организационные формы сотрудничества.

Специалисты из разных стран не зря заговорили об объединении усилий — тому уже есть хорошие примеры. Скажем, отлаженное в Центральном институте ядерных исследований в Россендорфе, под Дрезденом, производство ядерных фильтров с «подачи» дубненских коллег. И некоторые оригинальные методики, разработанные в Дрездене, уже берутся на вооружение в Дубне...

Ясно, что проблема переросла рамки одной страны. Во всех странах-участницах Института бурно набирает темп радиоэлектроника, ведутся исследования в области биотехнологии, без фильтров не могут обойтись в медицине, пищевой промышленности, в деле охраны окружа-

ющей среды. Потребности растут из года в год, а пока Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ остается основной базой для создания «ядерных» фильтрующих материалов. Отсюда — огромная нагрузка на людей, высочайшие требования к технике и технологии.

Задачи стоят немалые — расширить производство ядерных мембран, наладить их передачу всем заинтересованным сторонам. В Дубне имеют возможность выпускать миллионы квадратных метров фильтров, но, например, в 1988 году выдали 80 тысяч, и ряд организаций оказался на голодном и полуголодном пайке.

Фильтры, предназначенные для очистки от пыли и микроорганизмов рабочих сред в электронике, изготавливаются в условиях, не только далеких от идеальных, необходимых столь тонкой продукции, но и вовсе неприемлемых. Надо построить специальное помещение, а это уже сверхпроблема для бюрократа, равнодушного к потерям какой-то там «не его» валюты. Есть и некоторые другие «жизненные» трудности, мы еще поговорим о них, пока же вспомним о самих вездесущих ионах.

Фильтрами не исчерпывается арсенал методов, разработанных физиками. Чтобы в полной мере оценить некоторые из них, нам придется посмотреть на экран электронного микроскопа и проследить за очень полезными ядерными треками...

## В ЛУЧАХ МИКРОСКОПОВ

Наука располагает сегодня таким инструментальным вооружением, какое и присниться не могло фантастам прошлого. Гигантские ускорители частиц высоких энергий часто называют микроскопами для наблюдения за самыми малыми объектами природы. Это один из парадоксов науки: ради проникновения в тайны элементарных «кирпичиков» мироздания нужно создавать ускорители весом в тысячи тонн — настоящие фабрики, предназначенные для исследования свойств мира, не доступного никакому, даже сверхчуткому электронному микроскопу.

В Лаборатории ядерных реакций микроскопы — оптические и электронный, наряду с ускорителями тяжелых ионов, служат для поиска сверхтяжелых элементов в природных образцах и для прикладных работ, для изучения структуры материалов в радиационном материаловедении и для прогнозирования будущих «умений» тяжелоионной артиллерии.

Дело в том, что «залпы ионных пушек» — эффективное средство ионной имплантации, нового направления в использовании тяжелых ионов. Что касается перспектив, то ионные пучки сейчас примерно в таком же положении, в каком были когда-то световые пучки, генерируемые лазерами. Обо всем этом и пойдет речь.

Трековые детекторы для науки и ядерные фильтры для практики — важнейшие, но все же лишь частные

приложения метода ядерных треков. Возможности тяжелых ионов в преобразовании структуры твердых тел в действительности гораздо шире, что наглядно подтверждают и эксперименты, проводимые в ФРГ. Западногерманские ученые не располагают столь интенсивными пучками ионов, которые есть в Дубне, однако им удалось показать вероятность решения ряда технологических задач.

Известно, например, что многие свойства материалов определяет строение их поверхности. В высоковольтной технике существует проблема пробоя поверхности изоляторов. Выяснилось, что если диэлектрический материал облучить тяжелыми ионами и подвергнуть соответствующей обработке, то его поверхность разделится на множество отдельных «островков». При этом сопротивление поверхности возрастет в сотни раз, значительно повысится напряжение пробоя. Применение подобного рода изоляторов особенно понадобится в условиях вакуума, где на состояние поверхности не будут влиять пыль, вода и т.д.

Другой пример направленного изменения свойств поверхности материалов благодаря «вмешательству» ядерных треков — управление коэффициентом отражения. Если на поверхности сформировать множество неровностей размером меньше длины световой волны, то отражение ею света ослабнет во много раз. Такая текстурированная, «перепаханная» ионами поверхность может рассматриваться как тонкая пленка с меняющимся в пространстве показателем преломления. Откуда она берется? После облучения большим потоком ионов и не продолжительного химического травления. И специалистам-оптикам, и фотолюбителям, ценящим просветлен-

ные линзы и объективы, это дает колоссальные преимущества!

Ионное облучение существенно увеличивает силы сцепления между материалами, для чего нужны скрытые (непроявленные) треки. К примеру, полимерные смолы при старении часто разрушаются из-за ухудшения сцепления между волокнами и полимерной матрицей. Столь нежелательный процесс характерен для электроизоляторов, состоящих из термопластика и стекловолокна.

И здесь тоже приходят на помощь ядерные треки. Сцепление между компонентами изоляции заметно усиливается, если создать на поверхности пластика множество взаимно пересекающихся треков. Фотография такой поверхности напоминает соты, только не с параллельными, а с перекрещивающимися ячейками.

Сейчас в электротехнике наблюдается тенденция к замене источников электронов с нитью накаливания источниками с полевой эмиссией — холодными катодами. Их яркость должна быть намного выше. Для холодного катода очень важно добиться самого малого радиуса кривизны при вершине микроигл. Чем острее игла, тем лучше эмиссия электронов. В Дармштадте (ФРГ), в научном центре, где ведутся исследования с помощью тяжелых ионов, предложили и в данном случае воспользоваться методом ядерных треков.

Металлическая реплика (маска), снимаемая с поверхности, в которой вытравлены конусообразные треки, представляет собой множество игольчатых образований с радиусом кривизны при вершине около одной сотой микрона. Причем площадь источника можно сделать очень большой (сотни квадратных сантиметров), и плотность испускающих электроны конусных микроигл со-

ставит десять миллионов на квадратный сантиметр. Тогда плотность тока электронов будет измеряться несколькими амперами на квадратный сантиметр.

Специалистов-электротехников, конечно, восхитят результаты, но, наученные горьким опытом, они не поверят в скорое массовое внедрение выставочных образцов... Подождем пока с выводами и мы.

Электронная микрофотография холодного катода, изготовленного методом ядерных треков, внушает уважение. Удивительно, сколь малых размеров эти игольчатые светлые наросты на шероховатой поверхности металла...

Аналогичным способом, подавая положительный потенциал на систему игольчатых образований, можно создать эффективный источник однозарядных положительных ионов — «инструмент» сканирующей электронной микроскопии. Интересная разновидность — так называемый вулканный источник, микротрубка, через которую проходят молекулы газа, приобретающие под действием сильного электрического поля у краев трубки электрический заряд. Уже есть методика получения «вулканных» источников с одним отверстием.

Метод ядерных треков в сочетании с техникой реплик способен дать источник со множеством микротрубок. Для этого металл наносится на поверхность слюды и на стенки каналов протравленных в ней треков, а слюда растворяется в подходящем химическом реагенте. «Чудеса в решете», да и только, думаешь, держа в руках очередную фотографию с электронного микроскопа, и не сомневаешься, что такая методика очень перспективна.

Лазерная техника нуждается в высокоточных диафрагмах для световых источников большой яркости. От качества диафрагм зависит и качество электронно-

ионно-оптических систем. До настоящего времени используются игольчатые диафрагмы диаметром около микрона. Путем контролируемого одностороннего травления одиночных ядерных треков в тонких стеклянных пластинах можно изготовить диафрагмы практически идеальной формы в десятки раз меньшего размера. Благодаря высокой гомогенности стекла (однородности химического состава и структуры) выходят круглые отверстия с гладкими краями, применение которых в оптике позволяет «формировать» пучки с правильным профилем.

Любопытны результаты травления следов тяжелых ионов в двухслойных материалах. Сейчас появились пористые структуры (напоминающие разработанные в Лаборатории ядерных реакций асимметричные ядерные фильтры) из пленок граната, на которые нанесен тонкий слой материала, протравленного с другой скоростью, чем пленки-подложки. Поры в этом случае приобретают форму с коротким и узким горлышком.

Рискнем сравнить их с бутылками из-под рижского бальзама — уж очень похожи они на известные керамические сосуды с содержанием лечебного свойства. Но, оказывается, не только по форме. Обладая повышенной пропускной способностью, такая структура, если она состоит из множества несквозных пор, может служить дозатором лекарственных средств.

Пучки тяжелых ионов обращают на себя внимание медиков. Им не помешал бы ионный «микророж» — узкий пучок ускоренных тяжелых частиц, который можно направлять в нужную точку. Это расширит также возможности микролитографии, имплантации, позволит проводить особо тонкую обработку микрообъектов. Весьма заинтересовали перспективы применения ионного

луча побывавшего в Дубне генерального директора межотраслевого научно-технического объединения «Микрохирургия глаза» члена-корреспондента АМН СССР С.Н.Федорова.

Конечно, можно сколь угодно долго любоваться экзотическими фотографиями, сделанными в лучах электронного микроскопа, и мечтать о бурном расцвете ионной имплантации, однако, чтобы осуществить перечисленные идеи, чрезвычайно важно привлечь к сотрудничеству широкий круг специалистов — «хороших и разных». К сожалению, Дубна — город мононауки. Тем же страдают и другие центры — Протвино, Пущино, Троицк. И сейчас эта односторонность стала сказываться. Не случайно же, к примеру, в Новосибирске интересные работы делаются в тех точках, где пересекаются многие области знания.

И очень хорошо, что в Дубну едут геологи, биохимики, медики и что науку начинают уважать в горнорудных карьерах, шахтах, в геологических партиях. Физики, химики сами ищут выход к практикам, демонстрируя преимущества новых методов. Да, порой действительно необходимо заставлять практиков повернуться лицом к тому новому, что буквально каждые два года появляется в ядерной физике.

И еще надо остерегаться той инерции мышления, которая бытует у нас в разных кругах и связана с низкопоклонством перед западными технологиями. Надо понимать, что, приобретая любой ценой приборы, аппаратуру, технологии на Западе, мы обкрадываем сами себя, вырываем глубокую пропасть на пути в будущее.

Один рядовой разработчик электронной аппаратуры в нашем институте хорошо сказал: «Мы порой находимся в плену впечатлений от достижений западных фирм:

какая там электроника, какая элементная база, какие технологии! Но в том-то и смелость, и непредвзятость мышления, чтобы подходить к решению стоящих перед нами физических задач со своих позиций. Отсутствие компонентов, выпускаемых западной промышленностью, должно стимулировать интеллект, а в некоторых коллективах настолько увлеклись «списыванием» чужих работ, что о собственной голове забыли. Наш опыт говорит: можно двигать науку в самых актуальных ее областях на основе электроники, сделанной целиком на отечественной элементной базе».

Прекрасные слова! Если бы так же мыслили и все руководители, от которых многое тут зависит. Но этот верный, в сущности, подход не нужно доводить до опасного предела.

Да, в Лаборатории ядерных реакций с самого начала выбрали свою дорогу. И в решении фундаментальных, и в решении прикладных задач. Мы уже убедились в трудности выбора, потому что часто это была дорога первопроходцев.

Чтобы идти по ней, потребовалось создание ускорительной базы, постоянное ее совершенствование, сооружение уникальных экспериментальных установок. Конечно, сотрудники ЛЯР не могли не сверять ход и темп своих исследований с тем, что делается в мире. Но смелость нужна и для того, чтобы, несмотря на соблазны легких побед, продолжать двигаться своим трудным путем.

Истинная наука сама старается избавиться от монопроблемности. Мы знаем немало примеров того, как, развивая одно направление, ученые неожиданно для себя открывают другие, значительно расширяющие позна-

ния в области далеко еще не исчерпанной науки об атомном ядре.

Но ориентация на одно, обязательно самое «трудное» направление всегда оправдана тем, что требует значительного напряжения сил, и, значит, тут можно со значительно большей вероятностью ожидать непредвиденного результата, нежели там, где усилия распылены на множество в принципе интересных, но не обеспеченных ресурсами и прямо не связанных между собой задач.

Конечно, интуиция играет не последнюю роль. Но держать руку на пульсе времени, предугадывать запросы будущего, опираясь на постоянные контакты с потенциальными потребителями научных разработок, тоже важно. Ведь последнее слово — за практикой.

Вовсе не всякое решение «приложимо» к различным областям науки и техники, а подчас и совсем не обусловлено первостепенными задачами, которые стоят перед народным хозяйством. Но в том случае, когда это удастся, уже сама жизнь настаивает на том, чтобы уделить этому направлению особенное внимание. Ведь современная техника столь универсальна, что, найдя полное признание в одной области, некоторые результаты и решения могут еще эффективнее использоваться в других.

Вряд ли нам удалось даже коротко обрисовать весь круг применения и тем более перспективы метода ядерных треков, однако об одном «приложении» тяжелых ионов следует сказать отдельно.

Среди центральных проблем сегодняшнего реакторостроения, а значит, и ядерной энергетики — долговечность материалов, из которых «строится» активная зона атомного котла. Они, эти материалы, должны, не изменяясь, выдерживать мощнейшие нейтронные потоки —

не распухать, как говорят реакторщики, не терять прочности под действием радиации.

Не всякий сплав, пусть даже обладающий исключительными механическими свойствами в обычных условиях, годится для элементов активной зоны реактора. Как предсказать, сможет ли он продержаться, например, пять лет, если на карту поставлено главное — надежность всей энергетической системы? Остается испытывать сплав в нейтронных потоках. Для этого нужны сверхмощные реакторы, объемы которых заполняются вплоть до каждого кубического сантиметра. Испытания длятся довольно долго, да и стоимость их непомерно высока.

Вот здесь-то опять приходят на помощь материаловедом тяжелые ионы. В отличие от нейтронов они создают в испытуемых образцах несравненно большие радиационные повреждения, что позволяет намного сократить время испытаний. Час работы на ускорителе заменяет годы, проведенные у реактора! Таким образом, открываются заманчивые перспективы экспрессного анализа и отбора наиболее подходящих материалов.

В этих научных изысканиях участвуют Институт ядерной физики Академии наук Казахстана, Харьковский государственный университет и ряд других институтов. Эксперименты ведутся в самом широком масштабе — от изучения влияния дефектов на прочностные свойства материалов до исследования механизма взаимодействия тяжелых ионов с твердыми телами. Над этой же темой в Дубне трудятся специалисты из Будапешта.

Понятно желание ученых сполна использовать те возможности, какие предоставляют ускорители тяжелых ионов. К их услугам аппаратура, отличающаяся высокой степенью автоматизации; контроль за опытами,

обработку результатов и собственно измерения ведут персональные ЭВМ. На современных установках определяются и механические свойства материалов.

Другая задача, посильная для ионного пучка, — создание лазеров с ультракороткой волной излучения. Для накачки их активного тела требуется высокая импульсная мощность, которая может быть достигнута в пучке тяжелых ионов.

А если смотреть еще дальше, то мы неизбежно придем к решению одной из глобальных проблем человечества — обеспечению его пресной водой. В частности, сможем «напоить» ряд районов нашей страны. Например, районы Средней Азии, сплошь занятые солончаками, которые либо представляют собой остатки древнего океана, либо являются следствием губительного для всего живого бездумного хозяйствования. Здоровые силы нашего общества дали отпор глашатаям лженауки, остановили поворот части стока северных и сибирских рек. Ведь есть куда более безопасный для природы выход — надо искать методы эффективного опреснения засоленной воды. Чрезвычайно важно сосредоточить усилия на новых видах обратноосмотических мембран и опреснительных установок.

Методом обратного осмоса (по-гречески — толчок, давление) сейчас на земле получают ежесуточно около миллиона кубометров пресной воды, а к 2000 году будут получать 20 миллионов. Микрофильтрация, ультрафильтрация и обратный осмос — три главные разновидности баромембранных процессов. Приставка «баро» указывает, что движущая сила этих процессов — перепад давлений по обе стороны мембраны. Разница между ними — в размерах невидимых глазу пор. У микрофильтров они составляют тысячи и даже сотни тысяч ангст-

рем, ультрафильтров — от десятков до сотен ангстрем. В этих режимах и работают пока ядерные фильтры, и сегодня с их помощью проблема обессоливания воды пока не может быть решена. Однако не надо забывать, что исследованы далеко не все возможности направленного действия радиации на структуру материалов. Помните, свидетелями скольких разнообразных комбинаций (давших основание назвать воздействие тяжелых ионов на вещество вместе с химической обработкой «ионной архитектурой») мы стали.

Ученые полагают, что достигнутые результаты — лишь начало большой исследовательской работы. Так же как и при решении фундаментальных задач, это требует соответствующей технической оснащенности, создания специальных установок.

И методы сверхтонкой фильтрации, и ионная имплантация будут в ближайшее время внедрены во многих отраслях народного хозяйства стран-участниц ОИЯИ. Именно таким сегодня видится путь ученых — вести дело так, чтобы фундаментальные исследования опережали потребности техники и производства, закладывали основы техники и технологии будущего. В этом гарантия ускорения научно-технического прогресса.

## ПЕРВЕНЕЦ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Физики Дубны не хотят и не могут быть монополистами. Рост масштабов и практической значимости прикладных исследований с тяжелыми ионами потребовал создания специализированных ускорителей, которые обеспечат пучки необходимых параметров и в то же время, благодаря малым размерам, будут удобны в эксплуатации.

Этой цели отвечает весьма компактный и экономичный ускоритель — имплантатор циклический с диаметром полюсов 100 сантиметров, сокращенно ИЦ-100. Если будете в лаборатории, вам его обязательно покажут. В отличие от больших циклотронов, закрытых тяжелыми бетонными блоками биологической защиты, и даже от микротрона — совсем крошечного по масштабам физиков ускорителя электронов, где за облучениями следят из другого помещения с помощью телемониторов, ИЦ-100 можно посмотреть и даже потрогать руками во время его работы.

Помещение для ИЦ-100 не похоже на ускорительный зал (места занимает мало, и к тому же мы привыкли, что если ускоритель, то циклических размеров, — есть все-таки что-то общее между циклопом и циклотроном). Оно, скорее, напоминает демонстрационный павильон.

Мысли о таком сходстве навевают многократно увеличенные фотографии ядерных фильтров: микронные поры кажутся огромными трубами, уходящими в глубь

какого-то экзотического плато (на самом деле поверхность полиэтиленовой пленки). Да еще рисунок установки в разрезе, да еще мощная лампа в углу. Лампа не светит, но при взгляде на нее кажется, что вот-вот помещение заполнится кинооператорами, фотокорреспондентами, защелкают блицы, зашелесят моторы камер... Однако съемки уже позади — с ИЦ-100 познакомились члены Ученого совета ОИЯИ, ведущие физики из научных центров стран — участниц института, полномочные представители правительств этих стран. Фотографии обошли страницы ряда газет и журналов, слайды демонстрировались на научных совещаниях и конференциях. Сейчас здесь будни.

Эта установка стала первой ласточкой, возвестившей о рождении нового поколения ускорителей, ориентированных на решение сугубо практических, «земных» задач. Вслед за развитием циклотронов тяжелых ионов, углублением и расширением фронта исследований по физике ядра, которые проводятся на них, назрела объективная необходимость «разделения труда» в этом семействе. Была в Лаборатории ядерных реакций и техническая база, сложился и опытный коллектив специалистов, имеющих богатый опыт сооружения мощного циклотрона У-400, развития и совершенствования ускорительной техники.

Ведь изохронный циклотрон У-400 — весь, с его двухтысячетонным магнитом, четырехметровой камерой, почти космическим вакуумом в ней, сильными магнитными полями, высокочастотным напряжением, сложной электроникой, которая следит за работой всех систем, — был создан для экспериментов в физике фундаментальной. Создан целиком в Дубне — в то время решили не ориентироваться на промышленность, чтобы

выиграть темп в остром соревновании по синтезу новых элементов. Время в физике дорого стоит: построили первыми ускоритель — получили рекордные мощные пучки, и результаты не заставили себя ждать. А рождением У-400 обязан ученым, инженерам, рабочим Лаборатории ядерных реакций, которые вложили в него и энтузиазм, и творческую выдумку, и горячее желание осуществить оригинальные идеи.

Теперь этот опыт пригодился на специализированном ускорителе для прикладных работ — сооружение имплантатора стало делом всей лаборатории. Почти в течение года вопросы, связанные с ИЦ-100, не сходили с повестки дня директорских совещаний. Вокруг опытных руководителей сплотились молодые специалисты, недавние выпускники инженерно-физических вузов, приехавшая к нам молодежь из Болгарии, Вьетнама, Польши.

Начинался ускоритель с рабочих чертежей. Основой будущего имплантатора послужил типовой электромагнит, доставленный из Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. В том-то и была «соль» идеи, чтобы использовать для нового поколения ускорителей уже готовые электромагниты, которые выпускаются советской промышленностью и служат для «наведения», фокусировки получаемых на больших ускорителях пучков заряженных частиц высоких энергий. Директор этой лаборатории академик А.М.Балдин и его коллеги, понимая важность задачи, предоставили в распоряжение ускорительщиков магнит, по своим параметрам полностью соответствующий проекту новой установки.

Заказом для основных узлов и систем ИЦ-100 была открыта «зеленая улица». На опытном производстве ОИЯИ изготовили из железа секторы ускорителя, а ра-



бочие ЛЯР с высокой точностью провели их сборку. В верхней части массивной стальной балки магнита, проявив немало смекалки, просверлили отверстие для ионного источника...

Самый младший по возрасту и миниатюрный по габаритам ускоритель разместился рядом с циклотроном У-200, занял свое место на левом флаге семейства ускорителей лаборатории. Говорят: маленькие дети — маленькие хлопоты, большие дети — большие хлопоты. Когда создавался У-400, забот действительно было немало. Но вряд ли кто-то из тех же специалистов, имевших дело с ИЦ-100, согласится, что потом им выпала простая и спокойная судьба. Совсем наоборот!

Эмил Иванов окончил Софийский университет, дипломную работу выполнил в Дубне, в Лаборатории ядерных реакций. Она была связана с проведением расчетов и подготовкой к освоению в Болгарии многоцелевого циклотрона У-250. Теперь — ИЦ-100... Не слишком ли резкий переход от теории к практике?

— Нет! — считает Иванов. — Тем более, что это первый ускоритель, который я сделал своими руками. Получил неоценимый опыт. Есть люди, которые занимаются только теоретическими расчетами. Наверное, тоже интересно. Меня же привлекает больше такая вот живая работа, когда ты видишь цель и можешь порадоваться результатам. Я занимался разработкой программ для расчета высокочастотного резонатора, магнитными измерениями.

Формирование магнитной системы было одним из самых сложных этапов рождения ускорителя. Малые зазоры между элементами — такова магнитная структура — предъявляли довольно жесткие требования к вакуумной камере. Сотрудники ЛЯР оказались на высоте

положения: не прекращая эксплуатацию других ускорителей, смонтировали и наладили вакуумную систему на ИЦ-100.

Циклический имплантатор стал одной из «визитных карточек» лаборатории, где фундаментальные исследования столь тесно соседствуют с прикладными. Сразу за стендом — место, где работают начальник смены инженер Василий Васильевич Болтушкин и молодой специалист из Ханоя Буй Бинь Тхуан. Ветеран лаборатории с явным удовольствием представил своего вьетнамского коллегу: в Дубне он всего год, но в короткий срок освоил высокочастотную систему, сделал расчеты, активно включился в измерения.

В этом небольшом зале хорошо думается о лучших традициях лаборатории. Это и преемственность поколений, и школа профессионализма, и плодотворное научно-техническое сотрудничество.

Сейчас на имплантаторе произошла перегруппировка, на пульте чаще можно видеть сотрудников отдела прикладной ядерной физики, чем ускорительщиков. Облучение полимерных материалов на циклическом имплантаторе ИЦ-100 показало его высокую эффективность для производства ядерных фильтров. Опробованы практически все ионы, которые можно ускорять на имплантаторе, — неона, хлора, аргона. Параметры пучков этих ядер, а также углерода и кислорода соответствуют проектным.

Испытали имплантатор и специалисты-материаловеды — они поставили эксперименты по упрочнению ряда материалов. Образцы ванадия и никеля облучались интенсивными пучками ионов неона и аргона. Это была первая исследовательская работа «прикладного» ускорителя.

теля, результаты ее представлены на всесоюзном совещании «Радиационные дефекты в металлах».

После проведения первых облучений сотрудники отдела прикладной ядерной физики подтвердили, что ускоритель надежен, прост в управлении и абсолютно радиационно безопасен. Именно эти преимущества, заложенные в проекте, делают имплантатор весьма перспективной моделью для целой серии подобных машин.

В чем же выгода нового ускорителя? Кроме того, что ему не нужны большие площади, биологическая защита, у него невелика и энергоемкость: всего около 150 киловатт. И когда по планам сооружения циклотронного комплекса тяжелых ионов началась реконструкция ускорителя У-300, на базе которого появится мощный циклотрон У-400М, часть функций этой установки взял на себя ИЦ-100. Тем самым продолжилась преемственность научных и прикладных исследований ЛЯР.

Успешный ввод ИЦ-100 в эксплуатацию означал важный этап в развитии базы для прикладных работ. Но только этим заботы о будущем не ограничились.

И здесь мы вновь хотим обратить внимание на проблемы, которые считаем решающими для дальнейшего прогресса ядерно-физических методов, их внедрения в народное хозяйство. С каждым днем растут потребности в ядерных фильтрах, но на сегодня ЛЯР — единственная в странах-участницах ОИЯИ лаборатория, оснащенная соответствующей ускорительной базой. Чтобы это направление могло гарантированно развиваться, в Дубне предпринимаются все усилия. Но усилий только ОИЯИ мало. Необходим также поиск путей и механизмов сотрудничества, прямых контактов с научными центрами и предприятиями стран-участниц.

Особенно наглядно необходимость развития подобного содружества продемонстрировала международная выставка «Наука-88», проходившая в Москве на Красной Пресне. В нескольких павильонах выставки разместился многоязычный город, насыщенный персональными компьютерами и автоматизированными системами различного назначения, приборами и оборудованием для научных исследований, многообразными продуктами творчества ученых, предназначенными для практического использования.

Два уголка на выставке — в советском павильоне и среди стендов и экспозиций международных организаций, предприятий, научных центров — были отведены ядерным фильтрам. В пресс-центре выставки специалисты Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и Института кристаллографии АН СССР выступили с докладами на научно-техническом семинаре, посвященном применению новых фильтрующих материалов. От желающих подробней познакомиться с этой продукцией не было отбоя. А участники выставки сделали для себя такие выводы: надо смелее выходить на международную арену, ломать бюрократические барьеры и... снова, как и прежде, возможно больше брать на себя!

## С ЧЕМ ВХОДИМ В ЗАВТРА

Мы уже всячески давали понять, что сегодня, а в будущем еще больше ядерная физика может сыграть ведущую роль в решении многих проблем смежных наук, крупных отраслей народного хозяйства. Проведенная когда-то условно грань между фундаментальными и прикладными исследованиями будет стираться. Но по-прежнему для успеха тех и других направлений останутся незаменимыми пионерские работы, выполняемые на переднем крае научного поиска, а не «пережевываемые» результаты, давно занесенные в справочники. Только нетривиальные идеи, эксперименты могут привести к революционным изменениям в технике.

Когда-нибудь наука на деле станет основной производительной силой общества, а цеха предприятий оснастятся техникой, первые поколения которой имели ранг экспериментальных установок и служили только ученым.

Проблемы, стоящие перед исследователями, формулируются весьма конкретно: что и когда может дать наука в решении таких глобальных задач, как развитие энергетики, электроники, комплексная автоматизация народного хозяйства, создание новых материалов и т.д.

По оценкам ученых-экономистов, при интенсивном применении на практике достижений теоретического естествознания, физики, химии и других лидирующих наук можно в обозримой перспективе добиться повышения

производительности труда в десятки раз. Но предстоит преодолеть разобщенность между фундаментальной и прикладной наукой, бороться с имитацией научной деятельности, которой все еще занимаются в некоторых отраслевых, да и не только отраслевых, институтах.

Весьма знаменательно создание в стране межотраслевых научно-технических комплексов, подобных упоминавшимся МНТК «Мембраны», «Микрохирургия глаза». Мы думаем, что это будет основное звено — база промышленности завтрашнего дня.

Для коллектива, с работами которого мы познакомили читателей, будущее определено достаточно ясно. И вот как оборачивается история синтеза сверхтяжелых элементов: коллеги дубненских ученых в ФРГ и Франции от конкуренции переходят к объединению усилий. Сотрудников Радиационной лаборатории имени Лоуренса в Беркли (США) привлекают высокоинтенсивные пучки циклотрона У-400, им небезразлично дальнейшее совершенствование ускорительной базы ЛЯР. Такое сотрудничество на сегодняшнем этапе развития науки естественно и необходимо для дальнейшего прогресса, в том числе и прогресса социального.

Что касается ядерных фильтров, то с просьбой приобрести лицензии обращаются в Дубну представители фирм Великобритании, Японии — и не дожидаясь каких бы то ни было выставок. Производство аналогичной продукции, как мы говорили, наладили в ГДР, ФРГ, во Франции.

Здесь нам хотелось бы сделать небольшое отступление. Сейчас в нашем обществе стали преобладать критические настроения, переходящие порой в нигилизм, когда вообще отрицается что-либо хорошее в прошлом, считая и те безусловные достижения в науке, которыми мы

вправе гордиться. Но разве можно игнорировать стремительный взлет ядерной физики в конце 30-х годов, создание промышленного фундамента для ядерной энергетики во время войны! В 50-е годы был заложен большой потенциал для развития ядерной физики — многие физические центры получили исследовательские реакторы, были сооружены циклотроны в Москве, Алма-Ате, Обнинске, Ташкенте, Томске. Активно начались пламенные исследования термоядерных реакций, зародилось новое направление — физика тяжелых ионов... Правда, с другой стороны, надо признать, что, если оглянуться на последующие годы, такого размаха уже не было. И по существу последние тридцать лет ученые проживали капитал, вложенный ранее в науку. Примеров же обратного наберется не много.

Науку и общество нельзя рассматривать отвлеченно друг от друга. Они находятся в глубокой диалектической взаимосвязи. Для общества научно-технический прогресс не какая-то прихоть или благотворительное занятие, а жизненно необходимая потребность, пренебрежение которой приводит к застою, атрофии общественного сознания.

Понимание этой истины должно лежать в основе начинаний и активной деятельности любого ученого, питать его чувство гражданского долга и ответственности. Но такое же понимание должно быть у людей, облеченных государственной властью, от которых зависит, будут ли максимальное благоприятствование науке как в материальном, так и в организационном плане.

Перестройка в науке означает прежде всего раскрепощение здоровых сил, освобождение их от бюрократических запретов, ограничений, преодоление наукобоязни, при которой какое-либо смелое начинание (а без них

развитие науки немислимо) воспринимается как посягательство на удобно-привычные устои.

...Когда более десяти лет назад в Лаборатории ядерных реакций построили своими силами циклотрон У400, пошли длительные, сложнейшие эксперименты по синтезу целого ряда новых элементов. Работали, помня о 30-летних традициях: делали ставку на рекордные параметры ускорителей и экспериментальной техники, умели перестраиваться по ходу дела, гибко варьировать методы решения научно-исследовательских и прикладных задач. В результате — достигнутое меньше чем за пять последних лет: и пуск в предельно короткие сроки нового ускорителя, и успехи на пути синтеза, и очередные шаги в использовании ядерно-физических методов в самых актуальных областях науки, техники, практики.

В заключение, опираясь на все уже сказанное, еще раз подчеркнем, что в науке очень важно идти своим путем, пусть рискованным и трудным, но лишь на этом пути могут быть одержаны настоящие победы, которые не только обогатят мировой запас научных знаний, идей, результатов, но и будут ярким выражением нашего бойцовского духа.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Как появилась эта брошюра . . . . .	3
Основы новой индустрии . . . . .	6
По «рекомендации» Менделеева . . . . .	10
Ускорители или реакторы? . . . . .	18
Рождение технологии . . . . .	24
Сквозь «ядерное сито» . . . . .	32
Тест на СПИД и «искусственное легкое» . . . . .	47
«Мембранный щит» всем нужен . . . . .	57
В лучах микроскопов . . . . .	62
Первенец нового поколения . . . . .	73
С чем входим в завтра . . . . .	80

---

98-21

Фото Ю.А.Туманова

Подписано в печать 11.02.98

Формат 70 × 100/32. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 3,8

Тираж 260. Заказ 50472

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области

