

ПРОЧТИ, ТОВАРИЩ!

Б. СМАГИН

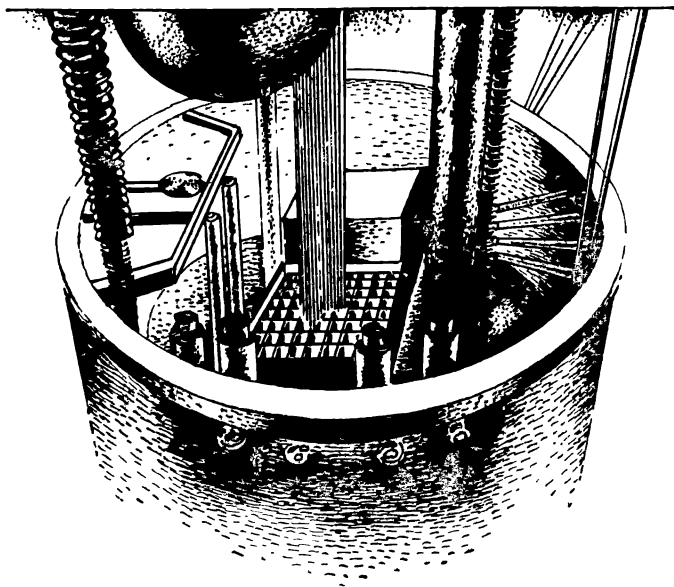
# МУДРОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТА



ПРОЧТИ ТОВАРИЩ!

Б. СМАГИН

# МУДРОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТА



Издательство «Знание»  
Москва 1976

С50

**Смагин Б. И.**

**Мудрость эксперимента. М., «Знание»,  
1976.**

**128 с. (Прочти, товарищ!)**

В век научно-технической революции, свидетелями которой мы являемся, научный эксперимент играет огромную роль своеобразного ускорителя технического прогресса: как правило, его результат немедленно воплощается в техническом устройстве или становится основой нового технологического процесса. В этой книге рассказывается именно о таких экспериментальных работах, ведущихся советскими учеными в ядерной физике, физике твердого тела, нелинейной оптике и биологии.

Книга рассчитана на широкие круги читателей.

С  $\frac{60000-085}{073(02)-76}$  170—76

001

© Издательство «Знание», 1976 г.

## ХОРОШАЯ ТЕОРИЯ ПЛЮС МУДРЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

*Книга очерков физика и журналиста Б. И. Смагина называется «Мудрость эксперимента». Название абсолютно точное. Теория «умна» по определению: ей надлежит осмыслить данные эксперимента или осветить дорогу опыту. Но если хорошая теория — это умные силлогизмы, то высокого класса эксперимент именно мудр, ибо он способен внести в процесс познания такое содержание, которое не может предвидеть никакая формальная логика теории.*

*Вот лишь один пример.*

*Теория симметрии материи и антиматерии — тождество их законов — всегда порождала необыкновенной стройностью. Логичность ее напоминала красоту геометрически правильного чертежа. И вот не так давно было экспериментально обнаружено так называемое «С—Р» — несохранение. В физике высоких энергий, и без того богатой великими достижениями, это, на мой взгляд, одно из самых величайших открытий современности. Это открытие может направить мысль ученых совершенно неожиданным путем в понимании Вселенной и буквально перевернуть практическую деятельность человечества, скажем, по извлечению энергии из вещества. И все это благодаря эксперименту, который сдвинул привычные представления о симметрии мира и показал, что материя и антиматерия «чуть-чуть» не симметричны. Думаю, никакой гений-теоретик не смог бы эту асимметрию предсказать.*

*Я часто мысленно возвращаюсь к этим удивительным опытам физиков, придавшим особую прелесть и гармонию миру, и всегда вспоминаю еле заметную асимметрию классических образцов творений великих художников и скульпторов, некоторую «неправильность» прекрасных живых лиц и образов, которая и создает истинную красоту.*

*Вот почему в моем представлении хороший эксперимент не только мудр, но и красив и изящен. И всегда окрашен сладостными муками творчества. Но красота эта в отличие от творений художников, непосредственно связанных с человеком и потому открытых практически всем, понятна чаще всего людям, глубоко разбирающимся в сути дела, специально подготовленным к восприятию гармонии и мудрости эксперимента.*

*Лауреат Ленинской  
и Государственной премий  
академик Г. И. Б у д к е р*

Академик Петр Леонидович Капица как-то, выступая перед студентами Физико-технического института, сказал: «Теперь все почему-то стараются стать теоретиками. По этому поводу мне вспоминается любопытное высказывание героини одного американского романа. На возвышенные речи своего поклонника она ответила: «Конечно, пламенные признания прекрасны, но золотой браслет остается на всю жизнь». Разумеется, американка тем самым проявила свою меркантильность, но доля истины в ее словах есть. Применительно к физике можно сказать, что теория действительно увлекательна, но «золотой браслет» хорошего эксперимента остается навечно, составляет историю науки».

П. Л. Капица с полным основанием может говорить так, поскольку он — автор целого ряда классических экспериментов физики сверхнизких температур, вошедших в золотой фонд науки.

Чрезвычайная популярность физических теорий общеизвестна. Тому есть много причин. Парадоксальные эффекты, предсказанные Эйнштейном: время, текущее по-разному в различных движущихся системах; космический путешественник, застающий на Земле своих далеких потомков, которые биологически старше его самого; масса и геометрические размеры тел, изменяющиеся с их скоростью; луч света, отклоняющийся от прямолинейного пути в поле тяготения, — все

это, естественно, поражает воображение. А «странный мир» микрочастиц, если воспользоваться терминологией Даниила Данина, а антивещество?

Подобные открытия «на кончике пера» вызывают глубокое и вполне оправданное почтение к их авторам — великим ученым, прокладывающим новые пути познания.

К сожалению, гораздо реже встречаем мы на страницах популярных книг и статей рассказы о современном эксперименте, когда ученые подтвердили ту или иную гипотезу, придав ей статус объективной истины.

А ведь эксперимент двадцатого века отнюдь не стал второстепенным. Наоборот, эксперимент гораздо сложнее, изворотливее, внимательнее и мудрее, так как ему приходится решать задачи исключительной трудности. Кстати говоря, надо помнить, что специальная теория относительности Эйнштейна зародилась как попытка осмыслить знаменитый опыт Майкельсона, показавшего независимость скорости света от движения его источника, — что никак не укладывалось в рамки существовавших в то время представлений.

А часто ли об этом пишут? Скажем, весьма тепло вспоминая замечательного английского ученого Поля Дирака, предсказавшего существование античастиц, иногда почему-то забывают сказать о блистательных экспериментах, выявивших действительных представителей антимира, о поисках позитрона, антипротона и антинейтрона и, наконец, поистине детективную историю поимки антинейтрино.

Но об этих замечательных открытиях все-таки еще говорится, а эксперименты менее известные, как правило, остаются в тени.

И вот мне захотелось рассказать об экспериментах, может быть, и не столь значительных, но, как мне кажется, находящихся в русле развития эксперименталь-

ной техники двадцатого века, в какой-то степени типичных.

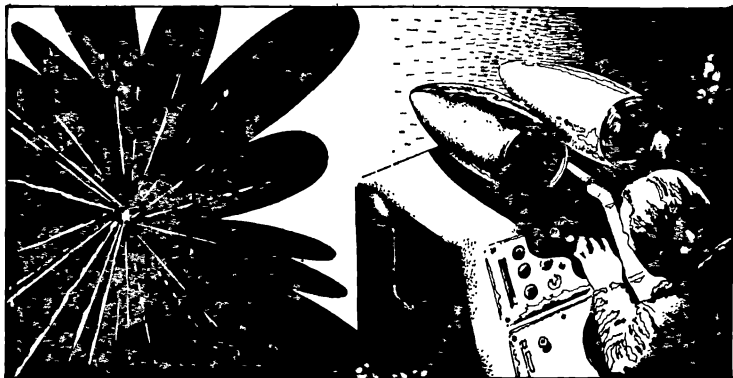
Здесь представлены четыре раздела науки.

Прежде всего ядерная физика с характерным для нее гигантским размахом, когда одна работа собирает коллектив в несколько сот или даже тысяч человек, и нелинейная оптика, где лишь эксперимент показал всю необычность новых явлений, их существенное прикладное значение. Затем следует физика твердого тела — краеугольный камень современной техники и биохимия — стык наук, где элегантный физический эксперимент проясняет подробности интимной жизни клеток живых существ и растений.

Это своего рода путешествие по лабораториям страны, рассказ о том, как работают ученые нашего времени, замечательные экспериментаторы, своим кропотливым трудом в областях, порой далеких от практики, проявляющие истинный прагматизм науки, все достижения которой в конечном счете используются техникой.







## ИСКАНИЯ АТОМНОГО ВЕКА

Одно из важнейших направлений в современной ядерной физике — изучение свойств ядер вблизи границы их устойчивости.

Результаты этих работ имеют существенное значение для понимания структуры ядра, астрофизических процессов, а методы экспериментальных исследований находят важные практические применения.

Академик М. В. Келдыш

## К полету готовы

Стоящее на пригорке здание с корпусами-крыльями напоминает самолет. Утренний туман окутал первый этаж, и кажется, что «самолет» уже отделился от земли и начинает самостоятельное путешествие в неведомые края.

Здание, как и люди, в нем работающие, прочно стоит на земле, но что касается путешествия, то это, пожа-

луй, довольно точное определение смысла всей деятельности Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований Дубны. Здесь расположилась одна из немногих в мире мастерских, где ученые создают — синтезируют различные изотопы — разновидности элементов периодической системы Менделеева.

Сравнительно недавно периодическая система была ограничена металлом за номером 92 — ураном, элементом, который приобрел столь большую, а в какой-то степени и мрачную популярность, так как послужил основой нового ядерного оружия.

Так началась эра атомной энергетики и, как своеобразное следствие новых достижений науки, время великих географических открытий на карте периодической системы, поскольку техническое освоение внутриядерных процессов оказалось связанным с созидательной работой. В ядерных реакторах во множестве рождались изотопы самых разнообразных представителей системы, в том числе и новых, по-видимому, никогда не существовавших на нашей планете. Так появились заурановые — трансурановые нептуний, плутоний, берклий, америций, кюрий, атомы которых объединяли в своих ядрах все большее количество частиц.

Капитальное ядро, окруженное легкой паутиной стремительных электронных орбит, — картина, ныне знакомая каждому школьнику.

Два рода частиц — нейтроны и положительно заряженные протоны уживаются в ядре, объединенные какими-то, до сих пор не очень ведомыми для физиков, силами.

Тяжелые ядра — своего рода капли, собравшие во едино множество частиц, образования капризные и не очень устойчивые. Ядерные силы уже не могут унять бурное кипение частичек ядра, поэтому капли — ядра тяжелых элементов подвержены непрерывному разру-

шению — они распадаются, они радиоактивны. А самые тяжелые из всех известных ядер неустойчивы настолько, что иногда разваливаются на две половинки, не только под действием внешних факторов, когда, например, проникшая в ядро новая частица вызывает его разрушение. Ядра делятся и самопроизвольно — спонтанно. И чем ядра тяжелее, тем они неустойчивее и, соответственно, тем короче их жизненный путь.

Вновь открываемые элементы — трансураны подтверждали это предположение, так как время их жизни уменьшалось в прямой пропорции с увеличением массы ядра. И физики решили, что эта тенденция приведет к своеобразному завершению периодической системы элементов, за которым простирается физическое и химическое «ничто».

«Пессимисты» отводили этому «конечному» элементу номер 110, «оптимисты» предполагали, что оканчивается периодическая система элементом 120-м или даже 125-м, но в том, что «конец системы» неминуем, разногласий не было. Так во всяком случае учили нас, студентов-физиков сороковых годов.

Столь категоричное утверждение просуществовало сравнительно недолго. Сейчас теоретики считают, что в море абсолютно недолговечных трансурановых элементов есть своеобразные «островки стабильности» — группы элементов, сохранивших свою самостоятельность на длительное время (в том, что они должны быть радиоактивны, никто не сомневается).

Ученые Лаборатории ядерных реакций, начав с синтеза первого элемента второй сотни периодической системы, менделевия, постепенно и методично, в полном соответствии с логикой теоретической физики и практикой созданий новых изотопов в ускорителях, прошли путь до 106-го элемента. И вот уже несколько лет готовят они «десант» в глубину никем еще не изученной области стабильности, замахнувшись на целую

группу от 110-го до 114-го элемента, собираются совершить прыжок в неизвестность.

Вот почему, когда ранним утром предстало передо мною парящее в тумане здание, мне пришлось в голову сравнить его с самолетом, которому надо лететь в неведомые края, но неизвестно, есть ли там хоть какая-нибудь посадочная площадка.

Но директор лаборатории, ее организатор и бессменный руководитель, академик Георгий Николаевич Флеров, которого я дожидался в столь ранний час, зная, что он всегда приходит на работу первым, подобное сравнение решительно не одобрил.

— Красиво звучит, — сказал он. — Но неубедительно. Работать на авось нельзя — слишком дорогое удовольствие. Без убедительных причин никто не даст денег, и правильно сделает. Разумеется, поиски стабильных трансуранов нужны. Открытие островков стабильности даст качественно новый материал для теоретической ядерной химии и физики, так что игра безусловно стоит свеч. Мы никогда не ставим задач, решение которых тривиально. Это скучно. Но, с другой стороны, не пускаемся в путь без четко определенной программы.

Она может быть выражена по-разному. Вот, скажем, сейчас мы проникаем в новую область физики, где о точной теории и говорить не приходится, существуют лишь приблизительные прикидки. Можно считать их своего рода логией. Но есть главное: предвидение, способность угадать заранее, интуиция, если хотите. На таком пути исследователя всегда ожидают приятные сюрпризы. Так показал опыт нашей работы с Курчатовым, когда мы обнаружили самопроизвольное деление урана, а здесь, в Дубне, на пути к 104-му элементу наткнулись на новый тип радиоактивности. Однако все эти неожиданности были, так сказать, предопределены новой областью науки, на карте которой всегда есть островки неизвестности. Надо только суметь правильно

выбрать свой путь и не сворачивать с него, какие бы трудности ни встретились по дороге. Так что в этом смысле ваш образ имеет некий смысл. Но цель и пути достижения ее должны быть четко определены с самого начала. Теория умна, кто спорит. Но и эксперимент должен быть не глупее. А сейчас с трансуранами решает только он: мы чувствуем, «что-то» есть. Чувствуем и знаем: найдем, несомненно найдем...

Что это — упорство, целеустремленность, дальновидный расчет, или та самая, не поддающаяся логическому анализу интуиция? Кто знает.

Двадцатилетний опыт работы Лаборатории говорит сам за себя. До сих пор у них «все получалось», хотя в скептиках не было недостатка.

### **День вчерашний и день завтрашний**

Лаборатория ядерных реакций Дубны может считать своим прародителем небольшую группу, работавшую под руководством Игоря Васильевича Курчатова в 1939 году; тогда его молодые сотрудники Константин Петржак и Георгий Флеров сделали открытие, навсегда вписанное в историю физики. Путем скрупулезных ювелирных экспериментов они обнаружили спонтанное, иными словами, самопроизвольное деление ядер урана и других тяжелых элементов. В первых же опытах молодых ученых проявились особенности, ставшие впоследствии основой их экспериментального мастерства. А спонтанное деление сделалось основой созданного ими метода регистрации тяжелых ядер.

Однако ведет лаборатория свое «летосчисление» с 1954 года, когда восемь энтузиастов организовали в институте Курчатова группу синтеза трансурановых элементов второй сотни, расположенных за фермием, носящим номер 100. С тех пор минули двадцать с лишним лет. Группа превратилась в крупную лабораторию, фак-

тически научно-исследовательский институт, где сейчас трудится около четырехсот человек.

История развития лаборатории отнюдь не хрестоматийна, поскольку традиции, стиль работы, экспериментальные методы и организационная структура — все это проходило проверку временем, прежде чем сложилось в стройную систему. Невозможно отделить день сегодняшний от дня вчерашнего хотя бы потому, что эксперименты той поры зачастую уточняются, проверяются и расширяются сегодня. И это естественно для лаборатории, которая занимается столь сложными проблемами ядерной физики.

Поначалу предложение флеровцев отнюдь не всеми было встречено восторженно. И не мудрено.

Речь шла о создании новых элементов, которых к тому времени было уже получено немало. Один из первых синтезированных в лабораториях — плутоний вполне оправдал возложенные на него надежды и немалые затраты, честно служил в ядерных реакторах. А все остальные не находили солидного прикладного применения. К тому же синтез каждого нового элемента требовал все больших затрат, а появлялись они во все меньших количествах. Казалось бы, дальнейшее продвижение вдоль периодической системы ничего не сулит, кроме возрастающих затрат. А во имя чего? Чтобы «приготовить» несколько десятков ядер элементов, которым долгое время суждено быть лишь значком в различных таблицах да объектом бумажных выкладок? Пользы от них никакой нет и в обозримом будущем быть не может. Значит, не следует занимать столь перспективной работой большой коллектив ученых. Так думали и говорили многие. В их словах было немало трезвого холодного расчета. Но и у тех, что верил в перспективность исследований, были доводы не менее убедительные, почерпнутые из вековой истории естествознания. Ни одна крупица знания, добытая на самых

«боковых» тропинках науки, вдали, казалось бы, от столбовой дороги практических приложений, не пропадала, а рано или поздно начинала им служить.

Сколько упреков выслушали в свое время математики, разрабатывавшие теорию мнимых чисел! Мол, занимаются они чисто умозрительными упражнениями, оторвались от действительности. А сейчас ни один серьезный расчет в электротехнике, радиотехнике и электронике не обходится без применения теории чисел, которых «нет в действительности». Известный ученый девятнадцатого века Буль разработал, казалось бы (да так он и предполагал), для собственного удовольствия целую главу математики, особый класс вычислений, названных позднее «булевой алгеброй». Сейчас это основа почти всей вычислительной техники. А ведь когда-то «булева алгебра» была притчей во языцех, считалась забавой досужего ума, невинной игрой, не более того. Годы потратил великий русский физик Петр Николаевич Лебедев на скрупулезное измерение давления света. По этому поводу в свое время тоже было высказано немало скептических замечаний. А между тем как нужны оказались эти расчеты в наш космический век!

Не избежала подобных упреков и ядерная физика. Как курьез можно привести высказывания солидных ученых буквально за несколько месяцев до открытия деления ядер урана — явления, четко определившего перспективы использования внутриядерной энергии, — хуливших науку, «оторванную от жизни». А некоторые так уверенно пророчили, будто мечте об овладении атомной энергией еще много десятилетий суждено оставаться лишь мечтой, что даже делали эту тему предметом открытых популярных лекций.

Не таков был Игорь Васильевич Курчатов. Будучи человеком на редкость прозорливым, даже в самые тяжелые военные и послевоенные годы он всемерно

поддерживал работы, требовавшие глубокого научного поиска. Он считал необходимым вести фундаментальные исследования, которые подготавливают грядущий бурный рост того или иного раздела науки, возводя глубокий теоретический фундамент под здание технического прогресса. Вот почему Курчатов полностью одобрил новое направление в ядерной физике, которое возглавил его талантливый ученик и сотрудник Георгий Николаевич Флеров.

Но этого было мало. Энтузиастам синтеза трансуронов предстояло доказать, что путь, на который они предложили вступить, приведет их к достойному финалу. Им нужно было отстоять право будущей лаборатории на место под солнцем, обосновать преимущество выбранной программы действий. К тому времени уже стало ясно, что обычные методы синтеза тяжелых элементов в ядерных реакторах себя изжили. Флеров предложил вернуться к старому способу на новой основе — бомбардировать ядра частицами, разогнанными на ускорителе. Новым явилось то обстоятельство, что «снарядами» должны были служить ядра легких элементов, а не протоны и альфа-частицы, как ранее.

При условии, что «снаряды» мощные и хорошо разогнаны, то есть обладают большой скоростью, они смогут ворваться внутрь тяжелых ядер и, преодолев взаимное отталкивание, слиться воедино. Если при этом мишенью будет служить уран, то и образуются новые трансурановые ядра.

Многим казалось, что на циклическом ускорителе — циклотроне, так сказать, «дедушке атомной артиллерии» — получить новые элементы предложенным способом нельзя. Слишком мало их может появиться. В противном случае, с чего бы это американцы начисто отвергли идею подобного эксперимента? (Кстати говоря, немало воды утекло, прежде чем американские ученые, наконец, поняли, что успех советских физиков



был во многом определен удачным выбором метода).

Курчатов предоставил в распоряжение группы Флерова циклотрон своего института. Именно на этом «старом судне», как не замедлили окрестить ускоритель заядлые остряки, физики добрались до сотого элемента.

Победа была одержана, и тем самым доказана жизнённость идеи. Теперь можно и двигаться дальше. Но идти пока что было некуда. Для 102-го элемента, а в мечтах флеровцы замахнулись уже на 104-й, необходим новый ускоритель, более мощный. А он требовал затрат, притом немалых.

Снова приходилось спорить, доказывать, убеждать.

Но при полной поддержке Курчатова флеровцы добились своего, получили и деньги, и помещение.

Лаборатория переехала в Дубну. На первых листах ватмана появились первые эскизы циклотрона многозарядных ионов. Идея обрастала плотью. Чтобы получить 104-й элемент, надо было разогнать десятизарядные ионы (мишенью в новом циклотроне должны были служить ядра плутония). Ничего подобного ядерная физика еще не знала, поскольку никто в мире не ускорял на циклотроне столь крупные частицы. Непривычным было и другое. Обычно физики получали и получают аппаратуру, так сказать, в готовом виде. А флеровцы активно участвовали в ее конструировании и, отлаживая схемы, экспериментировали на ходу. Так возникла, а возникнув, укрепилась традиция все делать самим, профессионально, каждый раз применяя свои собственные, порой дерзкие технические решения.

Сроки ставили себе сами и неизменно перекрывали их. Часто собирались, спорили, обсуждая все проблемы, и решение лишь тогда считалось принятым, когда достигалось полное единодушие.

Эта традиция и поныне свято соблюдается.

А хлопот было немало. Иногда даже казалось, что

природа нарочно ставит рогатки на пути исследователей. Первая заминка произошла с ускорителем — не удалось вывести пучок ионов наружу. И сразу же появляется смелое решение — поместить мишень внутри циклотрона.

Но как тогда быть с регистрацией новых, рождающихся ядер? Ведь согласно расчетам они будут крайне недолговечными.

Пока экспериментаторы сумеют извлечь мишень из ускорителя и подвергнуть ее анализу, большинство «новорожденных ядер» погибнет. Этим частицам жить в лучшем случае несколько секунд, и каждая из них на счету.

Тогда рождается новая великолепная идея — использовать никелевую ленту для транспортировки синтезированных ядер. Что-то вроде эскалатора. При своем рождении частицы, получив сокрушительный удар разогнанного иона, отскакивают от мишени. Эскалатор собирает отбившихся от общего стада беглянок и доставляет прямо к регистрирующей аппаратуре.

И вот первая победа. Не прошло и трех лет со дня пуска нового циклотрона, как впервые в СССР, а многие считают, что впервые во всем мире, дубненские физики синтезировали 102-й и 103-й элементы. А попутно, о чем и говорил Флеров, сделали два открытия фундаментального характера. К пяти известным до них видам радиоактивного распада флеровцы добавили шестой — излучение протонов, причем доказали, что это отнюдь не редкое явление, а широко распространенное свойство ядер, перенасыщенных положительными частицами. Более того, оказалось, что протонное излучение можно использовать как информацию о структуре атомных ядер. Тем самым ценность открытия неизмеримо увеличилась.

Дубненские физики обнаружили также не предсказанную никакой теорией особую форму ядерной изо-

мерии — известного физикам свойства ядер одного и того же изотопа распадаться по-разному. Опять-таки новый процесс — еще одна возможность глубже проникнуть в механизм деления ядер, что так важно и теоретикам, и практикам.

И все это было сделано за три года. Не так уж много лабораторий могут похвастаться такой продуктивностью.

А работа шла все интенсивнее, ведь до финиша, до 104-го элемента, было уже рукой подать. Еще один, последний рывок — и цель достигнута. Регистраторы ядерных частиц — маленькие стеклышки — отныне навеки хранят следы осколков ядер элемента, до той поры никому не известного. Имя его было определено заранее, за много лет до открытия. Ученики поставили памятник учителю, назвав новый элемент курчатовием.

После открытия курчатовия в лаборатории синтезировали 105-й и 106-й элементы и, продолжая привычную для них теперь работу «созидания», параллельно приступили к поискам стабильных сверхтяжелых трансуранов.

...На первом этаже в просторном холле висит стенная газета — новогоднее пожелание физиков. Тут все, чем они сейчас живут, все направления непроторенных дорог, идущих к одной цели.

Рисунки яркие, юмористические. Вот физики погружаются в глубины океанов, вот они мчатся в космос. Тут нарисован вулкан, изрыгающий все испепеляющую лаву, а там ученый пристально рассматривает на свет хрустальный бокал. И схема очередного ускорителя, с которым связаны надежды и большие ожидания.

Сводится все это к емкой, хотя и короткой фразе: «Трансураны надо создать или... найти».

Такова программа работы, на которую они себя обrekli.

У стенной газеты мы и остановились. Словно обрадовавшись, что можно прервать затянувшийся разговор, Флеров сказал:

— Вот тут изображены все наши стратегические задачи. Изучайте на досуге. Потом, если нужно, поговорим подробнее. После совещания.

Сказал и исчез в глубине коридора, ведущего к ускорителю.

Полюбовавшись на красочные рисунки юмористов ЛЯР, я поднялся на второй этаж в кабинет директора. Поскольку совещание было назначено на девять, а часы показывали без пятнадцати, в кабинете я застал лишь несколько человек, один из них лихорадочно исписывал доску косыми столбиками цифр, да в «предбаннике», как непочтительно называли сотрудники маленькую комнату секретаря, у телефона сидели два бородатых физика, судя по всему безуспешно пытавшихся связаться с Москвой.

Кабинет Флерова внешне ничем не отличался от помещений подобного рода. Массивный письменный стол, глубокое кресло председателя, второй стол, перегородивший комнату. На столах рукописи, папки, макеты и детали приборов — словом, все как обычно. Непривычными выглядят лишь странные предметы, произвольно разбросанные по всем столам, включая маленькие столики, притулившиеся вдоль стен.

Груда камней разного цвета и конфигурации, пробирки с маслянистой жидкостью, хрустальные бокалы, раковины, застывшая лава, ноздреватая пемза. Любопытная коллекция! Тест на сообразительность: что объединяет все эти предметы? Оказывается, все те же трансураны. Теоретическая физика нацелила экспериментаторов на поиски их в природе. По мнению теоре-

тиков, основа островков стабильности — так называемые магические ядра.

«Магические» — это, конечно, не более чем образ, говорящий о том, что природа и особенности сил, объединяющих частицы в ядрах атомов, еще не разгаданы до конца. Пока лишь известно, что ядра, содержащие «магическое» число нейтронов, долговечнее своих братьев. Та же магия обрекает на длительное существование радиоактивные ядра с определенным числом протонов. Но еще более стабильны ядра, дважды магические. Изотопы подтверждают это предположение. Вот почему теоретики и предположили, что этот закон распространяется и на ту область таблицы Менделеева, куда еще не проникли экспериментаторы. По их прикидкам, «островки стабильности» могут существовать вокруг ядра неизвестного элемента за номером 126, где на 126 магических протонов приходится 184 магических нейтрона.

Другим подходящим объектом может стать элемент, где 184 нейтрона пребывают в одной ядерной семье со 114 протонами.

На этом единство общих соображений теоретиков кончается. В определении долговечности сверхтяжелых трансуранов они решительно разошлись. Одни называют микросекунды, другие дают возможность ядрам прожить сотни миллионов лет.

Отсюда и появились два направления работы ученых. Первое определено словом «найти». Раз время жизни гипотетических элементов столь велико, они могут сохраниться на Земле, их следует искать в природных минералах. А поскольку процессы синтеза могут идти по всей Галактике, объектом изучения должны стать также всевозможные космические тела от метеоритов до лунных пород.

Результаты этих поисков и образовали разношерстную коллекцию директорского кабинета. Многочислен-

ные экспедиции флеровцев буквально избороздили всю планету. Где только ни побывали они, откуда только ни шли посылки по адресу «Дубна. ЛЯР»!

Пока что поиски не дали ничего конкретного, хотя в поле зрения ученых попали все подозреваемые вещества, от океанских донных отложений—конкреций до хрусталя, в состав которого входят древние земные породы. Физики достигли истинных вершин измерительной техники. Можно отыскать излучающие ядра трансуранов (все они радиоактивны, более того—подвержены делению, в этом физики не сомневаются), если их приходится всего лишь один микрограмм на десять тысяч тонн пустой породы. Но и эта фантастическая чувствительность не помогает.

Недаром кто-то из скептиков назвал внушительную коллекцию, собранную Флеровым, «музеем несбывшихся надежд».

Но существует и второй путь. Пусть пока что не удастся «найти». Тому могут быть вполне реальные причины. Земля наша в достаточной мере насыщена различного рода радиоактивными элементами, к которым добавляется теперь изрядное количество отходов ядерной энергетики. Вот и поди разберись, откуда в природных минералах взялись излучающие ядра—трансуран это или что иное? Данных слишком мало, чтобы делать уверенные выводы.

Если так трудно «найти», то надо «создать», то есть пойти по второму пути, исходя из предположения, что время жизни обитателей «островков стабильности» невелико. На Земле они давно исчезли, если и существовали когда-нибудь. Но тогда их можно получить, синтезировать на ускорителе, как и все изотопы, которые «родились» в лаборатории. Короткоживущие изотопы хороши тем, что их легко обнаружить. Чем быстрее вещество распадается, тем больше частиц оно испускает в единицу времени.

Но пока что и этот путь успехом не увенчался, хотя затрачено немало сил и времени.

А что, если иного ответа эксперимент и не может дать? Предсказания теоретиков, как известно, оправдываются далеко не всегда. Сколько раз они уже ошибались в своих прогнозах, сколько раз суровая правда эксперимента разбивала хрупкие мечты теоретической физики!

Может, такая же судьба ждет и гипотезу «островков стабильности»?

Однако соблазнительная идея закрыть одним махом теорию, заявить, что стабильных трансуранов нет и никогда не было, ни разу не пришла в голову ученым Дубны.

Они продолжают упорные поиски, проводят все новые и новые эксперименты, пытаясь получить трансураны на ускорителе. Не успокаиваются, лишь становятся с каждой неудачей все злее и напористее.

Это я хорошо почувствовал на совещании, посвященном синтезу трансуранов.

Мои надежды увидеться с Флеровым до начала совещания не оправдались. Он появился ровно в девять и сразу начался деловой разговор. Было видно, как здесь ценят время, дорожат каждой минутой, хотя эксперименты флеровцев как раз отличаются своей длительностью.

Ученые собираются использовать для синтеза «долгожителей» трансуранового семейства — совершенно новые принципы, в том числе и предположение, что новые ядра могут появляться в мишени, как осколки от деления еще более тяжелых ядер, дислоцирующихся где-то в середине второй сотни элементов системы Менделеева.

В оценке этого предположения разногласия не было. Страсти накалились, когда речь зашла о течении самой реакции. Доктор физико-математических наук Юрий

Цолакович Оганесян утверждает, что атомные снаряды — ионы ксенона при ударе слипаются с ядрами мишени, образуя сложное соединение, которое в дальнейшем (практически мгновенно) распадается на две половинки. По мнению его оппонента доктора физико-математических наук Вадима Васильевича Волкова, ядра не сливаются, а просто сближаются, причем одно из них отдает другому часть своего вещества и электрического заряда. Спор отнюдь не академический, так как из него вытекают подробности, непосредственно связанные с экспериментом.

Грубо говоря, речь идет о том, сколько новых ядер появится. Если их число заведомо невелико, то идею синтеза можно пока что считать несостоявшейся, так как несколько новых ядер наверняка ускользнут от регистрирующих приборов, и все надежды возложить на новый, более мощный ускоритель, строительством которого вся лаборатория занимается последнее время.

Совещание напоминает мне производственную планерку, типичную для промышленных предприятий.

В какие бы теоретические дебри ни забирался любой из выступающих, всегда в его речи есть толика чисто практических выводов, всегда зримо присутствует эксперимент. Директор пока что не вмешивается в споры. Лишь когда Оганесян показывает, как удачно его экспериментальные данные подтверждают им же рассчитанную теоретическую кривую, Флеров не выдерживает.

— Очень гладко получилось, — говорит он, — помните все время о пользе сомнений. Если опыты так пунктуально подтверждают вашу теорию, будьте самими заядлыми оппонентами. Пусть лучше тот же результат получит кто-нибудь из ваших противников. Тогда можете трубить победу.

Разговор переходит на эксперимент. Опыты идут



полным ходом. Предварительные, где отрабатываются методики, и прикидочные, и «настоящие», когда от каждого ожидают результатов. И снова как бы само собой стали касаться возможностей старого ускорителя. Для многих все надежды связаны с мрачного вида кубическим зданием, выросшим недавно вблизи их родного корпуса. Тут и будет монтироваться новый ускоритель оригинальной конструкции.

— Ладно, — Флеров резко обрывает разговор. Видимо, эту тему он не любит. — Ладно. Новый ускоритель вступит в строй не скоро. Будем лучше думать, что можно выжать из нашего «старичка». Что слышно у Лобанова? Как дела, Юра?

Кандидат физико-математических наук Юрий Васильевич Лобанов пытается получить 114-й элемент старым методом, так сказать, ударом в лоб. Он облучает ядра урана ионами германия. Многие относятся к этой идее скептически, но Лобанов упрямо экспериментирует.

— Пока ничего не обнаружил, — отвечает Лобанов. Он считает, что регистрирующей аппаратуре не хватает чувствительности.

Доктор физико-математических наук Гурген Тер-Акопьян, руководитель сектора поисков и синтеза трансуранов, настроен более оптимистически и более требовательно.

— Выход будет, — уверенно говорит он. — Нужно увеличить мощность пучка в три раза. Тогда я вам представлю стабильные трансураны.

— А что скажет химия?

На лаконичный вопрос Флерова Иво Звара — чешский ученый, возглавляющий группу радиохимиков, дает столь же лаконичный ответ:

— Георгий Николаевич, давайте элемент. Пробирка для него найдется.

— Игорек, сможешь поднять интенсивность? — об-

ращается Флеров к Игорю Александровичу Шелаеву, отвечающему за работу ускорителя.

Шелаев отвечает не сразу... Лишь после небольшой паузы «начальник ускорителей» говорит:

— Можно. Есть кое-какие идеи...

— Ну что же, — замечает Флеров, — тогда на этом можно и закончить.

Он дает задания физикам, химикам, инженерам, механикам, измерителям и закрывает совещание.

— Теперь вы, надеюсь, в курсе дела, — говорит он мне. — Если интересуют детали, пройдитесь по лаборатории.

### **Тревоги ожидания**

Мигающие лампочки, вой сирены, яркая надпись «Внимание! Радиоактивность» или просто лаконичное «Входить нельзя» в сочетании с красноречивым рисунком черепа и скрещенных костей предупреждают, что вы в лаборатории ядерной физики и где-то в здании работает ускоритель. Но он надежно скрыт за толстыми бетонными стенами, и ломаные зигзаги коридоров — тоже защита от излучения, а не прихоть архитекторов.

«Опять не как у людей» — столь странной фразой прокомментировали кое-где появление нового ускорителя лаборатории. В самом деле, такой системы нет нигде в мире. Циклотрон многозарядных ионов, который плодотворно работал, уже устарел. Нового ждать долго — пока еще только возводят здание. Вот и появилась идея — создать тандем, то есть заставить работать два циклотрона в одной упряжке. Так и сделали. Сначала частицы ускоряются в старом большом ускорителе. Потом по специальной трубе их переводят к другому циклотрону, поменьше. Система, конечно, нелегкая в управлении, но ничего — справляются.

На первом ускорителе пусто. Циклотрон, на котором был создан курчатовий, стоит, нахохлившись в полумраке, словно обиделся, что самое интересное происходит теперь в соседнем зале, а на его долю остались лишь предварительные работы. А я помню напряженную обстановку тех памятных дней, когда решалась судьба 104-го элемента и готовились последние завершающие эксперименты. Иво Звара создал тогда уникальную лабораторию, которую ввел внутрь ускорителя. Механик Василий Плотко, чародей лаборатории, наладил свои знаменитые «пробники», длинные стержни, с помощью которых физики добывали потом из недр циклотрона рожденные там ядра. Около ускорителя буквально дневали и ночевали Юрий Оганесян и Виктор Друин, руководившие группой физиков, синтезировавших курчатовий.

Теперь здесь никого нет. Все во втором зале.

Там пульт управления, там сердце ускорителя.

Дежурит у пульта Рубен Оганесян — брат Юрия. Глаза красные, усталые — не спал всю ночь. Что нового? Да ничего. Прибежал ночью Флеров. Зачем? А он всегда такой — беспокойный...

Но здесь все нетерпеливые. То их поздно вечером не выгонишь из лаборатории, то отпуска пропадают. Но, как это ни странно, здание кажется пустым. Нет празднующихся — все заняты делом.

Поэтому и сейчас зал не выглядит многолюдным, хотя народу хватает. И волнений хватает. Последний раз проверяют физики свои установки. Ответственная операция. Сплоховал, неудачно продумал опыт — пеняй на себя, жди очереди. Она может подойти нескоро — циклотрон всем нужен. Вот почему так немногословны они, вот почему так напряжены.

А ведь, кроме забот чисто научных, есть и прикладные.

На столе у Оганесяна аккуратная стопка квадрат-

ных кусочков синтетической ткани, побывавшей недавно в жерле ускорителя.

Иногда кажется, что затраты, которые требует сейчас развитие ядерной физики, слишком велики. Один из «коварных» вопросов стереотипен: сколько стоит одна частица? Частица, конечно, обходится недешево. Но фундаментальные исследования, какими бы далекими от практики они ни выглядели, помимо общего прогресса науки, всегда влекут за собой новый подход к чисто техническим проблемам.

Синтетические квадратики, которые «украшают» пульт управления,—яркий тому пример.

Для многих областей производства, основанных на самых новых технических принципах, необходимы точнейшие и тончайшие фильтры. Их требует современная химия, биохимия, микробиология. Такие фильтры трудно изготовить, стоят они дорого и отнюдь не всегда удовлетворяют потребителей.

Ускоритель Дубны создает такое «сито» за несколько секунд: один удар мощного пучка ионов ксенона, затем привычное для лаборатории химическое травление — и технологи получают фильтр прецезионной точности.

Я беру в руки кусочек ткани. Где-то суждено ему поработать?

— Заказчиков много,—говорит Оганесян. — Даже для очистки воды необходимы такие вот фильтры.

...Наш разговор прерывает сирена. Проверка, после которой начинается работа. Зал мгновенно пустеет. Ухожу и я. Физики и химики в ожидании результатов отправляются к себе, готовить образцы для новых испытаний. Мой путь ближе — к механикам.

Механическая мастерская расположена рядом с ускорителем. Это отнюдь не случайно. Именно здесь, в мастерской, появляются великолепно придуманные приборы и механизмы, которые делают ускоритель и

всю лабораторию уникальной, именно здесь работает механик Плотко.

— У Плотко обязательно посмотрите паука, — еще утром, как нечто очень важное, сказал мне Флеров.

Я приготовился увидеть современный вариант блохи вроде той, которую так успешно подковал лесковский Левша. Но паук оказался не механической игрушкой, а самым натуральным мохнатым насекомым. Он, конечно, не подозревал, что служит великой науке, а просто, повинуясь инстинкту, выпускал паутину, не ведая, как ее будет использовать хитроумный механик Василий Максимович.

А механик укрепляет в специальной рамке тончайшую графитовую пленку, опутывая ее паутиной. Вот для какой цели понадобился паук. В лаборатории пользуются самыми мощными снарядами атомной артиллерии — тридцатидвухзарядными ионами ксенона. Для этого ксенон пропускают сквозь графит. Здесь-то и таится коварство природы. Толстая пленка задерживает слишком много атомов, а тонкая — ломается. Чтобы ее закрепить, Плотко и придумал использовать природную арматуру — паутину. Казалось бы, мелочь, оригинальная деталь, не более. Но пока механик не привлек на помощь пауков, с графитом ничего не получалось, выдерживала пленка лишь несколько часов облучения. Теперь она работает сутками. Так что и паук с помощью Василия Максимовича внес свои усовершенствования в конструкцию ускорителя.

Отчеты о сложных физических экспериментах подписывают все: физики, химики, инженеры, кандидаты, доктора наук и... лабораторный механик Плотко, слесарь по штатному расписанию, по праву соавтор всех научных работ лаборатории.

Здесь всегда так. Механики вместе с физиками обдумывают подробности очередного эксперимента. А физики мастерят, конструируют, изобретают... На сто-

ле Виктора Друина — рукопись новой статьи о поисках 106-го элемента, доска исписана сложными расчетами теории стабильных трансуранов. А над доской висит чертеж хитрой конструкции, которую Друин недавно придумал и собственноручно изготовил.

Механика в лаборатории в почете. Буквально каждое устройство поражает выдумкой, своеобразной элегантностью, целесообразной простотой, доставляющей истинно эстетическое наслаждение.

У любого из них есть чем гордиться. Это великолепный коллектив специалистов, досконально знающих свое дело. Они умеют работать с предельной нагрузкой сутками, неделями, месяцами. Мне это напомнило курчатовские лаборатории первых послевоенных лет, царившую там редкостную атмосферу подъема, душевной щедрости, бескорыстия и истинного коллективизма.

Так живут и сейчас. За двадцать лет почти никто не ушел. Правда, жалуются, что устали, что нет времени подготовить диссертацию, что «Гэ-Эн» (Флеров) порой злит мелочной опекой.

Жалуются, но... остаются.

Они, как эстафету старшего поколения, восприняли эту самоотдачу, обучились высочайшему прикладному искусству, познали мудрость эксперимента.

Вот что дала им школа, которую сам «Гэ-Эн» считает школой Курчатова. Но для них, его учеников, это школа Флерова. Он передал им все, что получил когда-то от Курчатова и той блестящей плеяды ученых, что собрал вокруг себя Игорь Васильевич. Но добавил и свое, чему научила долгая жизнь ученого-новатора, который всегда брался за тяжелые, неочевидные, чрезвычайно прихотливые исследования.

И когда директор отбывает в длительную командировку или отдыхает, лаборатория работает четко, без

сбоем, как хорошо налаженный и выверенный механизм.

А проверяется такой «механизм» только в деле, деле трудном и кропотливом.

Пышных и громких слов здесь не любят.

### **Последняя инстанция**

У радиохимиков тихо. После бурь, что недавно бушевали в двух шагах отсюда (кабинет директора расположен на том же этаже), после лихорадочного муравейника машинного зала ускорителя тишина еще ощутительнее.

Но радиохимия с самого дня ее рождения прослыла наукой таинственной, почти мистической, так как большинство веществ, с которыми она имела дело, были невидимыми в самом прямом смысле этого слова.

Я помню удивительное волнение, которое передавалось всем окружающим, когда маститый ученый, доктор наук, впервые смог невооруженным глазом посмотреть на элемент, которым он занимался добрых пятнадцать лет. Он знал о нем все подробности, изучил досконально, но, увы, до той поры никогда не видел.

«Материализация радиохимических духов» произошла в сороковых годах, когда радиоактивные элементы, выйдя из научного «подполья», стали привычными гостями самых различных лабораторий и промышленных установок, появились в медицинских клиниках и на сельскохозяйственных фермах.

Настала эра практического применения атомной энергии, когда в большом количестве появились отходы ядерных реакторов—радиоактивные изотопы. Это радикально преобразило технологию получения многих, до той поры чрезвычайно редких веществ. Они стали столь же привычными для производственников, как давно известные железо, алюминий или медь.

Работа радиохимиков Лаборатории ядерных реакций возвращает науку к ее первоначальному романтическому периоду.

Все трансурановые элементы первой сотни периодической системы теперь можно и увидеть и взвесить, так как их получают в ядерных реакторах в количествах, вполне солидных.

Для изотопов, которые синтезируют ученые ЛЯР, такая возможность исключена. Речь может идти лишь о «горстке атомов», для которой не существует само понятие веса. Их, разумеется, нельзя обнаружить никакими микроскопами. Так что здесь особая наука — химия отдельных атомов и молекул.

Всего лишь 150 атомов курчатовия и в три раза меньше частичек элемента, который пока что существует без названия под номером 105, изготовили флеровцы. Синтезировали и провели все исследования, которые точно определили и физические, и химические свойства новых обитателей периодической системы.

Кстати говоря, таких работ не знала радиохимия первых лет ее существования. И впервые в мире новый элемент курчатовий был обнаружен чисто химическими методами.

Согласно закономерностям, установленным еще Менделеевым, курчатовий должен был быть химическим аналогом давно известного вещества гафния. И химики Дубны, пользуясь известными свойствами гафния, определили, какие именно соединения должен образовать экагафний — так именовался новый элемент по номенклатуре, предложенной Менделеевым.

Химики сумели поймать атомы экагафния, создав уже заранее известные им химические соединения, и передали физикам для измерений новый газ — хлорид курчатовия.

Как драгоценная реликвия, хранится в лаборатории установка, с помощью которой «Иво Звара и его ко-



манда» произвели операцию, фантастическую с точки зрения обычных химических методик. Как жаль, что у нас в стране нет постоянно действующей выставки изделий экспериментальной техники и сотни подобных уникальных приборов пылятся на полках. А между тем их место в музее человеческой находчивости, изобретательности, изощренного разума, если хотите.

«Ловушка для курчатовия» заперта в шкафу, а ее модификация, «пробирка для 114-го элемента», о которой говорил на совещании Звара, уже обрела стройные контуры. Новый элемент — аналог свинца. И химики собираются ловить газообразные соединения эка-свинца — 114-й, разумеется, еще не имеет названия.

Сколько будет новых молекул — неизвестно. Конечно, мало, очень мало. Но ведь американские ученые пытались идентифицировать физическими способами 101-й элемент, имея в своем распоряжении всего лишь... пять атомов!

Счет на отдельные атомы пойдет и в установке, которую готовит Юрий Короткин. Счет особый, так как атомы будут самые различные. Вихрь частиц ускорителя рождает в мишени множество новых ядер — подлинный Ноев ковчег периодической системы — от железа до урана. Задача химиков — разделить их. Подобный экспресс-анализ единичных невидимок еще не встречался в практике радиохимии. Но что делать — надо.

Все операции, которые обязаны обеспечить химики, обладают еще одним в какой-то степени решающим свойством. Химическое выделение должно быть по возможности быстрым. Ведь новые атомы, новые ядра все-таки удивительно недолговечны. Их надо как можно скорее представить на суд измерительных устройств. И здесь химики пасуют. Они могут вытянуть из мишени всего лишь несколько синтезированных атомов, заставить их образовать определенные химические сое-

динения, собрать воедино новые молекулы. Но определить их наличие, пользуясь своими собственными, чисто химическими методиками, химики не умеют. Таких методик в применение к единичным атомам и молекулам не существует. Круг замыкается. Снова нужны чисто физические, ядерные измерения, так как только по радиоактивному распаду новых ядер можно догадаться об их существовании.

В тысячах лабораторий и производственных установок трудятся радиоактивные изотопы. Щелкают механические счетчики, отсчитывающие частички, попавшие в сферу «обслуживания» регистрирующей установки, весело перемигиваются лампочки пересчетных устройств, облегчающих счет — так, чтобы фиксировалась лишь каждая сотая или даже десятитысячная частичка — столько их излучает работающий изотоп. Словом, промышленность и медицину, где используются мощные источники излучения, вполне удовлетворяет существующая измерительная и регистрирующая аппаратура. А вот для Лаборатории ядерных реакций — это одно из самых уязвимых звеньев общей исследовательской цепочки. Счет идет на отдельные атомы, которые к тому же не всегда спешат развалиться, выдать себя излучением. Излучателей мало, они предельно слабые, их очень трудно обнаружить. Тут еще так называемый фон, который создают излучатели Земли и космические лучи. Обезопаситься от него необычайно сложно. Измерения из-за этого становятся исключительно трудоемкими и не всегда надежными. В самом деле, имея дело с электронной аппаратурой, поди установи, откуда взялся один импульс-отсчет прибора-регистратора, что так радостно отозвался в сердце экспериментатора после многих часов бесплодного ожидания...

Малая активность изучаемых препаратов добавляет заботы, которые звучат порой анекдотически. Для

непосвященных, конечно. Вот хотя бы такая фраза: «Потерял атом и загрязнил помещение...» Но ведь дело обстоит именно так, когда исследователи занимаются поисками трансуранов. На учете действительно одиночные атомы. Однажды американские физики, работая с калифорнием, случайно «загрязнили» здание, потеряв буквально горстку атомов, которую нельзя было обнаружить. Во всех других случаях подобная «грязь» никого бы не интересовала. Но в этом самом помещении ученые собирались вести регистрацию трансуранов. И лишний атом калифорния, попав в регистрирующую установку, мог спутать все карты. После долгих мытарств ученым пришлось перевести лабораторию в другое место и заняться чисткой аппаратуры и здания, буквально «вылизывая» пол, стены и даже потолок.

Короче говоря, флеровцам с самого начала их деятельности понадобилась полная стерильность помещения. И следят они за этим весьма строго.

Экспериментаторы вынуждены перебрать, пересмотреть все возможности регистрации микрочастиц и выбрать детекторы, способные ждать сколь угодно долго и в то же время игнорирующие все посторонние излучатели.

Рядом с радиохимиками располагается сектор кандидата химических наук Владимира Павловича Перелыгина — последняя инстанция лаборатории. Удалось ли синтезировать новый элемент или нет — ее решение обжалованию не подлежит. А выносит она свое решение по детекторам из стекла, слюды, полимерных пленок, на которых делящиеся ядра оставляют следы — траектории осколков. Разумеется, никакие оптические системы не в состоянии проявить микрокатастрофу. Лишь химическое травление делает тайное явным. Потом уже наступает очередь микроскопов.

И здесь, у Перелыгина, тоже господствует тишина,

сосредоточенная, внимательная, вдумчивая. Каждый проявленный трек—след осколка деления — предмет особого разбирательства. Во-первых, его надо обнаружить, на то порой уходит не один день, не одна неделя. Затем следует экспертиза: откуда появился след, не случайный ли он. Делящееся ядро создает два осколка, которые разлетаются в противоположных направлениях. Поэтому «эксперт» изучает, как были расположены детекторы, какой угол на них образовали следы, есть ли вообще второй след — ведь для измерения родившихся на ускорителе ядер используют обычно две пленки, расположенные симметрично относительно изъятой из ускорителя мишени.

Не меньше труда затрачивается и на анализ природных пород. В Закарпатье на глубине более четырехсот метров, где когда-то была соляная шахта, уже много времени стоят установки молодого ученого Андрея Попеко. Там он, оградив свои приборы от космических лучей, пытается поймать нейтроны, образующиеся при делении ядра трансуранового элемента. А здесь, в лаборатории, экспериментатор снимает слой за слоем с какого-либо минерала, в котором предположительно мог закончить свое существование атом трансурана, и травит, травит этот камень ядовитой химической смесью в надежде увидеть след распавшегося атома...

...Я ухожу поздно вечером, когда опустело здание, закрылись двери рабочих комнат, затихли станки мастерской, потух свет в кабинете директора, который никогда не бывает пустым, все равно на месте ли сам Флеров или в отъезде.

И только мигающие красные лампочки в коридоре первого этажа говорят, что не все покинули лабораторию, а есть люди, которым сегодня не суждено спать, как не спит и сам ускоритель.

А на доске объявлений, которая висит рядом с веселой стенной газетой, чья-то уверенная рука вывела:

«На тандем-циклотроне ведется ускорение ионов ксенона-сто двадцать девять с конечным зарядом тридцать два. Задача отдела ускорителей—ускорение не менее  $1,2 \cdot 10^{14}$  частиц за сутки на ближайшую декаду!»

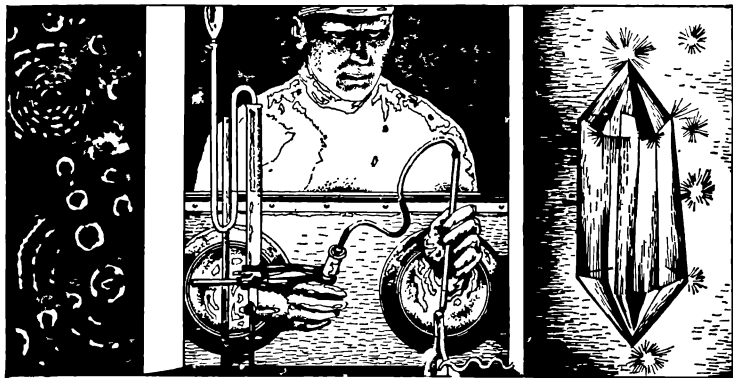
Утром такой надписи не было. Значит, интенсивность пучка, как и обещал Шелаев, повышена и начался очередной штурм трансуранов.

Когда и чем он кончится — никто, разумеется, не знает.

Но сколько уже сделано! Появились новые методики синтеза и исследования тяжелых ядер, разработана новая аппаратура — и оригинальные ускорители, и сверхпрозорливые детекторы ядерных частиц, способные регистрировать самые незначительные эффекты, с какими когда-либо приходилось иметь дело ядерной физике.

Флеровцы скрупулезно обследовали громадную область атомных ядер, создали множество новых изотопов, установили различного рода закономерности в их строении и поведении. И 6 ноября 1975 года «...за цикл работ по синтезу и изучению свойств атомных ядер вблизи границы ядерной устойчивости...» Г. Н. Флерову, В. В. Волкову, Ю. Ц. Оганесяну, Ю. В. Лобанову, В. М. Плотко вместе с другими флеровцами присуждена Государственная премия СССР.





## МЕТАМОРФОЗЫ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Особенность физики твердого тела наших дней заключается в том, что все ее эффекты, даже самые экзотические, тут же становятся достоянием техники и особенно радиоэлектроники, которая сейчас неразрывно связана с физикой твердого тела, надежно питаюсь ее достижениями...

Член-корреспондент АН СССР В. В. Мигулин

### Щелчки из микромира

Техника двадцатого века удивительно быстро подхватывает все новое, что только что рождается в лабораториях ученых. На основе этих открытий создаются новые технические устройства, появляются новые методы исследования вещества. И здесь начало многих оригинальных приемов, обогативших технологию в самых, казалось бы, устоявшихся ее отраслях.

Первопричина всему — опыт, тонкий и в то же

время до предела убедительный физический опыт. Техника не любит неопределенности, ей нужен однозначный ответ. И нужен быстро, так как современные темпы развития не располагают к долгим размышлениям.

Все эти тенденции техники и специфику того гигантского раздела науки, что зовется физикой твердого тела, хорошо иллюстрирует история трех интереснейших явлений, история поучительная, сугубо индивидуальная для каждого случая, но вместе с тем удивительно типичная.

Первое из них — эффект Баркгаузена.

Все чаще оказывается, что самые на первый взгляд ничемные вещества становятся позарез нужны технике. Так было с инертными газами, редкоземельными элементами и другими в какой-то степени оригинальными творениями природы.

В этом ряду особое место занимают ферромагнетики. В свое время их сразу же сумели оценить по заслугам. Так появились магнитная стрелка и компас. Это произошло еще в седой древности, но природа ферромагнетизма и сейчас до конца не выяснена, хотя основные закономерности общеизвестны.

В каждом веществе нашего мира — мира вокруг нас — есть мельчайшие магнетики. Разбросаны они хаотически, и поэтому никакого магнетизма у многих тел, окружающих нас, мы не замечаем. А вот магнетики известного всем железа объединены в могучие соединения — домены. Во внешнем магнитном поле домены, преодолевая тепловое движение и связанный с ним хаос, стараются занять одно и то же положение по направлению поля. Когда домены-магнетики выстраиваются в ряд, все тело становится магнитом. Но — главное! — при исчезновении внешнего поля часть доменов остается в строю: железный предмет остается намагниченным.

Домены в миллиарды, в сотни миллиардов раз круп-

нее атомов и молекул. Их легко обнаружить с помощью обыкновенного микроскопа. Есть множество учебных фильмов, где прекрасно можно увидеть, как ведут себя домены, как поворачиваются они, занимая свои места в строю, как нарушается этот строй, когда исчезает создавшее его поле.

Но домены не только зримы. Их движение столь же легко услышать. Уже пятьдесят лет по лекционным залам кочует превосходная установка, демонстрирующая звуковое отражение внутренней жизни ферромагнетиков. Источником этих звуков становится кусок стали, погруженный внутрь катушки, соединенной с мощным динамиком. Как только вблизи катушки появляется магнит, сталь сразу же отзывается на его присутствие серией резких щелчков в динамике. Внутри стального бруска поворачиваются, занимая свои места, домены. Они становятся в строй не все сразу, а частями. Скачками изменяется магнитное поле, а в катушке по всем правилам электромагнитной индукции наводится ток. Вот и шумит она, словно отражая недовольство потревоженных доменов. Странное рычание и есть «эффект Баркгаузена».

Эпоха исторической известности кончилась для него сразу же после второй мировой войны. Наука о магнетизме испытала в то время сильнейшую встряску. Технике понадобились новые магнитные материалы, а значит, и оригинальные их исследования. Природа установила своего рода сигнализацию о динамике внутренней жизни вещества. Со стороны ученых грехом было бы не воспользоваться ею, и теперь ни одна современная лаборатория, где изучают ферромагнетики, не обходится без измерений скачков Баркгаузена.

Для слуха непосвященных это, разумеется, всего лишь посторонние шумы. Лишь специалист может извлечь из щелчков, что доносятся из микромира, нужную информацию.



Все зависит от взгляда.

Американский ученый Эшби заметил как-то, что те самые шумы, что мешают нам говорить по телефону, вследствие чего мы вызываем монтера, для телефонного мастера могут служить драгоценным источником информации о состоянии аппаратуры и линии передачи.

Так и со скачками Баркгаузена. Эффект не только дает сведения о поверхности ферромагнетика, но и рассказывает о том, что происходит в толще вещества, говорит о таких тонких процессах, которые плохо доступны другим методам исследования. Скачки Баркгаузена — наиболее чувствительный индикатор «тонкой структуры» всей динамики доменных изменений.

Методы изучения структур, особенностей и всякого рода внутренних процессов твердого тела вообще — громадный раздел измерительной техники. Тут используются все новейшие достижения науки, любой способ так или иначе проникнуть внутрь вещества.

И «щелчки из микромира» — один из щупов, который создала на сей предмет услужливая природа.

Новые методы исследования всегда вызывают подражание у представителей смежных областей науки. «По соседству» с ферромагнетиками расположились весьма любопытно устроенные вещества — сегнетоэлектрики.

По отношению к электрическому полю они ведут себя подобно ферромагнетикам в поле магнитном. Тут тоже есть свои электрические домены — правда, не магниты, а большие диполи. Домен ферромагнетика обладает двумя магнитными полюсами. У сегнетоэлектрика существуют полюса электрические. И точно так же, поляризовавшись во внешнем поле, сегнетики и без него будут частично поляризованными, поскольку наиболее дисциплинированные домены остаются в строю.

В 1672 году французский аптекарь Пьер де ла Сень-

ет из отходов виноделия получил бесцветную соль, которая впоследствии оказалась, по выражению академика А. П. Александрова, «золотой жилой для физиков». Сначала было обнаружено, что она обладает так называемой оптической активностью, потом — пьезоэффектом, а в 1920 году — свойством поляризации в определенной области температур при отсутствии внешнего электрического поля. Целый класс подобных веществ, то есть сегнетоэлектриков (в названии увековечено имя первооткрывателя знаменитой соли — Сенъета), некоторое время не имели никакого технического применения, к ним довольно долго относились, как к забавной игре природы. Но сейчас ситуация резко изменилась. Сегнетики использует радиотехника и вычислительная техника. Пьезокристаллы в наших радиолах — это тоже сегнетики. А дальнейшие перспективы выглядят величественно — тут и прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, и лазерная техника, и многое другое.

Недаром группа советских ученых за работы по изучению структур и различного рода свойств сегнетоэлектриков получила Государственную премию за 1975 год. Именно эти работы послужили основой для синтеза целого ряда новых материалов электронной техники.

Сегнетики — один из важнейших материалов современной радиоэлектроники, ее надежда. Следовательно, необходимо как можно подробнее и тщательнее исследовать эти необычайные вещества.

Естественно, что физики сразу же решили позаимствовать метод анкетирования у ферромагнетиков: раз ситуации столь сходные, поляризацию сегнетиков должны, по-видимому, сопровождать аналогичные эффекты. Первые опыты подтвердили это предположение.

Поначалу казалось, что нужно лишь применить к новым веществам весь опыт, накопленный при исследе-

довании ферромагнетиков, все методики, все установки. И ничего принципиально нового делать не надо.

Однако полной аналогии физика не знает. Общность некоторых черт предполагает существенное различие в деталях. Проявляются своего рода нюансы, но в них и содержится главная информация.

Так что ученые Калининского университета, которые под руководством доцента Владимира Рудяка занимались исследованием скачков в сегнетоэлектриках, отнюдь не были эпигонами. И «старые» исследовательские методы оказались новее самых новых.

Метод, разработанный в Калининне, чрезвычайно быстро перешел от стандартной лекционной демонстрации общеизвестного эффекта в разряд солидных металлургических методик, которыми теперь пользуются по всему Союзу. И любого выпускника физфака, который, как и я, когда-то знакомился с эффектом Баркгаузена на лекциях общей физики, приятно поражает та новизна, что предстает в экспериментах калининских ученых. Они просты внешне, эти работы, сочетающие традиции исследователей твердого тела с тем новым, что привнесли в лабораторию последние годы...

...Я сижу в большой, довольно плотно заставленной комнате. По длинной трубе самодельного реостата скользит движок, ведомый часовым механизмом. Медленно меняется подвластное реостату электрическое поле. И домены крохотного кристалла отзываются на изменение поля скачками Баркгаузена, а уже они — пиками на экране осциллографа и импульсами пересчетной радиосхемы.

Так фиксируются все перемещения доменов сегнетоэлектрика с длинным названием «триглицинсульфат», или сокращенно ТГС

В комнате тихо. Никаких посторонних звуков. Давно исчезли из обихода лаборатории шумливые механические счетчики — запись идет по миганию неоновых

лампочек пересчетных схем или ее ведет специальный самописец.

Практически неслышно передвигается движок рестата, беззвучно перемигиваются «неонки», то здесь, то там на экране осциллографа проскакивают вертикальные полосы. И все это отражает бурную жизнь во внешне молчаливом кристалле сегнетоэлектрика.

Пиков все больше и больше — поле нарастает, домены перестраиваются, образуя новые (в сегнетоэлектриках и такое бывает). Но вот электрическая буря начинает стихать. Лишь одинокие вертикальные всплески бороздят экран осциллографа.

Скачки Баркгаузена — «инструмент» чрезвычайно тонкий. Скачками двигаются не целые домены, а их отдельные фракции, примерно в тысячу раз меньшие по объему. Посему и вскрывают они более тонкую структуру, чем обычные, привычные для физиков регистраторы жизни доменов — ведь и ферромагнетики и сегнетоэлектрики изучают не одно десятилетие.

Но как понять и вскрыть всю ту информацию, какую несут эти щелчки? Если снова обратиться к примеру теоретика кибернетики Эшби, только опытный инженер-связист поймет, что означают посторонние шумы телефонной трубки.

Вся подобная информация для неспециалиста подобна письмам давно исчезнувших народностей. Мало зарегистрировать сигналы, идущие из глубин твердого тела. Надо их расшифровать.

Я помню, как мне однажды показали рентгенограмму кристалла белка. Ученые были в восторге, они буквально вырывали снимок друг у друга, глаза их блестя, тысячу подробностей о строении этого белка услышал я по ходу объяснения снимка — подробностей, почерпнутых из картинки, самое мягкое определение для которой, по моему мнению, было бы «туманная».

Однако авторы туманного снимка великолепно понимали, что именно там запечатлено. Более того, они сделали количественные выводы, провели точные расчеты, исходя из той самой фотопленки, которую я просто посчитал бы засвеченной.

Точно так же обстоит дело и с всплесками на экране осциллографа. Калининские физики научились разбирать «письмена природы», как давно знакомые, привычные тексты, и разработали своего рода словарь для непосвященных в тайны сегнетоэлектричества.

Эффект Баркгаузена оказался удивительно универсальным. Практически все, что происходит в сегнетоэлектрике, все особенности его структуры и внутренней жизни, любые реакции на внешнее вмешательство можно определить — и притом количественно, — регистрируя и анализируя скачки, проявляющиеся на экране. И движение доменных стенок, и смыкание доменных границ, и образование зародышей, и всю геометрию доменной структуры. В многочисленных лабораториях НИИ и на различных производствах появились после работ калининских физиков подобные измерительные установки. Ведь сегнетики теперь распространились очень широко. И везде изучают, регистрируют скачки Баркгаузена. Пожалуй, в богатом наборе современной науки вряд ли найдется еще один такой всеобъемлющий метод. К тому же он чрезвычайно прост по оборудованию.

Внешний вид установок лаборатории довольно однообразен. Осциллограф, на экране которого проявляют себя скачки, пересчетная схема, где их подсчитывают, усилитель «шума» доменов, записывающее устройство.

Ну и, конечно, кое-какие дополнения.

Нужно освещать сегнетик, дабы изучать его реакцию на свет, — в лаборатории стоит обычный добротный монохроматор, стандартный лабораторный прибор.

Почти все вещества настороженно относятся к ульт-

развуку — атмосферу комнаты отравляет запахом прогорклого трансформаторного масла мощный генератор ультразвука.

Домены сегнетика «ползут» в веществе под действием внешних сил. Вопрос в том, как они будут перемещаться — вдоль поля или поперек? Если они двигаются «с загибом», то тотчас же отзовутся скачками Баркгаузена. И сегнетик подвергают механическим нагрузкам.

Лаборатории калининцев настраивают на патриархальный лад. Вспоминаются «добрые старые времена», когда сидели возле установок, собранных своими руками, следили за показаниями самодельных приборов почтенные ученые мужи в сюртуках с длинными фалдами. И будущее науки целиком зависело от их экспериментаторского мастерства.

Здесь оборудование стандартное, так сказать, серийное. Но стандартны лишь основные узлы установок. Они сами — предмет кропотливой исследовательской работы, образец эксперимента, основанного на точно разработанной методике и великолепно исполненного.

Такова практика настоящего современного эксперимента — собрать в основном из стандартных узлов уникальную установку, предназначенную лишь для данного опыта.

Это сейчас мне хорошо смотреть на экран осциллографа, лицезреть сравнительно большие пики скачков Баркгаузена. А сколько месяцев возились физики, чтобы очистить сигнал, — помехи во много раз превышали эффект, и либо его вообще нельзя было регистрировать, либо, что еще хуже, за него принимали всевозможные шумы установки и посторонние наводки.

Как просто то, что уже сделал другой!

Прежде всего скачки Баркгаузена предстали в лаборатории кафедры теоретической физики Калининского

университета в своей прикладной ипостаси. С их помощью физики изучают кристаллы сегнетоэлектриков.

Калининцы разработали весьма совершенные методики, передали их в производство, но при этом, разумеется, никогда не забывали и о чисто научных задачах, изучая «общеизвестное» явление со всех сторон. Можно сказать вполне определенно, что ни в одной лаборатории мира не отдано столько сил и времени скачкам Баркгаузена в применении к сегнетоэлектрикам.

И появилось у физиков новое понятие — диэлектрическая вязкость, место рождения которого определяется однозначно — город Калинин, кафедра теоретической физики университета, в ту пору, когда он именовался еще педагогическим институтом.

В отличие от упомянутой мной фотопленки, проявление вязкости зрительно доступно любому человеку, равно как и понятна ее сущность, так как вязкость — общеизвестное сопротивление движению со стороны газообразной или жидкой среды.

Такова и диэлектрическая вязкость, хотя ее интерпретация не столь простой орешек. Зато наглядность самого процесса впечатляюще убедительна...

Я снова сажусь за установку. Снова передо мною светится экран осциллографа. Все как прежде, но с одним существенным различием. На экране фигурируют не привычные по другим наблюдениям пики скачков Баркгаузена, а нечто другое. Электронный луч вырисовывает классическую картинку учебника физики — петлю гистерезиса. Странно видеть этот намозоливший глаза график в живом пульсирующем виде.

Петля — типичная характеристика и ферромагнетика, и сегнетоэлектрика — показывает, как домены реагируют на внешние поля. Выстраиваются они по направлению поля постепенно, пока все не займут свои места. Тогда наступает насыщение. И дальнейшее увеличение внешнего поля уже ничего не может добавить.

Когда поле начинают уменьшать, домены постепенно разбредаются, вновь начинают хаотичное движение. Некоторые остаются верными снятому уже полю. Они и создают остаточное намагничивание у ферромагнетиков и остаточную поляризацию сегнетоэлектрических кристаллов. Чтобы ее убрать, надо приложить поле в обратном направлении. Тогда кривая повторяется в своеобразном зеркальном отображении, поскольку приложенное поле противоположно предыдущему. Опять домены выстраиваются по ранжиру, опять некоторые упрямо остаются на своих местах, хотя и прозвучал сигнал к прежнему беспорядку, и опять их надо убирать дополнительным полем. Так появляется петля гистерезиса — свидетель этих событий. Разумеется, сначала петля послужила калининским физикам одним из способов изучить сегнетики. Характер поляризации всегда говорит о некоторых особенностях доменной структуры, а внешний вид ожившего графика переполаризации легко соотнести с основными характеристиками сегнетика.

Но при тщательном изучении процессов, следствием которых является петля гистерезиса, проявилось то новое, что именуется теперь диэлектрической вязкостью...

Петля загорается на экране осциллографа, показывая, что кристалл ТГС окружен переменным электрическим полем. Поле переменное, значит, периодически происходит переполаризация сегнетика. Отсюда и петля. Затем я берусь за верньер и плавно увеличиваю частоту колебаний поля. Домены начинают лихорадочно метаться и явно не успевают попасть на свои места. Я отчетливо вижу, как «худеет» петля гистерезиса, будто попала она в тиски и что-то давит на нее с двух сторон.

Несколько лет назад в лаборатории Рудяка начали по аналогии с магнетизмом искать диэлектрическую



вязкость. Прежде всего физики обнаружили, что скачки Баркгаузена продолжают даже тогда, когда внешнее поле остановилось и все должно стать сугубо статичным. Домены обязаны успокоиться, но сегнетик еще продолжает нервничать, он сигнализирует о ненормальности ситуации поворотами доменных стенок.

Те явные изменения, что претерпевают в таких случаях петли гистерезиса, — тоже сведения о неблагополучии в мире доменов.

Но почему же эти сигналы появляются так поздно, когда все уже, собственно, произошло?

Долгие годы освоения физических явлений приучили ученых к тому, что различного рода процессы протекают чрезвычайно быстро. Постоянно слышишь о микросекундах, о долях микросекунды, о новых сверхбыстрых методах регистрации.

А для атомной физики и доли микросекунды — гигантская величина.

Но тут, в лаборатории, где изучают свойства сегнетоэлектриков, нас окружает старая классическая физика. И временные интервалы подчас совсем другие. Диэлектрическая вязкость накладывает на все процессы суровые ограничения. Долгими часами тянется переполаризация сегнетика. Медленно, не торопясь, подтягиваются отставшие от основных рядов домены, безо всякой спешки образуются новые. И хотя внешнее поле давно установилось, в сегнетике еще долго продолжается эта муравьиная работа. Слабые, но упорно не исчезающие скачки Баркгаузена и уменьшение петли гистерезиса — свидетели тому.

Но научные объяснения его пока еще в тумане. Почему все-таки процессы идут так нестерпимо медленно, даже с точки зрения классической физики? Что же происходит с доменами, как узнать досконально об их поведении за все это время?

Физики работают, ищут ответы на эти вопросы.

Так снова завязывается очередной виток спирали, ведущей к познанию. Новое понятие, новая физическая теория, новые эксперименты, новый вклад в бездонную кладовую технических новинок и исследовательских методик, снова очередная загадка природы, ответ на которую несомненно вызовет к жизни иные, еще более интересные загадки.

Ведь не зря говорят, что самое интересное в науке всегда впереди.

### **Желанный беспорядок сверхпластичности**

Эффект Баркгаузена не единственный пример, когда физики вспоминают о, казалось бы, давно изученном явлении, и обретает оно новую жизнь. Ничто не остается заброшенным. Современная техника многогранна, в ней находят себе место физические явления, сколь бы редкими они ни выглядели.

Эффект Баркгаузена забронировали исследователи структур и динамики поведения ферромагнетиков и сегнетоэлектриков. А не менее оригинальным и не более удачливым поначалу эффектом — сверхпластичностью занялись технологи. Но не сразу...

На первом этаже одного из корпусов Института металлургии АН СССР имени Байкова расположен своего рода опытный завод. Тут есть все для обработки металлов. Штамповка, тяжелые прессы и даже «миниатюрный» прокатный стан. Миниатюрный, конечно, с точки зрения больших заводов. Здесь он выглядит вполне солидно.

Заготовка — плотная полоса белесоватого силумина (так называют литейщики сплав алюминия с кремнием) — не торопясь начинает «путешествие» между валками прессы. Один раз, другой, третий... Металл худеет прямо на глазах, несмотря на всю свою табличную хрупкость. Вот он уже стал лентой, вот уже лент

та, окончательно похудев, превратилась в тонкую фольгу.

— Двадцать микрон! — торжествующе говорит Александр Сергеевич Тихонов — металловед, впервые осуществивший эту операцию. — Двадцать микрон, — повторяет он, выключая мотор.

Я рассматриваю пленку с гордостью человека, на глазах которого совершилось маленькое чудо.

Но окончательно поражает зрителя обыкновенный чугуун. Восемьдесят процентов удлинения металла, хрупкого, что известно любому школьнику, — это уже действительно близко к чуду.

Ученые любят демонстрировать опыты, вступающие в конфликт со здравым смыслом, опрокидывающие привычные понятия. Зрелище всегда интересное и поучительное, так как показывает, как разнообразна и нешаблонна природа, сколько неожиданностей таит она в себе.

И чугуунная фольга — сочетание слов, невысказанное по существу, — лишь наглядное проявление почти фантастического поведения твердых тел, имя которому сверхпластичность.

Да, сотни сплавов и чистых металлов могут быть при известных условиях сверхпластичными. При этих условиях, обычно при высоких температурах и особых методах обработки, сплав или металл вдруг забывает, что он — образец стойкости и хрупкости, и готов удлиняться, словно резина, в сотни и тысячи раз.

Открытие произошло чисто случайно. В 1934 году наткнулся на эффект сверхпластичности английский ученый Клод Пирсон. Он наблюдал странное удлинение образцов некоторых сплавов, но не придавал этому значения.

Серьезные научные исследования начались лишь через одиннадцать лет, когда советские металловеды А. А. Бочвар (ныне академик) и З. А. Сви́дeрская об-

наружили, что сверхпластичность — термин предложили они — не экзотическое явление, не удел редких, судьбою выбранных сплавов, как посчитал вначале Пирсон, а нечто большее, присущее и другим материалам металлургии. Они высказали и первые предположения о сущности и физических основах эффекта.

Но долгое время технологи начисто игнорировали сверхпластичность, считая ее лишь предметом теоретических «изысков» ученых-металловедов, не более того.

Между тем круг сверхпластичных материалов энергично расширялся. В список попали и чистые металлы, и сверхпрочные титановые сплавы, сплавы железо-хромистые, сплавы никеля с хромом, никеля с молибденом — практически все важнейшие материалы современной металлургии.

Наблюдения продолжались, а теория лишь кое-как объясняла результаты отдельных экспериментов. Но объясняла постфактум, после опыта, не пытаясь предсказать и рассчитать эффект заранее.

В Институте металлургии имени Байкова сверхпластичностью занялись доктор технических наук Минас Хачатурович Шоршоров, кандидат технических наук Александр Сергеевич Тихонов (сверхпластичность была для него логическим продолжением всего, чем он занимался раньше) и доктор физико-математических наук Кирилл Петрович Гуров. Они и создали флуктуационную модель, основу для прогнозов поведения различных сплавов и металлов.

Как единый монолит выглядит кусок металла, носящий в физике наименование поликристалла. И сколько огрехов можно найти в его строении!

В самом деле, где же порядок в этом скопище мелких кристаллических зерен, перемешанных друг с другом? В каждом из них что-нибудь сломано, чего-нибудь недостает. В каркасе кристаллов зияют дыры, куда-то исчезли большие куски отдельных ребер. Это ди-

сложения — так называют кристаллографы подобные нарушения. Да и вся ажурная конструкция отступает от строжайшей симметрии. Отсутствуют отдельные звенья или прилепились новые, вроде как бы посторонние.

Если мы дойдем до элементарных кирпичиков, образующих кристаллические постройки, то и тут не найдем порядка: в миниатюрном кубике вместо обычных 9, 14 или 15 атомов — на один меньше, появились пустоты, на языке кристаллографов — вакансии.

В общем, беспорядок.

Но для сверхпластичности он и нужен. Она «стоит на беспорядке». И чем мельче зерна, чем больше в них различных дефектов, тем лучше.

Кусок резины, сжатый рукой, становится копилкой внутренней энергии. Так велит непреклонный закон сохранения энергии.

И поликристалл конденсирует всю работу, что пошла на всевозможные разрушения его кристаллической решетки и на измельчение зерен.

Кристалл буквально насыщен энергией: подвижнее стали его атомы, изменилась скорость, с которой он реагирует на внешние нагрузки.

Тем самым поликристалл как бы попал в область предплавления температур, когда все готово для внутреннего переворота. Готовность номер один может разрешиться взрывом, если кристалл дополнительно подогреют, то есть передадут ему еще порцию энергии. Вот тогда количество — всевозможные дефекты — может перейти в качество — сверхпластичность. Между зернами появится слой необычайно подвижных активных атомов — своеобразная смазка, по которой поплывут отдельные зерна. Для многих тел главное — такое «межзеренное» проскальзывание, у других — сверхпластичность обусловлена вакансиями или дислокациями, где также всю работу работают пограничные слои. Наступа-

ет полная податливость еще недавно сугубо хрупкого вещества, которое теперь изменяет свою форму самым прихотливым образом.

Но вот материал обработан должным образом и охлажден. Все «вернулось на круги своя»: прочность кристалла восстановлена, неприступны границы зерен, не подаются голоса дислокации и вакансии.

Такова теоретическая и практическая модель сверхпластичности — в довольно свободном от строгой научности изложении. Как выяснилось, для любых металлов и сплавов можно рассчитать температуру и размер кристаллических зерен, необходимых для рождения сверхпластичности, можно составлять практические инструкции, где для каждого металла и сплава будет определено, каким образом перевести его в сверхпластичность.

Наступила пора формул, точных расчетов и... практических рекомендаций.

Ученые Института металлургии не просто создали модель. Пользуясь идеями замечательного советского физика-теоретика Я. И. Френкеля, они определили критическую температуру сверхпластичности для целого ряда сплавов и минимальные размеры зерен, необходимых для перехода поликристалла в сверхпластичное состояние.

Они показали, что дополнительные нагрузки увеличивают скорость обработки сверхпластичных материалов. Та величавая медлительность, свидетелем которой я был в цеху, не так уж радует производителей. Более того, именно она служит зачастую камнем преткновения при всех попытках технологического внедрения новых методов, поскольку при быстром перемещении валков лента рвется.

Ученые продемонстрировали, сколь успешно сверхпластичность можно применять почти во всех технологических операциях современной металлургии.

Так эксперименты подтверждали и углубляли теорию, ставили точки над всеми i, которые возникали на каждом шагу.

Весь путь развития металлургии — непрерывная цепь экспериментов, за каждым из них скрывалась новая технологическая операция, а значит, и возможность миллионной экономии средств. Кроме того, зачастую резко сокращается время преобразования металла — от руды, извлекаемой на поверхность земли, до промышленного изделия.

Случай был помощником первых металлургов, случай, который дал в руки человеку сталь, чугун, латунь и бронзу.

Металлурги нашего времени работают по-иному. Они пользуются сложнейшими расчетами, для них разработана теория. Но ведь ловить оптимум, изучать влияние различных микроскопических примесей, определять необходимые температурные интервалы и многое другое по-прежнему удел эксперимента. Его требует доводка любой разработанной методики.

Научно-техническая революция двадцатого века в основном технологическая. Не зря ведь польский фантаст Станислав Лем назвал свою книгу о далеком будущем «Сумма технологии».

Технология металлургии, ее приемы стары, как мир. И в то же время они несут все приметы времени. Незыблемыми остаются только названия: сварка, прокат, волочение, штамповка и так далее. Но каждая из этих традиционных операций современна в самом совершенном смысле этого слова.

Открытая сорок лет назад, заброшенная и отвергнутая технологами сверхпластичность, словно желая наверстать упущенное, широким фронтом начала экспансию во все области обработки металлов. Ученые Москвы, Тулы, Уфы изучают сверхпластичность, стараясь применить ее, где только можно. И каждый раз

убеждаются в удивительной многоликости эффекта.

В Туле создан новый метод деформации инструментальных сталей. Процесс обработки резко упрощается сверхпластичностью. С ее помощью ученые научились получать в металлических изделиях глубокие полости, когда пуансон врежется в плотный металл, будто это мягкий, податливый воск.

Уфимские металлореды продемонстрировали сверхпластичную обработку никелевых сплавов и нержавеющей стали — от штамповки до проката.

Московские ученые разрабатывают и внедряют сверхпластичную пневмоформовку сложных металлических изделий, обработку металло-керамических материалов, создают новые образцы стали.

И все эти «сверхпластичные» приемы и технологические рецепты, добытые трудом сотен энтузиастов, уверенно идут на производство.

Эксперименты проявили всю многогранность сверхпластичности, которую можно объединить одной лишь фразой: «облегчает обработку металлов». Только и всего! Но каждый понимает, что стоит за этой простой фразой.

В Институте металлургии существовал стенд, который потом переехал в павильон ВДНХ. Там запечатлены были достижения металлоредов-сверхпластичников, часть их работ.

Открывала панораму металлическая коробка весьма сложного профиля, отштампованная в условиях сверхпластичности. За ней длинная игла — поликристалл, который в пору своего рождения был сверхпластичным. Вытянут ровно, гладко, без обычной для подобных процессов «шейки» — предвестницы разрушения.

Титановые сплавы — их деформировали в условиях сверхпластичности и тут же подвергали закалке. Сплав стал еще прочнее. Значит, получен новый рецепт упро-



чения, чему свидетелем образцы стали, также обработанной в атмосфере сверхпластичности.

Еще один экспонат — железохромалюминиевые сплавы, куда входит до 59 процентов хрома. Создать их помогла сверхпластичность. Изделия из этих сплавов практически не окисляются. Обработка их проста, сплавы можно применять в производстве искусственного волокна — нитрона.

Тонкие фольги легированных сплавов — их давно жаждали видеть на предприятиях электронной промышленности.

Образцы сварки в условиях сверхпластичности. Детали соединились так прочно, что рентгеновское просвечивание с трудом обнаруживает место соединения. Подобным образом можно получать разнообразные биметаллы.

И еще экспонат, самый, пожалуй, многообещающий — силуминовая фольга, фантастически тонкая для литейного сплава (10 микрон), да еще с волокнистыми вкраплениями. Ровными слоями покоятся на металлической основе то стальная проволока, то органические волокна бора.

Вот оно — самое интересное, самое важное применение сверхпластичности: перед нами материалы будущего — знаменитые и уже заранее прославленные композиты.

Специалисты единодушно считают, что в конце двадцатого века станут редкостью однородные вещества. Их заменят композиционные материалы с любыми наперед заданными свойствами, объединяющие вещества хрупкие и сверхпрочные, пластичные и жесткие, тяжелые и легчайшие, жароустойчивые и легкоплавкие.

Тонкая фольга из силумина, появление которой так радостно встретили металловеды, оказалась не только наглядной демонстрацией удивительных возможностей

сверхпластичности, но и образцом новых матриц для композитов.

Внедрение сверхпластичности в металлообработку еще только начинается. Но первый шаг сделан, а он, как известно, самый трудный.

### **Прорыв сверхпроводниковых пар**

Итак, два старых известных эффекта обрели новую жизнь, став основой измерительной техники и технологических процессов металлообработки.

Столь же долго, если не дольше, пробиравась к практической деятельности сверхпроводимость — процесс, возбудивший множество надежд, которые то гасли, то возникали вновь.

А по пути обростала сверхпроводимость побочными эффектами, многие из них тут же привлекали внимание физиков и инженеров...

Впервые это почти мистическое явление наблюдал голландский физик Каммерлинг-Оннес. Само по себе его открытие, несмотря на всю сенсационность, было неотвратимым. Сверхпроводимость должен был открыть именно он — ученый, получивший в свое распоряжение самые низкие температуры. Естественно, что пунктуальный голландец сразу же начал проверять, как ведут себя различные вещества в этих необычных условиях.

Так он и наткнулся на явление сверхпроводимости некоторых охлажденных металлов.

Для физиков того времени это было все равно, что воочию увидеть в своем рабочем кабинете нечистую силу. Каким еще образом можно было объяснить, почему при низких температурах вдруг начисто пропадает электрическое сопротивление, какая сила заставляет двигаться электроны проводников, когда источника тока заведомо нет?

В недоумении по этому вопросу теоретическая физика пребывала почти пятьдесят лет — срок для двадцатого века весьма солидный. И хотя экспериментаторы и поражали воображение энергетиков сказочными перспективами передачи электроэнергии без потерь, теоретики ничего вразумительного сказать не могли. В предположениях недостатка не было, но они лопались, как мыльные пузыри.

Объяснение пришло в виде... физической ереси. Переносчиками тока в сверхпроводнике являются пары электронов — объявили создатели новой теории.

Подобное утверждение не может не вызывать удивления: всем известно, что электроны — частички отрицательного электричества, которым самой природой предписано не гулять парами, а отталкиваться друг от друга. Но это еще не самое странное. Электрон выбирает пару не вблизи себя, а на весьма почтенном для масштабов микромира расстоянии примерно в 100 ангстрем — одна миллионная доля сантиметра.

Между электронами этой пары располагаются тысячи других, в свою очередь связанных невидимыми, но прочными нитями. Непарных электронов в сверхпроводнике не существует. Это своего рода громадная молекула, гигантский организм с единым ритмом жизни для всех электронных пар. Электроны, которые раньше задерживались на узлах кристаллической решетки, теперь, объединившись, ведут себя так, будто никакой решетки вообще нет. Стоит их только подтолкнуть один раз, пустить в путешествие по сверхпроводнику, и такой ток никогда не прекратится, ибо сопротивления для него не существует.

Английский профессор Коллинз несколько лет назад проделал подобный опыт. Он вызвал ток в сверхпроводниковом кольце и убрал возбудитель, предоставив электроны самим себе. Эксперимент длился более двух лет. Ток за это время никак не изменился. И лишь

когда Коллинз снял сосуд с жидким гелием, обеспечивавшим низкую температуру, кощунство над элементарной физикой прекратилось. Теперь для восстановления тока потребовалось бы вмешательство батареи или иного источника тока, в соответствии с законами нашего привычного мира.

Вечное движение сверхпроводникового тока можно ликвидировать весьма элементарным методом — разорвав электрическую цепь. Стоит перерезать кольцо — и наваждение исчезает. Сквозь щель электроны не пройдут, хотя низкая температура останется в полной неприкосновенности.

А если щель небольшая, совсем крошечная? Скажем, десять или двадцать ангстрем? Электронная пара во много раз превосходит ширину такой щели. Может быть, пара сумеет ее преодолеть столь же уверенно, как перешагивает она узлы кристаллической решетки?

В микромире, где происходят эти события, логика своя — квантовомеханическая. (Теория сверхпроводимости целиком построена на ее принципах — потому так и задержалось объяснение эффекта, что не был еще подготовлен аппарат квантовой механики.) Дуализм электрона — вот основа замысловатой механики микромира. Электрон двулик. Он одновременно и частица, и волна. И именно волновая ипостась позволяет частицам микромира совершать поступки, запрещенные элементарной физикой.

Электронные пары сверхпроводника, если обратиться к их волновой структуре, совпадают друг с другом, практически неразличимы. Частицы одной длины волны и фазы — все они подравнены по одному ранжиру. Квантовая механика разрешает таким парам переходы сквозь небольшие несверхпроводящие препятствия. О такой необычной возможности, раскрывающейся перед электронными парами, вероятно, думали многие.

Но первым выступил студент-дипломник Кембриджа, ныне крупнейший английский физик Брайан Джозефсон. В небольшой заметке он проанализировал случай, когда два куска сверхпроводника разделяет небольшая полоса изолятора — «барьер». Джозефсон не только высказал смелую мысль, но и точным расчетом показал, сколь странно должны себя вести электронные пары при «очевидном» туннельном переходе, что было в то время отнюдь не очевидно.

Прошел всего лишь год со дня, когда Джозефсон выступил в щекотливой роли физического пророка, предсказав и явление, и его последствия, а экспериментаторы уже умудрились подтвердить его выкладки. Туннель существует, сверхпроводящие пары проникают сквозь заведомо непроводящий слой.

А затем появилось сообщение из Харькова, где советские физики провели прямую проверку второго, еще более важного эффекта Джозефсона.

И тогда выяснилось главное. Предсказание обернулось открытием, а подтверждение теории сверхпроводимости — тончайшим измерительным инструментарием микромира.

Именно эксперимент прояснил богатое будущее эффекта, открытого «на кончике пера».

Поиски ярких физических опытов, а сверхпроводимость, пожалуй, наилучшая почва для них, привели меня в Харьков, где ученые Физико-технического института низких температур давно и успешно изучают все модификации некогда «странного» явления.

Эксперимент, который показывают мне, впервые сделан задолго до моего посещения. Он стал историческим, служит своего рода вехой на пути реализации одного из побочных эффектов сверхпроводимости, который по воле харьковских физиков обнаружил свою самостоятельность и значимость.

...Из маленькой коробочки появляется стеклянная

пластинка. Ее осторожно достают, долго осматривают, сдувают пыль. И три металлические полоски, перехваченные поперек четвертой, поблескивают при свете электрической лампочки.

Это сияет слой олова, напыленного на стекло. Слой тонкий, всего лишь несколько десятков микрон. На краях пластинки контакты. Четыре контакта.

А в руках экспериментатора волновод, пятнадцатисантиметровая трубка, куда укладывают пластинку. Волновод попадает в дьюар (так уже почти сто лет называют сосуды, удерживающие низкие температуры). Во внутреннем дьюаре — гелий, во внешнем — азот. На шкале ртутного манометра начерчены деления — 5, 4, 3, 2, 1 и на некотором, уже разлинованном расстоянии значится «0». Это градусы Кельвина, отсчет от точки «абсолютного нуля».

Жидкие газы залиты, начинается откачка. Почти час работают насосы, гелий испаряется, температура падает. Вот уже миновало три градуса, два градуса, полтора градуса.

Для олова этого достаточно.

Можно пускать ток.

И он пошел, вечный ток сверхпроводимости.

На улице плюс двадцать, то есть, по принятому здесь исчислению, 293 градуса Кельвина. А внутри дьюара почти что абсолютный нуль. Но это никого не удивляет. Обычные температуры. И сверхпроводимость — тоже самый привычный процесс.

Необычно другое — разрыв в цепи, непреодолимая, казалось бы, преграда. Но в полном согласии с теорией, повинаясь расчетам Джозефсона, электрический ток идет через барьер.

Сверхпроводящие пары — соединившиеся воедино электроны — продолжают свое путешествие, прорываясь сквозь непроводящий слой окиси олова. Барьер располагается там, где поперечная полоса пересекает

три продольных. 15 ангстрем, пятнадцать стомиллионных долей сантиметра разделяют слои олова.

Ток идет через барьер.

На вольтметре, фиксирующем напряжение барьера, пока что нуль. Ток сверхпроводящий, сопротивление отсутствует. Нет, значит, и падения напряжения. Прибору нечего показывать. И волновод, окружающий пластинку, ничего не доносит. И усилитель микроволн тоже молчит.

Но вот свершилось!

Двинулась зеркальная стрелка вольтметра. И отошел микроволновый детектор — из глубины барьера, из глубины двух дюймов вырвалось на волю микроволновое излучение — волны, рожденные на барьере постоянным током. Это и есть второй эффект Джозефсона. Тот самый, который придал любопытному явлению чисто практический интерес, вызвав острое любопытство физиков и инженеров.

Меня же, признаюсь, поразило то, что сделали харьковские физики, создавшие тончайший слой непроводящей окиси олова. И именно такой, какой требовала теория, то есть математический расчет. Нелегко было рассчитать, но еще труднее было воплотить этот расчет в натуре.

Взять больше — ток не пойдет. Немногим меньше — пойдет, но не будет током Джозефсона.

Методов измерения толщины нет — тут ведь всего лишь несколько атомных слоев, не больше. Есть интуиция, проверка самим экспериментом.

Мощность излучения чрезвычайно мала. Но через волновод экспериментаторы извлекают всего лишь один процент ее.

Да и напряжение на пределе прибора — нанавольтметра, измеряющего миллиардные доли вольта.

Но эффект обнаружен, более того — он измерен количественно, лучше того, он — основа самых точных

измерений атомных констант, ибо напряжение на барьере пропорционально отношению главных из них — постоянной Планка к заряду электрона.

В этом и заключается причина восхищения физиков открытием Джозефсона и ювелирными работами харьковских ученых.

Туннель в сверхпроводниках — не просто вклад в копилку теоретиков, а нечто гораздо большее.

Первый эффект, по сути дела, подтвердил теорию, что само по себе никакой сенсации не представляло. А вот второй, где раскрылось все своеобразие барьера, вся его неочевидность, явил собой нечто неожиданное и для физиков весьма приятное. Оказалось, что с помощью двух барьеров можно увидеть интерференцию — сложение электронных волн.

Волновые свойства микрочастиц давно уже перестали быть откровением для науки. Но до сих пор подтверждением этого парадоксального факта была лишь дифракция, когда пучок электронов, проходящий через щель, отклоняется от прямолинейного пути, то есть ведет себя, как электромагнитные волны.

На барьере Джозефсона при сложении волн вступает в игру разность их фаз — параметр, ранее не поддававшийся изучению.

Таким образом, наука получила еще одно подтверждение волновой теории, еще одну возможность изучать поведение волн-частиц и даже регистрировать их фазы. И что еще важнее — появилась возможность управлять тонкими квантовыми процессами, создавать с их помощью аппаратуру невиданной точности.

Как уверяют словари, термин «барьер» означает препятствие. Почему же мы говорим о барьере, когда электронные пары пересекают его с заисидной легкостью? Название дано не случайно. В некотором смысле это действительно барьер и притом совершенно непреодолимый.



Что будет с электронами, если на пути через барьер их подстегнуть, как, скажем, подстегивают лошадь на скачках? Роль хлыста выполнит обыкновенное электрическое напряжение, приложенное к барьеру. Его и измерял прибор. Естественно, что разогнанная электрическим полем пара должна получить дополнительную порцию энергии.

Тем самым электронные пары оказываются в затруднительном положении. Классическая физика требует от них изменения энергии, чему столь же решительно препятствует теория сверхпроводимости. Все электронные пары должны обладать одной и той же энергией, говорит она. Выйти из этого положения можно лишь при таком условии: пары должны тут же, в пределах барьера, откеститься от добавочного груза энергии, ибо нести его дальше они не имеют права. Но ведь возможности микромира крайне ограничены: мало того, что передача энергии происходит строго размеренными порциями — квантами, но и вид испускаемой энергии тоже продиктован природой. Это — излучение электромагнитных волн, и только оно.

Значит, электронная пара, подстегнутая на пути через барьер электрическим напряжением, должна испускать квант излучения. И раз пары — сверхпроводниковые близнецы, то и кванты, испущенные ими, также будут совпадать по своим параметрам. Барьер обращает прозаическую энергию батареи постоянного тока в крайне дефицитное коротковолновое излучение, частота которого связана с напряжением на барьере и подвластна движку реостата. Излучение несет богатую информацию о структуре микромира, об его константах — таких, как, скажем, постоянная Планка.

Обычные приборы извлекают из глубины вещества суммарное многоголосье частиц, в котором трудно разобратся, ибо «речь» одной частицы тонет среди общего шума — фона. Все электронные пары, прошедшие

барьер, заведомо поют в унисон — голоса их, усиливаясь, сливаются воедино.

Излучение электронных пар нетрудно зарегистрировать. И получается, что с помощью довольно элементарных приборов ученые могут вмешиваться в квантовые процессы, подвергая их скрупулезному исследованию.

Кроме того, появилась возможность создавать аппаратуру СВЧ со свойствами, которые иначе как уникальными не назовешь, поскольку она полностью лишена помех.

Но это еще не все.

Напряжение на барьере Джозефсона, вызывающее излучение, прямо пропорционально заряду электрона. Закономерность эта выполняется с железной точностью, чем и воспользовались метрологи. В палате мер и весов многих государств есть свои эталоны, в том числе вольтовой стандарт — гальваническая батарея, со строго определенной электродвижущей силой. Но с течением времени эталонные батареи, несмотря на все ухищрения, «плывут» — их ЭДС падает. Разница невелика — ничтожные доли процента, но для стандартного прибора недопустимая. Контролируют вольтовые стандарты ячейки Джозефсона. Они — истинные стражи электрических измерений, так как напряжение джозефсоновского барьера зависит лишь от постоянной Планка и заряда электрона — величин заведомо стабильных. Батареи, забракованные при периодической проверке эффектом Джозефсона, без колебаний выкидывают, заменяя их новыми, так как барьер Джозефсона не подвержен влиянию времени. Так метрологи зафиксировали вольтовой стандарт — основу всех единиц электротехники.

Укоренился эффект и в магнитометрии. Ученые Дубны сумели измерить с его помощью магнитное поле в миллионную долю гаммы. А ведь сама «гамма» —

ничтожно мала. Она составляет лишь стотысячную часть эрстеда.

Теоретикам известна величина: частное от деления квадрата заряда электрона на произведение двух констант — скорости света в вакууме и постоянной Планка. Эта величина входит во множество формул современной электроники. Получилось число чисто арифметически и выглядит так:  $\frac{1}{137}$ . Но вот с помощью эффекта Джозефсона впервые удалось измерить эту величину непосредственно в эксперименте. Еще один пример блистательного подтверждения теории!

Кроме метрологов, рождение одного из ярких эффектов сверхпроводимости возбудило повышенный интерес у конструкторов электронно-вычислительных машин.

Для них сверхпроводимость — истинная находка. Мгновенное появление эффекта и столь же быстрое его исчезновение по велению внешнего магнитного поля — не что иное, как возможность некой системы пребывать в двух взаимоисключающих положениях — краеугольный камень всей кибернетики. На принципе «да» и «нет» работают элементы всех «думающих» машин. Сначала инженеры использовали радиолампы, потом транзисторы, ферриты, сложные полупроводниковые элементы — словом, различные модификации твердого тела, которое служит кибернетикам истинным кладом чудес.

Сверхпроводимость указала еще один путь — криогенные ячейки. Причем эффект Джозефсона привлек внимание конструкторов ЭВМ не только тем, что таким способом можно дополнить комплект миниатюрных элементов вычислительной техники, но и уникальной умеренностью в потреблении энергии.

На одну операцию в ячейке ЭВМ, использующих барьеры Джозефсона (когда такие машины появятся,

конечно), уйдет всего лишь  $10^{-19}$  джоуля, что в десять миллионов раз меньше энергозатрат самых экономичных из существующих сейчас микроэлементов вычислительной техники.

Совсем не «между прочим» следует сказать, что этот путь открывает, возможно, перспективу решения задачи, по поводу которой столь давно ведутся ожесточенные споры. Речь идет о «думающих машинах», которые в какой-то степени действительно научатся «мыслить».

Может быть, именно сверхпроводимость поможет преодолеть одно из серьезных препятствий на пути к такой ЭВМ — большое энергопотребление существующих машин и, как следствие, их разогрев. Не преодолев его, нельзя создать сверхкомпактную машину, которая по своей сложности приближалась бы к человеческому устройству.

Ячейки Джозефсона — так думают инженеры — позволяют это сделать.

Во всяком случае, для машин самообучающихся, то есть достаточно объемных, ячейки Джозефсона — золотая мечта конструкторов, пока что единственный просвет в чаще технологических трудностей.

За короткий период своего существования эффект Джозефсона прошел путь от своего рода оригинальной физической игрушки, в числе многих других порожденных сверхпроводимостью, до технических устройств, будущее которых рисуется теперь в самых радужных тонах. Харьковские эксперименты, которые должны были лишь подтвердить выкладки английского ученого, оказались гораздо богаче, вызвав к жизни целую группу измерительных приборов, методик и технологических приемов. Недаром, как снежный ком, растет количество публикаций, научных статей и обзоров, и во многих лабораториях мира самым придиричивым образом изучают теоретические, экспериментальные и прикладные аспекты явления, которые при всей своей ори-

гинальности казались вначале лишь простым подтверждением теории сверхпроводимости.

## **Крушение устоев**

До недавнего времени для ученых было привычным разделение физики твердого тела на две совершенно обособленные части.

Упругость, пластичность, прочность, твердость, жаростойкость, тугоплавкость, восприятие звуковых (акустических) колебаний — словом, все, связанное с ответом твердого тела на внешние механические и тепловые воздействия, определяются основами и особенностями строения его кристаллической решетки.

Электрические, магнитные и оптические свойства вещества связаны со структурами более тонкого порядка. Их механизмы изощреннее, так как зависят они от «поведения» электронов.

Исходя из этого непреложного факта, исследователи и выбирают аппаратуру, а также методы регистрации различного рода эффектов и параметров твердого тела. Скажем, для измерения модуля упругости требуется одно оснащение, а когда речь идет о магнитном поле — другое.

Разграничения были твердыми, обоснованными и не вызывали сомнений, пока не вмешался в дело непосредливый эксперимент.

Физикам давно известно явление парамагнитного резонанса, открытое советским ученым Е. К. Завойским. И давно они нашли ему практическое применение. Избирательное поглощение некоторыми твердыми телами радиоволн связано с особенностью строения электрических и магнитных полей их атомов, то есть отражает «быт» электронов. Тем самым открывается возможность навести кое-какие справки об их внутреннем мире, что, в свою очередь, может прояснить раз-

личные стороны «поведения» самого твердого тела.

В той самой Казани, где когда-то был открыт парамагнитный резонанс, ученые решили по аналогии использовать для исследования вещества новый тип разведчиков. Частота колебаний была та же, что у электромагнитных, привычных для парамагнитного резонанса. Но природа импульсов была совсем иная — акустическая. Предполагалось, что такие импульсы могут лишь поколебать слегка кристаллическую решетку; на самом же деле, как выяснилось, они способны вызвать явление, подобное парамагнитному резонансу. Звук ослабевал так, как будто на его пути появлялись своего рода электромагнитные ухабы. Откуда? — удивились ученые. Упругие волны — слишком грубая материя для взаимодействия с электронными системами металла, а как известно, только в них истоки магнитных особенностей вещества, лишь они могут резонансно поглощать волны, но отнюдь не упругие.

В данном случае отгадка была достаточно оригинальной, хотя и находилась в основном русле существовавшей теории. Просто надо было применить ее шире, посмотреть на вопрос глубже.

Конечно, акустические волны сами по себе не волнуют электрическое море, не вызывают на его поверхности ни малейшей ряби. Зато в такт с колебаниями упругих импульсов сотрясается сама кристаллическая решетка. Значит, в колебаниях участвуют составляющие ее ионы — островки положительного электричества в море отрицательных электронов. Эти колебания вызывают к жизни переменные электрические и магнитные поля, которые таким образом появляются в непосредственной близости от электронов. Их-то и поглощают электроны по всем законам привычного для них парамагнитного резонанса. Запущенные в микромир макроснаряды преобразуются и доходят до цели.

Таким образом, оказались взаимосвязанными кри-

сталлическая решетка твердого тела и ее электрическое содержимое, пресловутый «электронный газ». Слон и Моська попали в одну упряжку.

Подобный же вывод сделали ученые далекого от Казани города Харькова, зажимавшиеся совсем другими проблемами, основанными на свойствах кристаллической решетки. Они изучали поведение вещества при сверхнизких температурах, и столь же неожиданно наткнулись на связь упругих свойств тзерждого тела с поведением его электронов.

Эксперименты физиков Казани отличались внушительностью аппаратуры. Наблюдение парамагнитного резонанса требует больших современных установок. Не менее солидно выглядят ультразвуковые генераторы.

Харьковские ученые провели очень тонкие эксперименты, где поистине пуританская строгость приборного оформления соединялась с блестящей выдумкой, когда смысл непонятого явления и его причины вдруг прояснились до абсолютного тривиального уровня.

Сотрудники Харьковского физико-технического института низких температур подвергли также тщательному анализу реакцию охлажденных металлов на внешние нагрузки. Оказалось, что по мере приближения к абсолютному нулю пластичность металлов увеличивается. Никто из физиков, разумеется не застыл от удивления перед этим фактом. Наблюдение казалось вполне очевидным. Чем ниже температура, тем меньше препятствий возникает на пути движущихся под действием внешних сил слоев вещества, и становится тело более пластичным.

Неочевидность сказалась при очень низких температурах. Пластичность вдруг увеличилась скачком и довольно заметным. Произошло это в тот самый момент, когда испытуемый металл перешел в сверхпроводящее состояние.

В лаборатории, где проявил себя любопытный фе-

номен, поставили изящный контрольный опыт, однозначно ответивший на вопрос, почему это происходит.

Для любого сверхпроводящего металла существует свое критическое магнитное поле, которое разрушает сверхпроводимость. В эксперименте харьковских физиков невидимые тенета магнитного поля, уничтожив сверхпроводимость, начисто истребили и таинственный скачок пластичности.

Что же меняется в металле, когда он становится сверхпроводником? Кристаллическая решетка остается прежней, только ионы, ее составляющие, двигаются еще медленнее. Но это не повод для столь резкого скачка в поведении вещества.

Зато исключительные изменения происходят в жизни электронов. Они, как нам это уже известно, объединяются в пары, что тотчас же сказывается на пластичности. Иной причины быть не может. Выходит, до наступления этого момента именно электроны тормозили движение дефектов кристаллической решетки — дислокаций, определяющих пластичность металла.

Это заставило ученых сильно призадуматься и взвесить достоинства установившихся закономерностей.

Во-первых, еще раз прояснилась взаимосвязь явлений, на первый взгляд далеких друг от друга. Во-вторых, физики иначе стали рассматривать роль электронов в различных аспектах поведения твердых тел и металлов. Некоторые ученые вообще говорят о рождении новой металлофизики, где придется учитывать вмешательство электронов в любой из процессов, протекающих внутри металлов. Кроме чисто научных новаций, учет подобного взаимодействия приводит к весьма важным практическим выводам.

Скажем, теперь, быть может, инженеры распутают, наконец, детективную историю таинственного разруше-



ния контактов целого ряда устройств радиоэлектроники, что влечет за собой весьма неприятные последствия.

Ведь многие металловеды считают, что в роли «диверсантов» выступают как раз малютки-электроны, которыми до сих пор пренебрегали. Но их совместные усилия — ученые образно называли вихрь электронов «электронным ветром» — вполне могут начисто ликвидировать металлические контакты радиотехнических приборов.

Таким образом, заботами экспериментаторов в здании теории твердого тела появились солидные изъяны, на ликвидацию которых брошены крупные силы теоретиков.

С наименьшим упорством советские физики начали расшатывать стройные контуры того самого «странного мира» квантовой механики, о котором писал когда-то Даниил Данин в своей ныне хрестоматийной книге «Неизбежность странного мира».

Энергетический мир электронов твердого тела характерен своей строгой иерархией, которая и диктует четкое деление тел на проводники, изоляторы — диэлектрики и полупроводники.

Вызвано это деление различными энергетическими возможностями электронов. От нуля до какого-то определенного значения электрон может «выбирать» себе любую энергию. Затем следует целая полоса энергий запрещенных: их у электронов быть не может. Однако если электрону дать сильную «встряску» — скажем, с помощью электрического поля или световых лучей, — то он может проскочить запретную зону. Такую возможность он получает тогда, когда порция дополнительной энергии, ее величина не меньше ширины запретной полосы.

Таким образом и появляются три зоны в энергетическом мире электронов. Нижняя — валентная, которая существует у всех твердых тел. Затем промежуточ-

ная — «мертвая» зона. И высшая — зона проводимости. Электроны, находящиеся в ней, создают проводимость у металлов. Для изоляторов-диэлектриков эта зона пуста, а щель, отделяющая ее от валентной, беспрельно велика. У полупроводников щель уменьшается: часть электронов под действием тепла, света или электрического поля может переместиться в зону проводимости.

Разделение было четким, сомнениям не подвергалось, так как зависело от строения твердых тел. Так установила природа — значит, так тому и быть. И действительно, как казалось еще недавно, человек ничего не может добавить в эту номенклатуру. Конечно, можно изменить проводимость различного рода примесями — так сейчас и получают новые полупроводники, но это в какой-то степени уже новое вещество. А старые, созданные самой природой, подобным колебаниям не подвержены.

Но вот на кафедре низких температур физического факультета МГУ профессор Н. Б. Брандт и его сотрудники обрушили на образцы подопытных веществ давление в 350 тысяч раз большее атмосферного, создали магнитное поле в миллион эрстед (напомним, что земное магнитное поле составляет лишь 0,2 эрстеда) и подвергли температурному воздействию почти что абсолютного нуля. И дрогнули энергетические устои твердого тела. Причем кристаллическая решетка оказалась в неприкосновенности, а начали перемещаться границы энергетических зон.

Естественно, что физиками двигало не голое любопытство, а желание получить новые состояния вещества, его новые модификации, раскрыть их свойства, выяснить, нельзя ли ими воспользоваться для практических целей. И они добились своего.

Все перемешалось в энергетическом мире. Диэлектрики и полупроводники обнаружили сверхпроводящие

свойства. Полуметаллы (есть и такие) объявили себя диэлектриками, на пять порядков (в сто тысяч раз) увеличив сопротивление, металлы делались диэлектриками, а диэлектрики металлами. И, наконец, ученые создали магнитным полем новое состояние вещества, принципиально новую разновидность твердого тела. Существуют теперь проводники, полупроводники, диэлектрики и «бесщелевые» тела, в которых нет запрещенных энергетических зон. Границы зоны проводимости и валентной зоны сблизились до предела. Для твердых тел такого типа все новое: и электрические, и магнитные, и оптические свойства.

Пока тут не все ясно и понятно. Например, пока нет объяснения переходу полуметаллов под давлением в диэлектрическое состояние, хотя по логике они должны были стать металлами.

Я уже говорил об экспериментальных заботах, вставших перед учеными Казани и Харькова. Физикам МГУ пришлось не легче. Они преодолели массу трудностей, проявив при этом не только трезвый расчет и предельную изобретательность. Главным было филигранное «рукоделие», присущее лишь истинным экспериментаторам.

Четким определением мастерства физиков служит указание, что именно они сделали первыми, где и как определили своих современников. Исходя из этого критерия, следует сказать: магнитное поле в миллион эрстед впервые получено в сравнительно большом объеме на Ленинских горах в МГУ. Расширение воды при замерзании тоже не новость. Природа уже миллионы лет пользуется подобным приемом для разрушения горных пород. Однако система передачи развивающегося при замерзании воды гигантского давления на специальную алмазную камеру с образцами твердых тел, подвергающихся сжатию, создана здесь впервые.

Таким образом, эксперименты всех трех лаборато-

рий, где ученые занялись «крушением устоев», были разнообразны и представляли собой три ипостаси современной физической лаборатории — внушительное оборудование, элегантный опыт и победу изделий «рук своих».

Столь же многогранны практические аспекты этих интересных работ.

Физики Казани развили и умножили методики нового метода исследования вещества — акустической спектроскопии. Акустический резонанс позволил им добраться до самых слабых излучателей радиоактивности, которые раньше оставались невидимками. Теперь можно наблюдать отдельные излучающие ядра. Такого исследовательского направления работ казанских физиков.

Их достижения породили также новую семью лазеров. С помощью своеобразной упряжки из электромагнитного и акустического импульса атомы переходят в них на высший энергетический уровень, с которого начинается направленное лазерное излучение.

И, наконец, ученые Казани открыли «акустическое эхо», которое получается взаимодействием электромагнитных и акустических колебаний — синтез, до той поры науке и технике неизвестный. Таким образом, электромагнитные ухабы, возникающие на пути звуковой волны в твердом теле, не только повод для исследования различных его свойств, но, может быть, и метод усиления колебаний.

Харьковские физики создали технологические методики обработки металлов при сверхнизких температурах, когда, например, резко повышается жаропрочность, хотя само по себе сочетание «холода» и «жары» выглядит весьма странно.

На очереди скачки пластичности, которые дают активный импульс теории и богатую возможность для технического воплощения.

Работы московских «криогенщиков» тоже обещают многое. В лаборатории профессора Брандта получены результаты, которые вносят существенный вклад в разработку устройств, основанных на регистрации лучей невидимой части спектра.

Когда-то радиоэлектроника начинала с электронных ламп. Сотни вольт напряжения требовалось, чтобы заработали приемные и передающие устройства. Появление полупроводников снизило этот параметр. Транзисторные приемники потребляют всего несколько вольт. Теперь радиоэлектроника получила новый импульс. Электрическое питание бесщелевых устройств сократится в сто с лишним раз.

Таким образом сделает первые шаги милливольтовая радиоэлектроника, которая будет работать с очень малым потреблением электроэнергии, так как резко возрастет КПД установок.

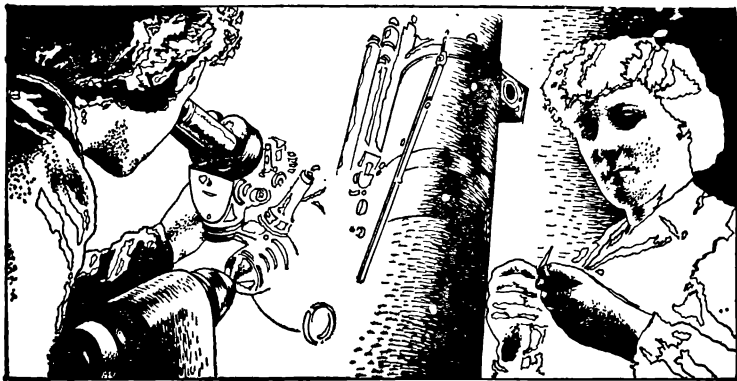
Материалы для новых технологических схем готовятся, поскольку инженеры научились изготавливать различные твердые сплавы, где энергетическая щель падает до нуля. Причем уже не нужны те экстремальные условия, что когда-то в муках создавали физики МГУ. Но без их работы новая радиоэлектроника не могла бы выйти «из пеленок». В числе других научных коллективов ученые кафедры низких температур физического факультета старейшего университета страны вызвали к жизни этот интереснейший и многообещающий раздел техники.

Так оригинальные явления, исследованные советскими учеными и характеризующие потрясения основ классического взгляда на твердое тело, четко определились в трех направлениях современной техники.

Новые методы изучения вещества и его структуры появились в результате экспериментальной деятельности ученых Казани. Технологи страны пользуются выводами и рекомендациями харьковских специалистов

криогенной техники, а московские исследователи ближайших окрестностей абсолютного нуля дали импульс к созданию принципиально новых технических устройств, которые, быть может, коренным образом преобразуют радиоэлектронику.





## ПОГРУЖЕНИЕ В НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Некогда атом считался неделимым, а взаимопревращения элементов — невозможными. Атом расщепили, элементы стали получать искусственно. Однако преобразовывать монохроматические лучи физики не умели. Теперь пришла пора оптических триумфов. Нелинейная оптика сумела преодолеть барьер природы, и ученые немедленно передали эстафету технике, которая, как это уже было с ядерной энергией и ядерной «алхимией», тут же воспользовалась трудами физиков.

Таков стремительный темп развития новой науки, олицетворяющей наш бурный двадцатый век.

Наше время характеризует нелинейность, его знамение — экспонента — кривая, стремительно уходящая вверх, все более отдаляясь от скромной прямой линии линейного закона...

Академик Р. В. Хохлов

Кому из нас в детстве не приходилось встречаться с арифметической задачей, где надо определить стоимость четырех тетрадей, исходя из цены двух таких же. При всей незамысловатости выкладки она отражает фундаментальный и чрезвычайно распространенный случай зависимости между величинами, выражаемой на графике прямой линией. Линейность — прямая пропорциональность, самая простая, пожалуй, и логичная из всех возможных видов взаимосвязи причины и следствия.

Как приятно математику оперировать линейными уравнениями, где фигурируют лишь первые степени неизвестных величин, а с этих уравнений, собственно говоря, и начиналась математика; как приятно химику, биологу, физику свести сложные взаимосвязи природы к простейшим линейным.

Долгое время казалось, что природа пошла в этом смысле навстречу ученым, продемонстрировав своеобразную «любовь к простоте». Линейны законы Ньютона, на которых зиждется вся механика, утверждающая, что ускорение, получаемое телом, прямо пропорционально силе, на него действующей. Фундамент науки об электрических явлениях — закон Ома — облечен в ту же удобную и универсально понятную форму: сила тока прямым образом зависит от поданного напряжения. Привычная, понятная, математически элегантная линейность — торжество здравого смысла.

В магнетизме царствует закон Био и Савара, согласно которому напряженность магнитного поля линейно связана с силой тока. Великое детище Фарадея — закон электромагнитной индукции — увязывает жесткими рамками прямой пропорциональности ток, рождаемый в генераторе, и скорость вращения рамки в магнитном поле.



Оплотом линейности всегда были акустика и оптика.

Долг путь светового луча, испущенного атомами далекого от нас Солнца, тысячи километров покрывает радиосигнал, посланный в эфир радиостанцией, да и обычные звуки порой проходят изрядные расстояния, прежде чем достигнут наших ушей.

Может измениться мощность звука или света, но не частота колебаний, которая определяет сущность сигнала — «цвет» светового луча или высоту тона звука. В этом и заключается линейность. Среда пропускает свет и звук, не касаясь их основной характеристики. Форма сигнала остается незыблемой, не искажается. Если нам крикнули «Вася!», то вы услышите именно «Вася!». В «Колю» эти звуки никоим образом не превратятся. Может быть, громкий крик упадет до чуть слышного шепота, но, приняв сигнал, мы обнаружим его в той же девственной неприкосновенности, каким он родился. И красный луч всегда останется красным, какие бы приключения он ни испытал на своем пути.

Кроме того, световые лучи не смешиваются. В этом их тоже ограничивает линейность акустики и оптики. Каждый сигнал остается незыблемым — такова основа принципа суперпозиции, свято охраняющего наш мир, который иначе превратился бы в какофонию звуков и буйство световых потоков, где ни один человек не смог бы разобраться.

Таким образом, в физике недавнего времени торжествовала линейность, любые законы и соотношения выражались линейными уравнениями или легко приводились к ним, а сама зависимость между величинами являла собой прямую пропорциональность.

Всякое отступление от привычной линейности трактовалось как нечто порочащее чистоту научной мысли, искажающее классическую науку.

Лишь радиотехника взяла на вооружение некоторые нелинейные эффекты. Насущные проблемы радиотехники как раз заставили схватиться за явления, нарушающие стройные правила науки. Физики стали использовать ситуации, создаваемые нелинейностью вместо того, чтобы отделяться от ее нежелательного вмешательства. Выпрямление переменного тока, детектирование и генерация сигналов происходят благодаря выпущенному из бутылки джину нелинейности. «Ну что же, и терпентин на что-нибудь полезен», — вслед за Козьмой Прутковым сказали физики. Зато во всех других областях своей обширной науки они тщательно соблюдали линейность, справедливо считая ее прибежищем классических принципов науки.

Бурные потрясения двадцатого века не могли оставить в покое линейность. Грандиозные скорости тел, мощные потоки частиц и излучений — вот с чем столкнулась некогда спокойная наука. Пошатнулись ее устои, и в образовавшуюся брешь проскользнули первые посланцы нелинейности.

Физика как серьезная экспериментальная наука началась когда-то с механики. И в сфере новых веяний механика также оказалась первой.

Как просто сформулировал великий Галилей принцип относительности движения, как изящно он выглядел математически, какая это была очаровательная линейность!

После трехсотлетнего неограниченного господства преобразований Галилея, являющихся математическим отображением принципа относительности, наступили смутные времена. Оказалось, что при больших скоростях движущихся тел простые линейные формулы Галилея уже не годны. Требуются серьезные поправки, зависящие от относительной скорости. Сказалась принципиальная нелинейность природы, скрытая до той поры. Новые, уже нелинейные уравнения, связывающие

между собой координаты движущихся тел для разных систем отсчета, ввел Лоренц. Это и есть его знаменитые преобразования, предвосхитившие специальную теорию относительности Эйнштейна.

Затем под удар попала электродинамика. Нелинейной стала гидродинамика, когда познакомилась с быстротекущими жидкостями, где трение уже не было линейно связано со скоростью. Самолеты, штурмовавшие звуковой барьер, внесли расстройство в аэродинамику. Под грозный шум ударных волн нелинейность ворвалась в акустику, где впервые была реализована способность нелинейных эффектов накапливаться.

Физика новых процессов требовала подспорья математики, которая в бешеном темпе развивала оригинальные методы расчетов. Слово «нелинейность» стало чрезвычайно популярным.

И, наконец, в начале шестидесятых годов пал последний оплот, последняя цитадель «физической добропорядочности» — оптика. Правда, почти четыре десятилетия она уже находилась под угрозой вторжения нелинейности.

Ведь еще в 1936 году советский физик Сергей Иванович Вавилов наткнулся на довольно странное явление. Он убедился, что интенсивность света, пропущенного через ураниловое стекло, слегка увеличилась.

Обнаруженный Вавиловым эффект был одной из первых ласточек, извещающих о появлении новой науки — нелинейной оптики. Причем Вавилов указал на звезды, где, по его мнению, происходят подобные процессы. До звезд далеко, а для того, чтобы работать в земных лабораториях, Вавилову не хватало самого главного — в его руках не было мощного источника света.

Когда в начале шестидесятых годов зажегся свет первого лазера, нашествие нелинейности стало неотвратимым. Как сказал один ученый, теперь можно пе-

рассмотреть оглавление учебника оптики и дать нелинейные поправки к каждой главе.

Даже угол падения в нелинейных средах оказался отнюдь не равным углу отражения, а такое представление сложилось еще во времена Герона Александрийского, то есть в первом веке. Мощный лазерный луч в однородной жидкости проявил вдруг странную склонность фокусироваться, сужаясь без всякой посторонней помощи до тончайшей нити. Появились и другие невероятные эффекты. Ученые увидели, что некоторые прозрачные среды, восприняв энергию лазерного потока, темнеют почти до полной непрозрачности, а другие, наоборот, просветляются. А световые лучи стали рождать новые цветовые сочетания.

Явления нелинейности обнаружены и в квантовой физике. Оказывается, в сильном световом поле атомы ведут себя, вопреки установленным ранее закономерностям, гораздо агрессивнее и могут захватывать по нескольку квантов. А сами фотоны — кванты света — получили возможность объединяться в своих ранее единоличных действиях.

Формула Эйнштейна, за которую он получил Нобелевскую премию, описывала энергетические соотношения при фотоэффекте, когда энергия кванта света тратится на преодоление сопротивления кристаллической решетки, удерживающей электрон, а избыток энергии передается этому электрону. Немоощный квант, энергии которого не хватает для освобождения электрона из кристаллической решетки, заведомо ничего не мог сделать. Теперь в нелинейных средах, возбужденных мощными световыми лучами, кванты объединяются и общими усилиями разбивают оковы электрона.

Таким образом, во все законы классической и квантовой оптики нелинейность, обусловленная мощными потоками света, внесла свои коррективы.

Конечно, не следует думать, что произошло круше-

ние оптики. Для ее обычных проявлений ничего, в сущности, не изменилось. И мы по-прежнему можем пользоваться принципом суперпозиции и всякого рода оптическими устройствами от очков до фотоаппаратов.

Но физикам, которым приходится работать с новыми источниками излучений (лазерами), нелинейность встречается на каждом шагу.

При всем многообразии нелинейных оптических эффектов вызваны они одним-единственным физическим процессом, имя которому — поляризация.

Под действием света любая прозрачная среда возбуждается — поляризуется. Электроны смещаются со своих мест, колеблются вместе со световой волной, в такт ей и переизлучают волну. Эта поляризация строго пропорциональна — линейна по отношению к внешнему световому полю.

Для мощных потоков света, проявляющих нелинейные свойства среды, отклик ее электронов уже не будет совпадать с падающей световой волной. Отклонение этой зависимости от прямой непосредственно связано с интенсивностью света. Электроны начинают личное активное «творчество», порождая излучения другой частоты, хотя и связанной с первоначальной простыми правилами арифметики.

Разнообразные технические возможности, предоставленные нелинейной оптикой, с лихвой компенсируют усложнение математических расчетов и появление различного рода непредвиденных эффектов. Да и для самих ученых возникло столько новых интересов, что, как говорится, глаза разбегаются!

## **Не-оптика**

Путешествие в страну оптической нелинейности ограничилось для меня зданием физического факультета МГУ. Здесь, на Ленинских горах, расположился

один из опорных пунктов новой науки, во главе которого в свое время стал заведующий кафедрой волновых процессов профессор Рем Викторович Хохлов, ныне академик, ректор МГУ, но по-прежнему увлеченный поклонник нелинейной оптики.

Стенная газета и научный бюллетень кафедры называются коротко и недвусмысленно «Не-оптика», что, разумеется, означает «нелинейная оптика», но имеет и второй смысл, который достаточно быстро доходит до любого посетителя. Просто все, что он видит в лаборатории, коренным образом отличается от привычных представлений привычной для нас всех оптики. А здесь, конечно, «не-оптика».

Прежде всего меня встретила радуга, рожденная зеленым лучом аргонового лазера. Из зеленого света получились разноцветные концентрические окружности, плавно переходящие от одного оттенка к другому.

Не менее ошеломляющим было зрелище красного луча, выброшенного рубиновой лазерной пушкой. Он врывался в прозрачный сосуд и становился... белым. Но ведь еще Ньютон убедительно доказал, что белый цвет сложный, он складывается из всех цветов радуги. Так отчего же красный луч, попав в сосуд со сжатым водородом, вдруг побелел? Что с ним произошло?

Подобных преобразований прежняя оптика не знала, как, впрочем, не знала она и таких устройств, как лазер, а именно в нем все дело.

Рождение новых частот при взаимодействии мощного лазерного луча с веществом — вот что такое любой из нелинейных эффектов. Зеленый и красный лучи, которые так красиво преобразовывались на моих глазах, создавали своих разноцветных потомков, рассеиваясь на атомах. В толще любого нелинейного кристалла идет подобная работа. Одни частоты сменяют другие, лазерный луч окрашивается по-иному, появляясь то синим,

то красным, то оранжевым, то вообще становясь невидимым.

Но зачем все это? Кому нужна такая световая феерия, как использовать нелинейную способность лучей к переодеванию?

Лазерный луч — сугубо одноцветный, монохроматичный. Он содержит только одну частоту. Между тем то, что мы в быту называем красным или, скажем, зеленым, имеет множество оттенков. Наш глаз их не различает. Лазерная вспышка — это множество совершенно одинаковых по всем физическим характеристикам квантов света. Никаких примесей! Какие бы лазеры мы ни применяли — твердотельные, газовые, жидкостные, полупроводниковые, на органических красителях, — их лучи обладают этим свойством — постоянством и однородностью.

Каждое вещество, способное к лазерному излучению, строго индивидуально, испускает лишь те частоты, которые разрешены энергетикой тела, состоянием атомов. Но физики и химики, биологи и медики, инженеры и технологи настоятельно требуют лазеров не только всех цветов радуги, но и всех частот радуги! Их аппетиты просто ненасытны. Скажем, для локации воды необходим зеленый лазер особой окраски. Аргонный не подходит.

Биологи и медики стали на стезю «генной инженерии». Вероятно, они овладеют ее методами и научатся влиять на наследственный аппарат животных, растений и даже человека, исправлять оплошности природы. А для этого ученые должны получить в руки особый, чрезвычайно тонкий инструмент, чтобы можно было производить операции на генах. Пока в их распоряжении есть один-единственный «хирургический» инструмент — нуклеазы, белковые элементы, способные разрывать химические связи в молекулах ДНК. Лазерный луч определенной частоты может оказаться более на-

дежным и безотказным скальпелем для операций на молекулярном уровне. Но еще не найдено вещество, которое могло бы испускать луч такой частоты. Возможно, этот луч можно получить методом преобразования тех, которые дают сегодняшние лазеры?

Химики тоже мечтают об аналогичном, но более изощренном молекулярном инструменте. Для управления различными химическими реакциями надо научиться разрушать внутренние связи молекул, создавать новые. Только лазерный луч переменной частоты способен произвести подобную операцию. Ведь молекулы разнообразны. Для каждой нужен свой специфический инструмент, множество инструментов, буквально тысячи. Столь же разностороннее молекулярное оборудование уже сегодня требуется для анализа смеси прозрачных газов. Каждый из них избирательно поглощает «свои» любимые световые частоты. Стало быть, если перед нами неизвестная газовая смесь, то по ослаблению световых лучей можно точно определить, какие газы и в каких соотношениях ее составляют.

Короче говоря, изменение частоты лазерных лучей — не каприз исследователей, а насущная необходимость для науки и техники.

Вот почему с такой радостью встретили ученые и инженеры появление параметрического генератора, созданного Ремом Викторовичем Хохловым и доктором физико-математических наук Сергеем Александровичем Ахмановым. Насколько этот прибор пришелся впору науке и технике, свидетельствует присуждение его авторам Ленинской премии.

Экспериментальная работа исследователей нелинейных явлений в некотором смысле однотипна. Почти все эффекты, даже самые удивительные, были предсказаны заранее на основе уравнений поляризации и других аналогичных выкладок. Какие именно лучи появятся



при тех или иных взаимодействиях лазерного луча с веществом — это можно рассчитать.

Нелинейные эффекты существуют и в обычных линейных средах, но в абсолютно микроскопических дозах. Лазерное излучение проявляет их, доводя до тысячных или даже сотых долей процента. Но для техники этого все равно безумно мало. Радужные преобразования типа параметрической люминесценции — зрелище, которым меня угостили при встрече, равно как и красный луч, обернувшийся белым, все-таки редкость. Эффекты весьма незначительны. И работа экспериментаторов как раз и заключается в том, чтобы резко увеличить, усилить эффект, сделав его «зримым» в переносном, а поскольку речь идет об оптике, и в прямом смысле.

В поисках веществ, которые могут удваивать частоты сигналов — физиков прежде всего интересовало именно это, — ученые наткнулись на кристаллы дигидрофосфата калия. Дигидрофосфат калия — кристалл неоднородный. Его физические константы зависят от направления, по которому происходит наблюдение. Скажем, вдоль оси кристалла теплопроводность и упругость одна, а поперек оси — совершенно другая. Столь же прихотливы и оптические свойства.

Ученые обнаружили, что в кристалле KDP (теперь найдены и другие аналогичные вещества) существуют направления синхронизма, где происходит резкое удвоение частоты.

Но это еще не самое главное. Оказалось, что лазерный луч создает в таких кристаллах многочисленные пары лучей, арифметически связанных со своим прародителем (сумма их частот составляет его частоту). И определенное направление в кристалле — угол между лучом и осью кристалла — выделяет из всех этих пар одну. Она сильнее прочих. Но все еще бесконечно слаба. Однако лазерная техника знает средство усиления

световых «крошек». Два зеркала-резонатора — классический образец лазерной конструкции. Такую же систему использовали Хохлов с Ахмановым. Специально подобранные и особым образом расположенные зеркала, поймав народившийся слабый луч, заставляют его многократно пройти через кристалл. С каждым разом он выходит оттуда все сильнее и сильнее.

Таким образом параметрический генератор рождает лучи, вполне пригодные для использования. Частота их, их цветное одеяние определяются простым поворотом ручки прибора, фиксирующего угол кристалла. Все остальное работает автоматически. Плавно перестраивая частоту, можно пройти весь диапазон видимого света — от красного до фиолетового.

А почему только видимого? Ультрафиолетовые и инфракрасные лучи — чрезвычайно важная часть спектра.

Скажем, инфракрасное тепловое излучение тел. Регистрация этих лучей составляет целый раздел техники, очень широкий и достаточно сложный.

Собственно говоря, «ночное» видение никого сейчас уже не удивляет. «Инфракрасный» глаз способен превратить ночь в день, так как существует множество различных способов регистрации теплового излучения. Но большинство приборов, которые могут выполнять подобную процедуру, определяют лишь наличие источника излучения, его температуру и мощность. Правда, можно получать изображение предмета в виде своеобразной мозаики, используя для этого целую систему инфракрасных детекторов. Такие установки существуют, однако они крайне громоздки, требуют глубокого охлаждения — словом, неудобны.

А вот преобразование инфракрасного изображения в видимое может сделать неявное очевидным. Надо найти способ без искажений проявить невидимый рисунок, причем не имеет значения, какого цвета он

будет: дело не в окраске, а в деталях запечатленной картины, в информации, которую она несет.

«Цвет» этой информации — вопрос второстепенный.

Ученые давно уже научились преобразовывать инфракрасные сигналы. С помощью обычного нелинейно-арифметического сложения в кристалле лазерный луч, общаясь с инфракрасными, переводит их в видимую часть спектра. Но опять-таки то были сигналы, а не подробная информация.

И вот на кафедре волновых процессов МГУ лазерный луч произвел в нелинейном кристалле прустита сложную операцию, благодаря которой изображение можно подать на вход электронно-оптического преобразователя, запечатлеть на фотопленке и даже рассматривать невооруженным глазом.

У кандидата физико-математических наук Эдуарда Воронина я видел макет первого параметрического апконвертора — так назван здесь преобразователь невидимого изображения. Как утверждают энтузиасты, этот преобразователь делает реальной мечту об инфракрасной голографии и инфракрасном телевидении.

Это в перспективе.

А пока на кафедре прошли серию исследований непрозрачные полупроводники — их обследовал инфракрасный луч лазерной установки. Это значит, что университетские «не-оптики» к существующим методам анализа полупроводников добавили еще один — пожалуй, самый добротный. Но этим дело не ограничилось. Физики кафедры сумели просветить полупроводники с помощью самого простого видимого света, сделали их прозрачными. Просветление среды — один из первых эффектов нелинейной оптики, вызвавший повсеместный восторг. Но долгое время и он оставался лишь ярким примером особенностей лазерного излучения, не более. Лишь недавно началось экспериментальное и практическое освоение и этого явления.

...На лабораторном столе расположился плотный, непрозрачный, что видно сразу, кубик полупроводникового материала.

Включен неодимовый лазер, его невидимый луч, испытав встречу с нелинейностью в кристалле KDP, становится видимым — зеленым. Все пока идет, как обычно.

Но вот щелкнул затвор, и луч коснулся темного кубика полупроводника. По всем законам здравого смысла, а вернее, законам линейной оптики, этим все и должно было кончиться — ведь на пути луча лежал кристалл непрозрачного материала. Однако луч не захотел считаться со здравым смыслом. Он чудесным образом прошел сквозь толщу кристалла, то есть промчался там, куда путь ему был накрепко заказан. Что же произошло?

Как давно установили физики, природа поглощения света — квантовая. Атомы непрозрачного кристалла перехватывают кванты света, поглощают пришельцев один за другим. Тело, испытавшее удар светового луча, лишь слегка нагреется, так как его возбужденные атомы тотчас же отдают пойманную световую энергию в виде тепла. Это происходит в том случае, если луч света обычный — не лазерный. Воздействие луча лазерного можно уподобить мощной эшелонированной атаке, когда первые цепи атакующих сминают противника, а последующие проходят через его позиции уже без задержки. Именно так и действуют кванты лазерной вспышки. «Передовой отряд» квантов лазерного импульса, сталкиваясь с атомами вещества, приводит их в возбужденное состояние. «Передовой отряд» такой многочисленный, удар его настолько мощный, что атомы вещества успевают возбудиться все без исключения. И «второй эшелон» квантов уже не встречает сопротивления — все стражи порядка обезоружены. На время действия лазерного луча, пока длится световая вспыш-

ка, вещество, до той поры слышшее непреодолимой преградой для света, делается прозрачным. «Индукцированная прозрачность», исследованная для полупроводников на кафедре МГУ, — дорогой подарок технике.

### **Трижды нелинейность**

Мы сидим вдвоем в теплой уютной комнате. Убаюкивающе выдает свои двенадцать импульсов в секунду лампа накачки неодимового лазера. На окнах плотные шторы. Привычная обстановка нелинейных лабораторий.

У каждого раздела физики существует свой собственный аромат, свой антураж, столь же неповторимый, как и смысл научных исследований, для которых он уникален.

Со времен Ньютона оптические лаборатории отличаются величественная тишина. Поскольку один из главных приборов по сей день — глаз экспериментатора, комнату оберегают от лишнего света. Но источники излучения, конечно, не времен Ньютона. Они принадлежат целиком нашему времени.

Лазерная революция преобразила не только существо оптики, она внесла свои коррективы и во внешний облик лабораторий. И тишины теперь нет и в помине, и обстановка другая. Работают мощные импульсные лазеры, хлопают их затворы, лабораторию озаряют слабые вспышки, и пылинки воздуха высвечивают прямую линию лазерного луча.

В этой комнате занимаются спектроскопией — почетной, родившейся еще в девятнадцатом веке, ветвью оптики.

Измерения проводит кандидат физико-математических наук Николай Коротеев.

Сначала луч неодимового лазера, преобразенный нелинейным кристаллом из невидимого в зеленый, раз-

дваивается на полупрозрачном зеркале. Путь одного из его «потомков» — внутрь прозрачного сосуда, где находится органическое соединение — бензол, подвергаемый анализу. Второй зеленый луч вызывает желтое свечение — люминесценцию сосуда с жидкостью, расположенного на его пути. Так рождается третий луч, состоящий уже из множества частот. А Коротееву нужна лишь одна частота, одно излучение, монохроматическое, чего он и добивается манипуляциями с зеркалами. Очистка луча от всех сопутствующих — результат второй встречи с нелинейностью.

После этого начинается священнодействие — все три луча, два зеленых и один желтый, попадают внутрь сосуда с бензолом. На экране большого фотоумножителя появляются полосы — свидетели того, что происходит в бензоле под воздействием лучей. Так третий раз проявляется нелинейность — теперь как перспективное направление активной спектроскопии.

Я медленно кручу ручки прибора. И на темном фоне одна за другой вспыхивают тонкие линии, каждая из которых несет свою долю информации.

Активная спектроскопия — новый метод исследований, родившийся на кафедре МГУ, но основа его — комбинационное рассеяние света, открытие которого связано было с именами замечательных советских физиков академиков Л. И. Мандельштама и Г. С. Ландсберга.

Смысл явления заключается в том, что световую волну, попавшую внутрь вещества, немедленно окружают дополнительные вспышки света других частот — сателлиты. Они появляются в результате взаимодействия светового луча и различного рода неоднородностей, а также тепловых и упругих колебаний вещества. Луч как бы спотыкается на них и обрастает маленькими световыми вспышками. Возникшие сателлиты несут богатую информацию о внутренней жизни испытуемого

тела, скажем, о структуре кристаллической решетки, о поведении молекул жидкости и тому подобное.

Плохо одно — сателлиты в сотни миллионов раз слабее вызвавшей их световой волны. Регистрировать едва заметный свет очень трудно. Физики МГУ нашли выход из этого положения. Их метод не зря называется активной спектроскопией. За работу взялись сразу три луча.

Два из них — желтый и зеленый — заставляют проявляться колебания молекул вещества, как бы раскачивают их, попадают в резонанс. А третий луч рассеивается на этих, уже ставших сильными, колебаниях. И появляющиеся сателлиты достигают вполне солидных размеров. Я, например, их ясно вижу.

И еще одно преимущество нового способа приоткрыть завесу, закрывающую внутренний мир молекул вещества. Желтый луч может «примерить» целую серию частот. Не зря ведь Коротеев поворачивает зеркала... Тем самым качественно меняется «инструмент», и новые объекты наблюдений попадают в сферу его деятельности.

Так появилась в обиходе ученых еще одна исследовательская методика, одинаково пригодная для твердых тел, жидкостей и газов. Разносторонний способ. Когда я усомнился в его достоинствах, Коротеев обиженно сказал:

— А как вы еще сумеете обнаружить десять миллиардов молекул?

Действительно, как? Десять миллиардов только на слух воспринимается, как нечто внушительное. На самом деле, если речь идет о молекулах, это нечто совершенно невесомое и неконтролируемое.

А вот лазерный луч активной спектроскопии сумеет зарегистрировать наличие этих молекул в какой-либо среде, скажем, в атмосфере. Как опытный разведчик, проникнет импульс лазерной пушки сквозь прозрачное

окно закрытого сосуда и расскажет, как ведет себя смесь газов, собравшаяся там, из чего она состоит, проделает количественные измерения. И на получение этой экспресс-информации уйдет всего лишь одна стомиллионная доля секунды.

Вполне может быть, что активный метод спектроскопии приведет к неменьшим революционным преобразованиям в исследовании вещества, чем сами лазеры в науке и технике. Появляется возможность изучать колебания молекул, вызванные взаимодействием ядер с электронными оболочками. Прежняя аппаратура ничего подобного обнаружить не могла. А между тем для химиков и биологов подобные измерения чрезвычайно существенны. Кроме того, для биологии активная спектроскопия вообще представляет особую ценность. Биологические объекты, как правило, окрашены или светятся под действием обычных лучей. Поэтому свет для них — плохой разведчик. Но лазерный щуп активной спектроскопии возбуждает особое свечение, не похожее на привычную для данных веществ люминесценцию. Значит, этот «фон», который является непреодолимой помехой для старых методов спектроскопии, не опасен. И возникшие сателлиты легко зарегистрировать.

Некоторые энтузиасты нелинейной оптики вообще считают, что только с ее помощью ученые смогут целенаправленно вмешиваться в сокровенные процессы живой природы, когда один луч лазера послужит преобразователем, а другой — исследователем!

## **Трюк на прощание**

Так уж повелось, что цирковое представление завершается обычно самым сногшибательным номером. Зритель должен уйти, испытав удивление, граничащее с шоком...



Нечто подобное произошло и со мной в университетской лаборатории «не-оптики».

В неожиданное смятение меня привел трюк... с вентилятором, который на моих глазах сотворил чудо: он отклонил в сторону луч лазера! Представьте себе такую картину: сквозь узкую щель в темную комнату пробивается луч света; вот вы дунули на него, и он от вашего дуновения затрепетал. Это невозможно, скажете вы. Конечно, невозможно.

Так в чем же тогда физическая суть «фокуса», который я видел в лаборатории «не-оптики»? Да все в той же нелинейности. Лазерный луч, который поддался воздушному потоку от вентилятора, был пропущен сквозь прозрачную жидкость в длинном сосуде. Взаимодействие луча такой мощности со средой, в данном случае с жидкостью, привело к тому, что в ней он проложил себе своеобразный световой канал, оптические свойства которого резко отличаются от оптических свойств среды, то есть жидкости. Они таковы, что световой луч отражается от стенок созданного им же канала и суживается еще больше. Происходит так называемая самофокусировка, когда луч уменьшается до тончайшей световой нити.

Пожалуй, теперь нетрудно догадаться, что произойдет с этой светящейся нитью, если включить вентилятор. Воздушный поток своим давлением искривит световой канал, а точнее — нагретые лучом слои жидкости, образовавшие этот канал, и светящаяся ниточка также послушно искривится. Вот и весь «трюк». Кстати говоря, тонкие нити-световоды давно используются в оптике. Разница между ними и тем, что я видел, в том, что в жидкости луч создает себе световод сам, собственной энергией.

В свое время явление самофокусировки было встречено с ликованием. Одни утверждали, что подобным способом можно передавать на расстояние энергию.

Другие считали, что именно самофокусировка послужит основой для конструкции молекулярного «скальпеля», о котором мечтают ученые самых разных специальностей. Третьи в явлении самофокусировки увидели возможность создания устройств, которые по своей мощи превзошли бы гиперболоид инженера Гарина.

Но, увы, надежды эти не оправдались. Прежде всего оказалось, что «фокусы» самофокусировки сначала действительно мчатся вместе с лучом, а потом застывают на месте, после чего начинают движение в обратном направлении. Какая уж тут транспортировка энергии! Да и «скальпель» не получается.

Зато неприятностей от самофокусировки много. Так что в этом смысле ее изучение принесло большую пользу конструкторам лазерных установок. Ведь именно самофокусировка ограничивает мощность твердотельных лазеров, поскольку сузившийся луч способен разрушить свою «колыбель»...

И тем не менее явление самофокусировки не осталось в сфере «чистой» науки. В последнее время намечались пути использования этого эффекта для практических нужд.

Было обнаружено, в частности, что в фокусах сузившегося луча, как в сверхмощной лазерной печи, образуется высокотемпературная плазма—предмет особых забот исследователей, занимающихся термоядерными процессами. Причем самофокусировка рождает и плазму и одновременно создает магнитное поле, способное удержать ее. Ведь надежды физиков обращены теперь к лазерной технике. Академик А. М. Прохоров прямо утверждает, что с помощью мощных лазеров на тугоплавком неодимовом стекле «... в ближайшем будущем предполагается осуществить управляемую термоядерную реакцию». Естественно, никто не знает, как это будет сделано. Может быть, первые ростки термоядерных

реакций как раз и появятся в тончайших нитях сфокусировавшегося луча? Кто знает... Роль пророков в науке весьма щекотлива. Но во всяком случае ученики и сотрудники А. М. Прохорова всюду занимаются самофокусировкой. Лаборатория одного из них, ярого поклонника оригинального явления нелинейности, доктора физико-математических наук В. А. Коробкина, где мне довелось побывать как раз перед посещением физического факультета МГУ, была буквально насыщена трюками, подобными трюку с вентилятором. Сужающиеся световые шпаги, пронизывающие жидкость, странные тире и точки своеобразной азбуки Морзе, застывшие в воздухе, тончайшие нити, обрисовывавшие круговые движения лазерного луча, — словом, самофокусировка во всех ее проявлениях.

И «прохоровцы», так же как и физики МГУ, уверены, что рано или поздно придет время для осуществления несбывшихся надежд.

Самофокусировкой завершилось мое знакомство с оптической нелинейностью и работами кафедры волновых процессов МГУ.

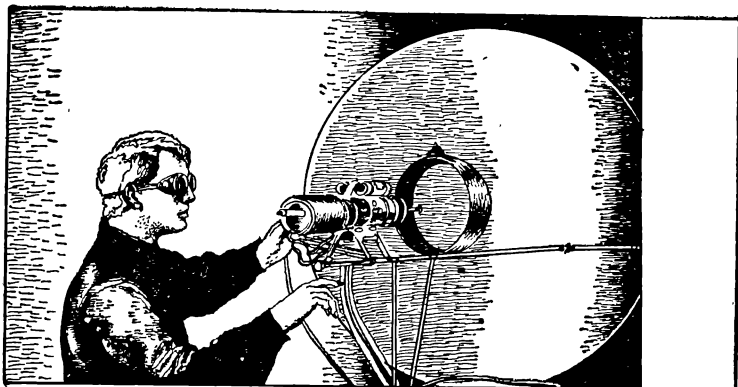
Я оставляю комнату, где тонкий светящийся в жидкости шнур вытворяет чудеса, спускаюсь на первый этаж, открываю дверь и оказываюсь в привычном устойчиво-линейном мире безо всяких оптических подвохов.

После всех этих покушений на основы добропорядочной классической физики, после опытов, где неожиданность фигурирует как постоянный фактор, мне захотелось добротного эксперимента, когда элементарны приборы, однозначны выводы, а сама техника проста до примитива. Таким был когда-то физический эксперимент. Сохранился ли он где-нибудь в таком первозданном виде или это уже удел истории?

Оказалось, что подобный эксперимент существует. Более того, обретается он в непосредственной окрест-

ности нелинейного мира, где я только что побывал. Между ними лежат лишь несколько сот метров, что отделяют физический факультет от лабораторного корпуса МГУ, где расположились биологи, у которых еще недавно физические методы исследования и интерпретация жизненных процессов с точки зрения точных наук вызывали активную неприязнь. А сейчас именно физические эксперименты являются решающим аргументом в защите той или иной гипотезы биологов!





## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЖИВОЙ КЛЕТКИ

Самая интересная область современной науки, несомненно, биология. Ее альянс с математикой, химией и физикой, появление работ на стыке всех этих наук — крайне заманчивое поле для работ экспериментаторов.

Академик И. Е. Тамм

## Биологический фотоэлемент

Большой лабораторный корпус МГУ — один из столичных центров биохимии. Несколько ступеней вниз — и из оживленного холла вы попадаете в низкий первый этаж, почти полуподвал, отрезанный от всех остальных помещений дверью с лаконичной надписью «Изотопная».

В комнате, что принадлежит биохимикам, никаких изотопов нет и в помине. Просто здесь тихо, меньше электрических наводок, лучше работает и людям, и приборам.

Спокойствие олицетворяет полутьма. Окна занавешены плотными шторами. Верхний свет выключен. Лишь настольная лампа освещает угол письменного стола, где свалены книги, статьи, бумага.

При всей статичности картины, она дышит внутренней динамикой, являясь внешним антуражем того, что происходит в комнате, где идет тонкий, яркий, неожиданный эксперимент.

В одном из отсеков измерительной установки, расположенной в вытяжном шкафу, то вспыхивает, то гасает лампочка. И в такт ей срывается с места стрелка вольтметра.

Система, преобразующая световые лучи в электричество, в середине двадцатого века ни у кого не вызывает удивления. Что тут особенного? Обыкновенный фотоэлемент. Подобные приборы давно уже заняли места и у лент конвейеров, и у входных дверей станций метро.

По сути дела, установка школьного курса физики — обыденная и потому малоинтересная.

Однако фотоэлемент, включенный в лаборатории, абсолютно уникальный, так как создан он живой природой. У родопсина, который дает возможность живым существам видеть, имеется бактериальный собрат. В пурпурных бляшках тела бактерий, населяющих соленые водоемы, гнездится свой родопсин — природный фотоэлемент, можно сказать, единственный в своем роде.

До сих пор эти бактерии были известны лишь как источник «своеобразной ржавчины», что покрывает порой испорченную селедку. И вот оказалось, что именно бактериородопсин несет чрезвычайно важную функцию, преобразует свет в электричество, осуществляя таким образом голубую мечту энергетиков.

Своеобразная электростанция живой природы? Феномен?

Для публичной демонстрации, несомненно, феномен. Но ученые считают, что природа создала массу аналогичных устройств в клетках и животных, и растений. Более того, как раз эта система типична для природы, разработана ею, как говорится, на все случаи жизни...

До недавнего времени технологические подробности происходящей в клетках трансформации энергии никому не были известны.

Эксперимент, за которым я слежу, как раз и должен снять покровы таинственности с основ жизненных процессов, прояснить особенности и принципиальные возможности биоэнергетики клетки.

Здесь, в этой маленькой комнате, идут измерения. В подвале работают физики. Их дело — сказать последнее слово о хитром сочетании различных приемов, что зовется биохимическим экспериментом.

Сами биохимики действуют наверху...

## **Поиски неизвестного**

Члена-корреспондента АН СССР, доктора биологических наук Владимира Петровича Скулачева, вот уже долгие годы возглавляющего лабораторию биоэнергетики, человека блестящей эрудиции, тонкого мастера эксперимента и великолепного научного администратора (весьма нетривиальный случай) сами биохимики считают образцом целеустремленности и работоспособности. А прослыть среди биохимиков «работягой» нелегко. Работают они, пожалуй, как никто другой. Эксперимент в биохимии стал изощренным, длительным, требующим колоссальной затраты труда и времени.

В кабинете Скулачева висит цветная таблица, которую он привез с симпозиума, что летом состоялся в Венгрии. Это — карта гигантских географических открытий на крошечном пространстве живой клетки.

Сотни ферментов обслуживают ее, тысячью невидимых нитей собраны они воедино. Неисчерпаемость всего этого удивительного механизма, созданного миллионами лет эволюции, просто поражает воображение.

Всего несколько лет назад Скулачев был еретиком, защищавшим почти никем не разделяемые положения, человеком, чьи высказывания звучали, как «глас вопиющего в пустыне». Сейчас В. П. Скулачев и его постоянный соратник доктор биологических наук Ефим Арсентьевич Либерман — признанные корифеи биоэнергетики, почти непререкаемые авторитеты ее самой современной теории.

Но для этого потребовалось восемь лет упорного труда, дерзких, впечатляющих экспериментов, целеустремленности и редкой последовательности в исследовательских планах.

Говорит Скулачев спокойно, обстоятельно, без полемики задора. Полемика кончилась, тяжелые дни повального скепсиса давно позади.

— Ну, что же, поговорим подробнее о биоэнергетике клетки. Эксперимент вы видели, он, как мне кажется, весьма убедительный. Что касается основ нашей науки, то, видимо, придется прочесть популярную лекцию. Впрочем, я давно убедился, что знания на сей счет у неспециалистов весьма поверхностны.

Я соглашаюсь, и он привычно начинает чисто по-ильфовски (помните, из записных книжек: «...книга по высшей математике начинается словами: «Мы знаем...»):

— Как известно, — говорит Скулачев, — в клетках живых организмов происходит два основных энергетических процесса. Поступающие извне питательные вещества (мы называем их «субстраты») поглощаются клеткой. При этом происходит окисление, сопровождающееся выделением энергии.

Затем следуют еще какие-то преобразования, конеч-



ный результат которых — появление молекул АТФ — аденозинтрифосфата. АТФ — валюта клетки, ее унифицированная энергия, которую клетка сначала запасает впрок, а затем может тратить по своему усмотрению.

Все эти процедуры происходят во внутренних мембранах митохондрий — особых клеточных образований. Митохондрии — своеобразные клетки внутри клеток со своим собственным наследственным аппаратом. Некоторые ученые даже считают, что налицо специфический случай симбиоза обычной клетки и бактерии, которая когда-то в незапамятные времена попала внутрь клетки и, став митондрией, прижилась там, получая от клетки питание и поставляя взамен энергию.

Задача биохимиков заключается в том, чтобы установить, каким образом происходит трансформация энергии в митондриях, где одни ферменты занимаются окислением, при котором энергия передается клетке, а другие — аккумуляцией полученной энергии в АТФ. Вот, собственно, и все.

Прежде всего биохимики предположили, что переносом энергии занимается некое гипотетическое вещество. Ученые построили множество моделей этого процесса. В свое время каждый уважающий себя биохимик не избежал искушения предложить вниманию остальных свою собственную концепцию. Но теперь уже ясно, что этот путь не слишком перспективен. Беда всех схем одна. Они достаточно разумны, но не имеют ни малейшего экспериментального подтверждения.

— Не кажется ли вам, что поиски химического переносчика энергии чем-то напоминают попытки физиков обнаружить пресловутый теплород — переносчик тепла?

— В некотором смысле ситуация сходная. Кстати говоря, именно фиаско экспериментаторов, искавших теплород, привело к победе молекулярно-кинетической теории.

И у нас полное отсутствие сколько-нибудь достоверного экспериментального материала побудило биохимиков решительнее взяться за другие схемы передачи энергии. Многие склонялись к мысли, что химическая энергия окисления используется клеткой для механической работы, в процессе которой соответствующий фермент сначала «сжигается», сокращаясь в размерах, а потом, «расслабляясь», отдает запасенную таким образом энергию, чтобы создать еще одно химическое соединение. И уже оно переносит дальше энергию, используемую для образования АТФ. Есть еще несколько подобных же схем, которым, в общем, нельзя отказать в остроумии. Однако природа не вступила на этот путь, несмотря на всю его «бумажную элегантность», а выбрала более оригинальное и универсальное решение. Я говорю универсальное, потому что механизмы превращения энергии в мембранах митохондрий животных и растений, в мембранах хлоропластов, ответственных за фотосинтез в растениях, и, наконец, в бактериальных мембранах поразительно похожи друг на друга. Можно подумать, что механизм превращения энергии, изобретенный однажды биологической эволюцией, был использован затем без принципиальных изменений во всех дошедших до нас формах жизни.

— Это вы выяснили в последнее время. Но, если я вас правильно понял, несколько лет назад в биоэнергетике возник своеобразный тупик.

— Полный тупик. Как утверждал великий физик Нильс Бор, — самое прекрасное время для появления сумасшедшей идеи. И она не заставила себя ждать.

— Идея была действительно сумасшедшая?

— Абсолютно. Настолько сумасшедшая, что, когда я выступил на одном весьма представительном московском симпозиуме с сообщением о показавшейся мне весьма привлекательной и заманчивой гипотезе английского биохимика Питера Митчела, председатель

собрания и вся достаточно квалифицированная аудитория отнеслись к новой теории весьма непочтительно, хотя она казалась логичной и объясняла многое, до той поры необъяснимое.

— В чем же дело? Консерватизм мышления?

— Не только. Во-первых, ученых отпугнули необычные для биохимии того времени представления. Предположение, что живая клетка не что иное, как миниатюрная электростанция, разумеется, показалось фантастическим. А во-вторых, гипотеза появилась без какого-либо экспериментального обрамления. Вот если бы на этом симпозиуме мы смогли бы показать наши опыты с родопсином, сообщение было бы встречено овацией. Но продемонстрировать в то время мы ничего не могли.

А идея выглядела чрезвычайно заманчиво. Митчел предположил, что в результате поглощения энергии при окислении субстратов мембраны митохондрий заряжаются электричеством. Таким образом, ферменты-окислители работают, как топливные элементы. Затем полученное электричество расходуется на синтез молекул АТФ. Единственное обоснование гипотезы заключалось в том, что, как уже было известно, мембраны представляют собой идеальный конденсатор, так как обладают большим электрическим сопротивлением и емкостью.

— Если исходить из «целесообразности» конструкций природы, то сам этот факт можно считать доказательством?

— Увы, нет. Тут могло быть простое совпадение.

Короче говоря, идея Митчела при всей ее привлекательности повисла в воздухе.

— Но вы в нее поверили?

Он отвечает не задумываясь:

— Поверил сразу и навсегда. Никогда за эти годы не возникало и тени сомнения. Ведь с помощью этой

теории мы решили почти все проблемы биоэнергетики, которые столько лет ждали объяснения.

Сейчас теорию можно считать общепризнанной. А в ту пору ее защитников у нас было всего лишь двое. Ефим Арсентьевич Либерман и я...

## **Материализация духов**

Высказать идею — прекрасно. К сожалению, порой в истории науки остается только ее автор, хотя практическое обоснование теории потребовало невероятных усилий, изобретательности и мастерства тех, кому пришлось проверять жизненность идеи на практике.

Надо твердо сказать, что без великолепных экспериментальных работ В. П. Скулачева и Е. А. Либермана «вполне сумасшедшая», плохо аргументированная и вначале ничем не подтвержденная гипотеза Митчела не стала бы стройной теорией, какой она является сейчас. Более того, именно в экспериментах советских ученых проявились неизвестные до той поры черты биоэнергетики клетки...

Я снова слежу за стрелкой вольтметра.

Кроме этого стандартного прибора, здесь все другое. Другая лаборатория, другие сотрудники, другой руководитель. Институт проблем передачи информации, лаборатория доктора биологических наук Е. А. Либермана.

Не спокойный, рассудительный методичный Скулачев, а экспансивный, язвительный, мгновенно на все реагирующий и в то же время удивительно спокойный во время священнодействия эксперимента Либерман.

Две яркие индивидуальности, два ярких человека создали редкостный тандем исследователей.

— Я с самого начала понял, что обосновать экспериментально гипотезу Митчела будет невероятно труд-

но, — говорит В. П. Скулачев. — Нужна еще одна база. И я пошел к Либерману — тонкому экспериментатору и человеку великолепной научной эрудиции, всегда умеющему взглянуть на вопрос с неожиданной стороны. Кроме того, Либерман — биофизик, что было крайне важно, так как теория содержала множество чисто физических аспектов. Либерман загорелся, разом все воспринял и объявил себя ярым сторонником Митчела. Тогда я принял на себя роль скептика и стал публично во всем сомневаться. Ведь два энтузиаста будут смотреть на свою работу сквозь розовые очки, и ничего путного от этого не будет. А как мы подстегивали друг друга. Мы работали оба, каждый в своей лаборатории, но непрерывно общались. Я, как и наши научные противники, нападал на Митчела, одновременно защищая его в экспериментах. И столь же яростно защищал теорию своими элегантными опытами Ефим Арсентьевич Либерман...

На первый взгляд эксперименты выглядели очевидными. В самом деле, не надо быть Фарадеем, чтобы придумать контрольный опыт на живой клетке. Сначала предложите ей питание, чтобы произошло окисление. Определите прибором разность потенциалов, которая при этом должна возникнуть на мембране. Затем подайте на другую мембрану эту же разность потенциалов и посмотрите, будет ли мембрана производить молекулы АТФ.

Но, увы, подобные элементарные эксперименты невозможны. Внутри естественной мембраны нельзя проникнуть — слишком она тонка.

Пришлось терпеливо искать окольные пути.

Прежде всего Скулачев и Либерман доказали, что давно известные вещества, препятствующие образованию молекул АТФ, в то же время действуют электрически. Они, оказывается, снижают электрическое сопротивление мембраны, «конденсатор» тем самым теряет

свои замечательные свойства, и синтез молекул АТФ подавляется в самом зародыше.

Доказательство?

— Нет,—ответили противники. — Простое совпадение!

Опыты продолжаются в двух лабораториях Москвы. Идет изнуряющая работа и не менее изнуряющие жаркие споры.

Либерман и Скулачев испытали около сорока химических соединений самой разнообразной структуры, способных снижать сопротивление искусственных мембран, созданных в их лабораториях. Исходя из этого ученые научились совершенно точно предсказывать, как эти вещества будут влиять на работу живых митохондрий.

Ценность научной теории определяется не только тем, как она объясняет известные до ее появления процессы, но и способностью предсказывать явления новые. В данном случае совпадение было просто великолепное. Но опять-таки скептики отказываются верить.

Значит, нужны доказательства еще более убедительные, делают вывод Скулачев и Либерман.

Они решили доказать, что при питании митохондрий в мембранах действительно рождается электрическое поле, появляется разность потенциалов, — доказать прямыми опытами.

Школьное определение гласит, что разность потенциалов — работа по перемещению электрических зарядов. Отсюда и родилась схема опыта. Следует взять раствор ионов — заряженных электрически молекул или атомов. Затем засыпать туда порошок из митохондрий каких-либо органов животного (биохимики чаще всего используют печень крыс и сердце быков). Если теперь митохондрии «подкормить» веществом, к которому они «привыкли», предоставить им обычную «пищу», то должно возникнуть электрическое поле. Долж-

но возникнуть, ежели Митчел прав! Это поле и втянет из раствора ионы противоположного знака.

Мысль была хорошая, но реализация ее затянулась надолго.

Мешала природа. Дело в том, что мембраны митохондрий весьма капризны и не пропускают никаких посторонних ионов. С другой стороны, для некоторых веществ мембраны—не преграда, но пропуском служат их химические, а отнюдь не электрические свойства. Сигнал «милости просим» раздается, когда мембрана осознает химическую особенность желанных для нее молекул. А ионов, которые обладали бы подобными химическими свойствами, в природе не оказалось.

За их изготовление и взялся Либерман. И вскоре в его лаборатории появились синтетические, искусственно созданные ионы, способные проникать сквозь перегородки мембран митохондрий.

К тому времени у Скулачева научились изготавливать искусственные мембраны, всего лишь в несколько раз толще природных.

Короче говоря, все было готово для экспериментов, которые многие тогда считали решающими.

Прежде всего искусственные мембраны стали своеобразным ситом, сквозь которое просеивали синтетические ионы, изучая их способность проникать через перегородки.

Затем они же сослужили службу измерительную в том самом элегантнейшем эксперименте, свидетелем которого я являюсь.

Объект измерения — У-образная пробирка. В обеих ее коленах — раствор проникающих ионов. Концентрация — одинакова. Но вот в одном колене появляется порошок из митохондрий, а потом туда же засыпают «корм». По идее, митохондрии, восприняв привычную пищу, тотчас же должны зарядиться электрически. Тогда часть ионов, послушных электрическому полю

митохондрий, должна прорваться внутрь мембран.

Физико-химики утверждают, что в этом случае между двумя коленами пробирки должна возникнуть разность потенциалов, так как концентрация ионов будет различна.

Но как эту разницу измерить — вот в чем вопрос.

Это и сумел сделать Либерман. Он поставил на рубеже двух колен перегородку с тонким отверстием, а в отверстии закрепил маленькую искусственную мембрану. Ионы из той части трубки, где их было больше, начали перемещаться туда, где ощущался недостаток электрического потенциала. А прибор, приложенный к мембране, фиксировал разность потенциалов, прореагировав на это движение зарядов.

— Прекрасно придумано! — восхищался Скулачев.

— Красивый эксперимент, — согласился сам автор.

Опыт действительно красивый и убедительный.

Стрелка вольтметра то ползет вправо, то падает до нуля. Сначала митохондрии «кормят», потом засыпают вещества, мешающие ферментам усваивать корм. Поэтому то возникает, то пропадает электрическое поле, поэтому перемещается по воле экспериментаторов стрелка вольтметра.

Для полной убедительности эту же процедуру проделали с субмитохондриальными частицами, появившимися из митохондрий, разбитых мощными ударами ультразвуковых импульсов.

Опыт был контрольным, поскольку было известно, что в этих частицах мембраны вывернуты наизнанку. И действительно опыты показали, что частицы СМЧ втягивают ионы другого знака по сравнению с целыми, нерасчлененными митохондриями.

Все правильно, все убедительно. С помощью проникающих ионов в лабораториях В. П. Скулачева и Е. А. Либермана таким образом доказано, что мембранный потенциал образуется в самых разнообразных мембра-



нах живых клеток. Нужно лишь одно — чтобы там происходило окисление.

Как будто нет ничего очевиднее.

— Дело сделано, — сказал энтузиаст Либерман. — Опыты прямые, подтверждение полное.

— Нет, этого мало, — ответил скептик Скулачев. — Нужны еще более очевидные доказательства. Попробуем измерить электрическое поле непосредственно на мембране.

И в его лаборатории появился немногословный радиофизик Лель Александрович Драчев, который до того времени биохимией не интересовался и не подозревал, что ему придется заниматься столь странными для физика измерениями.

Теперь уже Либерман стал постоянным то восторженным, то скептическим зрителем всего, что происходило и на первом этаже, где шли измерения, и наверху, где биохимики ухитрились создать почти полное подобие митохондрий, заполнив искусственную мембрану в основном так, как это делает сама природа.

Однако просто зрителем Либерман, разумеется, не был, а сразу же стал самым активным участником событий, так как к этому времени обе лаборатории уже выступали в столь тесном содружестве, что порой трудно было выяснить, кто первый предложил ту или иную идею, тот или иной эксперимент.

## Последний удар

И третий раз суждено мне следить за стрелкой вольтметра.

Как-то странно говорить об этом в век изощренной экспериментальной техники, когда измерительные установки порой напоминают целые заводы.

А здесь основной прибор — классический вольтметр, хотя эксперименты — поистине шедевр изобре-

тательности физиков и филигранной ювелирной техники биохимиков.

Все начинается с «кухни», все начинается наверху, куда привозят основной продукт — сердце быка.

Я сижу внизу, я не вижу работы биохимиков, а если даже и увижу, то все равно ничего не пойму. Что поделаешь — специфика!

Выручают великолепные слайды, приготовленные для популярной лекции. И, являя в единственном числе возможную аудиторию, я их терпеливо разглядываю, мысленно повторяя все операции, что предшествовали появлению в измерительной установке искусственной мембраны с вкрапленными в нее ферментами.

Итак, о «кухне».

С бойни поступает сердце быка. Через некоторое время его мельчайшие частички уже заправлены в центрифугу. Начинается вращение центробежного механизма, разбивающего сложный комплекс различных веществ по фракциям. Одна из них — митохондрии, содержащие фермент — цитохромоксидазу, главного участника всех последующих событий.

В дело вступает ультразвуковая дробилка. Мощные удары неслышимых звуковых волн разрушают митохондрии, нарушая их стабильность, освобождая ферменты. Но, чтобы изъять из образовавшейся смеси цитохромоксидазу, надо использовать особое вещество, называемое детергентом, своего рода мыло для ферментов. Как обычное мыло окружает частички грязи и снимает их с наших рук, так и молекулы детергента обволакивают частички митохондрий, содержащие ферменты, и отделяют их от всего остального. Таким образом, цитохромоксидаза поймана. Она в окружении молекул детергента.

К этой смеси добавляют фосфолипиды — материал для искусственных мембран.

Операция продолжается. Чтобы избавиться от сы-

гравшего свою роль детергента, смесь процеживают сквозь целлофановый мешочек. Мелкие молекулы пропускают, крупные, то есть смесь фермента и фосфолипиды, остаются и слипаются, образуя своеобразные пузырьки. Затем эти пузырьки с помощью ионов металла натрия «приклеивают» к плоской искусственной мембране.

Так с одной ее стороны появляются новые ферменты, нашедшие пристанище в пузырьках.

Кроме того (на слайдах этой операции нет, так как ее освоили лишь недавно), биохимики сооружают теперь плоские искусственные мембраны, куда встроены в хаотическом беспорядке частицы бактериородопсина. Процесс чрезвычайно трудоемкий, и нужны поистине «золотые руки», чтобы его освоить. Такие мембраны часто лопаются, так как ферменты упорно не желают располагаться внутри искусственно созданного «помещения». Поэтому потрудиться пришлось немало. Но упорство всегда себя оправдывает, если сопряжено с четким научным обоснованием всех технологических приемов. Правда, тогда оно называется экспериментальной школой!

Существуют в истории науки классические образцы физических опытов, элегантная простота и наглядность которых чудесным образом рассеивала все сомнения, полностью проявляя физический смысл происходящего. Подобные эксперименты были решающими для становления новых отраслей науки. Они становились исходными рубежами, точкой отсчета времени, с которого новая отрасль начинала свое самостоятельное и всеми признанное существование.

Это, несомненно, магнитная стрелка датского ученого Эрстеда — первый сигнал о рождении электромагнетизма и хитроумный прибор замечательного русского физика П. Н. Лебедева, однозначно определивший существование светового давления.

Таковы для современной биохимии изящные измерения, что идут в лаборатории биоэнергетики МГУ.

Первые опыты уже стали достоянием истории. Мембраны с подклеенными пузырьками свое дело сделали. Сейчас настала очередь мембран плоских, нашпигованных цитохромоксидазой.

Идет контрольный эксперимент.

В центре измерительной установки, в сердце ее, ферменты сердца быка. Стекланный сосуд разделен тончайшей искусственной мембраной на два отсека. В каждом — раствор электролита, в каждом — электрод, соединенный с клеммой милливольтметра.

Задача электродов — дать сигнал о том, что мембрана стала заряженным конденсатором, а химическая энергия окисления превратилась в электрическую.

Но пока все спокойно. Ферменты ждут своего часа. Мембрана плоская, и они расположились с двух сторон ее. Условия существования одинаковые. Миниатюрные электрические батареи, разбросанные то там, то тут, вкрапленные в мембрану, разобщены. Стрелка прибора мирно покоится на нуле.

Из равновесия схему выводит «пища», поступающая на одну из сторон мембраны. Ферменты, расположенные там, жадно поглощают предложенный им витамин С — аскорбиновую кислоту. И начинают вырабатывать электрическую энергию. Теперь-то это стало очевидным, так как стрелка чуткого прибора тотчас же фиксирует начало энергетического процесса. Щедрая рука с помощью пипетки добавляет витамин С, пища поглощается ферментами, растет запас электричества, который хорошо сохраняет естественный конденсатор природы — мембрана. И движется вправо стрелка вольтметра.

И тут на сцене появляется другая пипетка. Первая несла ферменту пищу, несла жизнь. Вторая содержит смертельный яд — раствор небезызвестного цианистого

калия. Экспериментаторы действуют, подобно злодею из мелодрамы. Цианистый калий подавляет ферменты, препятствует их работе. И молекулы цитохром-оксидазы, до этой поры исправно вырабатывавшие электричество, прекращают свое занятие, хотя «пищи» у них хоть отбавляй. Ферменты уже не воспринимают аскорбиновую кислоту, они мертвы. И застывает стрелка вольтметра!

Тем временем с помощью очередной капли витаминов включаются в работу ферменты противоположной стороны мембраны и, в свою очередь, замирают, подавленные ядом.

Простота и наглядность этого удивительно неприхотливого эксперимента с его тончайшей биохимической подготовкой буквально поразила ученых всего мира.

Кроме цитохромоксидазы и бактериородопсина, преобразующего световую энергию, ученые обнаружили еще два фермента, играющие в живых клетках роль топливных элементов. Это — бактериохлорофилл, «пищей» которого являются световые лучи, и так называемая  $H^+ATP$ -аза, способная превращать в электричество химическую энергию субстрата, которым являются молекулы АТФ, что, кстати говоря, доказывает обратимость системы!

Основные контуры теории определились, таким образом, полностью. Живая клетка располагает двумя формами унифицированной энергии — химической (АТФ) и физической (мембранный электрический потенциал). В разных участках мембран митохондрий располагаются своеобразные топливные элементы — электрические генераторы, преобразующие энергию окисления «пищи» в электрическую. Все эти источники тока включены параллельно. И электроэнергия, вырабатываемая любым из них, тотчас же становится достоянием всей мембраны. Клетка может использо-

вать ее, как ей заблагорассудится. Может совершить химическую работу, изготовив молекулы АТФ. Может поработать механически, затянув внутрь мембраны различные вещества.

Наконец, клетка способна обогреваться, превращая полученную энергию в тепло.

Когда речь заходит о преимуществах электрической энергии, всегда вспоминают, что она легко трансформируется в другие виды энергии. Выходит, природа давно об этом «догадалась»!

Предполагаемое стало, таким образом, очевидно.

## **И снова в бой**

Ученый мир обычно осторожно относится к различного рода сенсациям.

Но эксперименты Скулачева и Либермана были настолько убедительными, что вызвали необычайно быстрое и дружное восхищение.

Всего лишь через два года после первых публикаций, в 1975 году, В. П. Скулачев, Е. А. Либерман и их сотрудники кандидат биологических наук Л. М. Цофина и доктор биологических наук А. А. Ясайтис стали лауреатами Государственной премии СССР за «экспериментальное доказательство новой функции белков, как молекулярных генераторов электрического тока». Общее мнение советских ученых выразил председатель Комитета по Ленинским и Государственным премиям СССР академик М. В. Келдыш. Он сказал: «...эта функция мембранных белков присуща энергогенерирующему аппарату живых существ и составляет основу молекулярных механизмов их энергетического обмена. Результаты исследования имеют большое практическое значение».

Многочисленные иностранные ученые шлют свои

поздравления, засыпают лабораторию письмами, где просят рассказать подробнее о работе, объяснить точнее методики, с помощью которых московские биохимики добились таких великолепных достижений.

Но они уже далеко отошли от первоначальных опытов. Стремительно изменяется и техника экспериментов, и круг изучаемых веществ, и содержание исследовательской работы.

«Черная мембрана» — вот дальний прицел лаборатории Скулачева. Там собираются изготовить искусственную мембрану толщиной всего лишь в две молекулы, как у естественных, природных. Это расстояние меньше, чем длина волны света.

Потому и зовется мембрана «черной» — ведь увидеть ее нельзя.

В «черную мембрану» ученые мечтают встроить ферменты, чтобы провести самый последний, самый убедительный опыт. Ведь если приложить к такой мембране напряжение и убедиться, что она начинает вырабатывать молекулы АТФ, появление этой «разменной монеты», созданной электрическим полем, должно убедить оставшихся скептиков и внести окончательный мир в душу самих экспериментаторов.

Есть и другие, более широкие проблемы.

— Поскольку митохондрии оказались «электростанциями» клетки, настало время подумать и об «электропроводке», — говорит Скулачев.

Действительно, ведь должны же существовать какие-либо особые структуры, приспособленные для передачи генерируемой электрической энергии во все области клетки.

И на географической карте этого чрезвычайно сложного «государства» появятся тогда новые линии, отображающие электрическую систему живой клетки.

А Либерман тем временем ищет молекулярные электрические трансформаторы клеточных систем,

экспериментирует, применяя свой метод проникающих ионов, ставший теперь в биохимии классическим.

Поскольку клетка столь насыщена электричеством, ученым представляется возможным, что там существует специфическая вычислительная машина, сложная программа которой определяет все богатое взаимодействие ферментов, все функции клетки.

Пока это — лишь предположения, предмет для скепсиса досужих остряков. Но ведь еще сравнительно недавно столь же сомнительной казалась гипотеза «электростанций живой клетки», которую сегодня можно считать обоснованной и общепринятой.

### **Загадка плавающих белков**

Ныне перед человечеством все острее и острее встают серьезнейшие экологические проблемы, связанные со стремительно нарастающими количественными и качественными изменениями среды обитания. Одна из них — это лавинообразное нашествие различного рода химикатов, последствия которого в целом ряде случаев трудно предсказуемы.

К счастью, эволюция снабдила все живое системами «приспособительных механизмов», благодаря которым оно может — до определенного предела, конечно, — противостоять воздействию изменяющихся условий существования, в том числе воздействию таких ранее неизвестных ему веществ, как новейшие химические препараты.

Здоровому человеческому организму относительно несложно избавиться от вредных веществ, если они легко растворимы в воде: в конце концов разными путями они будут выведены из организма. Львиную долю работы возьмут на себя почки. Но ситуация резко меняется, когда в организм попадают вещества, которых «не берет» вода. Зато, как правило, они хорошо соеди-



няются с жирами. Вот тут-то и скрывается опасность: ведь структурную основу клеток составляют биологические мембраны, а они как раз «охотно» растворяют эти вещества. Мембраны как бы прячут от выделительных систем организма вредные вещества, накапливают их в клетках.

Именно таковы многие химикаты, используемые в сельском хозяйстве и, естественно, попадающие в организм человека и животного, некоторые лекарства и другие продукты химии, которые имеют общее название — ксенобиотики, что означает чуждые жизни. Между тем без этих чуждых жизни веществ, без многих ксенобиотиков мы сейчас просто не можем обойтись. В этом одна из причин пристального внимания ученых к процессам, происходящим в живой клетке, к печени как «заградительному щиту» на пути какого-нибудь ксенобиотика.

Обработка молекулы ксенобиотика, транспортированной в печень, начинается с того, что специально приспособленный для этой цели белок флавопротеид отнимает электроны у специфического питательного вещества — субстрата с длинным названием никотинамидадениндинуклеотид. Этим субстратом клетки насыщены и недостатка в нем не испытывают. Затем в работу вступает до недавнего времени таинственный, так как биохимики не знали, зачем он нужен в организме, фермент цитохром Р-450 — главное действующее лицо всего процесса окисления. Получив электроны, фермент с их помощью разбивает молекулу кислорода на два атома, крайне активных. Сразу же образуются не менее активные молекулы воды, которые и атакуют вещества, предназначенные для выведения из организма.

Конечно, все происходит гораздо сложнее, чем я рассказал. Но для нас важен результат этого сложнейшего биохимического процесса: ксенобиотик из нерас-

творимого в воде стал растворимым и выбрасывается из организма.

Вся эта «фабрика электричества» интенсивно работает до тех пор, пока организм не даст команду прекратить деятельность или сократить ее, так как враг практически побежден. Если же угроза организму нарастает, число молекул цитохрома Р-450 резко возрастает.

Эти исследования начались в шестидесятых годах и успешно продолжают в наши дни. Выяснилось, например, что система выведения ксенобиотиков имеет ряд интересных «деталей», побуждающих по-иному взглянуть на деятельность давно изученных клеточных структур. Было обнаружено, что кроме основной цепи, в которой заглавную роль играет цитохром Р-450, в мембранах печени действует еще цепь с цитохромом  $b_5$ .

Ферментом  $b_5$  заинтересовались доктор биологических наук А. И. Арчаков и сотрудник руководимой им лаборатории энзимологии и биоэнергетики ЦНИЛ 2-го Московского мединститута А. И. Карякин. К работе подключился и В. П. Скулачев.

Им предстояло прояснить роль этого фермента, ответить на вопросы, которые они сами же и поставили. Они уже знали, что  $b_5$  всегда держит наготове электроны, получая их от одного из субстратов клетки, но активизировать атомы кислорода так, как это делает Р-450, сам по себе не может. Тогда для «кого» и для чего он бережет свои заряды, «кому» и как он их передает?

Эксперименты следовали один за другим. Сначала ученые добавили в смесь, содержащую  $b_5$ , еще один цитохром, фигурирующий у биохимиков под индексом С. Он известен тем, что является переносчиком электронов цитохрома  $b_5$ . В присутствии цитохрома С реакция окисления резко усиливается. Опыт все это превосходно подтвердил. Удивляться пока нечему. Скорее было бы удивительно, если бы все произошло наоборот. Но

вот когда биохимики заменили цитохром С смесью митохондриальных мембран, неспособной быть переносчиком электронов, а результат получили такой же, как и в первом опыте, наступило легкое замешательство. Дальше — больше! Опыт повторили, только на этот раз в смесь были запущены мембранные пузырьки, содержащие флавопротеид и цитохром  $b_5$ , при этом из части пузырьков с помощью особых приемов флавопротеид был удален, оставлен лишь цитохром  $b_5$ . Потом добавили питательный субстрат, и оказалось, что почти все молекулы цитохрома  $b_5$  приобрели электрический заряд: и те, что находились в пузырьках вместе с флавопротеидом, и те, что пребывали там в одиночестве!

Какое же объяснение всему этому напрашивается?

Экспериментаторы пока предлагают одно: мембранные пузырьки обменялись электронами, столкнувшись друг с другом, можно сказать, контактным путем, без посредников. Если исходить из того, что мембраны — образования жидкие, точнее говоря, это жидкие кристаллы и что «плавающие» белки для ученых не новость, такой «способ» передачи электронов представляется единственно возможным.

Мембрана вроде реки: она одновременно и непреодолимая преграда и превосходный путь сообщения. И такими «реками» изборозжены клетки, а по ним «плавают» белки — переносчики вещества и энергии. Может быть, флавопротеид и цитохром  $b_5$  — первые представители этого — особого — класса переносчиков, то есть переносчиков вдоль биологических мембран (поперечный перенос — уже общеизвестный факт).

Такое объяснение в порядке гипотезы предложили биохимики ЦНИЛ совсем недавно. Будущее покажет, насколько жизненна эта гипотеза, ибо живая клетка — мир достаточно еще загадочный...



Посещение лабораторий биохимиков как нельзя более удачно заключило мое небольшое путешествие, где мне пришлось увидеть все разнообразие физического эксперимента нашего времени. Удачным я бы назвал его потому, что изящные физические опыты, с помощью которых ученые сумели просветить сложную картину биологических и биохимических процессов клетки, олицетворяют сущность физического эксперимента, основу его, оставшуюся неизменной и в «машинном» двадцатом веке.

Четкое физическое «зерно», «физ. смысл», как любил говорить академик И. В. Курчатов, — вот что дает эксперимент. Его можно сравнить с ярким лучом фонаря, а иногда даже лазера, блеснувшего во тьме.

Точно так же выглядят экспериментальные достижения физиков Дубны, Харькова, Калинин, московских ученых при всей разнообразности подхода к проблемам, выбора методик, аппаратуры и самого предмета исследований. В конечном счете все их работы направлены на прояснение структуры вещества, будь то атом, его кристаллическая решетка или электрическое «содержимое», будь то сложный конгломерат материалов или живая клетка.

Во всех случаях последнее слово оставалось за экспериментом, являвшим облик судьи праведного, доброжелательного, но строгого.

Но именно таким был физический экспе-

**римент во все времена существования науки, таким он и остался по сей день — внимательным, умелым, неліцеприятным и бесконечно мудрым, ибо судья, с чьим мнением так считаются, обязан быть мудрым!**



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Хорошая теория плюс мудрый эксперимент . . .</b>	<b>3</b>
<b>От автора . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>Искания атомного века . . . . .</b>	<b>8</b>
К полету готовы 8	
День вчерашний и день завтрашний 12	
О пользе сомнений 19	
Тревоги ожидания 25	
Последняя инстанция 30	
<b>Метаморфозы твердого тела . . . . .</b>	<b>37</b>
Щелчки из микромира 37	
Желанный беспорядок сверхпластичности 49	
Прорыв сверхпроводниковых пар 57	
Крушение устоев 68	
<b>Погружение в нелинейность . . . . .</b>	<b>78</b>
Сюрпризы двадцатого века 79	
Не-оптика 84	
Трижды нелинейность 92	
Трюк на прощание 95	
<b>Электростанции живой клетки . . . . .</b>	<b>100</b>
Биологический фотоэлемент 100	
Поиски неизвестного 102	
Материализация духов 107	
Последний удар 112	
И снова в бой 117	
Загадка плавающих белков 119	
<b>Слава эксперименту . . . . .</b>	<b>123</b>

**Борис Иванович Смагин**  
**МУДРОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТА**



**Редактор Н. Яснопольский**  
**Художник П. Шорчев**  
**Худож. редактор В. Конюхов**  
**Техн. редактор Т. Самсонова**  
**Корректор Л. Соколова**



**A03252. Индекс заказа 67728. Сдано в набор 7.I.1976 г.**  
**Подписано к печати 5.VII.1976 г. Формат**  
**бумаги 70X108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 1. Бум.**  
**л. 2,0. Печ. л. 4,0. Усл. печ. л. 5,60. Уч.-изд. л. 5,23**  
**Тираж 30 000 экз. Издательство «Знание». 101835. Москва,**  
**Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1821. Типография**  
**изд-ва «Коммунист». Саратов, ул. Волжская, 28.**  
**Цена 17 коп.**

## **ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!**

*С января 1977 г. в издательстве «Знание» начинает выходить новое иллюстрированное подписное ежемесячное издание «НАУКА В ТВОЕЙ ПРОФЕССИИ».*

*О таинствах профессий, о науке, которая вокруг нас, о том, какое новое содержание вносит она в наш труд, в наши профессии — расскажут авторы ежемесячника — известные ученые, герои труда, деятели искусства, писатели, журналисты.*

*В приложении к каждому выпуску читатель найдет «малую энциклопедию» профессий, в которой будет помещаться список учебных заведений, очерки о первооткрывателях в той или иной области знания, рассказы о самых интересных изобретениях года, стихи о науке и труде, афоризмы, юмор, «любопытные цифры и факты».*

*Каждый выпуск будет рассказывать об одной из отраслей народного хозяйства, ее проблемах и перспективах, о профессиях и специальностях этой отрасли, о практическом вкладе науки в данное производство и о том, как изменяет и может изменить отрасль в будущем научно-технический прогресс.*

*Молодому человеку, входящему в жизнь, факультет поможет выбрать такую профессию, которая наиболее полно поможет ему раскрыть свои возможности.*



*Специалисту даст обширные знания о производстве, в котором трудится, о смежных, далеких и близких, специальностях, поможет повысить свое профессиональное мастерство и осознать свое место и роль в научно-технической революции.*

*Подписной факультет — умный и добрый спутник и собеседник школьников, студентов, учащихся техникумов и ПТУ.*

*Наш индекс — 70061. Подписная цена на год — 1 р. 44 к.*

