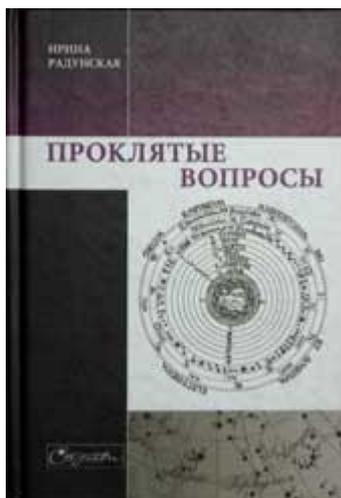


Ирина Львовна Радунская

Проклятые вопросы



«Проклятые вопросы»: Московские учебники; Москва, 2005
ISBN ISBN 5-7853-?????????

Аннотация

В науке, как и в искусстве, есть ряд вопросов, вечных вопросов, над которыми бьются поколения учёных. Они называют их проклятыми вопросами. Познаваем ли мир? Может ли разум овладеть секретами природы? Что есть истина? Можно ли запланировать открытия? Как стимулировать в человеке творческое начало? Что усиливает творческую отдачу?

В книге Ирины Радунской «Проклятые вопросы» читатель встретится с разнообразными научными проблемами. Узнает, как возникли многие новые науки и насколько углубились и расширились рамки старых; как меняются аспекты и задачи ядерной физики и космологии, физики элементарных частиц и лазерной техники, нелинейной оптики и спектрального анализа; какие перемены в нашу жизнь внесут высокотемпературные сверхпроводники; что за секреты скрываются в недрах сверхновых звёзд; как влияют достижения физики ядерного магнитного резонанса на прогресс медицины.

А главное, читатель узнает, как учёные приходят к открытиям, какой ценой достаются прозрения тайн природы.

В этой книге, как в своих прежних книгах «Безумные идеи», «Превращения гиперболоида инженера Гарина», «Крушение парадоксов», «Кванты и музы», «Аксель Берг — человек XX века», трилогии «Предчувствия и свершения» — («Великие ошибки», «Призраки», «Единство») и «Квинтэссенция»,

автор рассказывает о развитии идей, о перипетиях индивидуального и коллективного творчества учёных. О какой бы области науки ни велась речь, основное внимание сосредоточено на героическом, напряжённом труде физиков, математиков, астрономов, космологов, астрофизиков, труде, который во все времена служил фундаментом прогресса человечества, основой цивилизации, источником наших знаний об окружающем мире, инструментом дальнейшего совершенствования человеческого разума.

Наука захватывает нас только тогда, когда, заинтересовавшись жизнью великих исследователей, мы начинаем следить за историей развития их открытий.

Дж. Максвелл

Следовать за мыслями великого человека есть наука самая занимательная.

А. Пушкин

ВСТУПЛЕНИЕ

О ПУТЯХ К НОВОМУ

В наше время роль науки в прогрессе и в самой жизни столь велика, что большинство людей, никогда не занимавшихся научной работой, с интересом следит за достижениями учёных. При этом неизбежно возникает вопрос: как учёные приходят к открытиям?

Многим даже кажется, что стоит найти ответ на этот вопрос, и открытия посыпятся как из рога изобилия. Обыватель, с доступной ему логикой, «раскрывает» секрет творчества: сел, задумался, открыл...

Два первых шага доступны каждому. Увы, третий могут сделать лишь немногие.

Что же отличает их от большинства? Какими свойствами должен обладать человек, чтобы быть творческой личностью? Являются ли такие свойства универсальными, или они зависят от того, в какой области вы работаете? Наконец, можно ли сделать себя творцом нового?

Каковы пути, ведущие к новому?

Попробуем вместе разобраться в этих вечных вопросах.

Одно из условий, которое необходимо для творчества, — подготовка. Невежда не создаст ничего нового просто потому, что не знает, где кончается старое, неизвестное. Верхнеглядя всё кажется простым и доступным потому, что он не может обнаружить, где таятся трудности.

Чтобы создать нечто новое в науке, на производстве, в цеху, в поле, в сфере услуг, необходима хорошая подготовка. Даже малый шаг — рационализация, улучшение известного — требует предварительной работы. Она необходима уже для того, чтобы узнать, что именно надо усовершенствовать, что препятствует улучшению, что следует переделать или добавить? Правильно поставленный вопрос — это половина ответа. (Мать одного известного учёного всегда спрашивала сына, когда тот возвращался из школы: «Сегодня ты задавал учителю правильные вопросы?».)

Однако народная мудрость предостерегает: один дурак может поставить столько вопросов, что тысяча мудрецов не сумеет на них ответить...

Многовековой опыт и здесь прав. Но главное содержится в слове «правильно».

Для того чтобы задавать правильные вопросы, нужны знания, добротные, надёжные, о существующем состоянии области, в которой работаешь.

Но даже если вопрос поставлен правильно, остаётся не менее трудная часть работы — поиски ответа. Это должен быть правильный ответ. Однако одних знаний недостаточно для того, чтобы сделать шаг в неведомое и найти правильную дорогу. А ведь только из правильных ответов складывается правильная картина мира, верное мировоззрение.

Чтобы в науке совершить шаг в правильном направлении, необходимы долгие раздумья, трудолюбие, настойчивость и способность критически оценивать каждую деталь, сколь малой, мелкой она ни кажется. Необходимо умение сконцентрировать все свои силы на поставленной задаче. Размышлять о ней не «от звонка до звонка», а постоянно.

Несколько великих учёных, среди них физик Х. Юкава, химики Д. Менделеев и А. Кекуле рассказывали о том, что открытие пришло к ним во сне. Они постоянно искали ответ на свой вопрос, и их мозг продолжал эту работу даже во время сна.

Однако... есть много хорошо подготовленных, трудолюбивых и настойчивых людей, и... тем не менее изобретения, а тем более открытия им недоступны.

Чего же им не хватает? Что отличает творцов нового от добросовестных разработчиков старого, что формирует творческие личности?

Творческие люди, помимо подготовки и трудолюбия, должны обладать интуицией. О, это таинственное, неуловимое, желанное качество! О нём мечтало, мечтает и будет всегда мечтать столько незаурядных людей!

Что же значит это обрусевшее слово «интуиция», пришедшее к нам из латыни — международного языка науки средневековья?

Интуиция — своеобразное чутьё, основанное на опыте, приобретённом заранее, на знаниях, хранящихся в памяти, иногда в самых глубинах памяти. Интуиция — это способность к догадке.

Вы думаете, что интуиция — редкая способность, приобретаемая по наследству? Не обязательно. Практически интуицией обладает всякий, умеющий разгадывать загадки.

Конечно, загадки бывают разные. Простейшие адресованы к памяти. Но большинство загадок отличается тем, что их условие сформулировано не полностью. Чего-то в этих условиях не хватает. И интуиция подсказывает именно это неуловимое, невысказанное, витающее где-то рядом с основной мыслью.

Стоит добавить это недостающее, это ускользающее звено — и загадка разгадана! Не правда ли, просто?

Если Вас, читатель, интересует, как и какой ценой добывается истина, войдём вместе в эту книгу и посмотрим, многим ли удаётся (и как?) схватить это неуловимое, это «чуть-чуть», это «нечто», отделяющее ложное от истинного, и в результате перевернуть следующую страницу истории человеческой мысли...

НЕВЕДОМОЕ — ПЕРЕД НАМИ

...Наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными.

А. Эйнштейн

ГОТОВЬТЕСЬ К НЕОЖИДАННОМУ

18 марта 1987 года в США состоялась научная конференция. У неё были две особенности. Во-первых, необычная тематика. Это была первая международная конференция по проблемам высокотемпературной сверхпроводимости. В наши дни каждый, кто регулярно читает газеты, слушает радио и смотрит телевизор, слышал о высокотемпературной сверхпроводимости. О создании новых материалов, которые способны проводить электрический ток без потерь, материалов, теряющих электрическое сопротивление при неожиданно высоких температурах.

Под высокой температурой в этом контексте подразумеваются минусовые температуры. Ещё недавно было трудно осознать, что в некоторых случаях температура – 195 °С, которую на конференции часто называли высокой температурой, действительно может считаться высокой температурой по сравнению с температурой –250 °С (только ниже этого порога раньше наблюдалась сверхпроводимость). Наверно, этим объяснялась вторая особенность конференции — неслыханный ажиотаж вокруг неё.

Заседание было намечено на 7 часов 30 минут утра. Задолго до этого времени у входа собралась толпа. Зал на 1140 мест заполнили мгновенно после открытия дверей. Обсуждение длилось целый день и почти всю ночь. В 6 утра на следующий день, когда служащие принялись за уборку помещения, прения ещё продолжались.

Участники конференции ожесточённо спорили по всем вопросам, но были единодушны

в одном: они были уверены, что являются свидетелями и участниками новой научно-технической революции. Революции, не только меняющей наши представления о том, что можно ожидать от науки, но, главное, открывающей захватывающие перспективы в технике. Прежде всего в самом фундаменте промышленного прогресса, в энергетике.

Одни докладчики уверяли, что скоро мы сможем передавать электрическую энергию на самые большие расстояния без потерь. Сегодня, когда она течёт по обыкновенным проводам, нагревая их и бесполезно рассеиваясь в окружающем пространстве, потери огромны. Новые провода из сверхпроводящих материалов будут передавать энергию от самых далёких электростанций до мест потребления без всяких утечек.

Другие выступающие живописали реальность мечты о широком использовании энергии Солнца и ветра. Будет выгодно перейти к повсеместному использованию этих, воистину вечных и чистых источников энергии, несмотря на то что их мощность, доступная в каждом месте Земли, всё время меняется, уменьшаясь до нуля и вновь возрастая. Залогом успеха, говорили энтузиасты, является открываемая высокотемпературными сверхпроводниками возможность без чрезмерных затрат накапливать огромные запасы энергии и расходовать их по мере надобности.

Участники конференции понимали, что трудно предвидеть всё новые возможности, вытекающие из этой революции. Поэтому часто мелькала фраза: готовьтесь к неожиданному! Её мы и привели в заглавии этого раздела. Кстати, фраза взята из статьи М. Р. Бисли и Т. Х. Геболла, опубликовавших в 1984 году работу «Сверхпроводящие материалы». Уже тогда её авторы и другие учёные чувствовали приближение неведомого. Но неведомое, как всегда, возникло неожиданно.

Не прошло и двух лет после появления этой статьи, как совершился первый скачок. В апреле 1986 года работающие в Цюрихе Йоханнес Георг Беднорц, гражданин Швейцарии, и Карл Алекс Мюллер, гражданин ФРГ, направили в известный физический журнал «Цайтшрифт фюр физик» статью, где сообщали о том, что им удалось создать новый керамический материал, который переходит в сверхпроводящее состояние при температуре — 238 °С. Статья была опубликована в сентябре этого же года. Пять месяцев — короткий срок для современных научных журналов. Но впоследствии почтенная редакция несомненно сожалела о том, что не проявила чувства нового и не включила статью в самый ближайший номер журнала хотя бы и ценой некоторых убытков.

Почему же эта статья привела массы учёных в непривычное возбуждение?

Они узнали, что после многих лет медленного продвижения в глубь низких температур наконец совершён скачок. До того все исследования сверхпроводящих материалов, все практические применения сверхпроводников требовали охлаждения их жидким гелием. А это — 269 °С. Литр жидкого гелия стоит около десяти рублей. Ещё совсем недавно приходилось платить за него много дороже, да и для его получения требуется чрезвычайно дорогое оборудование.

В шестидесятых годах в результате изучения свойств множества сплавов и соединений удалось продвинуться в самое начало зоны температур, получаемых при помощи жидкого водорода. Но водород, как известно, взрывоопасен, поэтому никто не думал о широком применении «водородных сверхпроводников» (так лабораторный жаргон окрестил материалы, становящиеся сверхпроводниками при температурах, превышающих температуру кипения жидкого водорода — 252 °С).

Но этот путь оборвался в 1973 году, когда были получены тонкие плёнки из соединения трёх атомов ниобия с одним атомом германия. Они становились сверхпроводящими при — 249,96 °С, но получить из этого соединения сверхпроводящие проволочки не удалось.

И вот после тринадцати лет тщетных поисков скачок на 8 градусов выше температуры кипения неона: — 245,86 °С.

Неон, как и гелий, является инертным газом. Значит, он в отличие от водорода не взрывоопасен. Стоимость его получения меньшая, чем у гелия. Он отбирает от охлаждённого предмета много больше тепла, чем гелий. Значит, неон во всех отношениях более доступный

и более эффективный хладагент, чем гелий.

Но не только это было причиной ажиотажа вокруг статьи Беднорца и Мюллера. Дело в том, что речь в ней шла не о металле или сплаве, а о сверхпроводящей керамике!

Конечно, сверхпроводящие керамики были известны учёным и ранее. Их интенсивно изучали, отыскивая среди них те, которые становились сверхпроводящими при всё более высокой температуре. Рекорд был поставлен в 1974 году, когда удалось изготовить керамику, превращающуюся в сверхпроводник при температуре $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но он существенно, на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, уступал рекорду, достигнутому тонкой плёнкой из соединения ниобия и германия, упомянутого выше.

Физики готовились к неожиданному. Но никто не предполагал, что прорыв в зону жидкого неона будет совершён при помощи керамики. Ведь этот скачок по сравнению с рекордом, достигнутым для керамики раньше и продержавшимся 12 лет, составил сразу $22\text{ }^{\circ}\text{C}$!

Ни одна из теорий сверхпроводимости не могла предсказать подобной возможности. И ни одна из них не может и теперь объяснить, почему это произошло!

Но не вооружённые теорией экспериментаторы продвинулись ещё дальше на пути исследования всё новых типов керамики. Они уже преодолели важный температурный рубеж и уверенно работают в «зоне жидкого азота», при температурах, превышающих температуру его кипения: $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Более того, в лабораториях учёные получают сверхпроводимость, охлаждая новые керамики всего до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$! Правда, эти материалы ещё не стабильны.

Всё же энтузиазм и оптимизм учёных позволяют считать, что в недалёком будущем удастся изготовить материалы, приобретающие и сохраняющие способность к сверхпроводимости при комнатной температуре. Для таких материалов не будет нужды в охлаждении. Электрические кабели, изготовленные из них, смогут отлично работать в самых жарких странах, если их закопать в грунт на глубину 1,5–2 метра, где температура никогда не повышается выше $10\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Мощные генераторы электрического тока и электродвигатели станут компактными и лёгкими. Их габариты при сверхпроводящих обмотках должны определяться только прочностью вращающейся оси и деталей ротора и статора, необходимых для передачи механических нагрузок. В жарких странах и в горячих цехах, возможно, придётся использовать обычные кондиционеры. Они станут излишними лишь тогда, когда удастся создать материалы, не теряющие сверхпроводимости и при повышенных температурах.

Выдающиеся научные достижения всегда возникают вдруг, но внезапные прорывы порождаются предшествующим систематическим развитием идей и накоплением знаний, полученных в практической деятельности людей или из специально поставленных экспериментов. Попытаемся проследить путь, приведший к овладению тайной высокотемпературной сверхпроводимости.

КТО ВИНОВАТ?

Странный случай, происшедший на одном из складов военной амуниции в Петербурге полтора столетия тому назад, можно, пожалуй, считать началом этой истории.

Как и всякий военный склад, этот тоже тщательно охранялся. Тем не менее партия новеньких солдатских шинелей с победоносно поблескивающими оловянными пуговицами была приведена в негодность и представляла печальное зрелище. Шинели были перепачканы каким-то серым неприятным веществом, а пуговицы исчезли.

Виновник загадочного происшествия так и не был найден, хотя занимались расследованием не только следователи, но и Петербургская академия наук. Злодейству оловянной чумы было посвящено не одно её заседание. Тайна олова долго не давала спать седовласым учёным и чуть не подорвала престиж тогдашней науки.

А затем последовал ещё ряд событий, казалось, не связанных между собой.

В начале нашего века, отмеченного целым рядом героических попыток дорисовать карту Земли, к берегам Антарктиды направились экспедиционные корабли Роберта Скотта. Они подходили всё ближе и ближе к таинственной земле. Мороз мешал людям дышать и двигаться. Начались приготовления к высадке, как вдруг путешествие оборвалось самым неожиданным образом. Случилось то, что никогда ещё не случалось ни с одним кораблём в мире: развалились баки с горючим. Со швов сыпалась, как штукатурка, оловянная пайка.

Слух об этом происшествии тоже достиг высоких учёных собраний и стал предметом ожесточённых споров, предположений, догадок. Но объяснение в то время так и не было найдено. Оловянная чума сеяла панику. Она разгуливала по складам, и вместо аккуратных брусочков белого ме талла в них находили груды грязно-серого порошкообразного вещества, неведомо откуда взявшегося.

Однако инфекция была разборчива. Она посещала не все склады, а выбирала лишь неоттапливаемые, как бы подстерегала момент, когда олово оказывалось на холоде, и набрасывалась на него.

Тайной оловянной чумы всерьёз занялись учёные. Это было не менее увлекательно, чем чтение детективных романов.

СОЛНЕЧНЫЙ

До 1868 года его не видел ни один человек. Никто его не знал и ничего о нём не слышал.

Впервые его присутствие было обнаружено на Солнце. Он оставил следы в солнечном спектре. Их нашли сразу два астронома — француз П. Жансен, которому пришлось для этого совершить путешествие в Индию, и англичанин Н. Локьер, не думавший покидать Лондон.

Каждый из них тотчас сообщил о необыкновенных следах в Парижскую академию наук. И письма эти пришли в один и тот же день, что немало позабавило академиков. В честь этого удивительного события они даже заказали золотую медаль. Её украшали портреты Жансена, Локьера и бога Солнца Аполлона, восседающего на колеснице.

Вещество, найденное на Солнце, Локьер назвал именем Солнца — гелий.

Гелий увидели на расстоянии в 150 миллионов километров от Земли, и он ещё долго никого не подпускал к себе на более близкое расстояние. Но прошло 25 лет, и английскому учёному Джону Уильяму Рэлею удалось запереть его в колбу в собственной лаборатории. Однако учёный вначале даже не подозревал, кто его пленник.

Просто Рэлей хотел восполнить пробел, существовавший в «статистическом ведомстве» химии. Он решил точно измерить удельный вес всех известных химикам газов. На до было положить конец неразберихе, которая возникла из-за грубых, приближённых измерений.

Рэлей взял самые точные весы и без помех, не торопясь тщательно взвесил водород, потом кислород и занялся азотом, добыв его из воздуха. Веса газов он определил очень точно, вплоть до четвёртого знака после запятой. И был вполне доволен своей работой. Но чтобы ещё раз убедиться в правильности измерений, Рэлей стал снова измерять веса тех же газов, но добытых другим способом.

Так он проверил удельный вес водорода, кислорода и снова занялся азотом. Однако на этот раз добыл его не из воздуха, а из аммиака.

И тут работа застопорилась. Литр азота, добытого из аммиака, почему-то был легче, чем литр азота, взятого из воздуха! Меньше на пустяк, не хватало каких-то 6 миллиграммов. И всё же эта разница заставила Рэлея потрудиться. Сколько ни повторял он взвешивание, вес литра азота из аммиака не совпадал с весом, определённым первоначально. Ничтожный, блошинный вес не давал исследователю сдвинуться с места.

Рэлей был не таким учёным, который может отмахнуться от факта.

Он начал добывать азот из самых различных химических соединений и каждый раз заново его взвешивал. И удивительно: все веса совпадали с весом азота, добытого из

аммиака. Воздушный азот был самым тяжёлым!

В эту на первый взгляд ничтожную проблему включился ещё один известный учёный — Уильям Рамзай, у которого, надо думать, были дела и поважнее. Но и он не мог оставить такой факт без внимания.

Как одержимые Рэлей и Рамзай перегоняли газы из одной колбы в другую, очищали, взвешивали... Им было недосуг ни пообедать, ни поговорить. Они не выходили из своих лабораторий, а вечерами обменивались письмами.

И вот оба, разными путями, пришли к одному и тому же выводу: выделенный из воздуха азот не является чистым азотом. Вернее, это не просто азот. К нему явно примешан другой, неизвестный газ. Но какой?

Потянулись месяцы опытов и раздумий. И в конце концов в пробирке с «чистым» азотом учёные нашли... солнечное вещество. Но прежде чем они настигли его, в «воздушном азоте» были обнаружены сначала аргон, затем криптон — дотоле неизвестные газы, а потом уж гелий. К этому времени гелий был выделен и из минерала клевеита.

Солнечное вещество спустилось на Землю.

И на нашей планете его оказалось так много, что просто поразительно, почему же о нём столь долго ничего не знали химики. А узнав, почему так долго гонялись за ним?

Рамзай с присущим ему юмором сказал как-то: «Поиски гелия напоминают мне поиски очков, которые старый профессор ищет на ковре, на столе, под газетами и находит, наконец, у себя на носу».

РАЗДВОЕНИЕ

Гелий оказался газом без запаха и цвета, неспособным соединяться ни с какими другими элементами. Он был самым лёгким из семейства инертных газов. Казалось, это скромный труженик с покладистым характером; им наполняли дирижабли, применяли его и в металлургии, и в медицине. На первый взгляд ничем особенным не примечательный газ имел и второе лицо.

Странности начались тотчас, как гелий охладили. Учёные привыкли к тому, что в таких случаях газы уплотняются, превращаясь сначала в жидкость, а потом, замерзая, в твёрдое кристаллическое тело.

Было хорошо известно, что кислород сжижается при $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$, азот при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$; водород — около $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но гелий повёл себя совершенно иначе.

Многие пробовали его охладить. Была уже пройдена «точка кислорода», и «точка азота», и «точка водорода», а гелий не собирался сжижаться. Он упорно оставался газом.

Только в 1908 году голландскому физика Г. Каммерлинг-Оннесу, основателю и директору криогенной (изучающей процессы, связанные с низкими температурами. — И. Р.) лаборатории Лейденского университета, удалось сделать, казалось, невероятное: он заставил гелий превратиться в жидкость. И случилось это при температуре $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$! Такой низкой температуры человек не получал ещё никогда. До этого Каммерлинг-Оннес создал установку нового типа для сжижения воздуха. Именно он в 1906 году получил жидкий водород, а после сжижения гелия измерил основные характеристики этой жидкости.

При температуре, когда гелий превращается в жидкость, все другие газы становились твёрдыми, как кусок льда. А гелий напоминал прозрачную газированную воду. В нём всё время рождались и всплывали пузырьки. И эта безобидная на вид жидкость была в шестьдесят раз холоднее ледяной воды!

Кристаллизоваться же гелий не хотел даже вблизи абсолютного нуля — при $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, самой низкой температуре, которая только возможна в природе. Этим он бросал вызов всей классической физике, провозглашавшей, что всякое движение при абсолютном нуле прекращается. Всё должно замерзнуть! А поскольку гелий оставался жидким, значит, его атомы все-таки двигались, они не подчинялись закону вечного покоя.

Учёные ещё не перестали удивляться странному поведению благородного газа, как

новая сенсация завладела их вниманием. В 1911 году Каммерлинг-Оннес решил полюбопытствовать, что будет с ртутью, если её охладить до температуры, свойственной жидкому гелию. Каково же было его удивление, когда он обнаружил, что в ванне с жидким гелием электрическое сопротивление ртути исчезло! Легко представить себе, как подозрительно он поглядывал на прибор, регистрирующий эту величину; как, проверяя его работу, удостоверился, что прибор цел и невредим и все-таки продолжал указывать на исчезновение сопротивления ртути электрическому току. А потом оказалось, что ещё несколько чистых металлов повели себя в области низких температур таким же неподобающим образом, нарушив покой учёных. Самое большее, что учёные тогда смогли сделать, — это дать явлению название «сверхпроводимость». Многие годы оно бросало вызов теоретикам.

В 1913 году Каммерлинг-Оннес обнаружил, что сильные магнитные поля и сильные электрические токи, проникая в сверхпроводник, разрушают сверхпроводимость. В этом же году он был награждён Нобелевской премией за выдающийся вклад в физику низких температур.

Несмотря на то что в 1920 году голландец Виллем Хендрик Кеезом, ставший в это время директором Лейденской криогенной лаборатории, справился с гелием и заставил его затвердеть, призвав на помощь морозу высокое давление, зерно сомнения было посеяно. Гелий стал одним из свидетелей против классической физики. Физика не могла с помощью известных законов объяснить его поведение. Вскоре Кеезом совместно с польским учёным Мечиславом Вольфке обнаружил, что при температуре $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ по шкале Цельсия, или при температуре, равной $2,17\text{K}$ — по шкале Кельвина, жидкий гелий резко меняет свои свойства. Различие в поведении словно указывало на то, что существуют две различные жидкости. При температуре большей чем $2,17\text{K}$, жидкий гелий I, а при температуре меньшей $2,17\text{K}$ — жидкий гелий II.

Мы должны прервать рассказ и более подробно пояснить, что означает в предыдущих фразах температура $2,17\text{K}$.

В 1848 году знаменитый английский физик Уильям Томсон, изучавший тепловые явления, установил, что многие формулы, описывающие зависимость свойств вещества от температуры, можно упростить. Для этого при измерениях температуры следует отказаться от условных шкал температуры, введённых Цельсием, Реомюром или Фаренгейтом, и ввести абсолютную шкалу температур, нуль которой соответствует температуре $-273,15$ шкалы Цельсия, а «шаги» в один градус совпадают со шкалой Цельсия. В честь У. Томсона, получившего в 1892 году титул лорда Кельвина, температуру, отсчитанную по абсолютной шкале, теперь обозначают буквой «К». Таким образом запись $2,17\text{K}$ означает $2,17^{\circ}$ по абсолютной шкале температур, или $2,17^{\circ}$ выше абсолютного нуля температуры. Если в дальнейшем после каких-либо цифр будет стоять буква «К», это будет означать температуру по шкале Кельвина. Уильям Томсон доказал, что не может существовать температуры ниже абсолютного нуля.

В 1933 году Кеезом, работая вместе со своей дочерью, обнаружил необычайно высокую теплопередачу через тоненькие трубочки, заполненные жидким гелием. Эта аномалия возникала каждый раз, когда температура жидкого гелия опускалась ниже $2,17\text{K}$, причём она проявлялась спонтанно, скачком.

Вот к каким странным, не предусмотренным тогдашней наукой событиям привёл след гелия в солнечном спектре.

ЕЩЁ РАЗ «СВЕРХ...»

Непонятные метаморфозы олова, неблагородное поведение одного из благородных газов и тайна сверхпроводящих металлов взбудоражили научную общественность. Что это: случайные, разрозненные явления, ничем между собой не связанные? Или это внешние проявления одной непонятной ещё причины? Всё это противоречило основным, казалось бы

незыблемым, принципам науки.

Учёные оказались в куда более затруднительном положении, чем малыши перед кубиками, никак не складывающимися в картинку. Им предстояло поставить на свои места отдельные, разрозненные явления, но, увы, картинки-образца у них не было.

Между тем опыты с гелием всё больше проявляли тёмные стороны его характера. Выяснилось, что в опытах Кеезома и его дочери, в условиях неслыханного холода, именно жидкий гелий, а не охлаждённые стенки трубочек, начинал в миллиард раз быстрее проводить тепло. Казалось, тепло в нём распространяется без всякого сопротивления (не промелькнула ли сейчас тень металлов, без всякого сопротивления проводящих электрический ток?).

Гелий становился в миллион раз более подвижным и менее вязким. Капнув жидкий гелий на гладкую охлаждённую поверхность, исследователи в изумлении наблюдали, как быстро растекается он в тончайшую плёночку. Как будто не испытывает никакого сопротивления со стороны поверхности!

Если проделать такой же опыт с любой другой жидкостью, ничего подобного не увидишь. Капля как бы застынет, чуть сплюснётся.

И даже это было ещё не самым удивительным.

Что, если бы вы увидели человека, бегущего вверх по отвесной стене? Это невозможно? Закон тяготения этого не допускает! Приблизительно то же подумали учёные, когда увидели, как жидкий гелий с необычайной быстротой ползёт вверх по стенкам сосуда. Это невозможно, ужаснулись многие из них, а трение, а вязкость?!

И ещё более изумились, услышав мнение советского учёного Петра Леонидовича Капицы: у жидкого гелия вблизи абсолютного нуля вовсе нет вязкости. Это сверхтекучая жидкость.

Так впервые в 1938 году мир услышал удивительное слово «сверхтекучесть». Через год Капица был избран членом Академии наук СССР.

Вывод Капицы был результатом долгих и кропотливых экспериментов, итогом многих раздумий. Почему так молниеносно распространяется тепло внутри жидкого гелия? Ведь остальные жидкости ведут себя иначе. Их слои перемешиваются, и менее тёплые нагреваются от более тёплых, а это требует времени. Но в жидком гелии тепло переносится молниеносно. Как же так, ведь слои всегда трутся друг о друга, а это должно мешать быстрому перемешиванию. А если вязкость не препятствует? Значит, её нет!

И Капица подтверждает свою догадку блестящим экспериментом. Он пропускает жидкий гелий сквозь мельчайшие щели и трубки — капилляры, через которые обычная вязкая жидкость если и проходит, то ей нужно затратить на это многие миллиарды лет. А гелий, охлаждённый до 2° выше абсолютного нуля, просочился буквально на глазах, получив «диплом» первой в истории науки сверхтекучей жидкости.

Жидкость без вязкости! Это было одним из поразительных открытий нашего века. Как такая жидкость отнеслась бы к инородному телу, погружённому в неё? Оказала бы ему сопротивление или нет?

И экспериментатор спешит поставить такой опыт: он опускает в жидкий гелий подвешенный на тончайшей нити вращающийся маятник (паучок Капицы). Жидкость без трения, без вязкости не должна остановить его. Но что это? Совершается непонятное: маятник быстро прекращает движение, останавливается... Жидкий гелий повёл себя в этом опыте как самая обычная, тривиальная жидкость.

Есть от чего прийти в смятение! В одном случае (с капилляром) жидкий гелий не имеет вязкости, в другом (с маятником) — имеет. Всё происходит так, как будто одновременно в нём заключены... две жидкости.

Так оно и оказалось. Вот как описал ни на что не похожее поведение жидкого гелия замечательный советский физик, будущий академик Лев Давидович Ландау: «...часть жидкости будет вести себя как нормальная вязкая жидкость, «цепляющаяся» при движении... Остальная же часть массы будет вести себя как не обладающая вязкостью»

сверхтекучая жидкость».

Так гелий доказал, что знакомая нам при нормальных температурах жизнь веществ в области предельного холода подчиняется совсем иным законам. Здесь отношения между атомами и молекулами диктуются законами микроскопического мира, неподвластными классической физике. Это поняли два замечательных советских физика и не только поняли, но и доказали: Капица — рядом убедительных экспериментов, Ландау — серией виртуозных логических и математических построений, которые он оформил в 1940 году в виде теории сверхтекучести. Они подарили миру прозрение тайны низких температур...

КРОССВОРД

С этого времени положение в науке о низких температурах резко меняется. Учёные узнали главное: законы, правящие в царстве холода. Теперь оставалось выяснить нормы поведения, которые законы микромира — квантовые законы — диктуют различным веществам.

В конце тридцатых годов «столица холода» перемещается из Голландии в Советский Союз. Вокруг Капицы и Ландау спланируется группа молодых учёных, работы которых в новой области физики становятся ведущими. И если раньше исследователи двигались только по серому следу оловянной чумы и следу гелия, то теперь изыскания ведутся сразу во многих направлениях. Фронт исследований простирается от Москвы до Ленинграда, от Харькова до Тбилиси и Свердловска.

Кольцо вокруг тайны холода сужается. Теперь учёные наблюдают уже не случайные, непредвиденные явления. Они стараются получить результаты, предсказанные теорией сверхтекучести. Для того чтобы объяснить «механизм «сверхтекучести, Ландау пришлось представить себе «квантовую жидкость», то есть признать, что квантовые законы справедливы не только в микромире, в мире молекул, атомов и элементарных частиц, но и в макромире. Пришлось признать, что свойства жидкости, которую можно создать, охлаждая гелий, невозможно понять, оставаясь в рамках классической физики.

Жидкий гелий I резко отличается от жидкого гелия II даже по виду. Первый бурно кипит по всему объёму, второй — спокойная жидкость с гладкой поверхностью и совершенно без пузырьков. Это объясняется огромной теплопроводностью жидкого гелия II, открытой Кеезомом. Согласно теории Ландау, жидкий гелий при температурах менее 2,17К представляет собой двухкомпонентную смесь: первый компонент — обычная жидкость (гелий I), второй — сверхтекучая (гелий II). Количество гелия I в этой смеси быстро уменьшается, когда температура стремится к абсолютному нулю. При нагревании до температуры 2,17К сверхтекучая часть жидкости внезапно исчезает, превращаясь в гелий I.

Двухкомпонентность сверхтекучего гелия объясняет ряд наблюдаемых явлений, о которых мы ещё скажем.

Существенный шаг к построению квантовой теории сверхтекучести сделал в 1947 году академик Н. Н. Боголюбов. Он показал, что при температуре 2,17К атомы гелия объединяются, образуя особое состояние: Бозе-конденсат. При этом они теряют индивидуальность. Они не испытывают индивидуальных тепловых движений, не взаимодействуют с окружающими телами поодиночке. Именно это придаёт их коллективу — Бозе-конденсату — свойство сверхтекучести, способность перемещаться вдоль окружающих тел, не ощущая их присутствия.

Последовательная теория сверхтекучести, полностью учитывающая квантовые свойства сверхтекучей жидкости, ещё не создана. Но и приближённая теория сверхтекучести сыграла решающую роль в понимании загадки сверхпроводимости, открытой много раньше и долго ждавшей объяснения.

Прежде чем возвратиться к сверхпроводимости, ещё несколько слов о сверхтекучести. Недавно ею занимались многие физики.

Э.Л. Андроникашвили, избранный впоследствии действительным членом Академии

наук Грузинской ССР, изучал свойства вращающегося гелия. Гелий остаётся верным себе. Он и вращается не как другие жидкости. Если очень закрутить его, он начинает вести себя уже не как жидкость, а как упругое тело. Отдельные слои становятся упругими жгутами, которые упираются и противятся вращению. Учёный упорно искал отгадку очередного фокуса квантовой жидкости.

А.И. Шальников, позже ставший академиком, чтобы изучить взаимодействие нормальной и сверхтекучей частей жидкого гелия, «подкрашивал» его электронами. По их движению он надеялся проследить за отношением этих двух разных жидкостей.

Доктор физико-математических наук В. П. Пешков обнаружил «второй звук» в гелии, предсказанный теорией Ландау. Оказалось, что, кроме обычного звука, представляющего собой волны сжатия и разрежения, в сверхтекучем гелии возможны незатухающие тепловые волны, названные Ландау вторым звуком.

Что бы вы сказали, если бы обнаружили, что вода в чайнике никак не нагревается даже при сильном огне? Сам чайник уже раскалён, а вода в нём ещё холодная. Нечто подобное обнаружил Капица ещё в далёкие дни первых опытов с гелием.

Объяснить это странное явление удалось лишь ученику Ландау, доктору физико-математических наук И. М. Халатникову, тоже ставшему академиком. Оказывается, жидкий гелий нагревается вовсе не так, как вода в чайнике — от соприкосновения с его стенками. Гелий нагревают неслышимые звуковые волны, исходящие от стенок сосуда при их нагревании. А процесс этот и не быстрый и не такой уж эффективный...

Так, шаг за шагом, учёные разоблачали тайны необычного характера гелия.

Много интересных явлений предсказали в области низких температур и экспериментально подтвердили московские физики: действительные члены Академии наук СССР А. А. Абрикосов, В. Л. Гинзбург, И. Я. Померанчук, Е. М. Лифшиц и многие другие. Но и их работами далеко не исчерпываются исследования всех замечательных и многообразных явлений, связанных со сверхтекучестью гелия.

Кстати, за свои работы, сделанные в 50-е годы, Гинзбург и Абрикосов получили Нобелевскую премию в 2003 году! Гинзбургу было уже 87 лет ...Абрикосов уже много лет работал в Америке...

ВТОРОЙ СЛЕД

Куда же привёл учёных след сверхпроводящих металлов? Туда же, куда и след гелия. Причины сверхтекучести гелия и сверхпроводимости металлов оказались чрезвычайно близкими.

Все, конечно, замечали, как вода просачивается сквозь песок. Так и электрический ток представляет собой движение электронов, просачивающихся между атомами металла. Электроны тормозятся атомами, которые находятся в тепловом движении и непрестанно колеблются. На столкновения с ними уходит энергия электронов, полученная от электрической батареи.

Атомы металла, получив дополнительную энергию, раскачиваются ещё больше и ещё сильнее мешают продвижению электрического тока. Таков механизм сопротивления металлов электрическому току. Это не было для учёных откровением — явление давно изучено. Но то, чему учёные стали свидетелями в сверхпроводниках, было действительно откровением. Куда девается способность металлов сопротивляться электрическому току? Что в них происходит?

Если металл охладить, тепловые колебания атомов уменьшаются. Они меньше мешают электрическому току. А при очень низкой температуре почти совсем не мешают.

Но такое «замерзание» сопротивления не может привести к сверхпроводимости. Хотя тепловые колебания, в соответствии с классической физикой, убывают вместе с температурой. Квантовая физика показала, что даже при абсолютном нуле движения частиц вещества не прекращаются полностью — остаются так называемые нулевые колебания

атомов, полей и элементарных частиц.

Однако опыт показывает, что при постепенном охлаждении сверхпроводящих металлов и сплавов их сопротивление сначала убывает вместе с уменьшением температуры (как предсказывает классическая физика), но при какой-то температуре, характерной для данного сверхпроводника, сопротивление внезапно, скачком, падает до нуля.

При этом происходит своеобразное явление, не имеющее прецедентов ни в одной другой области науки. Вблизи абсолютного нуля, когда тепловые колебания атомов крайне ослаблены, электроны начинают вести себя совсем по-особому. Их поведение кажется просто непостижимым. Дальше мы узнаем, как физики-теоретики сделали кажущееся непостижимым — хорошо понятным, но сейчас ещё несколько фактов.

Между электронами вдруг возникают силы притяжения! Электроны, несмотря на то что отрицательно заряженным телам полагается отталкиваться, начинают стремиться друг к другу!

Для ряда металлов это стремление оказывается настолько интенсивным, что оно пересиливает отталкивание между электронами. При достижении определённой температуры они внезапно связываются между собой, объединяясь в дружный, слаженный коллектив.

Отдельные электроны в сверхпроводнике вблизи абсолютного нуля сливаются в электронный поток, свободно текущий без всякого сопротивления. Электроны, слившиеся в коллектив, перестают взаимодействовать с атомами вещества. Так образуется ток сверхпроводимости, текущий внутри вещества, как в пустом пространстве, но не выходящий в окружающее пространство.

Это удивительное явление до сих пор поражает воображение учёных, до сих пор с трудом переводится на общедоступный язык образов и аналогий.

Такое состояние электронов неустойчиво и капризно. Если постепенно нагревать сверхпроводник, то атомы начнут колебаться сильнее и при той же температуре, при которой возникла сверхпроводимость, они снова разобьют сверхтекучую жидкость на отдельные электроны, которые будут в одиночку с трудом пробираться в металле.

Но сверхпроводимость исчезает не только при увеличении температуры. Ещё в 1913 году Каммерлинг-Оннес обнаружил, что состояние сверхпроводимости разрушается под влиянием сильных магнитных полей и больших электрических токов. Это была ещё одна загадка.

Продолжая изучать сверхпроводимость, то есть полное исчезновение сопротивления электрическому току, Каммерлинг-Оннес пришёл к дерзкому умозаключению: значит, решил он, стоит возбудить электрический ток в кольце из сверхпроводника, и этот ток будет течь вечно!

Но как этого достичь? Ведь у кольца нет концов, к которым можно присоединить источник тока.

Исследователь призвал на помощь хорошо известное явление электрической индукции: электрический ток в кольце можно возбудить, изменяя величину магнитного поля, проходящего через это кольцо.

Он поместил кольцо, изготовленное из металла, способного к сверхпроводимости, в криостат, расположенный в поле электромагнита. Затем он пустил сквозь электромагнит электрический ток. Возникшее магнитное поле породило электрический ток в кольце. Но при комнатной температуре кольцо обладало сопротивлением. Поэтому ток в нём быстро прекратился.

Затем Каммерлинг-Оннес налил в криостат жидкий гелий. Кольцо стало сверхпроводящим. Теперь можно было выключить электромагнит. Исчезая, его магнитное поле снова возбудило в кольце электрический ток. Но теперь, когда кольцо обладало сверхпроводимостью, ток в нём должен был течь вечно.

Как в этом убедиться? Достаточно поднести компас. Его стрелка повернётся под действием магнитного поля, порождённого током сверхпроводимости. Много позже было

установлено, что сопротивление сверхпроводника меньше чем 10–20 ома на сантиметр длины (10–20 — это единица, делённая на сто миллиардов миллиардов).

В 1924 году Каммерлинг-Оннес пошёл дальше: он соединил в кольцо два различных материала, способных переходить в сверхпроводящее состояние, и начал их охлаждать. Когда была достигнута критическая точка перехода к сверхпроводимости одного из полуколец, возбудить в кольце незатухающий ток не удалось. Этому мешало сопротивление второго полукольца. Но при дальнейшем охлаждении, при переходе критической точки материала второго полукольца, незатухающий ток удалось возбудить так же легко, как в кольце, изготовленном полностью из одного материала. По способности к сверхпроводимости различные материалы не различаются между собой, если температура опускается ниже самой низкой из критических температур сравниваемых материалов. Ещё один шаг к знанию и пониманию законов царства холода, мостик между металлами и сплавами.

Немецкий физик В. Ф. Мейснер в 1923 году основал в Берлине криогенную лабораторию. Он сумел открыть много сверхпроводящих металлов и сплавов. В 1932 году он вместе с Р. Хольмом подробно изучил исчезновение контактного сопротивления между двумя металлами, когда оба они становятся сверхпроводниками. Учёные работали очень тщательно и обеспечивали полное отсутствие слоёв окислов в месте контакта. Они должны были пожалеть об этом через тридцать лет, когда английский студент Б. Ю. Джозефсон сделал удивительное предсказание. Но об этом позже.

В 1933 году В. Мейснер вместе с Р. Оксенфельдом продолжили изучение открытого Каммерлинг-Оннесом процесса разрушения сверхпроводимости сильным магнитным полем. Оказалось, что вещество, переходя в сверхпроводящее состояние, выталкивает из себя магнитное поле, если это поле меньше того, критического, которое, как показал за двадцать лет до того Каммерлинг-Оннес, разрушает сверхпроводимость. Это поразительное явление, названное эффектом Мейснера, стало ещё одной из загадок сверхпроводимости.

Итак, странное поведение гелия и металлов при низких температурах имеет общие корни. Явления сверхтекучести и сверхпроводимости очень схожи по своему механизму и подчиняются близким квантовым законам. Так же как сверхтекучая жидкость при низких температурах без всякого трения проходит через самые узкие щели, так и электронная жидкость в металле — электрический ток — свободно, без трения, просачивается через «щели» между атомами и молекулами.

В 1958 году голландский физик Х. Казимир, который в 1933 году вместе с С. Гортером на основе термодинамики создал первый вариант теории сверхпроводимости, с сожалением констатировал: «В настоящее время объяснение явления сверхпроводимости остаётся вызовом физико-теоретику».

Но вызов этот физики приняли уже тогда. Над проблемой сверхпроводимости размышляли английский учёный Фрелих, американцы Бардин, Купер и Шриффер, австралийцы Шаффрот, Батлер и Блат... Советскую группу по «борьбе» с тайной сверхпроводимости возглавлял математик академик Боголюбов, любимой областью которого стало применение математики к преодолению загадок физики.

В тот момент, когда Казимир произнёс свою полную горечи фразу, под загадкой сверхпроводимости подводилась черта. Полувековая тайна доживала последние часы. Но сдавалась она не без боя.

ШАГ ЗА ШАГОМ

Ещё в 1950 году англичанин Г. Фрелих наметил путь решения проблемы сверхпроводимости. Он понял причины странного поведения электронов в металле близ абсолютного нуля. Он догадался, что сверхпроводимость обусловлена взаимодействием электронов с колебаниями решётки металлов, с фононами (элементарными долями звука), и составил уравнение, содержащее, по его мнению, путь к решению задачи, но... решить его не

сумел. Хотя, надо подчеркнуть, он высказал ряд правильных гипотез о природе математических трудностей.

Через два года экспериментаторы обнаружили зависимость температуры перехода к сверхпроводимости от массы атомов металла. При этом они сравнивали два образца металла, содержащие различные изотопы. Это доказывало справедливость идеи Фрелиха.

Перед учёными встала задача расшифровки уравнения Фрелиха, которое обещало прояснить картину сверхпроводимости. Над этой задачей работали многие.

Важную физическую идею о природе математических трудностей уравнения Фрелиха высказали австралийские учёные. Потом в эту работу включилась группа американских учёных, но...

Задача Фрелиха оказалась и им не по зубам.

Это несколько напоминает историю со знаменитой тринадцатой задачей Давида Гильберта. Известный немецкий математик решил много задач, считавшихся неразрешимыми, но свою собственную, под таким несчастливым номером, так и не смог одолеть. За неё бралась многие математики, но безуспешно. Задача была поставлена в 1904 году. Прошло полвека, а она всё не поддавалась. Многие даже шутили по этому поводу: «Старику Гильберту следовало бы пропустить при обозначении несчастливый номер: этим он облегчил бы труд тех, кто пытается найти ответ его задачи № 13».

Несчастливую задачу решил Володя Арнольд, студент 4-го курса Московского государственного университета (ныне член-корреспондент АН СССР), ученик замечательного математика А. Н. Колмогорова.

Задача Гильберта являлась чисто абстрактной, она представляла соблазн просто как курьёз, как математический орешек, на котором математикам стоило поточить зубы. Никаких практических обещаний она не давала, впрочем, так же, как и другие знаменитые нерешённые задачи: теорема Ферма, поставленная лет сто назад, и Диофантовы уравнения, которым уже более тысячи лет.

С задачей сверхпроводимости дело обстояло совсем иначе, ведь это была насущная задача не только фундаментальной науки, но и техники.

Поэтому задача сверхпроводимости была решена гораздо быстрее. И сделали это Боголюбов с группой сотрудников и американские учёные Купер, Бардин и Шриффер. Они решили даже не уравнение Фрелиха, а математическую задачу, обогащённую по сравнению с этим уравнением более точными данными о явлении, задачу более полную, точнее рисующую сложное поведение электронов в некоторых охлаждённых металлах и сплавах.

Картина сверхпроводимости оказалась до тонкости похожей на картину сверхтекучести. Поэтому учёные использовали теорию сверхтекучести как фундамент для построения теории сверхпроводимости. Боголюбов за раскрытие тайны сверхпроводимости был удостоен Ленинской премии 1958 года.

ВСЁ НАОБОРОТ

А след оловянной чумы? Не затерялся ли он в путанице многочисленных следов, покрывающих недавно ещё девственные просторы царства холода? Если его отыскать и пойти по нему, он приведёт в Харьков, в одну из старейших лабораторий низких температур. Действительный член Академии наук УССР Б. Г. Лазарев и его сотрудники В. И. Хоткевич, И. А. Гиндин, Я. Д. Стародубцев натолкнулись в своих исследованиях на давнюю загадку олова.

Изучая поведение металлов при низких температурах, физики обнаружили интереснейшие вещи.

Что, если заморозить воду? Конечно, она превратится в лёд. И может даже показаться, что, замёрзнув, лёд так и останется льдом. Но лёд льду рознь. Учёным уже известен почти десяток видов льда, отличающихся между собой своей структурой, причём одна из структур превращается в другую при вполне определённой температуре.

Экспериментаторы замораживали не только воду, но и такие металлы, как литий, натрий, висмут, бериллий, ртуть, цезий, и обнаружили аналогичные превращения. Так говорил рентгено-структурный анализ, фиксируя новую структуру.

В чём же дело? Несомненно, учёные имели дело всё с теми же исходными веществами. Это были те же металлы. Но оказывается, при понижении температуры их атомы, так же как атомы льда, изменяли своё взаимное расположение, как физкультурники по команде инструктора.

Харьковчанами раскрыт и секрет олова. Оно тоже испытывает превращения, названные низкотемпературным полиморфизмом. При определённой температуре белое олово превращается в серое порошкообразное вещество, то, которое полтора столетия тому назад было обнаружено на петербургском складе. Это было олово, но изменившее свою внутреннюю структуру. Такое превращение может произойти и при более высокой температуре, если потрясти металл. Удар, сотрясение ускоряет перерождение. Как видно, по этой причине развалились баки с горючим на экспедиционных кораблях Роберта Скотта. Поэтому теперь радиотехническую аппаратуру, подверженную тряске, никогда не паяют чистым оловом.

Но всё-таки олово не раскрыло своей тайны до конца. Если другие охлаждённые металлы сохраняют металлические свойства, то олово ведёт себя совсем неожиданно... Оно превращается в полупроводник...

Необъяснимым остаётся и другое. В большинстве случаев строение охлаждённых металлов становится экономнее, атомы и молекулы упаковываются плотнее. В этом учёные убеждались не раз. Низкие температуры поступают с металлами так же, как высокие давления.

Этому правилу подчиняются литий, натрий и многие другие металлы.

А олово — нет. Оно поступает как раз наоборот. Аккуратные белые брусочки распухают и превращаются в рыхлое месиво.

Почему оно ведёт себя именно так? Почему при охлаждении и деформации оно стремится занять побольше места? Ответа на это пока нет.

Но стоит ли об этом думать? Может быть, это вовсе не так важно?

Нет, и обращение олова в полупроводник, и увеличение его объёма при охлаждении не случайность. Это, несомненно, проявление общей закономерности. И учёные трудятся над её выявлением, ибо знание необходимо для управления поведением металлов, для создания материалов с наперёд заданными свойствами.

Ставя опыт с охлаждёнными металлами, харьковские учёные обнаружили совсем уж курьёзное явление, объяснить которое поначалу не брались даже самые опытные теоретики.

Результаты опытов упорно настаивали на том, что металл в куске может обладать совсем иными свойствами, чем тот же металл, но... в виде плёнки.

На первый взгляд это кажется просто абсурдным, противоречащим всему опыту общения с металлами. Однако...

Как садовник сажает семена растений, так физики «сажали» атомы висмута и бериллия, натрия и калия на охлаждённую жидким гелием пластинку. Сажали не торопясь, один за другим. Только так можно было получить действительно сверхтонкую плёнку. Конечно, это происходило не на воздухе, а под колпаком, из-под которого специальные насосы откачивали воздух. И атомы сажали не руками. Они испарялись с поверхности расплавленного металла и, не испытывая помех, постепенно осаждались на холодную пластинку.

Изучая свойства бериллиевой плёнки и пропуская через неё электрический ток, учёные оказались свидетелями непредвиденного эффекта. Плёнка покорила току, не оказав ему сопротивления.

На первый взгляд в этом явлении в наши дни уже нет ничего загадочного. Как гром среди бела дня оно поразило Каммерлинг-Оннеса в начале нашего века, когда, охладив ртуть до температуры жидкого гелия, он обнаружил в ней полное отсутствие сопротивления

электрическому току. Явление сверхпроводимости действительно несколько десятилетий оставалось необъяснимым. Но теперь, как мы уже сказали, трудами советских и зарубежных физиков создана стройная теория этого удивительного явления.

Тем более интересна «ошибка» с бериллием, который уверенно причисляли к металлам, ни при каких условиях не способным к сверхпроводимости. Как ни охлаждали бериллий, присущая ему кристаллическая решётка препятствовала прохождению электрического тока.

И вдруг... плёночка бериллия спутала все карты. Правда, раньше учёным был известен ещё один металл — висмут, плёнки которого вопреки правилам становились сверхпроводящими. Но это долго считалось единственным исключением из общего правила.

А теперь и бериллий. Два случая — это уже не исключение. Значит, бериллий и висмут — представители группы веществ, не подчиняющихся известным нормам поведения. Это указывало на то, что теория сверхпроводимости не полна. Ведь из неё не следовали такие отклонения.

Что же заставляет эти металлы изменять свои свойства? — размышляли учёные. И нет ли здесь связи с явлением низкотемпературного полиморфизма, то есть изменения кристаллической структуры, которому подвержены оба металла? Может быть, при принудительной конденсации атомов висмута и бериллия на охлаждённую пластинку образуется искусственная решётка, склонная к сверхпроводимости?

На справедливость этих предположений указывал простой опыт. Когда исследователи многократно нагревали, а затем замораживали плёнку, она постепенно теряла свойства сверхпроводника. Так как при этом она не подвергалась никакой деформации, её атомы, возможно, постепенно возвращались к своему обычному порядку — восстанавливалась решётка, не склонная к сверхпроводимости.

Не кроется ли в том, что подметили харьковские учёные, намёк на богатую перспективу направленного изменения свойств металлов? Если один и тот же металл может проявлять различные качества в зависимости от способа его получения, если его атомы можно заставить строиться по-разному, значит, перед техникой будущего открываются заманчивые возможности управления свойствами вещества!

ЛАЗЕЙКА ДЛЯ ПРИМИРЕНИЯ

Не только бериллий и висмут, железо тоже считалось металлом, абсолютно неспособным к сверхпроводимости. До недавнего времени никто ни при каких условиях не мог получить сверхпроводящее железо. Но это учёных не удивляло. Этому имеется весьма веское основание.

Ведь сверхпроводимость и магнетизм — исконные враги.

Силовые магнитные линии упорно избегают сверхпроводник. В этом убеждает элементарный опыт. Если на пути магнитного поля поместить проволоку в сверхпроводящем состоянии, магнитное поле обожит её, как морская волна бревно. Но если быть очень настойчивым и, увеличивая силу магнитного поля, стремиться втолкнуть его внутрь проволоки, оно действительно проникнет туда, однако... состояние сверхпроводимости в проволоке исчезнет.

Таким образом, одной из особенностей низких температур является несовместимость сильного магнитного поля и состояния сверхпроводимости.

Поэтому железо, которое является материалом магнитным, никак не может стать сверхпроводником. Разве только железо немагнитное... Но возможно ли такое в природе?

Правда, немагнитное железо в нагретом состоянии никого бы не удивило. Французский учёный Пьер Кюри давно заметил: нагретое выше определённой температуры железо всегда теряет магнитные свойства. Температура, при которой размагничиваются стальные магниты, называется точкой Кюри. Она лежит выше 700 °С. Но немагнитное железо в холодном состоянии! Это невероятно. Сверхпроводящее железо — это был бы просто парадокс.

И всё-таки учёные получили его, получили вопреки научной логике, наперекор природе. Произошло это в Ленинградском физико-техническом институте Академии наук СССР в лаборатории низких температур.

Поначалу не обошлось без сомнений. Вряд ли это возможно, говорили многие выдавшие виды учёные, прочтя публикацию о получении сверхпроводящего железа. И как винить их за скептицизм? Сомнения поддерживал многовековой человеческий опыт.

...Люди издавна привыкли к замечательному свойству железа образовывать вокруг себя магнитное поле и подчиняться ему. Стрелка компаса, послушная магнитным силовым линиям Земли, смотрит одним концом на север. Да и каждый атом железа подобен такой стрелке, на одном конце таящей свой миниатюрный северный полюс, а на другом — южный.

В теле железа можно натолкнуться на маленькие области, в которых целые полчища магнетиков выстроены в строгом порядке. Все северные полюсы их смотрят в одном направлении, южные — в противоположном. Магнитные силы стрелочек складываются, и в этом маленьком участке образуется чрезвычайно сильное магнитное поле. Такие области названы доменами, и в каждом куске железа их множество.

Но есть области, где все магнетики так же дружно «смотрят» совсем в другую сторону. По всей толще большого и маленького куска железа чередуются магнитные области, ориентированные самым хаотическим образом. Магнитные поля внутри отдельных доменов очень сильны, но сами домены ориентированы совершенно хаотически и в среднем уравнивают друг друга, поэтому силовые линии не выходят на поверхность металла. Вот почему как сильно ни охлаждать кусок железа, сверхпроводником он не станет: сверхпроводимость разрушается сильными внутренними магнитными полями, всегда существующими в отдельных доменах.

Но физики-теоретики, которым ничего не стоит в своём воображении оставить от куска железа совсем крошечный кусочек, тоненькую плёночку или даже просто горсть атомов, а потом с помощью формул и уравнений ощупать их, заглянуть в самую суть, и на этот раз вывели из железа секрет его сверхпроводимости.

Они рассуждали примерно так. Крошечные атомы-магнетики в куске железа не закреплены намертво. Под влиянием различных сил они свободно поворачиваются друг относительно друга. Но управлять ими в куске металла очень трудно. Они дружно, всем коллективом, образующим домен, противодействуют внешним влияниям.

А если атомы железа осторожно, один за другим «наклеивать» на очень холодную поверхность? Ведь тогда они накрепко примёрзнут к своим местам и не смогут объединять свои слабые магнитные поля в единое поле домена. Вот тут-то, пожалуй, и можно получить несколько слоёв атомов немагнитного железа. Чтобы атомы, не успев повернуться, примёрзли к пластинке, её надо охладить до температуры жидкого гелия. Значит, если плёнка будет немагнитной, она вполне может при такой температуре стать сверхпроводящей.

Лазейка для примирения магнитного железа и сверхпроводимости была найдена. Оставалось провести очень тонкий и весьма сложный эксперимент: получить сверхпроводящее железо не на бумаге, а в жизни. Ленинградские учёные создали оригинальную установку, и им это удалось. Так люди впервые увидели сверхпроводящее, а значит, немагнитное железо.

Попытки получить тот же результат при охлаждении плёнки железа, первоначально нанесённой на тёплую поверхность, не увенчались успехом.

Даже нанесение плёнки на холодную поверхность надо проводить медленно и осторожно. При повышении температуры эти плёнки разрушаются и, отделяясь от стеклянной поверхности в виде тончайших чешуек, осыпаются. По-видимому, при нанесении атомов железа на холодную поверхность действительно образуется новая, ранее неизвестная разновидность металлического железа, в котором не возникают области самопроизвольного намагничивания, препятствующие возникновению сверхпроводящего состояния.

Изучение плёнок металлов вызывает не только научный интерес. Эти плёнки могут

служить прекрасным материалом для создания сверхминиатюрных ячеек кибернетических машин.

Представьте себе крошечное колечко из плёнки сверхпроводника. Возбуждённый в плёнке ток будет циркулировать по колечку сколь угодно долго, не меняя своей величины, запоминая, какой сигнал вызвал появление этого тока. Такие плёночные ячейки ещё миниатюрнее и совершеннее, чем элементы памяти из сверхпроводящей проволоки (криотроны, персистатроны, персисторы). А это прямой путь превратить современные ЭВМ в малюток.

Учёные уже используют в ячейках памяти плёнки олова, свинца и ниобия. Но ведётся широкая цепь исследований для получения плёнок из других металлов и сплавов, которые сделают элементы памяти надёжнее, дешевле, проще в изготовлении.

В ЦАРСТВЕ ХОЛОДА

Путь по следам оловянной чумы пройден недаром. Он привёл в царство холода. И путешественник стал осматриваться, обживать, знакомиться с новыми порядками, задумываться: не могут ли они быть полезны? Оказалось, что могут и послужить, и помочь, и пригодиться. Могут решить многие насущные проблемы техники.

Даже воздух, обыкновенный воздух в царстве холода становится другим, податливым, и легко отдаёт свой кислород. В 1946 году Капица разработал очень эффективный и удобный способ выделения кислорода из воздуха в огромных количествах — десятками тонн в час. Теперь кислород широко используется во всём мире для автогенной сварки, для принудительного дутья в доменных, мартеновских, бессемеровских печах.

А водород, превратившись при низкой температуре в сжиженный газ, много легче расстаётся со своим тяжёлым изотопом — дейтерием. Дейтерий очень сложно получить в обычных условиях. Но для атомных исследований он нужен в больших количествах. Когда о новом способе получения этого ценного продукта, разработанном советскими учёными, рассказал на первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии доктор технических наук М. П. Малков, его сообщение было встречено с большим интересом.

По мнению Капицы, низкие температуры несут много новых надежд радиотехнике. Он приводил простой и убедительный пример. Радиоприёмник на специальных элементах, некоторые части которого охлаждены до температуры жидкого гелия, приобретает такую повышенную чувствительность, как будто мощность радиостанции при этом подскочила в сотни раз. Конечно, гораздо легче проделать такую операцию, чем увеличивать на колоссальную цифру мощность передатчика.

Для химии область низких температур — страна чудес.

Многие химические соединения, в нормальных условиях очень активные и опасные, можно обезопасить, «разорвав» на куски — радикалы, а затем хранить в замороженном виде, не боясь взрыва. Если их потом отогреть, они соединятся вновь. Эти консервированные радикалы не теряют своих свойств, так же как замороженные фрукты — витаминов.

Когда ядерной физике понадобилась лёгкая частица, учёные остановили свой выбор на ядре изотопа гелия. В отличие от обычного гелия, названного гелием-4, его обозначают гелий-3. Но в естественном гелии его содержится так мало, что надо переработать 20 тонн обычного гелия, чтобы получить всего один грамм изотопа. Процесс этот сложный, долгий, кропотливый. Вот почему гелий-3 — самый дорогой в мире газ.

Харьковские учёные, изучая сверхтекучесть гелия, нашли более лёгкий способ получения гелия-3. Они охладили гелий до 2,17К. После этого гелий-4 приходит в состояние сверхтекучести, но его изотоп гелий-3 не принимает в этом участия. Он становится сверхтекучим при намного меньшей температуре. Поэтому когда сверхтекучая часть при температуре около 2К просачивается через тончайший фильтр в дне сосуда, в сосуде остаётся изотоп гелия-3.

Инженеры воспользовались низкой температурой для создания изящных вакуумных установок. В них использовано свойство древесного угля в избытке поглощать воздух при низкой температуре. В новых установках воздух не выкачивается, а его атомы просто прилипают к охлаждённому древесному углю, как мухи к липкой бумаге, создавая в установке вакуум.

Сверхпроводящие металлы позволили создать фантастические электромагниты, поддерживающие огромные магнитные поля без затраты электроэнергии. Они в этом отношении напоминают постоянные магниты из закалённой стали или специальных сплавов. Для того чтобы намагнитить кусок стали, достаточно поместить его внутрь проволочной обмотки и на мгновение пропустить через неё электрический ток. Сталь намагничивается и сохраняет свои магнитные свойства и после выключения тока в обмотке.

Если возбудить круговой электрический ток в сплошном куске сверхпроводника или в замкнутой обмотке из сверхпроводящей проволоки, то ток в них, не встречая сопротивления, будет существовать и после выключения возбуждавшего его источника. А пока существует электрический ток, действует и окружающее магнитное поле.

Так работает «постоянный» магнит из сверхпроводника. Он остаётся магнитом, пока сохраняется состояние сверхпроводимости, а некоторые сплавы остаются сверхпроводящими и при температурах около 20° выше абсолютного нуля.

Если обмотка магнита сделана из олова или свинца, то достижимое магнитное поле не очень велико. Обмотка же из ниобия позволяет получить в десятки раз более сильное поле. Но самые современные сверхпроводниковые магниты делаются из соединения ниобия с оловом и цирконием. Оно остаётся сверхпроводящим до -255°C , а магнит с такой обмоткой, помещённый в жидкий гелий, даёт магнитное поле в десятки тысяч эрстед.

Но это, конечно, не предел. Теория, разработанная советскими физиками, лауреатами Ленинской премии Л. Д. Ландау, А. А. Абрикосовым, В. Л. Гинзбургом и Л. П. Горьковым, позволяет по-новому подходить к задаче поиска сверхпроводящих сплавов. Она уже вскрыла ряд удивительных свойств сверхпроводящих плёнок и позволила ближе подойти к возможности получения сверхпроводящего состояния при обычных температурах.

Впервые эта возможность была перенесена из области мечты в разряд серьёзных научных задач американским учёным В. А. Литтлом. Он предположил, что некоторые полимеры могут оказаться сверхпроводниками и сохранять это свойство при высоких температурах. Однако расчёты Литтла были недостаточно убедительными. Лишь впоследствии молодые физики Ю.П.Бычков, Л. П. Горьков и И. Е. Дзялошинский доказали, что линейный сверхпроводник Литтла может существовать. Но большинство физиков считали, что создать двумерный плёночный сверхпроводник, о котором писал Гинзбург, легче, и именно он откроет эру сверхпроводников из полимеров. Пока это была только теория. Учёные понимали — впереди много работы. Может быть, более перспективными окажутся не линейные полупроводники, а сверхпроводящие плёнки. Во всяком случае, теоретически «тёплый» сверхпроводник уже не казался монстром. Он стал целью, трудной, но реальной целью. Однако жизнь показала, что путь, указанный Литтлом и Гинзбургом, труден. И в конце концов цель была достигнута совершенно иным способом.

КВАЗИЧАСТИЦЫ

Путь к созданию высокотемпературных сверхпроводников оказался более длинным, чем думали оптимисты. Пока одни учёные прокладывали этот путь, другие расширяли наши знания о мире низких температур. И мы многое потеряем в понимании путей прогресса, если не познакомимся с некоторыми из этих работ.

Пожалуй, одна из самых впечатляющих находок в стране абсолютного нуля — квазичастицы. Как сказать о них? О частицах — протонах, нейтронах, электронах и так далее и так далее (число их всё время увеличивается!) — рассказать нетрудно. Они есть, они существуют. Каждая имеет свое лицо, свою биографию, у каждой есть паспорт, где указаны

и место жительства, и род занятий.

Но то, что учёные назвали компромиссным словом «квазичастицы», не частицы в обычном смысле. Это скорее явления, но явления очень специфические. Да, они, не настоящие частицы, оказывают влияние на окружающий мир, как настоящие. Как самые настоящие частицы, они участвуют в его жизни, взаимодействуют друг с другом. Они были названы квазичастицами, от латинского слова, означающего «якобы», «как бы».

Без этих чудо-частиц учёные не в состоянии справиться с задачей объяснения сложных законов, царящих в микромире, управляющих явлениями, протекающими в обычных телах.

И среди них одна из интереснейших — полярон. Эта квазичастица, обладающая рядом удивительных свойств, родилась в 1946 году под пером киевского физика-теоретика профессора С. И. Пекара. Теория поляронов разработана совместно Л. Д. Ландау и С. И. Пекаром.

Как за человеком в солнечный день движется его тень, так за электроном внутри кристаллической решётки движется облако поляризации, образованное его электрическим зарядом.

Встречные атомы, достигнутые облаком, поляризуются им, как бы связываются с электронами невидимыми нитями. И электрону эта связь с окружающими его атомами не обходится даром: он словно становится тяжелее — его масса увеличивается в шесть раз. Эту комбинацию электрона с окружающим его состоянием поляризации и назвали поляроном.

В теории такая комбинация электрона с его облаком поляризации казалась вполне ясной, обоснованной, реально существующей. Но как эту частицу-явление обнаружить, какими средствами подтвердить её существование? Без доказательства теория всегда остаётся под сомнением.

Полярон стал предметом пристального внимания физиков. Появились десятки исследований, посвящённых этой псевдочастице. Но в большинстве это были теоретические изыскания, так как ни одному физико-экспериментатору не удалось непосредственно наблюдать полярон в движении.

Иногда эта затея казалась безнадёжной. Стоит ли гоняться за тенью, призраком?

Но ленинградские учёные проявили упрямство. Они решили оттолкнуться от уже известных вещей. Итак, масса полярона в шесть раз больше массы обычного электрона. Если можно было бы непосредственно взвесить тот и другой, мы получили бы самое лучшее доказательство правильности теории. Но облако взвесить нельзя. Тогда, решили физики, надо проделать такой опыт, в котором масса электрона и полярона проявилась бы косвенным путём. Такой опыт вскоре был проделан.

Если поместить крупинки металла в сильное магнитное поле и воздействовать на них радиоволнами, электроны в металле начнут двигаться по окружности, черпая у радиоволн энергию. Электроны будут «танцевать» «по кругу в определённом ритме. А если на месте электронов окажутся поляроны? Они тяжелее и, очевидно, «затанцуют» по-другому.

Такая мысль и пришла в голову учёным. Они решили испытать полярон в аналогичном опыте.

Но прежде чем приступить к этому эксперименту, надо было устранить одно мешающее обстоятельство — тепловое хаотическое движение атомов кристалла. Ведь оно разрушает поляронное облако, сопровождающее электрон. Избавиться от этого препятствия помогла техника низких температур. Когда вещество было сильно охлаждено, удалось осуществить задуманный опыт и впервые обнаружить несомненное проявление движущегося полярона. Вот как это случилось.

ПОЛЯРОНЫ ЗАТАНЦЕВАЛИ!

На охоту за поляроном вышел доктор физико-математических наук Н. М. Рейнов в сопровождении молодых физиков: теоретика А. И. Губанова и экспериментатора Н.И. Кривко.

В качестве поля для охоты они избрали хорошо изученный кристалл закиси меди, а в качестве оружия — мощную технику сантиметровых радиоволн и огромных магнитных полей. Для того чтобы облегчить охоту, они решили вести её в сверхарктических условиях, погрузив кристалл закиси меди в жидкий гелий.

Можно представить себе, с каким волнением учёные приступили к опыту. Кристалл закиси меди погружён в криостат. Криостат заполнен жидким гелием. Движения атомов в кристалле ослабевают, они как бы замерзают, погружаются в зимнюю спячку. Кривко включает генератор радиоволн. Радиоволны легко проникают сквозь кристалл, практически не поглощаясь им. Затем он включает ток, проходящий через обмотку огромного электромагнита, и медленно увеличивает его силу. Магнитное поле постепенно увеличивается до 1000, 2000, 3000 эрстед...

Исследователи внимательно следят за приборами, готовясь уловить момент, когда мощность радиоволн резко упадёт. Это будет значить, что электроны в кристалле затанцевали, отобрав энергию, нужную для своего танца, у радиоволн.

Напряжённость магнитного поля достигла уже 3500 эрстед, но поглощения радиоволн в кристалле всё ещё не наблюдается.

Если бы при этом присутствовал посторонний наблюдатель, знающий лишь, что поглощение, связанное с танцем электронов, должно наблюдаться при поле около 2300 эрстед, он пришёл бы в волнение. Но учёные спокойны. Они вновь уменьшают ток в обмотке электромагнита, и магнитное поле убывает до нуля. Это был контрольный опыт: при температуре $4,2^\circ$ выше абсолютного нуля в закиси меди слишком мало свободных электронов, чтобы можно было наблюдать поглощаемую ими энергию. Их танец не заметен.

Учёные зажигают яркую электрическую лампу и при помощи системы линз направляют её свет сквозь стенки стеклянных сосудов и сквозь жидкий гелий на кристалл закиси меди. Лучи света выбивают из атомов кристалла электроны, которые начинают беспорядочно двигаться внутри него. Теория предсказывает, что при этом должны возникать и таинственные поляроны.

Разговоры стихают. Все настораживаются. Вновь плавно возрастает сила тока в обмотке электромагнита, и вдруг... Когда поле достигает 2350 эрстед, приборы показывают сильное поглощение радиоволн.

Губанов быстро проводит расчёт. Ему ясно, что это заплясали электроны, выбиваемые светом.

Ток в обмотке электромагнита продолжает возрастать. Теперь волнуются и учёные. Спокойны лишь приборы. Стрелка амперметра — указателя силы тока — медленно движется вправо. Сила тока непрерывно увеличивается. Но стрелка прибора, показывающего поглощение радиоволн, всё ещё неподвижна — поглощение прекратилось.

Медленно идёт время, медленно возрастает магнитное поле — 4000 эрстед, 5000... 10 000. Почему же нет поглощения? 15 000 эрстед... 17... 18... 19...

Внимание! Теория говорит: ожидай здесь! Если в закиси меди есть поляроны, поглощение радиоволн близко. 19 500 эрстед... Победа! Поглощение радиоволн возросло, плавно увеличилось и, достигнув максимума при 19 600 эрстед, вновь уменьшилось.

Так был впервые обнаружен подвижный полярон с массой, в 6 раз превышающей массу электрона. Но теория требовала продолжения опыта. И действительно, при 21 600 эрстед был обнаружен ещё один максимум поглощения радиоволн, соответствующий полярону, масса которого не в 6, а в 6,6 раза больше массы электрона.

Хотя учёные и дальше увеличивали силу тока, достигнув напряжённости магнитного поля огромной величины — в 30 000 эрстед, новых максимумов поглощения радиоволн не возникало.

Два максимума поглощения, наблюдавшиеся во время опыта, были вызваны двумя типами поляронов. Один из них был порождён электронами, другой, как это ни парадоксально, — отсутствием электронов, или, как говорят учёные, дырками. В соответствии с предсказанием теории массы обоих типов поляронов несколько различались.

Так, в Физико-техническом институте, в Ленинграде, в 1959 году впервые наблюдался движущийся полярон — квазичастица, дотоле скрывавшаяся от физиков-экспериментаторов.

Ещё раньше там же несколько иным способом, но тоже с помощью тонкого и сложного эксперимента в условиях низких температур изучались свойства другой, не менее своеобразной квазичастицы.

Речь идёт об экситоне, свойства которого предсказал видный советский физик Я. И. Френкель. Он предположил и подтвердил теоретическими расчётами, что атомы и ионы в кристаллической решётке в некоторых случаях, поглощая свет, переходят в особое возбуждённое состояние. Поглотив свет, атом, подобно заряженному ружью или натянутому луку, может длительное время сохранять избыточную энергию. Более того, строй атомов, образующих решётку кристалла, может по цепочке передавать друг другу эту энергию подобно тому, как если бы по шеренге солдат передавалось заряженное ружье. Так внутри кристалла от одного узла решётки к другому передаётся избыточный запас энергии — то, что было названо экситоном.

Если за поляроном учёные охотились пятнадцать лет, то экспериментальные поиски экситона отняли у них ненамного меньше времени. И здесь одним из камней преткновения была, во-первых, невозможность «опознать» экситон прямым путём, и, во-вторых, снова мешало тепловое движение атомов кристалла, которое нарушало регулярный процесс передачи экситона от атома к атому, усложняло его, мешало рассмотреть детали.

Только благодаря проведению сложного эксперимента в условиях сверхнизких температур, когда замирают атомы, учёные доказали, что и экситон Френкеля — реальное состояние молекул в кристалле.

...Вы идёте по лесу и не можете налюбоваться его летним нарядом, послушать весёлых птичьих песен. Вокруг всё цветёт, живёт, дышит, напоённое теплом.

А зимой, повторяя тот же маршрут на лыжах, вы находите не менее прекрасный, но совершенно другой мир. Поёживаются от холода деревья, одетые в пушистые снежные шапки. Там, где летом нежно журчал ручей, потрескивает сковавший его лед.

«Хорошо, красиво, — думаете вы, растирая озябшие руки, — но холодно...»

Есть на Земле места, где царит такой мороз, что человек, без предосторожности вдохнувший глоток воздуха, моментально застудит лёгкие. За минуты на таком морозе унты становятся твёрдыми, жидкое топливо становится вязким, железо делается хрупким, а обычная резина разваливается на мелкие куски...

Как люди могли не задуматься над причиной изменения привычных свойств веществ? Как могли не попытаться разузнать что-либо о законах, правящих в царстве Деда Мороза, о том, что может принести он в дар человеку не в призрачном мире сказки, а в реальной действительности?

А можно ли достичь абсолютного нуля? Можно ли отобрать от частиц вещества всю их тепловую энергию? Наука отвечает на этот вопрос отрицательно. Можно сколько угодно близко подойти к абсолютному нулю температуры, когда до него останутся лишь тысячные доли градуса, но достичь его невозможно. Причиной этому является неотъемлемое внутреннее движение, присущее материи. Это движение связано с запасами внутренней энергии, полностью уничтожить которые невозможно. Даже в самом пустом пространстве всегда присутствует энергия электромагнитных полей. А вследствие неизбежных связей, существующих между частицами и полями и между отдельными частицами, эти запасы энергии будут переходить в нулевую, остаточную энергию, препятствующую абсолютной неподвижности, а следовательно, и достижению абсолютного нуля температуры.

Достичь абсолютного нуля невозможно, но на пути к нему учёные уже, как вы знаете, встретились с рядом неожиданных, поразительных фактов. Несомненно, много замечательных открытий ещё лежит в неисследованных далях этого пути.

За последние десятилетия рухнула не одна крепость царства мороза. Образовалась целая область науки — физика низких температур. В середине нашего века мы стали свидетелями рождения физики сверхнизких температур. Так учёные называют область,

лежащую между десятой долей градуса и абсолютным нулём.

Многие лаборатории мира уже чувствуют себя как дома на этом абсолютном полюсе холода. Здесь особенно удобно исследовать тонкие особенности строения ядер, силы, приводящие к соединению атомов в причудливые конструкции решёток кристаллов, и многие явления, маскируемые тепловым движением материи.

Обнаружив новое явление, поначалу полное таинственности, экспериментаторы обычно не торопятся с выводами и с нетерпением ожидают, что же скажет по этому поводу теория. А бывает и так. Теория предсказывает новый эффект, новое явление, какое-то неожиданное свойство знакомого вещества, но эксперимент столь сложен и тонок, что проходит немало времени, прежде чем утверждения формул получают воплощение в жизни.

Сложная теория и тончайшая, ювелирная точность техники эксперимента — вот особенности этой области физики. Она обогащает не только наши знания о природе веществ, но уже даёт и практический выход.

Охота за тайнами низких температур в полном разгаре.

ПОЧЕМУ ВОЗНИКАЕТ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ?

На предыдущих страницах мы познакомились с историей сверхпроводимости. Замечательным открытием, порождённым извечной любознательностью человека.

«Что будет, если...» — подумал Каммерлинг-Оннес и погрузил сосудик с ртутью в жидкий гелий. И был вознаграждён. Он совершил одно из величайших открытий, обнаружил неведомое. Сверхпроводимость! Он заслуженно получил Нобелевскую премию, но около полувека никто не знал, почему и как вещество внезапно теряет электрическое сопротивление.

В 1935 году физик-теоретик Ф. Лондон предположил, что сверхпроводимость обусловлена квантовыми свойствами вещества. Так впервые была высказана мысль о том, что учёт квантовых закономерностей, управляющих процессами микромира, иногда определяет и закономерности явлений макромира, в которых участвуют большие коллективы микрочастиц. Он указал, что кусок металла в состоянии сверхпроводимости ведёт себя как огромная молекула. При обычных температурах электроны хаотически и независимо движутся внутри металла. При кратковременном присоединении к нему источника напряжения они приобретают дополнительное коллективное движение. Но оно быстро прекращается вследствие того, что каждый электрон взаимодействует с атомами металла независимо. Результатом является только небольшое нагревание куска металла из-за усиления хаотических тепловых колебаний.

При низкой температуре квантовые свойства вещества допускают объединения электронов в общий коллектив. При этом для отдельного электрона, входящего в коллектив, изменение движения, вызванное его индивидуальным взаимодействием с отдельным атомом, невозможно. А весь коллектив «не реагирует» на такое «индивидуальное» взаимодействие. Здесь входит в действие принцип, действующий в разнообразных ситуациях: в единении сила, в разобщённости слабость.

Фриц Лондон и его брат Гейнц придумали формулы, описывающие главные особенности сверхпроводимости, обусловленной коллективным состоянием электронов. Затем они изучили взаимосвязь между сверхпроводимостью и магнитным полем. Сумели применить сверхпроводимость для создания сильных магнитных полей. Но вопросы — почему и как возникает коллективное состояние электронов? — оставались без ответа. Итог этому раннему периоду в понимании явления сверхпроводимости подвели в 1950 году Гинзбург и Ландау. Они обобщили теорию братьев Лондонов и создали эффективную феноменологическую (описательную) теорию, объясняющую сверхпроводимость как сверхтекучий поток электронов в веществе.

Первый шаг к пониманию деталей, приводящих к возникновению сверхпроводимости, сделал в 1956 году американский физик Л. Купер. Возможно, его подвели к этому идеи

советского физика И. Е. Тамма, предположившего, что между двумя одинаковыми частицами может возникнуть притяжение, если они обмениваются между собой третьей частицей. Наглядной иллюстрацией (не имеющей реальной общности с явлениями микромира) могут служить два человека, по очереди кидающие друг другу мяч. Первый кинул — второй поймал. Второй кинул — первый поймал. Издали, когда мяч не виден, создаётся впечатление, что на этих людей действуют какие-то силы, не дающие им далеко отойти друг от друга и мешающие сблизиться вплотную.

Тамм хотел объяснить на этом примере, как возникают силы, удерживающие ядерные частицы внутри ядра, отведя роль «мяча» электрону. Однако расчёт показал, что обмен электронами не связан с силами, действующими в ядре.

В 1935 году японский физик Х. Юкава сделал смелый шаг. Он предположил, что ядерные частицы обмениваются не электронами, а другими частицами, примерно в 200 раз более тяжёлыми, чем электрон. Но в то время такие частицы были неизвестны науке. Цифра «200» возникла из требования, чтобы теория соответствовала результатам опыта. Недостаток места не позволяет рассказать здесь увлекательную историю открытия мезона (так назвал Юкава свою гипотетическую частицу). Говоря коротко, первой была открыта частица с массой, примерно соответствующей предсказанию Юкавы, но, как оказалось впоследствии, не имевшая отношения к ядерным силам. Позже мезон Юкавы был обнаружен английским физиком С. Ф. Пауэллом.

Купер предположил, что электроны, участвующие в образовании электрического тока в металлах, тоже действуют по описанной нами схеме: они тоже могут обмениваться между собой своеобразным мячом. Это фононы — кванты звука. Это не частицы, а квазичастицы, вошедшие в науку, когда физики начали углублять теорию распространения звука в кристаллах. Для этого пришлось обратиться к квантовой физике, а она к тому времени установила, что частицы микромира ведут себя в различных опытах то как волны, то как частицы.

В кристаллах, в том числе и в металлах, фононы тесно связаны с колебаниями атомов, образующих кристалл. Эти колебания, как ещё в 1912 году показал немецкий физик П. Дебай, порождают в кристаллах целый набор волн, напоминающих звуковые волны.

Фононы связаны с волнами, реально существующими в кристаллах, подобно тому, как кванты света — фотоны — связаны со световыми волнами. Фононы как бы сигнализируют о колебаниях атомов кристалла вокруг положения равновесия. Фононы могут взаимодействовать с атомами, образующими решётку кристалла, и между собой. Таким образом возникают многообразные явления в кристаллах.

Купер показал, что между двумя электронами, обменивающимися между собой фононами, возникают особые силы притяжения. Он предположил, что при очень низких температурах, когда тепловые движения слабы, силы, возникающие между электронами при обмене фононами, могут пересилить взаимное отталкивание одноимённых отрицательных зарядов электронов, и электроны объединятся в пары. Но они не могут слиться между собой, как не могут сблизиться вплотную люди, играющие мячом. Переходя от аналогии к существу дела, следует учесть, что силы электростатического отталкивания одноимённых зарядов электронов, чрезвычайно быстро растущие при уменьшении расстояния между электронами, уравнивают силы притяжения, возникающие при обмене фононами.

Равновесие достигается уже при сравнительно больших расстояниях между электронами, объединившимися в пару. (Это играет большую роль в явлении сверхпроводимости.)

Далее, рассуждал Купер, нужно принять во внимание, что в металле имеется множество электронов, участвующих в передаче электрического тока. При достаточно низкой температуре все они объединятся в пары.

Если хаотические тепловые движения атомов кристалла столь малы, что они не разрушают пары связанных между собой электронов, то эти пары не замечают атомов, образующих кристалл. Они единым потоком перемещаются внутри кристалла, не ощущая

сопротивления, испытываемого одиночными электронами. В этом явлении неожиданно возникает общность и аналогия сверхпроводимости и сверхтекучести.

Совокупность куперовских пар (так учёные называют пары электронов, объединённых между собой в результате обмена фононами) перемещается внутри металла подобно тому, как сверхтекучая жидкость протекает через мельчайшие отверстия сита. В этом состоит упомянутая выше глубокая общность сверхпроводимости и сверхтекучести. И то и другое описывает перемещение потока частиц при сверхнизких температурах. И то и другое разрушается под влиянием нагревания выше некоторой температуры, вполне определённой для каждого вещества.

Но есть и отличия: сверхтекучесть — очень редкое явление. Оно существует только у жидкого гелия, у гелия-4 при температуре ниже 2,17К и у гелия-3 при температуре ниже 0,026К, причём гелий-3 становится сверхтекучим только при высоком давлении — оно более чем в 34 раза превышает нормальное давление атмосферы. Напротив, сверхпроводимость наблюдается во многих металлах, сплавах и соединениях, причём для каждого существует своя температура, при которой они становятся сверхпроводниками.

Только осознав это, учёные вспомнили, что ещё в 1947 году Н. Н. Боголюбов утверждал, что при низких температурах спектр коллектива микрочастиц обладает теми же свойствами, что и спектр сверхтекучего гелия.

В 1957 году А. А. Абрикосов, получивший вместе с Гинзбургом в 2003 году Нобелевскую премию, опубликовал теорию сверхпроводимости, описывающую поведение особого класса сверхпроводников, впервые обнаруженных за двадцать лет до того Л. В. Шубниковым. Опираясь на теорию Гинзбурга — Ландау, он предсказал, что сверхпроводящее состояние этих материалов объясняется возникновением в них сверхпроводящих «нитей», каждая из которых несёт один квант потока энергии. В то время работа Абрикосова не привлекла внимания учёных, но теперь она является основой для понимания свойств этого класса сверхпроводников.

В том же году (вскоре после того как Купер высказал мысль о том, что в сверхпроводниках электроны объединяются в пары) группа американских физиков, Дж. Бардин, Л. Купер и Дж. Шриффер, на основе представлений о куперовских парах построила теорию сверхпроводимости, позволившую производить вычисление многих характеристик сверхпроводящих металлов и сплавов.

Главной изюминкой в их теории было объяснение «механизма», возникающего в металлах при низких температурах и заставляющего электроны объединяться в пары. Известно, что в пустоте электроны, имеющие отрицательный заряд, отталкиваются один от другого. Двигаясь в металлах, каждый электрон притягивает положительно заряженные ионы, образующие кристаллическую решётку металла, и притягивается к ним. Это приводит к деформации решётки, а у движущегося электрона возникает «хвост» положительного заряда. Этот хвост исчезает не сразу и может притягивать другой электрон. Таким образом, в металле наряду с обычным взаимным отталкиванием электронов возникает экзотическое явление — взаимное притяжение электронов за счёт смещения ионов решётки.

Теперь можно уточнить аналогию с игрой в мяч. Фононы, которыми обменивается каждая пара электронов, порождаются колебаниями атомов металла. В игру, в обмен фононами между каждой парой электронов, одновременно вовлечено множество атомов металла.

Сверхпроводимость возникает, когда взаимное притяжение электронов, обусловленное их взаимодействием с колебаниями решётки, превзойдёт по величине обычное отталкивание их зарядов.

Формулы, выражающие эту простую картину, объясняют, почему сверхпроводимость возникает только при очень низких температурах. Они объясняют и другие явления, показывают, за счёт чего температура, при которой данный металл переходит в сверхпроводящее состояние, различна для различных металлов, почему сверхпроводимость с трудом возникает в лучших проводниках, таких, как серебро и медь, но легко наблюдается в

плохих проводниках, например в олове и свинце.

Формулы говорят, что высокая проводимость серебра и меди обеспечивается тем, что в них электроны слабо взаимодействуют с решёткой. При этом энергия, придаваемая электронам электрическим полем, почти не передаётся кристаллической решётке, не приводит к нагреванию металла. Но слабость взаимодействия электронов с атомами решётки металла приводит к тому, что «хвост» положительного заряда слаб и не может побороть действия теплового движения решётки даже при очень низких температурах. Именно поэтому хорошие проводники с трудом становятся сверхпроводниками.

Формулы говорят о том, как отдельные куперовские пары образуют сверхтекучую электронную жидкость — коллектив куперовских пар, движущийся внутри металла без затраты энергии. Формулы показывают, что в сверхпроводниках равновесие между притяжением и отталкиванием в каждой куперовской паре достигается уже на сравнительно больших расстояниях между электронами, образующими пару. Среднее расстояние между электронами, входящими в пару, равно нескольким тысячам расстояний между атомами металла, образующими его решётку. Поэтому каждая пара обладает объёмом, в котором одновременно находятся миллиарды других электронных пар. Вследствие этого отдельные пары оказываются неразличимыми и одновременно связанными в единый коллектив. Так возникает тот макроскопический коллектив, о существовании которого догадался Лондон. Пример удивительной прозорливости, зрелости и глубокой интуиции. Пример того, как размышляет настоящий физик.

Годом позже Боголюбов на основе своей прежней работы, в которой были описаны свойства сверхтекучести, с учётом представления о куперовских парах, построил теорию сверхпроводимости, более сложную, но более корректную с математической точки зрения. Независимость и математическую ясность теории Боголюбова подчёркивал Бардин.

Но Бардин указывал и на ограниченность теории. В 1957 году в одной из своих статей он отмечает, что множество физиков приложили усилия к совершенствованию теории сверхпроводимости.

Хотя в то время теория и не достигла уровня, достаточного для предсказания пути, по которому должны были двигаться учёные, чтобы получить материалы с более высокой температурой возникновения сверхпроводимости, она позволяла разобраться в деталях явления и делать предсказания. А это — высшая цель каждой новой теории.

«ВПЕРВЫЕ ПОЧУВСТВОВАЛ СЕБЯ ФИЗИКОМ...»

В 1973 году Нобелевская премия по физике была присуждена трём учёным: Лео Исаки, Ивару Гиаверу и Бриану Джозефсону. Все они изучали туннельный эффект, и все открыли путь к важным практическим применениям этого эффекта. Первый из них изучал туннельный эффект в полупроводниках и изобрёл транзистор, общеизвестный теперь миниатюрный прибор, заменивший в большинстве случаев электронную лампу.

Прежде чем идти дальше, следует немного разобраться в сути туннельного эффекта.

Для того чтобы железная дорога пересекла горный хребет, существует два способа. Можно проложить рельсы через хребет, а можно построить туннель под этим хребтом. В первом случае для преодоления подъёма локомотив должен затратить энергию, пропорциональную высоте хребта и массе поезда. Туннель экономит эту энергию.

Так обстоят дела в макромире, где царствуют законы классической физики.

В микромире, мире атомов и элементарных частиц, эти законы теряют силу, и их место занимают другие законы квантовой физики. Законы поразительные и в каждом частном проявлении неожиданные и противоречащие всему опыту наблюдений обычного мира.

Для поезда надо строить туннель. Но микрочастицы, подходящие к препятствию, даже те, что не обладают энергией, достаточной для его преодоления, имеют тем не менее определённую вероятность пройти сквозь него даже при отсутствии какого-либо подобия туннеля.

Слово «вероятность» имеет при этом смысл — «могут преодолеть препятствие после многих неудачных попыток». В большинстве случаев, происходящих в макромире, частица,

ударяющаяся о барьер, отражается от него или застревает в нём, как пуля в толстом слое песка. Но в микромире изредка происходит процесс, совершенно немыслимый с точки зрения классической физики: частица, подходя к барьеру, исчезает, а с другой стороны барьера возникает, рождается (тут невозможно найти точное слово) такая же частица, имеющая совершенно ту же скорость, которой обладала исчезнувшая частица.

Физики называют это туннельным переходом. Он совершается без какой-либо затраты энергии. Внутри барьера не остаётся никакого туннеля, никакого следа. Процесс исчезновения и рождения частицы происходит вне барьера. Таково свойство микромира. К этому нужно привыкнуть!

Это не чудо, а реальный процесс. Его вероятность уменьшается, если энергия, нужная для преодоления барьера классическим путём — путём подъёма на барьер, увеличивается.

После этого отступления давайте обратимся к рассказу Гиавера, который он адресовал тем, кто присутствовал при вручении ему Нобелевской премии.

Он сказал: «В одной из газет Осло я недавно обнаружил следующий заголовок — "Мастер по бильярду и бриджу, едва не провалившийся на экзамене по физике, получает Нобелевскую премию". Речь шла о моих студенческих годах в Трондхейме. Должен сознаться, что это сообщение не лишено оснований, поэтому я не только не буду пытаться делать вид, что этого не было, но признаюсь также, что я чуть не провалился и по математике. В те дни меня не очень интересовали инженерное дело и учёба вообще».

Гиавер всё же окончил университет, но в поисках работы ему пришлось покинуть Норвегию. Он поступил на работу в канадскую фирму «Дженерал электрик». Ему предложили пройти трёхгодичный курс инженерного дела и прикладной математики.

«На этот раз, — сказал он, — я понял, что к делу надо относиться серьёзно, поскольку это, возможно, мой последний шанс...» Ему поручили работать с тонкими плёнками, о которых он не имел понятия. Но ему повезло. Он был связан по работе с Д. Фишером. Тот тоже начинал как инженер, но заинтересовался теоретической физикой. От Фишера он услышал о туннельных переходах, возможных в таких плёнках.

В это время Гиавер только одолевал квантовую механику. «Поэтому, — сказал он, — представление о том, что частица может проходить сквозь барьер, казалось мне чем-то удивительным. Для инженера весьма странно звучит утверждение, что если вы будете бросать теннисный мяч в стену достаточное число раз, то он в конце концов пройдет сквозь стену, не разрушив ее и не разрушившись сам». «Да, — продолжал он, — трудный путь лежит к Нобелевской премии! Фокус, конечно, состоит в том, чтобы использовать очень маленькие мячи и взять их много». Точнее, скажем мы, это должны быть не маленькие мячи, а микрочастицы, например электроны, подчиняющиеся законам квантовой физики.

Гиавер и Фишер начали изучать процесс перехода электронов через энергетический барьер. Это была трудная задача. Первые опыты кончились неудачей. Но «в конце концов мы оба понимали кое-что в технике».

Они попытались реализовать энергетический барьер при помощи тончайшей полимерной плёнки, разделяющей два металла. «Однако в таких плёнках неизбежно имеются маленькие дырочки...» Эти микроскопические, но реальные туннели препятствовали опытам. Друзья решили изготавливать изолирующие плёнки, испаряя металлы в вакууме и конденсируя их пары на удобных подложках. Нанеся первый слой, они окисляли его поверхность. При этом возникал тонкий изолирующий слой окисла. Затем напыливали второй слой металла. Теперь опыты стали воспроизводимыми. Всё шло согласно квантовой теории, с которой Гиавер уже познакомился. Он знал, что электроны иногда ведут себя не как частицы, а как волны, и свыкся с тем, что они способны проходить сквозь энергетический барьер.

Дни шли за днями, заполненными увлекательными опытами.

«В то время мне казалось странным, — вспоминал Гиавер, — получать зарплату, занимаясь тем, что я считал просто забавой, и совесть моя была неспокойна. Но, как и в случае с изучением квантовой механики, вы постепенно привыкаете, так что теперь я

отстаиваю противоположную точку зрения: мы не должны жалеть денег на то, чтобы люди занимались чистыми исследованиями».

Продолжая эксперименты, Гиавер изучал физику и дошёл до сверхпроводимости.

«Ясное дело, — сказал он, — я не поверил, что сопротивление падает в точности до нуля, но что действительно привлекло мое внимание, так это упоминание об энергетической щели в сверхпроводнике. Эта щель была одним из центральных пунктов новой теории Бардина, Купера, Шриффера».

Энергетическая щель, о которой говорил Гиавер, это частный случай энергетического барьера. В металлах энергетической щелью называют разность между энергией электронов, остающихся в составе атомов (точнее, в составе ионов), образующих решётку металла, и энергией, присущей электронам, участвующим в образовании электрического тока сквозь этот металл. Энергетическая щель — это совокупность значений энергии, которую не может иметь ни один электрон в металле. Поэтому, увеличивая энергию электрона, невозможно плавно перевести его через энергетическую щель. Но в соответствии с квантовыми закономерностями он может преодолеть энергетическую щель посредством туннельного перехода.

«Я никогда не делал экспериментов, где бы требовались низкие температуры и жидкий гелий — они казались мне чересчур сложными. Однако, — продолжал Гиавер, — чем хорошо работать в большой лаборатории?.. Вокруг вас всегда имеются люди, хорошо осведомлённые почти в любой области».

Гиавер изготовил плёнку из алюминия, дал её поверхности окислиться, нанёс на неё плёнку свинца, а затем прикрепил к обеим плёнкам тонкие проводники.

Пройдя по коридору, чтобы посоветоваться с У. де Сорба, Гиавер сделал небольшую установку для работы с жидким гелием, поместил в неё свои плёнки, вывел проводники наружу и залил в установку жидкий гелий. Вспомним, что температура жидкого гелия равна 4,2К. Неудивительно, что плёнка свинца стала сверхпроводящей. Ведь она становится сверхпроводящей уже при более высокой температуре +7,2К. Плёнка алюминия осталась в обычном состоянии, так как алюминий становится сверхпроводником при более низкой температуре -1,2К.

После ряда неудачных попыток (плёнки окисла получались слишком толстыми) ему удалось достигнуть успеха — создать плёнки толщиной в 30S10-6 сантиметров. При этом уже можно было надеяться зафиксировать прохождение электронов сквозь энергетический барьер.

Вот что говорит учёный о своей работе: «Для меня самый волнующий момент в любом эксперименте наступает как раз перед тем, как я должен узнать, является ли определённая идея правильной или нет? Таким образом, даже неудача волнует, и должен сознаться, что большинство моих идей были, конечно, неправильными. Но на этот раз идея работала! Это было потрясающе! Я немедленно повторил свой опыт с другим образцом — тот же результат! Ещё один образец — и опять тот же результат! Всё говорило о том, что я прав! Но как убедиться окончательно?»

Следовало проверить, как влияет на результат магнитное поле. Гиавер знал, что сильное магнитное поле разрушает сверхпроводимость. Теперь он прошёл через всё здание, чтобы прибегнуть к помощи И. Жакобса, изучавшего магнетизм при низких температурах. В магнитном поле, превышающем 2400 гаусс, эффект исчезал.

Чем ещё хорошо работать в большом коллективе? — продолжим мысль Гиавера. Кто-нибудь объяснит тебе, что же ты сделал. И на этот раз нашёлся сотрудник — Ч. Бин, который объяснил Гиаверу всё значение его экспериментов. И распространил это по всей лаборатории.

«Помню, меня беспокоил тот факт, что величина щели, которую я измерил, не совсем согласовывалась с более ранними измерениями. Бин успокоил меня, сказав, что отныне другие люди должны будут беспокоиться о том, чтобы их измерения согласовывались с моими, что мой эксперимент станет эталоном, — я был польщён и впервые почувствовал

себя физиком».

Обдумывая свои опыты, Гиавер пришёл к выводу, что туннельный переход между двумя сверхпроводниками должен обладать ещё более интересными свойствами.

Теперь ему пришлось перейти в соседнее здание, где работали при ещё более низких температурах. Там он восстановил старую установку, заброшенную, когда появились более совершенные. Она была вполне пригодна для его целей.

Идея сработала сразу. Как только при температуре 1,2К превратился в сверхпроводник не только свинец, но и алюминий, стало ясно, что при этой температуре комбинация «сверхпроводник — диэлектрик — сверхпроводник» может служить основой для создания электронных устройств.

Гиавер продолжал интенсивно работать, привлекая к экспериментам то одного, то другого сотрудника.

После многих экспериментов, подтверждавших теорию Бардина, Купера и Шриффера, возникло неожиданное явление. На кривой (на экспериментальном графике) появились изгибы, не совместимые с этой теорией.

«Мы были счастливы потому, что всё, что давали до сих пор туннельные эксперименты, полностью подтверждало теорию БКШ (так физики для краткости называют теорию Бардина, Купера и Шриффера. — И. Р.), а это совсем не то, что хотелось бы экспериментатору. Всякий экспериментатор мечтает показать, что общепризнанная теория неправильна, и в данном случае мы попали-таки в слабое место теории... Однако, как это часто случается, теоретики обратили наши результаты против нас. Они ловко использовали наличие изгибов на кривых, соответствующим образом обобщили теорию и доказали, что теория БКШ в действительности является правильной».

Любовь к переменам не изменила Гиаверу и на сей раз. Посчитав, что туннелирование в сверхпроводниках понято в основной своей части, Гиавер заскучал и перешёл к другим исследованиям.

«Затем кто-то познакомил меня с короткой заметкой Б. Джозефсона в журнале “Физикс леттерс” и спросил, что я думаю по этому поводу? Признаюсь, я не понял этой работы, но вскоре мне представился случай познакомиться с Джозефсоном в Кембридже, и эта встреча произвела на меня огромное впечатление. Один из эффектов, предсказанных Джозефсоном, состоял в том, что через барьер из окисла может проходить сверхпроводящий ток без падения напряжения, если металлы по обе стороны от барьера являются сверхпроводящими; это так называемый стационарный эффект Джозефсона.

Мы наблюдали этот эффект много раз... Однако у меня было уже готово объяснение этого явления — сверхпроводящий ток шёл по металлической закоротке или мостику. (Имеется в виду реальный туннель, металлический мостик, проходящий через слой окисла и соединяющий между собой оба сверхпроводника. — И.Р.) Таким образом, все образцы, которые показывали эффект Джозефсона, мы отбрасывали как имевшие закоротки. На этот раз я оказался слишком простодушен! С тех пор меня часто спрашивали, не ругал ли я себя за то, что проглядел этот эффект. Я твёрдо отвечаю “нет”, так как, чтобы сделать экспериментальное открытие, мало наблюдать какой-то эффект, нужно также понимать смысл и значение этого наблюдения, а в данном случае я и близко не подошёл к этому. Даже после того как я узнал о стационарном эффекте Джозефсона, мне казалось, что его нельзя отличить от эффекта закороток, поэтому я ошибочно считал, что только так называемый нестационарный эффект Джозефсона подтвердит или опровергнет теорию Джозефсона».

Мы ещё раз нашли подтверждение тому, что «открыть» не значит «увидеть», а значит — «понять»...

В заключительной части своего рассказа Гиавер сказал: «Я считаю, что дорога к научному открытию редко бывает прямой и что для удачи не обязательно быть большим специалистом. Более того, я убеждён, что часто новичок в данной области имеет больше шансов именно потому, что он невежда и не знает всех тех сложных причин, по которым данный эксперимент не следует ставить».

В других выражениях эту мысль ранее высказывал Эйнштейн.

СТУДЕНТ — «НЕУДАЧНИК»

В 1962 году Бриан Д. Джозефсон, студент-дипломник Кембриджского университета, изучая теорию сверхпроводимости, пришёл к удивительному выводу. Общеизвестная теория БКШ выбрала именно его, чтобы сказать ему: если два сверхпроводника разделены тонким диэлектрическим (изоляционным) слоем, то через этот непроводящий слой возможен туннельный переход. Удивительный туннельный переход, через который может протекать электрический ток, даже если к нему не приложено электрическое напряжение!

Ток без напряжения! Почему это так поразило Джозефсона? Ток, сколь угодно долго циркулирующий внутри замкнутого, не имеющего разрывов сверхпроводника без напряжения, приложенного к этому сверхпроводнику, был открыт Камерлинг-Оннесом ещё в 1911 году. Это стало привычным и уже никого не удивляло. При температуре жидкого гелия возможны всяческие чудеса. Много позже теория БКШ объяснила, как это происходит. Стало понятным: электроны, объединившись в пары и образовав коллектив, не испытывают сопротивления своему движению через сверхпроводник. Если нет сопротивления, то ток течёт даже в том случае, если не приложено напряжение.

Но ведь Джозефсон в своей работе натолкнулся на другой случай: на пути тока в сверхпроводнике имелось препятствие — диэлектрик, а каждый знает, что ток не может проходить сквозь диэлектрик.

Почему же диэлектрик в опыте Джозефсона перестал быть изолятором — препятствием для электрического тока?

Теория БКШ, объяснявшая многие тонкости сверхпроводимости, здесь скромно молчала.

В это время Кэмбридж посетил профессор П. В. Андерсон. В своих лекциях он говорил о том, что в сверхпроводниках нарушается обычная симметрия, характерная для электронов в металлах, находящихся в нормальном состоянии. Андерсон обратил внимание слушателей на теорию сверхпроводящего состояния, построенную Л. П. Горьковым, одним из учеников Ландау. В его теории содержится эта же идея.

Идея нарушенной симметрии настолько захватила Джозефсона, что он всё время спрашивал себя, можно ли каким-нибудь образом наблюдать её экспериментально.

Ответ, по существу, основывался на том, что часть из куперовских пар, совокупность которых образует сверхпроводящий ток, может проходить через достаточно тонкий слой диэлектрика.

Это, по существу, соответствует квантовому туннельному переходу частиц через энергетический барьер. При таком переходе частицы не обладают энергией, достаточной для того, чтобы они могли «перевалить» через барьер. Но для каждой из них существует определённая вероятность исчезнуть с одной стороны барьера и одновременно возникнуть с другой его стороны. Это и есть механизм прохождения куперовских пар сквозь энергетический барьер. Конечно, никакого реального проникновения частиц сквозь диэлектрик не происходит. В этом случае реального туннеля не возникает.

Этот эффект — проникновение куперовских пар сквозь потенциальный барьер, образованный тонким диэлектрическим слоем, разделяющим два сверхпроводника, — называют стационарным эффектом Джозефсона.

Стационарный эффект Джозефсона возможен при одном, но жёстком, ограничении. Стационарный джозефсоновский ток может быть только очень слабым и не должен превышать определённого — критического — значения.

Руководитель Джозефсона, профессор Пиггард, предложил ему попытаться обнаружить туннельный сверхпроводящий ток экспериментально. Результат был отрицательным. Тогда профессор Пиггард провёл расчёты, показавшие ему, что вероятность того, что два электрона могут одновременно туннелировать через изолирующий барьер, столь мала, что не приведёт

к наблюдаемым эффектам. Он ошибся потому, что провёл расчёт для двух независимых электронов, а его ученик говорил о куперовской паре электронов. Ведь, образуя куперовскую пару, электроны ведут себя как одна частица, проходящая сквозь барьер, как единое целое.

Однако вскоре Андерсон понял причину неудачи эксперимента Джозефсона. Оказывается, шумы установки, предназначенной для измерения эффекта, были недостаточными, чтобы в образцах, исследованных Джозефсоном, туннельный ток превышал критическое значение, при котором эффект исчезал. Вскоре Андерсон и Роувелл обнаружили стационарный эффект Джозефсона, проведя измерения на образцах с малым сопротивлением (в них мал мешающий шум).

Джозефсон задумался над тем, что произойдёт, если на туннельный переход наложить сразу два напряжения: постоянное и переменное? Он пришёл к выводу, что при этом постоянный сверхпроводящий ток будет изменяться скачками — ступеньками. Он будет следовать за частотой переменного тока. А частота, изменяясь, примет определённые значения, зависящие от отношения постоянной Планка к заряду электрона. Это было неожиданным предсказанием. «Смущающим обстоятельством во всей этой теории, — говорит Джозефсон, — было то, что предсказанные эффекты были слишком велики».

В течение некоторого времени имелись только косвенные доказательства существования предсказанного Джозефсоном переменного сверхпроводящего тока. Он сам пытался его обнаружить, но неудачно. Причина неудачи осталась неясной.

Этот эксперимент должен был стать второй главой дипломной работы Джозефсона, предполагаемое название которой было таким: «Два неудачных эксперимента по электронному туннелированию между сверхпроводниками». В первой главе должна была быть описана его неудачная попытка обнаружить предсказанный им стационарный эффект.

Гиаверу же удалось обнаружить переменный сверхпроводящий ток, используя метод, аналогичный тому, которым неудачно воспользовался сам Джозефсон. В том же 1965 году появилась статья советских учёных И. К. Янсона, В. М. Свистунова, И. М. Дмитриенко, сумевших наблюдать излучение сверхпроводящего тока при помощи обычного детектора.

Так, в ходе выполнения дипломной работы студент Джозефсон, используя всем известную теорию, сумел сделать на её основе два удивительных предсказания, не замеченных авторами теории и их последователями, и дважды потерпел неудачу при выполнении экспериментов.

Повторим эти предсказания. Первое: электрический ток может без сопротивления протекать не только через сверхпроводники, но и через разделяющий их тонкий слой диэлектрика. Это явление называют стационарным эффектом Джозефсона.

Второе: если между двумя сверхпроводниками существует тонкий промежуток, заполненный диэлектриком, то из этого промежутка могут излучаться электромагнитные волны, что указывает на присутствие там переменного тока. Это явление называют нестационарным эффектом Джозефсона. Эффекты Джозефсона стали не только большим вкладом в науку, ибо они впервые позволили наблюдать квантовые эффекты в макром мире, но открыли возможность создания новых приборов, например чувствительных детекторов радиоволн, сверхчувствительных измерителей магнитного поля. Они явились основой нового естественного эталона единицы напряжения — вольта и новых методов определения точного значения фундаментальных постоянных, так как частота электромагнитного излучения, возникающего при нестационарном эффекте Джозефсона, тесно связана с отношением постоянной Планка к заряду электрона. Так студент-неудачник стал лауреатом Нобелевской премии.

НЕ БОГИ ГОРШКИ ОБЖИГАЮТ!

Горшки обжигают люди. Они начали обжигать глиняные горшки в глубокой древности. Много позже на смену рыжей глине, лежащей под ногами почти повсюду, пришли редкостные светлые глины. Ещё позже мастера стали обжигать посуду, изготовленную из

каолина — белой глины. Так появился фарфор.

И вновь прошли века. И наступил век электричества. И из белой глины начали делать изоляторы, чтобы крепить на них электрические провода. И в обиход вошло новое слово — керамика.

Керамика — обобщённое название разнообразных материалов, изготавливаемых из природных окислов металлов или их смесей путём формования и последующего обжига. Обжиг придаёт керамике прочность. Если изделие из керамики разбить, то скол будет иметь характерную мелкокристаллическую структуру.

До того как человечество вступило в эру пластмасс, керамика была лучшим из диэлектриков, материалов, обладающих большим сопротивлением электрическому току, наиболее надёжным изолятором, практически не пропускающим сквозь себя электрический ток.

Возникла целая наука, позволившая сделать хрупкую керамику ударопрочной.

Ещё позже твёрдость и жаропрочность керамики, способной выдерживать механические нагрузки и удары, сделали её одним из лучших конструктивных материалов, вытесняющих металл в двигателях внутреннего сгорания, в турбинах, в космической технике.

В начале семидесятых годов керамики преподнесли учёным новый сюрприз. Обнаружились керамики — плохие изоляторы, а затем и керамики, способные проводить электрический ток. Металлические керамики!

Объединились два свойства, казавшиеся несоединимыми! Эти керамики не имеют ничего общего с металлокерамикой, материалом, который изготавливается из металлического порошка путём прессования при высокой температуре. Новые, электропроводящие керамики получают обжигом порошков, приготовленных из комбинации некоторых окислов, каждый из которых является диэлектриком.

Общеизвестно, что лучшими проводниками электрического тока являются чистые металлы — серебро, медь, алюминий.

Классическая физика объясняла электропроводность металла тем, что электроны, входящие в состав атомов металлов, разделяются на две части. Большая часть прочно связана с атомами и не может перемещаться внутри металла. Остальные электроны способны свободно перемещаться внутри атома металла. Их назвали электронами проводимости. Они образуют внутри металла своеобразный электронный газ. Под действием электрического напряжения, приложенного к металлу, электронный газ перемещается от отрицательного полюса к положительному. При этом электроны проводимости обтекают атомы металла, соударяются с ними, затрачивая на это часть своей энергии. Так возникает сопротивление электрическому току.

В веществах, не проводящих электрический ток (в диэлектриках), все электроны прочно связаны с атомами вещества и не могут перемещаться внутри него. Атомы в твёрдом теле способны лишь колебаться, каждый относительно своего положения равновесия. Электроны, входящие в состав атомов диэлектрика, участвуют в этих колебаниях, не покидая своего атома. Эта простая картина, наглядно объясняющая свойства проводников электрического тока и изоляторов — металлов и диэлектриков, не могла описать того, что диэлектрики в некоторых случаях (например, при нагревании) начинают проводить электрический ток. Положение ещё более усложнилось, когда было открыто существование материалов, не входящих ни в класс металлов, ни в класс диэлектриков. Их назвали полупроводниками.

Классическая физика должна была прибегать к искусственным предположениям лишь для того, чтобы объяснить, почему эти вещества при охлаждении становятся диэлектриками, а по мере повышения температуры приобретают способность проводить электрический ток. Но дальнейший нагрев не превращал их в металлы.

Позже пришлось признать, что существуют вещества, не превращающиеся в диэлектрики даже при приближении температуры к абсолютному нулю. Но они и при

нагревании не приобретали присущей металлам способности хорошо проводить электрический ток. Их назвали полуметаллами, но никакой ясности не возникло.

Распутать этот клубок, в котором сплелись многие нити, смогла лишь квантовая физика. Она показала, что внутри вещества электроны могут обладать весьма различной энергией. Если они обладают малой энергией, то прочно связаны с атомами. Нужно придать им большую дополнительную энергию, чтобы оторвать от атомов и сообщить способность мигрировать внутри вещества. Такие вещества не проводят электрический ток. Они также плохо передают тепло. Это диэлектрики.

В этом крайнем случае квантовая теория даёт то же самое, что и классическая теория, добавляя лишь менее существенные детали поведения вещества и позволяя разобраться в том, как это поведение зависит от внешних воздействий.

В другом крайнем случае, в металлах, электроны разделены на две части. Большинство из них обладает малой энергией, и они тесно связаны с атомами. Остальные обладают сравнительно большой энергией. Такой, что напряжение слабой батареи легко отрывает их от «родного» атома, и они свободно переходят от одного атома к другому, несмотря на то что энергия электрона меньше, чем энергия, связывающая его с ближайшим атомом. Это электроны проводимости, участвующие в передаче электрического тока. Эти же электроны участвуют в передаче тепла, обеспечивая металлам большую теплопроводность.

Новая картина близка к представлению классической физики о свободном электронном газе, но позволяет более подробно описать процесс взаимодействия электронов проводимости с атомами металла.

Квантовая теория легко объясняет отличие полупроводников от металлов, полуметаллов от диэлектриков. В полупроводниках большинство электронов обладает малой энергией, и потому они тесно связаны с атомами и не участвуют в передаче электрического тока. Наряду с ними в полупроводниках, при комнатной температуре, есть малая часть электронов, энергия которых не намного превышает энергию остальных электронов. Эти электроны могут перемещаться внутри полупроводника, обеспечивая им некоторую способность проводить электрический ток и теплоту.

Физики говорят, что между двумя группами электронов, точнее, между их энергиями существует запрещённая зона. Иногда её называют энергетической щелью. Почему? Да потому, что в полупроводнике нет электронов, энергия которых лежала бы внутри запрещённой зоны, внутри энергетической щели, отделяющей электроны, участвующие в образовании электрического тока от всех остальных. Мы уже встречались с «энергетической щелью», знакомясь с отрывками из нобелевской лекции Гиавера.

При нагревании не все электроны приобретают одинаковую дополнительную энергию. На долю одних приходятся меньшие порции энергии, и они остаются вблизи своих атомов. На долю других выпадает достаточное количество для того, чтобы они перескочили через запрещённую зону в зону проводимости. Так при нагревании увеличивается способность полупроводника пропускать электрический ток, их электрическое сопротивление ослабевает.

Более подробное рассмотрение движения электрона в кристалле показывает, что оно связано с движениями соседних атомов. В результате с движущимся электроном связана масса, превосходящая массу самого электрона. Имея это в виду, физики говорят, что электрон, движущийся в кристалле, является квазичастицей, то есть как бы частицей, масса которой зависит от свойств кристалла.

Так мы снова повстречались с квазичастицами, но не как с любопытной гипотезой или экзотической теорией. В этом случае они являются обыкновенными электронами проводимости, превратившимися в квазичастицы в результате взаимодействия с атомами кристалла.

РАЗБЕГ

В начале семидесятых годов физики и химики активно изучали окислы металлов, а

также керамики, получаемые обжигом комбинаций различных окислов. Были среди них и керамики, пропускавшие электрический ток.

В 1973 году впервые была изготовлена керамика, обладающая электропроводностью, типичной для металлов. Для того чтобы убедиться в этом, требовалось провести исследование зависимости электропроводности от температуры.

В 1979 году учёные Института общей и неорганической химии АН СССР (ИОНХ) изготовили керамики из окислов меди, редкоземельного элемента лантана и одного из щёлочноземельных элементов — кальция, бария или стронция. Они показали, что эти керамики имеют зависимость электропроводности от температуры, типичную для металлов.

В этом же году Ф. Стеглич и его сотрудники сообщили, что керамика, состоящая из окислов меди, кремния и церия, превращается в сверхпроводник при очень низкой температуре, равной 0,5К. Они показали, что в этой керамике электроны становятся квазичастицами с необычно большой массой, на два порядка превышающей массу свободного электрона.

Прошло пять лет, и к 1984 году Клод Мишель и Бернар Рави исследовали керамику (на основе окислов бария, лантана и меди) на её способность проводить ток от гелиевых температур до азотных и не обнаружили в ней сверхпроводимости. Только после открытия Беднорца и Мюллера стала ясна причина неудачи: они прокаливали свои образцы на воздухе, в присутствии кислорода! А для появления высокотемпературной сверхпроводимости следует прокалывать их так, чтобы в них возникал некоторый дефицит кислорода. Требуется и небольшой дефицит лантана.

Так это началось. Началось покорение высокотемпературной сверхпроводимости.

Вскоре оказалось, что соединения двух металлов, один из которых уран, а второй бериллий или платина, тоже становятся сверхпроводниками за счёт превращения части электронов в сверхтяжёлые квазичастицы. Но осталось неизвестным, как эти квазичастицы взаимодействуют при появлении сверхпроводимости.

Затем были обнаружены удивительные сверхпроводники с очень малой концентрацией свободных электронов.

Фурор произвело обнаружение предсказанных Гинзбургом и Литтлом тонких сверхпроводящих полимерных плёнок и волокон. Сперва это были плёнки и волокна из неорганических материалов, а затем плёнки и волокна из органических соединений.

Правда, все они становились сверхпроводниками при очень низких температурах.

Так происходило новое постепенное проникновение учёных в страну сверхпроводимости. При этом выяснилось, что далеко не все эксперименты могли быть объяснены на основе существующей теории сверхпроводимости, основанной на спаривании электронов, обменивающихся фононами при движении внутри решётки кристаллов.

Наконец наступил 1986 год, когда Беднорц и Мюллер обнаружили, что керамика из окислов меди, лантана и бария становится сверхпроводящей при неожиданно высокой температуре: 40К.

Эта керамика была подобна той, в которой сотрудники ИОНХ обнаружили металлическую электропроводность.

Можно представить себе, как они теперь сожалеют, что не продолжили свои исследования в области более низкой температуры. Ведь они упустили Нобелевскую премию, которую получили Беднорц и Мюллер за беспрецедентный скачок к высокотемпературной сверхпроводимости.

Появление журнала со статьёй Беднорца и Мюллера вызвало не только интерес, но настоящий шквал экспериментов и теоретических соображений.

Ведь изготовление керамик не требует ни дорогого сырья, ни сложной аппаратуры. Уже известен десяток методов, некоторыми из них может воспользоваться даже школьник. Нужно лишь, чтобы в химической лаборатории были соответствующие окислы или такие соединения (например, нитраты или карбонаты), из которых могут быть получены эти окислы.

Нужна и обычная муфельная печь, ибо обжиг проходит при температурах около 1000 °С (от 900 °С до 1100°). И конечно, нужна возможность работать с жидким азотом (жидкий гелий слишком дорог для применения в школах).

В начале 1987 года группы исследователей из Токийского университета, из трёх лабораторий в США и Института физики АН КНР сообщили о том, что и они тоже получили керамики, сверхпроводящие при температуре 40К.

Напомним, что первая научная конференция, обсуждавшая в США перспективы высокотемпературной сверхпроводимости, собрала массу учёных. Зал на 1140 мест был заполнен через несколько минут после того, как распахнулись его двери. Заседание было открыто в полвосьмого утра 18 марта 1987 года.

Зал наполнился громом аплодисментов, когда председательствующий представил аудитории Карла Алекса Мюллера из лаборатории ИБМ в Цюрихе, Соджи Танаку из университета Токио, Пауля С. В. Чу из университета Хьюстона, Жонгксиана Жао из Института физики в Пекине и Бертрана Батлокга из лаборатории Белл фирмы АТТ, сказав: «Леди и джентльмены, это некоторые из людей, которые дали толчок этому делу».

Сотни физиков слушали доклады и сообщения, стоя в проходах и наблюдая за происходящим в зале на экранах телевизоров, установленных в фойе и коридорах. Каждому докладчику предоставлялось лишь по пять минут для выступления. Сотни участников заседания оставались в зале до трёх часов ночи, когда председательствующий объявил о закрытии заседания. Но и после этого многие оставались в зале. Мы уже писали, что обсуждение прекратилось только в 6 часов утра следующего дня, когда служащие отеля начали уборку зала.

Нечто подобное вскоре повторилось в Москве, а затем в Токио, где состоялась международная конференция по высокотемпературной сверхпроводимости.

Теперь, когда пишутся эти строки, керамики, сверхпроводящие при температуре жидкого азота и при температуре лишь на несколько десятков градусов ниже 0 °С, получают во многих лабораториях.

Несмотря на то что большинство из них не всегда удаётся воспроизвести, из них уже делают сверхпроводящие плёнки и сверхпроводящие проволоки. Последнее, конечно, потребовало высокого экспериментального искусства.

Учёные семимильными шагами движутся по стране сверхпроводимости, чтобы превратить в реальность, ставшую столь близкой, заманчивую мечту о сверхпроводящих материалах, работающих при комнатной температуре и выдерживающих действие больших магнитных полей.

Теперь в работу включились инженеры и технологи. Ведь без остроумия инженеров и искусства технологов нельзя думать о том, что сверхпроводящие керамики можно в промышленных масштабах, без чрезмерных затрат, превращать в элементы электронных вычислительных машин. Машин, обладающих огромным быстродействием и недостижимыми сейчас объёмами памяти, из которой можно очень быстро извлекать требуемую информацию. Без инженеров и технологов невозможно наладить производство сверхпроводящих кабелей, способных передавать на большие расстояния энергию, вырабатываемую турбинами современных гидроэлектростанций, тепловых электростанций, расположенных около крупных угольных разрезов далеко от промышленных районов. Эти кабели позволят строить атомные электростанции в удалённых малонаселённых местах, располагать в южных пустынях солнечные электростанции, использовать энергию ветра и морских волн и энергию приливов там, где они особенно велики.

Катушки с намотанными на них сверхпроводящими проволоками станут эффективными накопителями электроэнергии, запасующими её в дневное время от солнечных электростанций и возвращающими в электрические сети по ночам. Или накопителями энергии ветра, когда он дует, и отдающими её в безветренное время.

Промышленность уже включилась в освоение новых высокотемпературных сверхпроводников. Но это не значит, что физики исчерпали проблему.

Ведь до сих пор физики-экспериментаторы ставят опыты интуитивно, основываясь на аналогиях, идут извилистым и трудоёмким путём проб и ошибок.

Они с надеждой следят за усилиями физиков-теоретиков, которые поняли, что теория Боголюбова, как и теория Бардина, Купера и Шриффера в их существующем виде не применимы к объяснению, а тем более к предсказанию свойств сверхпроводящих керамик. Эти теории нужно уточнить, чтобы они могли помочь экспериментаторам в выборе новых объектов исследования, новых технологических приёмов, способных улучшить свойства керамик без уменьшения достигнутого значения температуры перехода в сверхпроводящее состояние.

Сейчас предложено несколько вариантов уточнения существующей теории сверхпроводимости и делаются попытки построить более точные теории на новых основах. Теоретики заметили, что сверхпроводимость в диапазоне температур 40–100К может быть объяснена при помощи общепризнанной теории, если некоторые величины в ней сочетаются благоприятным образом. Но для более высоких температур эта полумера не достаточна. Многие считают, что в новой области температур обмен фононами не может обеспечить существование куперовских пар. По их мнению, нужно привлечь различные тяжёлые квазичастицы, с которыми мы встречались выше, например поляроны и экситоны. Предполагается, что в высокотемпературных сверхпроводниках роль куперовских пар электронов играют биполяроны — пары поляронов.

Учёные вспомнили, что подобные варианты обсуждались ещё в начале пятидесятых годов, но были заброшены после появления современной теории. Возможная роль экситонов (в частности, плазмонов) в возникновении высокотемпературной сверхпроводимости была понята ещё в середине шестидесятых годов, когда Гинзбург и Литтл выдвинули идею о создании сверхпроводящих плёнок и нитей, изготовленных из органических веществ.

Делаются попытки понять: не возникает ли высокотемпературная сверхпроводимость керамик в результате их специфического строения? Ведь керамика представляет собой хаотический конгломерат мелких кристаллов, на границах которых могут возникать сверхпроводящие слои (плёнки) или сверхпроводящие нити, формирующиеся там, где соприкасаются рёбра кристалликов.

Особый интерес физиков возбуждают «невоспроизводимые сверхпроводники», случаи, когда наблюдение сверхпроводимости, например в хлористой меди, не могли быть повторены в новых экспериментах. Считалось, что сообщения об обнаружении сверхпроводимости в таких случаях — ошибка экспериментатора. Но теперь эти эксперименты повторяют в различных вариантах, исходя из того, что положительный результат возникает из сочетания трудно воспроизводимых деталей опыта.

В работу включилось такое множество учёных, что большой конференц-зал Физического института АН СССР не мог вместить всех желающих обсудить на теоретическом семинаре, руководимом академиком Гинзбургом, достижения и пути дальнейшей работы в области сверхпроводимости. Учёным пришлось пойти на беспрецедентное разделение или, лучше сказать, расширение этого семинара. Теперь еженедельно по утрам в среду учёные обсуждают теоретические проблемы, а во второй половине дня рассматривают новейшие достижения экспериментаторов.

Дружная работа физиков, материаловедов, инженеров и технологов несомненно приведёт к тому, что к моменту выхода из печати этой книги мы станем свидетелями новых впечатляющих научных достижений и первых сообщений о практическом применении высокотемпературных сверхпроводников. Газеты и журналы, как и теперь, будут оперативно информировать нас об этом. Ибо создание и применение высокотемпературных сверхпроводников, работающих при комнатной температуре и даже при температуре жидкого азота, может повлиять на нашу жизнь не меньше, чем освоение атомной и термоядерной энергии. К сожалению, помимо мирных применений и это достижение науки может быть обращено во вред человечеству, применено для создания нового оружия.

Не иначе чем по военным соображениям в США поток публикаций по

высокотемпературной сверхпроводимости резко сократился.

А когда по приглашению министерства энергетики США в июле 1987 года в Вашингтон прибыло около трёх тысяч учёных, чтобы обсудить состояние и перспективы высокотемпературной сверхпроводимости, среди них не было ни Беднорца, ни Мюллера. Их даже не пригласили. По сообщению цюрихской газеты «Вельтвохе» один оратор заявил от имени устроителей, что «ноу-хау», то есть технологические подробности, представляемые на этой встрече, не должны попасть в руки иностранцев.

Так первооткрыватели Беднорц и Мюллер оказались для администрации США нежелательными иностранцами, а их хозяева из американской корпорации ИБМ смирились с этой ситуацией.

Ещё есть время для того, чтобы содружество учёных, инженеров и политиков создало надёжную преграду тем, кто видит смысл всякого научно-технического прогресса прежде всего в его применении в интересах эгоистического меньшинства, в развёртывании новой гонки вооружения.

Если силы мира возобладают, то, как предполагают учёные, путь мирной науки может привести к созданию сверхпроводящих бактерий, способных воспроизводить себе подобных. Так откроется ещё одна глава биотехнологии, способной реализовать мечты о суперкомпьютерах. Они будут обладать способностью решать задачи не последовательными шагами, присущими современным ЭВМ, а путём разбиения задачи на отдельные блоки, одновременно обрабатываемые всей логической и вычислительной мощностью ЭВМ. При этом логические и вычислительные системы будут совмещены с системами памяти. Это будет революцией в мире ЭВМ: станут ненужными многократные обращения оперативных блоков к блокам памяти, на что сейчас уходит основное время, затрачиваемое современными ЭВМ на решение сложных задач.

Станут несравненно компактнее и дешевле медицинские томографы, основанные на явлении ядерного магнитного резонанса, при помощи которых уже теперь медики могут ставить на ранней стадии болезни точные диагнозы опасных заболеваний, проявивших себя только на поздней стадии, когда лечение весьма затруднительно или практически невозможно. Сейчас ядерными томографами оборудованы только самые крупные клиники. Высокотемпературная сверхпроводимость делает их доступными для рядовых лечебных заведений. Ведь современные томографы, работающие с применением жидкого гелия, стоят около 100 тысяч рублей, а расходы по их эксплуатации достигают 50 тысяч рублей в год.

Войдут в эксплуатацию железнодорожные поезда на сверхпроводящей магнитной подушке, потомки экспериментальных конструкций, основанных на применении обычных магнитов или на сверхпроводящих магнитах, охлаждённых жидким гелием.

Высокотемпературные сверхпроводники станут базой разнообразных новых измерительных приборов и датчиков, основанных на эффекте Джозефсона, с которым мы познакомились выше.

Явление сверхпроводимости, несмотря на трудности работы с жидким гелием, уже нашли применение, главным образом при создании уникальных приборов. Например, в ускорителях элементарных частиц, установках для изучения термоядерных реакций и в некоторых других.

В августе 1987 года японские учёные Ихара и ещё семь человек сообщили о возможности достижения сверхпроводимости при температуре 65 °С. Это действительно высокая температура, если отсчитывать её от абсолютного нуля. Материалом, который становится сверхпроводящим при этой температуре, явилась керамика, в состав которой входят стронций, барий, иттрий, медь и кислород.

Физики, конечно, не остановятся на этом. Но уже есть поле деятельности для технологов. Теперь представляются реальными сверхпроводящие проволоки и ленты для электрических машин, магнитов и линий передачи электроэнергии, работающих без охлаждения.

Представляются реальными сверхчувствительные радиоприёмники и магнитофоны и,

главное, сверхбыстродействующие ЭВМ с огромной памятью. Впереди много интересного и полезного.

КАК ЭТО НАЧИНАЛОСЬ

Когда Шведская академия наук объявила о присуждении Йоханнесу Георгу Беднорцу и Карлу Алексу Мюллеру Нобелевской премии по физике за 1987 год, эти имена ещё не были знакомы даже многим физикам. Однако стоит подробнее узнать о жизни и работе этих скромных учёных, незаметно совершивших революцию в физике.

Беднорц родился в 1950 году в Нойнкирхене, ФРГ. Он досрочно окончил университет в Мюнстере, где его особенно увлекали минералогия и кристаллография. Затем он учился в Федеральной высшей политехнической школе в Цюрихе, Швейцария. Это учебное заведение больше известно как Цюрихский политехникум. Его окончили многие выдающиеся учёные, среди них Альберт Эйнштейн. В 1982 году Беднорц получил здесь учёную степень доктора и начал работать в лаборатории цюрихского филиала американской компании ИБМ, одной из ведущих в области электронных вычислительных машин, где уже много лет работал Мюллер.

Мюллер родился в 1927 году в Базеле, Швейцария. В 1958 году окончил Цюрихский политехникум, а затем пять лет работал в Женеве. В 1962 году он получил степень доктора за диссертацию в области физики твёрдого тела. В 1970 году стал профессором. Мюллер — один из ведущих сотрудников цюрихского филиала ИБМ и один из наиболее квалифицированных специалистов в области применения электронного парамагнитного резонанса для изучения структурных переходов, сопровождающихся резким изменением взаимного расположения атомов в твёрдом теле.

В 1983 году появилась первая совместная публикация Беднорца и Мюллера в области структурных переходов в твёрдых телах. Они изучали переходы некоторых диэлектриков в сегнетоэлектрическое состояние, сопровождающиеся скачком диэлектрических свойств в десятки и сотни раз.

Публикация, содержащая сообщение о сверхпроводимости керамического материала при 30–35К, была встречена учёными весьма сдержанно, вероятно, потому, что авторы до этого не работали в области сверхпроводимости. Их открытие получило мощный резонанс после того, как в декабре 1986 года С. Танака и его сотрудники из Токийского университета подтвердили результаты Беднорца и Мюллера на заседании Общества материаловедения.

Присуждение Нобелевской премии в октябре 1987 года за работу, опубликованную в сентябре 1986 года, уникально в практике Нобелевского комитета. Считается, что это очень быстрая реакция. Ведь комитет иногда запаздывает с признанием выдающихся работ на десятилетия! (Вспомним Гинзбурга и Абрикосова, ожидавших полвека!) Но это и знаменательно: наше время — время стремительного движения человечества во всех сферах жизни. Это и пугает, и обнадеживает. Здравомыслящих людей больше, чем тех, кто играет судьбами человечества. Будем надеяться, что прогресс знаний принесёт нам только сладкие плоды.

Прежде чем закончить рассказ о необыкновенном научном событии наших дней о получении высокотемпературной сверхпроводимости, задержимся у дверей лаборатории Беднорца и Мюллера и попристальнее взглянем в их работу, послушаем, что они сами думают о ней...

В начале 1987 года корреспондент одного из научно-популярных журналов спросил Беднорца: почему он и его сотрудники выбрали соединение бария, лантана, меди и кислорода как вещество, способное к сверхпроводимости при повышенных температурах?

Учёный ответил приблизительно так: в 1983 году, когда мы (вместе с доктором К. А. Мюллером. — И. Р.) начали исследования, нам в голову пришла необычная идея (необычная идея это плод интуиции, а не результат логических рассуждений. — И. Р.). Её суть в том, что высокотемпературная сверхпроводимость может возникать в окислах металлов (сверхпроводимость некоторых окислов при очень низких температурах уже была известна. — И. Р.). Речь идёт о классе веществ, отличных от соединений некоторых металлов

между собой. Мы думали об окислах, содержащих ионы определённых металлов, например титана, меди, вольфрама или никеля. Они принадлежат к так называемым переходным металлам, расположенным в средней части таблицы Менделеева.

Мы начали, продолжал он, с окислов лантана и никеля, имеющих структуру пировскита.

(Здесь сработала интуиция! Пировскит — один из хорошо изученных кристаллов, но на особую тайну его структуры не намекали ни одна из теорий сверхпроводимости. Ближе всех сюда приводили структуры, изученные Гинзбургом и Литтлом, но для того чтобы прийти от них к пировскитам, нужен интуитивный скачок. — И. Р.)

В течение почти трёх лет Беднорц и Мюллер провели множество экспериментов, но не продвинулись к цели.

В конце 1985 года Беднорц натолкнулся на статью французских учёных, показавшуюся ему интересной. Статья была очень далека от задач сверхпроводимости — посвящена химическому катализу, ускорению химических реакций под влиянием некоторых веществ, не расходуемых при соответствующей реакции. Авторы изучали смешанный оксид лантана, бария и меди и зависимость его характеристик от температуры. Они обнаружили, что при повышении температуры кислород выделялся из кристаллической решётки этого соединения, а при понижении температуры он возвращался в неё.

«Принимая во внимание изменения температуры, — сказал Беднорц, — и учитывая, что это вещество удовлетворяет другим критериям, вытекающим из нашей идеи, я почувствовал, что оно будет одним из кандидатов в сверхпроводники...»

«Так я натолкнулся на систему барий, лантан, медь, кислород, — продолжал Беднорц. — Конечно, нам немного повезло при открытии высокотемпературной сверхпроводимости...»

Читатель вправе считать, что и здесь ему помогла интуиция. Иначе он не смог бы перекинуть мостик от катализа к сверхпроводимости.

Далее речь зашла о том, почему Мюллер и Беднорц направили свою первую статью именно в журнал «Цайтшрифт фюр физик».

То, о чём далее говорил Беднорц, относилось не непосредственно к научной работе, а к атмосфере, в которой протекали их исследования. Впрочем, эта атмосфера весьма типична для научных учреждений. Поэтому интересно взглянуть на неё изнутри.

Вот что рассказал об этом Беднорц:

«После завершения рукописи будущей статьи доктор Мюллер и я обсуждали, где её опубликовать. Мы знали, что это будет очень возбуждающая статья. С другой стороны, мы знали, что очень легко немедленно повторить наш эксперимент. Если рукопись будет разослана нескольким рецензентам, то возможна утечка информации. По этому мы опасались, что до того, как она будет напечатана, некий специалист в области сверхпроводимости узнает о наших результатах и опубликует более полные данные в другом журнале...»

Добавим, что ко времени окончания рукописи они ещё не были способны провести окончательную проверку сверхпроводимости их вещества. Для этого надо было провести исследование взаимодействия вещества с магнитным полем, а в лаборатории не было для этого соответствующего оборудования. Заказав его, они ожидали, что оно прибудет в начале 1986 года.

При выборе журнала они исходили из того, что рецензенты журнала не должны быть узкими специалистами, но обязательно должны быть восприимчивы к новым идеям.

«Ведь наши идеи действительно были необычными, — пояснил Беднорц и добавил: — Кроме того, мы хотели бы, чтобы рецензенты журнала были порядочными людьми, чтобы не допустить утечки информации».

Первый признак сверхпроводимости они уловили 27 января 1986 года. Затем Беднорц выполнил много экспериментов, их цель — проверка изменений электрического сопротивления от состава вещества и его термообработки.

Наконец, в апреле 1986 года авторы решили опубликовать статью в общефизическом журнале, не связанном непосредственно со сверхпроводимостью. Они выбрали «Цайтшрифт фюр физик», серия Б — «Конденсированные среды». Отчасти их выбор объяснялся тем, что один из редакторов этого журнала работал в тех же лабораториях фирмы ИБМ в Цюрихе, где работали они. Рукопись представили именно ему.

Статья попала в журнал в апреле и была опубликована в сентябре 1986 года.

Оборудование, которое ожидалось в начале 1986 года, прибыло позже и было готово к работе только в начале сентября. Беднорц и Мюллер пригласили принять участие в экспериментах японского учёного доктора М. Такашиге, работавшего в одной из лабораторий фирмы ИБМ и хорошо разбиравшегося в сверхпроводимости.

Таким образом, в присутствии доктора Такашиге они убедились в том, что уже при 35К наблюдается эффект Мейсснера — выталкивание внешнего магнитного поля из сверхпроводящего материала. Основываясь на этих результатах, они написали следующую статью в журнал «Еврофизик леттерс».

«Тридцатого ноября 1986 года, — вспоминает Беднорц, — я пригласил доктора Такашиге и его семью в свой дом. Госпожа Такашиге сказала мне, что она прочитала статью в японской газете “Асахи симбун” от 28 ноября. В ней говорилось о том, что профессор Танака и его группа подтвердили сверхпроводимость нашего вещества».

Кто-то из присутствующих заметил:

«Некоторые говорят, что Вы и доктор Мюллер должны получить Нобелевскую премию...»

Вот ответ учёного:

«Для меня является некоторым грузом сознание, что публика и многие коллеги возлагают большие надежды на то, что такое признание состоится. Сейчас в области физики имеется много различных — очень хороших и важных — исследовательских работ. Однако они не получили такой рекламы, которую получили мы. Нобелевская премия зависит от качества, а не только от рекламы. Мы рады и горды тем, что уже получили большое признание после нашего открытия. Мы были поражены и счастливы, получив премию памяти Фрица Лондона. (Одного из первых физиков, указавших на физические причины сверхпроводимости. — И. Р.) Это большая честь, особенно в связи со столь быстрым присуждением. Тем более что мы не были членами низкотемпературного сообщества».

При получении Нобелевской премии Беднорц и Мюллер, как и другие лауреаты этой премии, должны были выступить с лекцией, посвящённой их открытию. При этом всегда присутствуют члены шведской королевской семьи и многочисленная публика, весьма далёкая от науки. Поэтому принято, чтобы Нобелевская лекция была общедоступной. Однако понятие доступности по-разному понимается каждым из нобелевских лауреатов.

Коллективную лекцию произнёс Беднорц. Он не сумел обойтись без математических формул и многочисленных графиков, которые в аудитории специалистов способствуют пониманию при одновременном сокращении текста лекции. Но для не физиков графики не приносят понимания того, что излагается словами. О существовании дела читатель этой книги осведомлён. Но кроме этого, лекция содержит много интересного, относящегося не только к физике, но и к истории рождения открытия. Поэтому мы добавим кое-что ещё.

Первые исследования Мюллера, начатые в шестидесятые годы и посвящённые исследованию структуры семейства кристаллов, в которое входят те, среди которых позднее была обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость, опубликованы в 1971 году. Выполняя эти исследования, Мюллер ещё не интересовался сверхпроводимостью.

Интерес к высокотемпературной сверхпроводимости возник у него в том же году при чтении статьи Т. Шнейдера и Э. Штоля, относящейся к совершенно иной области. Она касалась возможности получения металлического водорода (физическая задача, требующая отдельного рассказа. — И. Р.). Лишь глубокая интуиция учёного могла перекинуть мостик от гипотетического металлического водорода к высокотемпературной сверхпроводимости.

В это же время Беднорц работал над докторской диссертацией в Цюрихском

политехникуме. Он проводил исследование при низких температурах тех же кристаллов, которые интересовали Мюллера. Тогда Беднорц тоже не думал о высокотемпературной сверхпроводимости.

Его интерес к сверхпроводимости возник только в 1978 году. Толчком был телефонный звонок Г. Рорера, руководителя Г. Биннинга, принятого на работу в лабораторию ИБМ. Но вскоре Биннинг и Рорер потеряли интерес к этим исследованиям и занялись реализацией оригинальной идеи, которая привела их к созданию удивительного нового прибора — сканирующего туннельного микроскопа — и к Нобелевской премии 1986 года. Беднорц продолжал изучать явление сверхпроводимости, оставаясь в рамках общепризнанной теории и традиционных экспериментов.

В конце 1983 года Мюллер спросил Беднорца, хотел бы он заняться совместной работой по поиску сверхпроводимости в оксидах — соединениях металлов с кислородом. Обычно такие соединения не проводят электрического тока, но некоторые из них похожи в этом отношении на металлы, причём они могут становиться сверхпроводниками, хотя и при очень низких температурах. Беднорц немедленно согласился. Так это началось.

К тому времени ряд исследователей занимался подобными работами, а Д. Джонсон с сотрудниками и в 1973 году сумел получить оксид, становящийся сверхпроводящим при 13К. В 1979 году Б. К. Чакраверти показал путём теоретического анализа, что повышению температуры перехода в сверхпроводящее состояние могут способствовать поляроны, с которыми мы уже знакомы.

Итак, Беднорц и Мюллер начали совместный поиск высокотемпературной сверхпроводимости в 1983 году. Интенсивные исследования длились около двух лет и приводили к противоречивым результатам. Возник вопрос: идут ли они к цели или в тупик?

Работа вошла в критическую фазу в 1985 году, когда они получили возможность работать при помощи более совершенных приборов. В конце этого года в работе наступил перелом. Толчком стала публикация французских учёных С. Мишеля, Л. Эр-Рахо и Б. Раво, посвящённая проблеме катализа. (Об этой работе Беднорц, как мы помним, говорил корреспонденту.)

Теперь уже Беднорц проявил незаурядную интуицию, совершив мысленный скачок от катализа к высокотемпературной сверхпроводимости. Он энергично взялся за работу.

К концу дня образцы, предназначенные для исследования, были готовы. «Но, — сказал Беднорц, — измерения были отложены, так как было объявлено о визите доктора Ральфа Гомори, нашего научного директора. Эти визиты всегда время от времени отвлекали людей, заставляя готовиться к соответствующим отчётам. Пережив этот важный визит и возвратившись из затянувшегося отпуска в середине 1986 года, я вновь вспомнил прочитанную статью... и решил опять начать изучение новых соединений».

Предоставим снова слово Беднорцу.

«Состав соединений и методика их изготовления менялись, и в течение двух недель мы смогли сдвинуть начало падения сопротивления до 35К. Это было неправдоподобно высокое значение по сравнению с наиболее высокотемпературными сверхпроводниками».

Ажиотаж, последовавший после публикации первой статьи Беднорца и Мюллера, нарастает до сих пор и будет продолжаться ещё долго, вовлекая в исследования всё новых учёных, технологов и инженеров. Одни из них продолжают атаку на таинственные процессы, приводящие к высокотемпературной сверхпроводимости, другие стремятся найти вещества, остающиеся сверхпроводниками при температурах, близких к нулю градусов Цельсия и при более высоких температурах, третьи ищут возможности практического применения тех веществ, которые уже созданы и сохраняют сверхпроводимость при температурах, превышающих температуру жидкого азота.

Все они опираются на глубокие познания, самоотверженный труд и на интуицию, без которой трудно выбрать правильный путь в неведомое.

НОВАЯ СВЕРХНОВАЯ

Вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, лежит в основе всего естествознания.

А. Эйнштейн

ДОЖДАЛИСЬ!

23 февраля 1987 года произошло событие, которое давно и тщетно поджидали учёные. В 10 часов 33 минуты по международному времени, совпадающему по традиции со временем на меридиане Гринвичской обсерватории в Англии, канадский астроном Ян Шелтон открыл новую звезду. Он работал в это время в обсерватории Лас-Компанас в Чили, где находится Южная станция университета канадского города Торонто.

Свечение новой звезды увеличивалось так быстро, что стало ясно: это не простая звезда. Скорее всего, она относится к сверхновым звёздам. Такое наименование утвердилось за звёздами, блеск которых в сто тысяч раз превосходит блеск рядовых новых звёзд.

Уже 27 февраля новую сверхновую можно было видеть невооружённым глазом. Она светила на фоне туманности, известной под названием Большое Магелланово Облако. Затем она продолжала разгораться, но медленнее. Тем не менее к середине апреля достигла блеска звёзд 4-й величины.

Сверхновая, открытая Шелтоном, была зарегистрирована астрономами под названием SN 1987A. Буква «А» свидетельствовала, что это первая сверхновая, обнаруженная в 1987 году.

Позже Шелтон просмотрел все изображения Большого Магелланова Облака, полученные им 23 февраля 1987 года ночью между 1 часом 23 минутами и 2 часами 22 минутами. На этих снимках ещё не было сверхновой SN 1987A. Значит, её «оптическое рождение» произошло ближе к утру. Но не позже 10 часов 33 минут, когда её увидел Шелтон.

Учёные многих стран обменивались телеграммами и телефонными междометиями по поводу сенсационного открытия.

Это была первая почти за четыре сотни лет сверхновая звезда, которую можно было видеть невооружённым глазом.

Последняя сверхновая, видимая невооружённым глазом, воссияла в 1604 году. Она была столь яркой, что её видели даже днём. Но в то время астрономы не имели ни телескопов, ни других приборов, необходимых для исследования процессов, ответственных за появление этих недолговечных звёзд. Позже астрофизики установили, что она вспыхнула в пределах нашей Галактики, то есть недалеко (по астрономическим меркам).

Затем, в результате изучения записей древних астрономов и летописцев, удалось установить, что люди на протяжении двух тысячелетий были свидетелями шести таких необычных событий. Каждый раз яркая звезда, внезапно вспыхнув, затем постепенно угасала. В те времена считалось, что эти звёзды исчезают навсегда.

Но в наши дни наблюдения при помощи оптических телескопов, радиотелескопов и других приборов, расположенных на поверхности Земли, под нею и в космосе, отменили это неверное мнение. Новая техника наблюдения показала, что сверхновые, известные нам по старинным записям, превратились в туманности, излучающие потоки радиоволн. Причём внутри многих из них обнаружены пульсары — быстро вращающиеся звёзды, обладающие сильным магнитным полем и состоящие преимущественно из нейтронов. Их диаметр около десяти километров, он ничтожно мал по сравнению с диаметрами обычных звёзд.

Развитие астрономии, обеспеченное созданием больших телескопов, привело к открытию многих сверхновых. Но все они вспыхивали далеко за пределами нашей Галактики, в других галактиках, и, конечно, были невидимы без крупных телескопов. Эти наблюдения показали, что в «обычной» галактике сверхновые вспыхивают каждые 10–30 лет.

Почему же люди редко видят сверхновые? Ведь наша Галактика не может быть исключением.

Оказывается, сверхновые звёзды обычно вспыхивают вблизи центров галактик. А область вблизи центра нашей Галактики скрыта непрозрачными облаками холодной пыли. Вот почему наблюдаемые вспышки сверхновых в нашей Галактике редки.

Сверхновая, открытая Шелтоном, как мы уже говорили, вспыхнула не в нашей Галактике, но «сравнительно недалеко» — в ближайшей к нам галактике, в Большом Магеллановом Облаке. Свет от неё идёт к нам «всего» 163 000 лет. Поэтому она и видна невооружённым глазом. Астрономы при помощи всех телескопов Южного полушария Земли, начиная с февраля 1987 года, пристально наблюдают за её изменениями.

Последующие оптические наблюдения за сверхновой SN 1987A показали: в её спектрах видны спектральные линии водорода. Сверхновые, в спектрах которых обнаружены эти спектральные линии, относят к классу II, в отличие от класса I, где эти спектральные линии отсутствуют.

Спектральные линии водорода, наблюдаемые в спектрах сверхновых класса II, сдвинуты в фиолетовую сторону. А это значит, что светящиеся части её оболочки приближаются к нам. Это и служит причиной сдвига спектральных линий. Измерение этого сдвига для SN 1987A на первых этапах наблюдения показало, что оболочка расширяется со скоростью 17 000 километров в секунду!

Так началось изучение неизвестных ранее процессов и механизмов, управляющих жизнью сверхновых звёзд.

Прежде чем продолжить рассказ о судьбе редкой небесной гостьи, необходимо пояснить, чем сверхновые отличаются от новых звёзд. Различие предопределено разной сутью происходящих в звёздах процессах. Новыми называют звезды, ранее невидимые из-за удаленности, но потом вдруг увеличившие свою яркость. Она внезапно возрастает чуть ли не в сто раз. Поэтому их и смогли «засечь» телескопы. Увеличение яркости — результат процессов, родственных вспышкам, наблюдаемым на Солнце. Причина — быстрое изменение структуры магнитного поля звезды, временное увеличение интенсивности термоядерных реакций, обеспечивающих длительное свечение звёзд, или некоторые другие процессы, охватывающие лишь внешние части звезды.

Сверхновые возникают при катастрофических сжатиях — коллапсах массивных звёзд. При этом выделяется огромная энергия. Она порождает яркое свечение. Одновременно ядра лёгких атомов превращаются в ядра тяжёлых атомов. При этом протекают столь важные процессы, что они-то и стали предметом пристального внимания учёных.

Именно надежда понять механизм возгорания сверхновых звёзд приковала внимание к вспышке SN 1987A. Потому-то её так ждали.

У этого ожидания были серьёзные основания. Ещё в 1965 году советские учёные Я. Б. Зельдович и О.К. Гусейнов сделали удивительное предсказание. Созданная ими изящная теория высветила невиданную ранее космическую картину. Важнейшую роль в теории играет гравитационный коллапс и таинственные нейтрино. О них-то и пойдёт речь дальше.

НЕЙТРИНО

Нейтрино впервые появилось в мыслях физика-теоретика, знаменитого В. Паули, ещё в 1930 году. К этому времени физики-экспериментаторы, проводя опыты с радиоактивными веществами, выделяющими электроны, постоянно приходили к противоречию с законом сохранения энергии и законом сохранения движения. Паули рискнул утверждать, что здесь нет противоречия. Вернее, можно избежать противоречия, признав, что в этих опытах, кроме электронов, выделяются частицы, не обнаруживаемые приборами! Он даже прикинул, какими свойствами обладают такие частицы. Они не имеют электрического заряда. Их масса очень мала, меньше чем одна сотая массы протона.

Учёные сначала отнеслись с недоверием к гипотезе Паули. Надо ли, говорили некоторые из них, придумывать новую частицу, свойства которой таковы, что её невозможно обнаружить? Надо, считали другие. Надо потому, что без неё невозможно понять, каким

образом объяснить эти опыты, не привлекая ещё более невероятного допущения: нарушения законов сохранения энергии и движения.

Так думал и итальянец Э. Ферми. В 1932 году он предложил дать неуловимой частице имя «нейтрино». «Ино» — уменьшительное от нейтрон. Нейтрон — нейтральная (не имеющая электрического заряда) частица, с массой, близкой к массе протона, открытая в том же 1932 году англичанином Д. Чэдвиком. Нейтрино — маленький нейтрончик.

Сегодня нейтрино уже не сюрприз в науке, и можно было бы о них не вспоминать, если бы они не играли одну из главных ролей в повести о сверхновых.

Ещё через два года Ферми опубликовал последовательную теорию бета-распада, процесса, при котором радиоактивное ядро испускает электрон и нейтрино. Эта теория приобретает особенно простой вид, если предположить, что нейтрино не может находиться в покое, а всегда движется со скоростью света. Но этим удивительное прозрение Ферми не кончалось.

Суть теории Ферми в том, что внутри ядра протон может превращаться в три частицы: нейтрон, позитрон (положительно заряженный родственник электрона, его можно было бы назвать антиэлектроном) и нейтрино. В свою очередь нейтрон может внутри ядра превращаться в протон, электрон и антинейтрино.

Постепенно такой вариант теории стал общепризнанным, и во всех учебниках говорилось о том, что масса покоя нейтрино и антинейтрино равна нулю.

В 1936 году советский физик А. И. Лейпунский в тонких экспериментах обнаружил движение атомных ядер при испускании электрона и антинейтрино. Это движение подобно движению ружья при отдаче во время выстрела. Но ружьё испытывает толчок точно по направлению, противоположному направлению движения пули. Ядро же испытывает толчок в направлении, вовсе не противоположном улетающему электрону. Примирить результаты этого опыта с законами сохранения вещества можно было только в том случае, если признать справедливость теории бета-распада, признать, что в таких процессах принимают участие антинейтрино.

Однако фантастичным и нереальным это выглядит только для непосвящённых. Интенсивные потоки антинейтрино сегодня выделяются атомными реакторами. Этим и воспользовались американские физики Ф. Райнес и К. Коуэн, в 1953–1956 годах изучая обратный бета-распад, при котором антинейтрино объединяется с протоном, образуя позитрон и нейтрон.

В 1946 году Б. Понтекорво, итальянский физик, переехавший жить и работать в СССР, придумал реакцию, способную выяснить: являются ли нейтрино и антинейтрино различными частицами, или они тождественны? В этой реакции нейтрино, взаимодействуя с ядром атома хлора-37, должно превращать его в ядро аргона-37. При этом обязан выделяться позитрон.

В 1955–1956 годах американец Р. Девис по-своему реализовал идею Понтекорво. Он облучил четырёххлористый углерод потоком антинейтрино от атомного реактора. Если нейтрино и антинейтрино тождественны, то приборы должны были обнаружить рождение электронов. Но их не было. Значило ли это, что нейтрино и антинейтрино не тождественны между собой?

Чтобы понять тревожившие учёных сомнения, нам придётся отойти ещё на десятилетие назад, когда английский астроном, друг Эйнштейна А. С. Эддингтон, установил, что длительное существование звёзд, в том числе и Солнца, возможно только при условии равенства между энергией, выделяющейся в их недрах, и энергией, излучаемой поверхностью. Для «спокойной жизни» звезды у неё должно быть как бы ровное «дыхание». Первоначально предполагалось, что источником энергии звезды является сила тяжести, постепенно сжимающей звезду. Но расчёты показали, что сжатие звезды, ведущее к выделению энергии, не способно поддерживать существование звёзд в течение длительного времени. Недостаточно для этого и хорошо изученного распада ядер радиоактивных атомов.

В 1920 году Эддингтон предположил, что источником энергии является термоядерный синтез, при котором происходит превращение ядер лёгких элементов в ядра более тяжёлых

элементов. Простейшей реакцией такого рода является объединение четырёх протонов в ядро гелия. Но это были лишь домыслы и предположения. Они в то время не подтверждались ни более детальной теорией, ни экспериментом.

Загадка тревожила астрофизиков до 1938 года, когда немецкий физик П. Бете путём строгого анализа показал, что источником энергии, способным поддерживать свечение звёзд в течение миллиардов лет, действительно может являться ядерная реакция, в ходе которой четыре протона в конечном итоге образуют ядро гелия. Затем он установил, что такое же слияние может осуществиться не непосредственно, а с участием ядер углерода и азота.

Энергия, выделяемая в этих реакциях, огромна, она эквивалентна ежесекундному уменьшению массы Солнца приблизительно на четыре миллиона тонн! Интересно отметить, что при этом удельное выделение энергии, то есть выделение энергии на один грамм массы Солнца равно всего двум эргам в секунду. Это много меньше удельного выделения энергии в процессе обмена веществ в живом организме.

Учёным было важно убедиться, что в ходе этих реакций при образовании каждого ядра гелия возникает по два нейтрино. Это открывает возможность непосредственной проверки правильности теории Бете. Такое утверждение может показаться странным тем, кто знает, что поток нейтрино способен пройти сквозь толщу земного шара или Солнца, практически не уменьшаясь по интенсивности. Взаимодействие нейтрино с остальным веществом столь мало, что только одна из 1011 частиц останавливается или отклоняется на пути от центра Солнца к его поверхности (1011 значит, что после единицы стоит одиннадцать нулей, иначе говоря — сто миллиардов). Именно поэтому нейтрино возникло как «ненаблюдаемый» участник бета-распада.

Так считалось до развития современной атомной технологии. Мы уже знаем, что Понтекорво предложил реакцию для обнаружения нейтрино. Из этого предложения родилась нейтринная астрономия. В 1964 году Девис, о котором мы уже говорили, решил использовать реакцию Понтекорво для ловли нейтрино, рождающихся в недрах Солнца. Расчёт показал ему, что нейтрино уносят около трёх процентов полной энергии, излучаемой Солнцем. Их так много, что через каждый квадратный сантиметр поверхности Земли ежесекундно проходит около ста миллиардов этих частиц. Но можно ли обнаружить хоть одну из них, если такое же количество нейтрино уменьшается лишь на единицу на огромном пути от центра Солнца к его поверхности?

ХИМЧИСТКА И НЕВЫСОКАЯ НАУКА

Несмотря на очевидную сложность задачи, Девис решился. Под его руководством в шахте на глубине около 1600 метров был установлен детектор нейтрино. В современной науке трудится бесчисленное множество детекторов самых разных назначений и самых разных объёмов и размеров. Тот, о котором идёт речь сейчас, — детектор нейтрино — гигант. Это бак объёмом около 380 кубических метров, заполненный четырёххлористым углеродом, жидкостью, часто применяемой для чистки одежды. Бак помещается внутри ещё более крупного бака. Пространство между ними заполнено водой. Её назначение — поглотить те нейтроны и протоны, которые могут возникать из космических частиц (мюонов), проникающих через толщу скал, или в ходе распада небольших количеств радиоактивных примесей, содержащихся в скальном грунте.

Детектор в течение нескольких месяцев подвергался действию солнечных нейтрино, те превращали часть атомов хлора-37 в атомы аргона-37. Затем вновь рождённые атомы отделялись от жидкости.

Дальнейшим этапом было наблюдение радиоактивного распада ядер аргона-37, при котором выделяются электроны, — это и есть бета-распад.

Оценки показали, что вероятность захвата солнечных нейтрино с образованием ядра аргона-37 в огромном детекторе столь мала, что один захват может происходить только раз в шесть дней. За три месяца можно было ожидать пятнадцать таких захватов. В свою очередь

половина образовавшихся ядер аргона-37 лишь в течение 35 суток выделит по одному электрону и снова превратится в ядра хлора-37.

Заключительная стадия (индикация электронов, возникающих при распадах ядер аргона-37) не вызывала затруднений, так как детекторы таких электронов уже достигли довольно высокого совершенства.

Здесь нет места рассказу о трудоёмких проверках эффективности детектора нейтрино, об оценках возможных помех и о новых расчётах величины потока нейтрино, испускаемых Солнцем. Скажем только, что первые результаты опытов были обескураживающими. Удалось зафиксировать лишь десятую часть от того количества нейтрино, которое должно было бы возникнуть в ходе углеродо-азотного цикла горения водорода. И лишь половину от того количества, которое могло бы возникнуть при непосредственном синтезе гелия из протонов. Как это понять? Какие выводы очевидны?

Попытки объяснить этот результат привели к возникновению новых гипотез. Например, Понтекорво и В.Н. Грибов предположили, что почти половина нейтрино, рождающихся в недрах Солнца (электронные нейтрино), может на пути из недр Солнца к детектору превращаться в нейтрино другого типа — мюонные нейтрино, а детектор Девиса не способен их обнаружить.

КОЛЛАПС

Нам интересно знать, как и почему обыкновенная звезда становится сверхновой, какие процессы превращают её в очаг ярчайшего излучения. Поэтому, ознакомившись с нейтрино и с возникновением нейтринной астрономии, уясним суть такого явления, как гравитационный коллапс звёзд.

Повторим, что длительное свечение звёзд обеспечивается энергией, возникающей за счёт термоядерных реакций, происходящих в их недрах. Помните, мы говорили о «горении» протонов, о превращении протонов в ядра гелия? Именно это обеспечивает наиболее длительную часть эволюции нормальных звёзд.

Когда значительная часть протонов исчерпана, выделение термоядерной энергии уменьшается. И внутреннее давление в звезде уже не способно уравновесить гравитационные силы, стремящиеся сжать звезду. При сжатии радиус звезды стремительно уменьшается, а гравитационная энергия переходит в тепловую.

Когда температура в центре звезды увеличивается с двадцати до двухсот миллионов градусов, начинается новый цикл термоядерных реакций. Результатом этого цикла является превращение трёх ядер гелия в одно ядро углерода, что тоже сопровождается выделением большого количества энергии и на время останавливает сжатие звезды. После исчерпания гелия равновесие звезды вновь нарушается, её радиус быстро уменьшается, а температура ещё более увеличивается за счёт превращения гравитационной энергии в тепловую. При этом включается новая термоядерная реакция, вновь обеспечивающая выделение энергии, и звезда опять приходит в стационарное состояние. Так происходит несколько раз в зависимости от исходной массы звезды.

Если масса звезды меньше или равна массе Солнца, то её гравитационной энергии недостаточно, чтобы обеспечить увеличение температуры, необходимой для начала одного из очередных циклов термоядерной реакции. При этом звезда превращается в белого карлика. Температура карлика постепенно уменьшается. Это неизбежно, и её падение происходит по мере исчерпания энергии радиоактивных превращений. Идёт также медленное выделение гравитационной энергии при постепенном сжатии звезды.

Если же масса звезды превосходит 1,2 массы Солнца, то её ждёт иная судьба. Одна за другой последовательно включаются новые термоядерные реакции. Каждая из них начинается после того, как очередная стадия сжатия увеличивает температуру ядра звезды до порога, за которым начинается эта реакция. Затем следует новая спокойная стадия — сгорают наиболее лёгкие из оставшихся ядер. В качестве «золы» при этом горении

возникают более тяжёлые ядра. Так рождаются гелий при горении водорода и углерод при горении гелия.

Каждая спокойная стадия завершается исчерпанием «золы», возникшей на предыдущей стадии. При этом прекращается выделение энергии, необходимой для поддержания гравитационного равновесия звезды. Начинается новая стадия сжатия. Она сопровождается быстрым нагревом звезды, превращением новой порции гравитационной энергии в тепловую и включением следующего цикла термоядерных реакций.

Когда большая часть вещества звезды превращается в ядра железа (наиболее устойчивые из ядер), эти процессы заканчиваются. Ядра железа не способны превращаться в ядра более тяжёлых элементов без затраты энергии, поступающей извне. Поэтому невозможно термоядерное горение ядер железа с выделением энергии.

Теперь равновесие между выделением термоядерной энергии и гравитационными силами нарушается в последний раз. Звезда начинает катастрофически сжиматься. Скорость сжатия близка к скорости свободного падения и увеличивается по мере уменьшения радиуса звезды, несмотря на увеличение плотности и температуры внутренних частей звезды. Именно такое катастрофическое сжатие называют гравитационным коллапсом.

В ходе гравитационного коллапса гравитационная энергия стремительно переходит в тепловую. Температура звезды увеличивается. Но повышение температуры не может вызвать горения ядер железа, образовавшихся в процессах термоядерного синтеза. Вместо этого они вновь распадаются, превращаясь в конце концов в протоны и нейтроны. Процессы расщепления ядер железа и других ядер, возникающих в ходе термоядерного синтеза, идут с поглощением энергии. При этом коллапс всё более ускоряется. Ведь поглощение энергии расщепляющимися ядрами препятствует увеличению температуры и давления в коллапсирующем ядре звезды. В заключительной стадии процесса протоны превращаются в нейтроны. Такая реакция идёт с поглощением энергии. Этот процесс назван нейтронизацией. Он сопровождается рождением нейтрино. Нейтрино, покидая ядро коллапсирующей звезды, уносят с собой энергию, что тоже замедляет рост давления и температуры, а это в свою очередь ускоряет коллапс. Что это — конец или начало новой жизни звезды?

ЧТО ЛУЧШЕ — ТОЛСТАЯ ИЛИ ХУДАЯ ЗВЕЗДА?

Дальнейшая судьба звезды зависит от её первоначальной массы. Если она не превышает двух масс Солнца, то сжатие звезды прекратится, когда её радиус достигнет приблизительно десяти километров. При этом температура поднимется до 10¹¹ градусов. Всё вещество звезды превращается в нейтроны с незначительной примесью протонов и ядер других элементов. Звезда становится огромной каплей нейтронной жидкости, окружённой тонкой коркой, состоящей главным образом из ядер железа.

Возможность существования таких нейтронных звёзд предсказал замечательный советский физик, академик Л. Д. Ландау в 1932 году вскоре после открытия нейтрона.

После того как в 1967 году Э. Хьюиш при помощи радиотелескопа открыл пульсары — источники импульсов радиоволн, возникающих с чрезвычайно высокой точностью повторения, учёные установили, что пульсары являются быстро вращающимися нейтронными звёздами.

Читатель спросит: а если масса звезды была больше удвоенной массы Солнца? Что тогда?

Если первоначальная масса звезды превосходит две массы Солнца, то даже внутреннее давление нейтронной жидкости не сможет уравновесить действие гравитационных сил. Сжатие звезды будет продолжаться, и она превратится в объект, о котором учёные узнали не так давно и который до сих пор поражает воображение. Это — чёрная дыра.

Существование чёрных дыр по существу не сюрприз, оно следует из Общей теории относительности. Эти, во многом ещё таинственные образования (так же, как нейтронные звёзды), заслуживают отдельного рассказа.

Это один из самых замысловатых и таинственных экспериментов Природы, и, возможно, роль их более значительна (в общении двух миров, в их взаимосвязи: космоса и

микромира), чем мы сегодня себе представляем. Надо сказать, что звезда участвует в гравитационном сжатии не как единое целое.

Ему подвластны только внутренние части звезды. При этом звезда распадается на две части — сжимающееся ядро и отстающая от него оболочка. Когда при смене одной термоядерной реакции на другую гравитационные силы разогревают сжимающееся ядро, а его излучение раскаляет оболочку, эта оболочка расширяется. При этом яркость звезды возрастает. Так возникают сравнительно недолговечные «новые» звёзды.

В этот момент наш рассказ обретает свой кульминационный смысл: он должен прояснить, чем же отличаются новые звёзды от поразивших человеческое воображение сверхновых звёзд.

Когда вещество звезды после прохождения ряда циклов термоядерных реакций почти полностью превратится в ядра железа, выделение термоядерной энергии быстро уменьшается. Внутреннее давление звезды уже не сможет противостоять силе гравитации, сжимающей ядро звезды. Начнётся заключительный этап её активной жизни — гравитационный коллапс.

Гравитационный коллапс быстротечен. Он длится от одной до сотни секунд. Столь же быстро выделяется гравитационная энергия, нагревающая сжимающееся ядро звезды. Давление света, излучаемого раскалённым ядром, вызывает стремительное расширение оболочки звезды. Яркость её чрезвычайно сильно возрастает. Вот так и возникает сверхновая звезда — она становится видной с Земли. Так появилась и СН 1987А.

Теперь мы можем возвратиться к предсказанию Зельдовича и Гусейнова. Они рассмотрели процессы, сопровождающие гравитационный коллапс массивных звёзд. Изучили процессы, приводящие к преобразованию подавляющей части их вещества в нейтроны. Они пришли к заключению, что эти процессы приводят также к рождению огромного количества нейтрино и антинейтрино, разлетающихся в окружающее пространство.

Подсчёт показал, что в ходе коллапса звезды, масса которой вдвое превосходит массу Солнца, рождается около

1060 этих частиц. Энергия каждой из них очень мала, но все вместе они уносят около десятой части энергии, эквивалентной полной массе коллапсирующего ядра.

Зельдович был убеждён, что регистрация этих нейтрино и антинейтрино дала бы в руки учёных средство проверки правильности теории коллапса массивных звёзд. Он считал это важнейшей задачей зарождающейся нейтринной астрономии.

В том же 1965 году, когда Зельдович и Гусейнов сделали своё предсказание, Г. Т. Зацепин и Г. В. Домогацких предложили способ обнаружения антинейтрино, рождающихся при коллапсе звёзд. Они поняли, что антинейтрино, родственное электрону, может взаимодействовать с протоном так, что при этом возникает нейтрон и позитрон (антиэлектрон, отличающийся от электрона положительным зарядом). Для наблюдения позитронов они предложили применить сцинтиллятор — прибор, в котором жидкость реагирует короткой вспышкой света на пролетающий сквозь неё электрон или позитрон. По их мысли эта вспышка станет сигналом о том, что через жидкость прошло антинейтрино, родившее позитрон. Для того чтобы отличить это событие от вспышек, вызванных электронами и позитронами, возникшими другими путями, Зацепин и Домогацких предложили учесть ещё одну реакцию. Они отметили, что нейтрон, порождённый взаимодействием антинейтрино с протоном, тоже может быть обнаружен. Этот нейтрон, встретившись с ещё одним протоном, содержащимся в сцинтилляторе, образует дейтон (ядро дейтерия, тяжёлого изотопа водорода). При этом возникает гамма-квант, который может быть зарегистрирован. Одновременная регистрация позитрона и гамма-кванта повышает вероятность того, что детектор зафиксировал антинейтрино, а не сработал в результате какой-либо помехи.

Тогда же Зацепин предложил применить такой детектор для определения массы нейтрино.

Оценки, однако, показывали, что современная техника не способна зарегистрировать поток нейтрино и антинейтрино, исходящих из сверхновых звёзд, вспыхивающих в удалённых галактиках.

Одновременно выяснилось, что наша Галактика тоже является плохой лабораторией для изучения нейтрино и антинейтрино, рождающихся при вспышках сверхновых. Мы уже знаем, что сверхновые вспыхивают в активном ядре Галактики, а их свет поглощается непрозрачными облаками холодной пыли, заслоняющими от нас эту область Галактики. Поэтому исторические записи зафиксировали лишь шесть вспышек сверхновых. Значит, ожидание очередной видимой сверхновой в нашей Галактике потребует не менее сотни лет!

Маловероятно, чтобы учёные и финансисты согласились построить дорогой и сложный прибор, практически неспособный дать научный результат при жизни нашего поколения. Действительно, кто захочет работать с установкой, задачей которой является регистрация событий, длящихся десятков секунд, но возникающих с перерывами в сотни лет? Более того, примерно раз в тридцать лет этот прибор должен был бы регистрировать нейтрино от невидимых сверхновых, скрытых от нас холодной пылью. А эти случаи не давали бы учёным полезной информации.

Оставалась надежда на вспышки сверхновых в близких галактиках. Но для регистрации порождаемых ими нейтрино требовались огромные дорогие установки. Как планировать дальнейшие исследования? Какой путь выбрать?

Помощь пришла не из космоса, а из микромира. Неожиданно пересеклись пути исследователей макромира и мира атомов. Астрофизики, ищущие возможность изучать процессы, происходящие в сверхновых звёздах, нашли ответ на свои вопросы у физиков, решающих загадку: протон вечен (как привыкли они думать) или смертен, как всё на свете?

Итак, обратимся за разъяснениями к теориям, описывающим жизнь микромира.

КАК НАБЛЮДАТЬ ТО, ЧЕГО НЕВОЗМОЖНО ДОЖДАТЬСЯ?

Одна из наиболее совершенных теорий, возникших при исследовании микрочастиц, привела учёных к мысли о том, что протон и нейтрон не являются элементарными частицами, что они состоят из кварков, самых таинственных частиц, известных современной науке. Физики не сомневаются в том, что они существуют. Но все попытки обнаружить их тщетны. Физики вынуждены признать, что кварки существуют только внутри протонов, нейтронов и некоторых других частиц, ранее считавшихся элементарными. Вывод? Обнаружить единичный, «чистый» кварк невозможно. Для задачи построения теории микромира такая принципиальная трудность просто катастрофа. Ведь теория, способная описать микромир таким, каким он открывается нам в современных экспериментах, должна объединить в себе все силы, действующие между частицами вещества, все поля, передающие действия этих сил.

И все-таки, несмотря на «иксы» и «игреки», учёные пытаются перехитрить обстоятельства, построить теоретические модели событий микромира, даже когда в них участвуют неуловимые действующие «лица».

Одна из теорий такого рода получила название теории Великого объединения. Она объединила три из четырёх известных нам взаимодействий. Это электромагнитные взаимодействия между частицами, обладающими электрическими зарядами. (Электромагнитные взаимодействия проявляются при работе электрических машин, радиостанций и во многих технических устройствах.) Второй тип взаимодействий называется слабым потому, что оно в 100 раз слабее электромагнитного взаимодействия. Но и его можно наблюдать сравнительно просто: например, при бета-распадах радиоактивных ядер и при распаде свободных нейтронов. Третьим типом являются сильные взаимодействия, удерживающие кварки внутри протонов, нейтронов и других составных частиц. Проявления сильных взаимодействий поддаются наблюдению при помощи мощных ускорителей микрочастиц.

Эта теория — одно из самых впечатляющих достижений современной научной мысли. Она развенчала миф о вечности протона. Одним из её предсказаний является предсказание нестабильности протона! Теория заставляет нас признать, что протон, ещё недавно считавшийся абсолютно стабильным, существующим вечно, способен самопроизвольно распадаться. При этом рождаются другие, уже известные нам частицы. Например, позитроны и антинейтрино. Правда, распады протона — очень редкое явление. Если следить за одним «определённым» протоном, то время до его вероятного распада составляет более чем 1030 лет. Если сравнить время жизни протона с возрастом Вселенной, то оно на двадцать порядков больше, чем время существования Вселенной (около 1010 лет).

Решение вопроса о том, является ли протон истинно вечной частицей или очень долгоживущей частицей, имеет первостепенное значение. Наблюдение распада протона было бы решающим доводом в пользу теории Великого объединения, а значит, в пользу справедливости других предсказаний этой теории. В пользу объективных знаний.

Возникает естественный вопрос: как же наблюдать то, чего невозможно дожидаться?

Ответ прост. Да, невозможно дожидаться распада определённого протона. Но ситуация радикально изменится, если наблюдать одновременно за большим количеством протонов. Если взять под наблюдение 1030 протонов (а для этого требуется бочка воды), то на ожидание распада одного из них уйдет около года.

Важность решения вопроса о стабильности или нестабильности протонов столь велика, что ряд научных коллективов взялся за сооружение для этой цели огромных установок, снабжённых сложной электроникой.

Такие установки созданы. Они принадлежат к двум типам и различаются процессами, в которых обнаруживают своё присутствие микрочастицы, подлежащие регистрации.

Один тип установки (сцинтилляционные детекторы, знакомые уже нам) содержит вещество — сцинтиллятор, испускающее кратковременную вспышку света при прохождении через него быстрой частицы. В начале двадцатых годов нашего ядерного века такие детекторы были основным орудием исследования в ядерной физике. Вспышки сцинтиллятора тогда наблюдали невооружённым глазом. Затем они были вытеснены другими приборами, но обрели второе дыхание в конце сороковых годов, когда на смену глазу пришли многокаскадные фотоумножители.

Применение фотоумножителей открыло дорогу другим приборам — черенковским детекторам. Их название происходит от фамилии их изобретателя, советского физика П.А. Черенкова.

Ещё совсем молодым человеком он сделал замечательное открытие. Он обнаружил, что заряженные частицы, например электроны, вызывают свечение в чистых жидкостях, если движутся сквозь жидкость быстрее, чем в этой жидкости распространяется свет.

Это не противоречит теории относительности, ибо скорость распространения света сквозь вещество может быть много меньшей, чем его скорость в вакууме. А именно скорость света в вакууме (но не в веществе) является предельной для перемещения частиц или сигналов. За это открытие Черенков был награждён Нобелевской премией. Академия наук СССР избрала его академиком.

Свечение, возбуждаемое эффектом Черенкова, обладает характерной особенностью. Оно распространяется слабо расходящимся конусом, осью которого является направление движения частицы. Это свечение в черенковских детекторах регистрируется многокаскадными фотоумножителями. Так регистрируется не только факт прохождения быстрой частицы, но и направление её полёта.

Погоня за мгновением распада протона пока не привела к успеху. Учёные лишь уточнили, что среднее время ожидания такого события должно быть существенно увеличено. Вероятно, оно превосходит 1032 лет!

Обескуражил ли такой прогноз физиков? Отнюдь. Они решили: для обнаружения распада протона можно попробовать увеличить объём установки, тогда увеличится количество протонов, за которыми возможно постоянное наблюдение. Более того, эти

установки пригодны для детектирования нейтрино! То есть их можно использовать для фиксации вспышек сверхновых звёзд!

Заметим, что детекторы работают в автоматическом режиме и все возникающие в них вспышки фиксируются в памяти ЭВМ. Поэтому ЭВМ способны в любое последующее время обрабатывать данные о зарегистрированных вспышках, причём цель и способ обработки может каждый раз меняться экспериментатором путём составления новой программы для ЭВМ.

Но как исследователи разберутся, зафиксировал ли прибор распад протона или вспышку сверхновой звезды?

ИЗ ПУШКИ ПО ВОРОБЬЯМ

Распад протона должен вызвать в детекторе одиночную вспышку света. Сверхновая звезда сообщит о себе серией вспышек, ведь мы знаем, что гравитационный коллапс, порождающий сверхновую звезду, длится от одной до сотни секунд.

Неудивительно, что, получив известие об открытии сверхновой SN 1987A, физики, работавшие на четырёх действовавших в феврале 1987 года установках, запрограммировали свои ЭВМ на поиск записанных в их памяти событий, при которых световые импульсы появлялись пачками.

Первым сообщил о полученных результатах коллектив, состоящий из пятнадцати японских и восьми американских учёных. Они работали на японской установке Камиоканде II, предназначенной в первую очередь для обнаружения распада протонов и исследования солнечных нейтрино.

Эта установка, вступившая в строй в начале 1986 года, не что иное, как огромный черенковский детектор. Она содержит 2140 тонн очищенной воды, налитой в огромный бак. На внутренних стенках бака расположены 948 больших фотоумножителей. Их чувствительные элементы имеют диаметр около 50 сантиметров. Они закреплены в вершинах квадратов размером метр на метр.

Задачей этого гиганта является фиксация распада протона или реакции с участием нейтрино. Как мы уже знаем, в черенковских счётчиках при движении через бак быстрых электронов или позитронов, рождающихся при подобных реакциях, должно возникнуть особое черенковское излучение.

Однако всё не так просто. Подобные быстрые частицы могут проникать и извне. А это приводит к ложным сигналам. Поэтому учёные пошли на усложнение установки: черенковский детектор помещён внутри ещё большего бака. Пространство между их стенками, равное полутора метрам, заполнено ещё 800 тоннами воды, которая просматривается 126 фотоумножителями. Так создан второй черенковский детектор, задача которого выявлять ложные сигналы главного детектора. Толща воды внешнего детектора играет также роль защиты главного черенковского детектора от приходящих извне гамма-лучей и медленных мюонов.

Получив сообщение о появлении сверхновой звезды SN 1987A, упомянутый нами коллектив учёных принял решение поручить ЭВМ просмотреть все сигналы, записанные в её памяти с 7 часов 21 февраля 1987 года до 23 часов 23 февраля 1987 года (по международной шкале времени: по японской шкале времени сюда добавляется ещё девять часов). При этом в программу ЭВМ были заложены дополнительные указания для обнаружения характерных признаков, отличающих появление ожидаемых нейтрино, порождённых гравитационным коллапсом, от других событий. Как мы уже знаем, при коллапсе за короткое время должен возникнуть пакет сигналов о приходе нейтрино. Учёные выбрали для анализа интервал в десять секунд.

Проанализировав все сигналы, поступившие в память ЭВМ за указанное время и исключив из них те, которые следует считать возникшими вследствие других причин, ЭВМ сообщила: за интервал, равный 10 секундам, после 7 часов 35 минут 35 секунд было

зарегистрировано двенадцать вспышек.

Из них восемь произошло в интервале, равном всего двум секундам. В каждом событии одновременно участвовало не менее двадцати нейтрино. ЭВМ также отметила, что в девяти из них участвовало не менее 30 нейтрино. ЭВМ определила, что сочетание всех возможных случайностей привело бы к возникновению подобного результата лишь один раз за 70 миллионов лет.

Черенковский детектор Камиоканде II подтвердил, что нейтрино пришли из района Большого Магелланова Облака.

Получив эти сведения, учёные решили проконтролировать ЭВМ. Они поручили ей проанализировать все события, зафиксированные в её памяти с 9 января по 21 февраля 1987 года. Ничего подобного не было обнаружено. Обсудив эти данные с подробностями, которые интересны лишь специалистам, учёные написали:

«Это наблюдение является первым непосредственным наблюдением в нейтринной астрономии (за исключением наблюдения нейтрино, испускаемых Солнцем. — И. Р.), и оно прекрасно совпадает с современной моделью коллапса сверхновой и образования нейтронной звезды. В этой модели старая звезда, исчерпав своё ядерное горючее, подвергается взрывоподобному превращению в сверхновую».

Авторы подчёркивают большое значение своего наблюдения для физики элементарных частиц.

Следующее важное сообщение пришло от международной группы, состоящей из десяти советских и десяти итальянских учёных. Они работали на жидкостном сцинтилляционном детекторе, сооружённом совместно Институтом ядерных исследований АН СССР и Институтом космогеофизики Национального совета исследований Италии. Прибор расположен в туннеле под Монбланом, высочайшей вершины Западной Европы. Детектор вступил в строй в октябре 1984 года. Он состоит из 72 сцинтилляционных модулей, каждый объёмом в полтора кубических метра. Для того чтобы снизить влияние естественной радиоактивности окружающих пород, детектор экранирован плитами общим весом около 200 тонн. Каждый модуль просматривают три фотоумножителя.

Как представляли себе работу прибора его авторы?

Реакция космического антинейтрино с протоном порождает нейтрон и позитрон. Она регистрируется двумя путями: позитрон вызывает вспышку сцинтиллятора, вслед за которой возникает вторая вспышка. Эта вспышка — результат двухступенной реакции. Нейтрон, рождённый в первой реакции, объединяется с другим протоном, образуя дейтон и гамма-квант. Гамма-квант вызывает вторую вспышку сцинтиллятора.

За время работы детектора, за отрезок времени около двух лет, конструкторы хорошо изучили случайные вспышки сцинтилляторов. Закономерность их возникновения учитывалась ЭВМ при обработке результатов наблюдений за космическими антинейтрино.

ЭВМ должна была выделить серию импульсов, появляющихся в течение интервалов времени длительностью менее 20 секунд. В результате анализа выявлена серия из 5 импульсов, возникших 23 февраля 1987 года в течение 7 секунд, начиная от 2 часов 52 минут 37 секунд. Оценка показала, что эта пачка импульсов могла бы возникнуть и случайно, но не более чем один раз в год. В одном из этих случаев достоверно (а ещё в трёх случаях с большой вероятностью) была зафиксирована вторая стадия реакции, начатой при взаимодействии антинейтрино с протоном: нейтрон, рождённый при этом взаимодействии, объединился с протоном, испустив квант гамма-лучей. Этот квант тоже был зафиксирован детектором. Появление пачки импульсов, порождённых нейтрино непосредственно перед вспышкой сверхновой звезды, не является случайным, так как подобное событие могло бы произойти лишь один раз за тысячу лет.

Расскажем и о третьем сообщении. Оно поступило от группы, состоящей из 34 американских исследователей. Они представляли 14 организаций. С ними работали два англичанина и одна сотрудница Варшавского университета, стажировавшаяся в то время в США.

Они работали на черенковском детекторе, построенном совместно Калифорнийским университетом в Ирвине (Калифорния), Мичиганским университетом и Брукхэйвенской национальной лабораторией США.

Этот черенковский детектор тоже был предназначен для поиска распада протона. Он расположен в глубокой соляной шахте в штате Огайо.

Прямоугольный бак размерами 22,5S18S17 метров содержит около 8900 тонн очищенной воды. Внутренняя часть, содержащая 5000 тонн воды, является рабочим объёмом детектора. Однако в экспериментах по поиску распада протонов можно пользоваться только центральной частью детектора, содержащей 3300 тонн воды. Эта часть достаточно хорошо защищена от внешних воздействий.

В установке работают 2048 фотоумножителей, расположенных по углам квадратов со сторонами в 1 метр. В свою очередь эти квадраты образуют грани куба. Фотоумножители, каждый из которых имеет диаметр 20 сантиметров, «смотрят» внутрь детектора.

К сожалению, в течение семи часов, включающих момент наблюдения реакций, вызванных космическими нейтрино, часть источников высоковольтного напряжения, обслуживающих детектор, вышла из строя. Поэтому в наблюдениях не участвовала четвертая часть фотоумножителей. Это было учтено ЭВМ при анализе результатов наблюдений.

ЭВМ обработала все события, зафиксированные в течение 6 часов и 24 минут, начиная ровно с пяти часов международного времени 23 февраля 1987 года. В течение шести секунд, расположенных в десятисекундном интервале, начавшемся в 7 часов 35 минут 40 секунд, зафиксировано восемь событий, надёжно идентифицированных как реакции космических антинейтрино с протонами воды. И в этом случае эксперимент подтвердил, что направление прихода нейтрино совпадало с положением Большого Магелланова Облака.

Анализ периода в 60 часов, охватывающего момент нейтринной вспышки, не показал больше ни одного случая, который можно было отождествить с реакцией, порождённой космическими антинейтрино.

Затем был более подробно проанализирован интервал от 2 часов 22 минут до 3 часов 22 минут, включающий момент, 2 часа 52 минуты, совпадающий с тем, когда наблюдалась вспышка сцинтилляторов в нейтронной обсерватории под Монбланом. Но при этом в памяти ЭВМ не было обнаружено аналогичное событие.

НОВОЕ ОКНО ВО ВСЕЛЕННУЮ

Сообщение Е. Н. Алексеева, Л. Н. Алексеевой, В. И. Волченко и И. В. Кривошеиной было опубликовано четвёртым. Они осторожно назвали свою статью «О возможной регистрации нейтринного сигнала на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе ИЯИ АН СССР».

Баксанский телескоп построен под руководством советского физика, академика А. Е. Чудакова, в штольне под горой Андрычи в Баксанском ущелье на Кавказе. Он ведёт непрерывные наблюдения за Галактикой с июня 1980 года. Телескоп состоит из 3156 стандартных детекторов. Каждый из них имеет размеры 70S70S30 кубических сантиметров, заполнен жидким сцинтиллятором и просматривается отдельным фотоумножителем. Общая масса вещества сцинтиллятора составляет 330 тонн.

Телескоп наиболее чувствителен к электронным антинейтрино, взаимодействующим с протонами, в результате чего рождается нейтрон и позитрон. Наряду с этим регистрируются и электронные нейтрино, которые взаимодействуют с ядрами углерода, входящего в состав сцинтиллятора. Один из продуктов этой реакции — электрон, вызывающий вспышку сцинтиллятора.

Энергия электронов и позитронов, рождающихся в этих реакциях, мала, поэтому, родившись в одном из детекторов, они не выходят за его пределы. Это определяет программу поиска сигналов от коллапсирующих звёзд. ЭВМ должна была отобрать события,

при которых сработал один и только один детектор из 3156. При этом исключается большая часть мешающих процессов, при которых энергия электрона или позитрона столь велика, что он может вызвать практически одновременную вспышку в двух и более детекторах.

ЭВМ может работать в двух режимах. При первом масса сцинтиллятора составляет 130 тонн. Если же к обработке привлекаются сигналы внешних детекторов, окружающих внутренние, то полная масса сцинтиллятора составляет 200 тонн. За все пять с половиной лет работы телескопа в нём не было зарегистрировано ни одного события, при котором в интервале, не превышающем 20 секунд, количество сработавших детекторов превышало бы семь. Учитывая это, ЭВМ должна была выделить те события, при которых в интервале, равном 20 секундам, наблюдаются события с числом сигналов более четырёх.

ЭВМ выделила одну вспышку, происшедшую 23 февраля 1987 года в 2 часа 52 минуты 36 секунд международного времени. Это менее чем на 10 секунд отличалось от момента первой регистрации, зафиксированной под Монбланом. Данные двух установок не противоречат друг другу, если предположить, что средняя энергия нейтрино во время этой вспышки менее 10 Мэв, а это недостаточно для срабатывания Баксанского телескопа. Детектор же под Монбланом способен их регистрировать. Затем Баксанский телескоп зарегистрировал серию из пяти вспышек в течение интервала длительностью 20 секунд, середина которого соответствует 7 часам 36 минутам 15 секундам. Она сдвинута по времени на 30 секунд относительно японской установки и на 25 секунд относительно американской.

Но может быть, все-таки события, зафиксированные японской установкой и Баксанским телескопом, совпали во времени случайно? Оценка вероятности случайного совпадения показала, что такое возможно лишь раз на 2000 случаев. Ясно, что зафиксированные события имели общую причину.

Надеюсь, читатель не посетует на большое количество чисел в этом разделе. Ведь они лучше слов показывают, какие грандиозные по размерам и сложности установки сделали реальным новое «окно», через которое астрономы рассматривают Вселенную. Без таких установок невозможна нейтринная астрономия, а она позволяет наблюдать внутренние процессы, сопровождающие гравитационный коллапс массивных звёзд, проживших все стадии своей эволюции и израсходовавших все свои источники термоядерной энергии.

Внимательный читатель заметил, что, несмотря на достоверность наблюдений на всех четырёх установках, не все из них совпадают между собой. Так оно и было. При проверке выяснилось, в частности, что в службе времени установки Камиоканде II произошла неисправность. И моменты наблюдения событий, вызванных космическими антинейтрино, зафиксированные с точностью до долей секунды, в действительности отличаются от международного времени на целую минуту.

Несовпадения могли быть обусловлены и тем, что фотоумножители, являющиеся основой всех четырёх установок, не работают непрерывно. Они выключаются на короткое время после каждой зафиксированной вспышки света. Это могло привести к потере информации о событиях, происшедших во время выключения фотоумножителя.

Нужно учесть и то, что вероятность, с которой в рабочем объёме детектора происходит реакция с участием нейтрино или антинейтрино, очень мала. Поэтому, несмотря на то что во время коллапса сверхновой SN 1987A выделилось огромное число (около 10⁵⁹) нейтрино и антинейтрино, а на квадратный сантиметр поверхности Земли их пришлось около 10¹⁸ (миллиард миллиардов), вероятность вступления одного из них в реакцию с протонами внутри детектора становится очень малой. Поэтому небольшие расхождения в показаниях детекторов не исключены.

Явление сверхновой звезды столь сенсационный факт, что он естественно привлёк внимание большого числа исследователей. Кроме публикаций, описанных выше, в научных журналах появились и многие другие. Вот самые интересные из них.

Уже 30 марта 1987 года группа сотрудников Радиоастрофизической лаборатории АН Латвийской ССР в Риге и Института теоретической и экспериментальной физики в Москве направила в печать глубокий анализ процессов, послуживших причиной появления

сверхновой SN 1987A. Э. К. Грасберг, В. С. Имшенник, Д. К. Надеждин и В. П. Утробин провели анализ первых данных, полученных при наблюдении этой сверхновой. Они опирались на свои теоретические исследования, начатые ещё в 1964 году, когда Имшенник и Надеждин создали гидродинамическую модель взрыва компактных звёзд.

Исходным для них было быстрое, кратковременное (менее суток) увеличение блеска с последующим длительным медленным «разгоранием». Это «разгорание» не прекратилось и в середине мая, когда авторы получили корректуру своей статьи. Характерным для сверхновой SN 1987A является наличие ярких спектральных линий в её оболочке и весьма высокая скорость расширения этой оболочки, установленная по смещению спектральных линий к фиолетовому концу. Именно такими признаками обладают сверхновые типа II.

При проведении анализа советские учёные учли, что быстрое возрастание видимого блеска сверхновой наблюдалось спустя три часа после второго нейтринного импульса, зафиксированного в 7 часов 36 минут 27 февраля 1987 года (здесь момент фиксации нейтринной вспышки округлён до ближайшей целой минуты. — И. Р.).

Предварительные результаты анализа выглядят так: сверхновая возникла в ходе двухстадийного коллапса предсверхновой, радиус которой превосходил радиус Солнца примерно в 30 раз. На первой стадии гравитационного коллапса образуется вращающаяся нейтронная звезда. При этом не происходит выброса оболочки. На второй взрывоподобной стадии возникает коллапс вращающейся нейтронной звезды. Основная энергия вращательного движения передаётся выбрасываемой оболочке, масса которой составляет около 16 солнечных масс. Центральная часть ядра звезды в ходе второй стадии коллапса превращается в компактную нейтронную звезду или в чёрную дыру, в зависимости от величины массы, участвующей в этом процессе.

СВЕРХНОВЫЕ И... ПОЛЁТ ЧЕЛОВЕКА НА МАРС

18 мая 1987 года большая группа сотрудников Крымской астрофизической лаборатории и сотрудников Лаборатории космической астрономии в Марселе (Франция) сообщила о результатах своих наблюдений сверхновой звезды, проведённых с 4 по 12 марта 1987 года в ультрафиолетовой области спектра. Наблюдения велись с помощью советской астрофизической лаборатории на искусственном спутнике Земли «Астрон». Это было трудной задачей. Авторы пишут:

«Как только это (вспышка сверхновой. — И. Р.) стало нам известно, было решено изменить мартовское расписание наблюдений на Астрофизической станции «Астрон», чтобы провести исследование этого долгожданного явления. К сожалению, дело усложнялось тем обстоятельством, что ни одна из 15 штатных опорных звёзд (звёзд, избранных для ориентации спутника. — И.Р.) не позволяла в это время навести «Астрон» на область Большого Магелланова Облака. Был найден выход из этой критической ситуации: использовать Сатурн вместо опорной звезды. После пересмотра навигационной программы «Астроны» в начале марта мы смогли начать исследование сверхновой SN 1987A».

Были проведены четыре сеанса наблюдений, после чего Сатурн перестал быть пригоден для ориентации «Астроны», и наблюдения были прекращены. Однако и проведение наблюдения дали ценные результаты, получить которые в наземных обсерваториях невозможно из-за поглощения ультрафиолетового излучения земной атмосферой.

В частности, оценена скорость расширения разлетающейся оболочки сверхновой. 12 марта 1987 года она составляла около 10 000 километров в секунду. Всего в тридцать раз меньше скорости света. При этом радиус светящейся оболочки в 24 раза превосходил расстояние от Земли до Солнца, то есть превосходил радиус орбиты планеты Уран.

10 августа 1987 года Международная обсерватория «Рентген», установленная на борту модуля «Квант», пристыкованного к орбитальной станции «Мир», зарегистрировала жёсткое рентгеновское излучение сверхновой SN 1987A. Через пять дней это излучение обнаружил и японский спутник «Гинго».

В создании обсерватории «Рентген» участвовали учёные Советского Союза, Англии, Голландии, ФРГ и Европейского космического агентства.

Оболочка, отставшая от коллапсирующего ядра сверхновой, в начале своего расширения ещё настолько плотна, что не выпускает наружу рентгеновского и гамма-излучения. Но по мере расширения плотность оболочки уменьшается и она становится всё более прозрачной.

Эти наблюдения ещё не позволяют определить, в ходе какого процесса рождается обнаруженное излучение. Учёные видят две возможности. Источником может быть вращающаяся нейтронная звезда, образовавшаяся в ходе гравитационного коллапса внутренних областей протозвезды. Но возможен и второй процесс: при коллапсе в расширяющейся оболочке должно образовываться большое количество радиоактивного кобальта-56. Он распадается, порождая ядра обычного железа-56 и гамма-кванты. Скорость

НОВАЯ СВЕРХНОВАЯ

121 распада такова, что каждые 114 суток распадается половина наличного кобальта-56.

Естественно, возникает вопрос: почему «Квант» и «Гинго» зафиксировали рентгеновское излучение, когда распад ядер кобальта-56 порождает гамма-кванты? Это не опровергает возможность второго механизма. Проходя через плотную оболочку сверхновой звезды, гамма-кванты теряют свою энергию и выходят наружу в виде рентгеновских квантов. Если наблюдаемое рентгеновское излучение действительно порождается вторым механизмом, то его интенсивность должна убывать вместе с распадом кобальта-56. Обнаружим ли мы первичное гамма-излучение ядер кобальта-56? Это зависит от того, сколь быстро будет увеличиваться прозрачность расширяющейся оболочки сверхновой SN 1987A. Если оболочка станет прозрачной слишком поздно, то основная часть кобальта-56 успеет распасться, и наблюдать гамма-излучение не удастся. Напротив, если рентгеновское излучение порождается нейтронной звездой, его интенсивность должна изменяться медленно. Учёные с интересом следят за показаниями приборов, работающих в космосе. Естественно, работают они в космосе потому, что земная атмосфера поглощает рентгеновское и гамма-излучение, препятствуя проведению таких наблюдений на поверхности Земли. Эти наблюдения позволяют проверить, как при гравитационном коллапсе массивных звёзд идёт синтез ядер химических элементов и действительно ли сверхновые являются лабораториями, производящими тяжёлые химические элементы, из которых потом формируются планетарные системы.

Предварительное обсуждение этих наблюдений состоялось на заседании Международного форума «Сотрудничество в космосе во имя мира на Земле», посвящённое 30летию космической эры, начатой запуском первого в мире советского спутника Земли. Заседания форума происходили в Москве со 2 по 4 октября 1987 года. В нём приняли участие 890 учёных из более чем тридцати стран мира.

Нелишне добавить, что помимо наблюдений сверхновой SN 1987A на форуме был обсуждён широкий круг исследований, уже проведённых при помощи искусственных спутников Земли и космических лабораторий, обследовавших другие планеты и процессы в межпланетном пространстве. Обсуждён и ряд новых научных проектов, включая предложенную Советским Союзом поэтапную программу исследования Марса. Она начинается выводом космического аппарата на орбиту спутника Марса, созданием аэростатной станции, дрейфующей в его атмосфере, высадкой на его поверхность марсохода, снабжённого аппаратурой для анализа марсианского грунта и исследования состава поверхности Фобоса, одного из двух спутников Марса. Конечной целью программы является доставка на Землю образцов марсианского грунта.

Конечно, обсуждались и другие планеты. Среди них особое место занимал полёт человека на Марс.

Мы сообщили здесь о первых результатах, полученных при наблюдении давно ожидаемого события — вспышки сверхновой звезды в ближайшей окрестности нашей Галактики. Первой вспышки — после 1604 года — сверхновой звезды, видимой невооруженным глазом. И главное, первой вспышки сверхновой звезды, зафиксированной не только оптическими телескопами, но и первыми нейтринными телескопами, а также космической астрофизической станцией «Астрон» — этими детищами ядерной физики, фотоэлектроники и электронной вычислительной техники.

Астрофизики и физики-теоретики будут ещё долго продолжать наблюдения и анализировать полученные результаты. Эти результаты несомненно станут основой уточнения современной теории элементарных частиц и теории эволюции звёзд.

ТАЙНЫ ЛЕСА АЛЬФЫ ЛАЙМАНА

О дереве судят по его плодам.

Л. де Бройль

ДУЭЛЬ ИДЕЙ

Исаак Ньютон однажды сказал: если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов.

Ньютон был скромным человеком. Он сам был гигантом, величайшим физиком всех времён и народов. От него ведут свою родословную современная физика и математика.

Слова Ньютона мог бы с полным правом повторить ленинградский физик и математик Александр Фридман, подаривший науке эпохальное открытие. В своей работе он непосредственно опирался на плечи Альберта Эйнштейна, которого заслуженно считают Ньютоном XX века.

Рассказывают, что в начале двадцатых годов некий репортёр спросил крупного английского астрофизика Артура Эддингтона: правда ли, что Общую теорию относительности Эйнштейна понимают только три человека? Видя, что Эддингтон задумался, репортёр поспешил заверить: Эддингтон, конечно, входит в число трёх. Эддингтон ответил, что думает над тем, кто же третий.

Эддингтон не знал, что Фридман был этим третьим. Фридман не только понимал Общую теорию относительности, но и так хорошо владел сложным математическим аппаратом этой теории, что мог активно работать с её уравнениями.

И сделал великое открытие.

Уравнения открыли ему, что Вселенная — мир, в котором мы живём, — непрерывно расширяется. Нужно было обладать смелостью и уверенностью в себе, чтобы послать в журнал статью такого содержания и обоснование своей, неэйнштейновской, точки зрения.

Почему автор употребляет здесь слово «смелость»?

Да потому, что издревле учёные, включая Ньютона и Эйнштейна, были уверены в том, что Вселенная, взятая в целом, не только вечна, но и неизменна. Конечно, внутри неё всё изменяется. Но все были уверены, что это касается частных случаев. В целом Вселенная представлялась неизменной.

Именно это оспорил Фридман. Он доказал математически, что любая область пространства во Вселенной испытывает расширение. Расширение таково, что со временем размер Вселенной возрастает по вполне определённым законам.

Эйнштейн, конечно, тоже решал уравнения своей теории. Но, исходя из убеждения в стационарности Вселенной, ограничился тем решением уравнений, которое описывает её неизменное строение. Пойти дальше Эйнштейна Фридману помогло то, что, кроме физики и математики, он много занимался метеорологией и привык к разнообразным капризам природы. Естественно, он, как математик, уделял внимание изменчивым процессам.

Возможно, поэтому ему показалось сомнительным, что Вселенная, подвластная разнообразным, часто грандиозным процессам, изменяющимся во времени, остаётся тем не менее неизменной.

Он решил проверить, имеют ли уравнения Общей теории относительности решения, изменяющиеся во времени.

Интуиция не подвела. Ожидания подтвердились. Помимо решения, найденного Эйнштейном, уравнения имели ещё два. Эти решения взрывали прежнее научное мировоззрение. Одно из них описывало расширяющуюся Вселенную, второе — сжимающуюся.

Эйнштейн, прочитав статью Фридмана, опубликованную в 1922 году, счёл его вывод ошибочным. Ему показалось, что вычисления Фридмана не отмечают, а подтверждают неизменность Вселенной. Он изложил своё мнение в короткой заметке, направленной в тот же журнал.

Однако, ознакомившись с письмом Фридмана, содержащим возражения, Эйнштейн понял, что сам ошибся, что работа Фридмана правильна, и направил в тот же журнал вторую заметку с указанием своей ошибки. Он признал работу Фридмана правильной и «открывающей новые пути в науке».

Во всех последующих исследованиях, относящихся к строению Вселенной, Эйнштейн исходил из решения Фридмана и отмечал его приоритет.

По-видимому, замечание Эддингтона о том, что он не знает учёных, понимающих Общую теорию относительности, было обоснованным. Никто не откликнулся на статью Фридмана и заметки Эйнштейна. Эта дуэль идей оказалась забытой на целых семь лет.

С ПОМОЩЬЮ ЦЕФЕИД

Теория Фридмана воскресла после того, как в 1929 году американец Эдвин Хаббл опубликовал результаты своих многолетних замеров расстояний до различных галактик. Это сложная область космических исследований. Здесь не пригодны методы, применяемые астрономами для измерения расстояний до близких звёзд. Эти методы, по существу, основаны на том же принципе, которым пользуется человек для оценки расстояний до близких предметов. Правый и левый глаз видят близкие предметы слегка смещёнными на фоне удалённых предметов, а мозг обрабатывает это различие. Аналогично, если телескоп направлен на близкую звезду дважды: когда Земля находится в противоположных точках орбиты, то эта звезда представляется сдвинутой на фоне далёких звёзд.

Большинство галактик расположены много дальше, чем видимые звёзды. Так что такой метод к ним неприменим. Но Хаббл обнаружил в некоторых галактиках (наиболее близких) отдельные звёзды, блеск которых регулярно изменялся с течением времени. Такие звёзды встречаются и в нашей Галактике, то есть на сравнительно небольших (по астрономическим меркам) расстояниях. Их называют цефеидами, и для них существует хорошо изученная зависимость между блеском и периодом его изменения. Поэтому ими можно пользоваться как стандартными источниками света. Блеск источника света уменьшается в такой же степени, как увеличивается квадрат расстояния до него. Определив величину светимости цефеид и период её изменения, вычисляют расстояние до них. А определив расстояние до близких цефеид, можно при помощи указанного метода воспользоваться ими как «точкой опоры» для определения расстояний до удалённых галактик.

Основная ценность работ Хаббла — обнаружение связи расстояния до определённой галактики с так называемым красным смещением в её спектре. Напомним, спектр любого объекта — галактики, звезды, свечи — его световой паспорт. Он говорит о том, какие волны излучает объект. Спектр, видимый глазом, включает только волны, соответствующие цветам радуги — от красных до фиолетовых. Кроме видимых, спектр звёзд содержит и невидимые — ультрафиолетовые, инфракрасные, рентгеновские, гамма-волны. Исследуя состав спектра, учёные судят о том, из каких элементов состоит объект.

Исследование спектра галактик привело Хаббла к открытию новой главы в астрономии.

Как возник термин «красное смещение»? Он возник потому, что все спектральные линии удалённых галактик оказываются сдвинутыми в сторону более длинных волн. Для видимого спектра — к той его части, где расположены спектральные линии красного цвета.

Хаббл понял, что красное смещение свидетельствует о движении галактик. Об удалении этих источников света от Земли. Явление, которое можно сравнить с тем, как меняется тон гудка удаляющегося паровоза. Он кажется более низким по сравнению с гудком стоящего паровоза. Когда паровоз проносится мимо вас, вы отчётливо слышите изменение тона его гудка.

Хаббл сопоставил величину красного смещения для многих галактик с расстоянием до них, измеренным по наблюдениям за измерениями светимости цефеид. Он обнаружил, что скорость удаления каждой из галактик пропорциональна её расстоянию до Земли. Коэффициент пропорциональности в этой зависимости получил название «постоянной Хаббла».

Именно это следует из решения Фридмана. Вселенная расширяется, и скорость её расширения пропорциональна расстоянию между объектом наблюдения и наблюдателем! Фридман оказался прав. Многие астрономы занялись измерением постоянной Хаббла, пытаясь как можно более точно определить скорость расширения Вселенной.

За время, прошедшее после открытия Хаббла, учёные многократно уточняли величину постоянной Хаббла. Новейшие из полученных значений лежат в пределах от 50 до 100 условных единиц. Совсем недавно удалось уточнить, что постоянная Хаббла равна 65 единицам.

Существование простой зависимости между расстоянием до галактики и скоростью её удаления, определяемой по красному смещению спектральных линий в её спектре, позволило считать величину красного смещения удобной характеристикой расстояния до галактики. Величину красного смещения принято обозначать латинской буквой Z^* . Величина Z равна отношению наблюдаемой длины волны спектральной линии к длине излученной волны, уменьшенному на единицу. ните, что обозначает эта буква, мы неоднократно будем к ней возвращаться.

Для большинства изученных галактик величина Z лежит в пределах от 0,2 до 0,8. Для того чтобы ощутить порядок величин, достаточно указать, что при $Z=0,5$ расстояние до наблюдаемой галактики таково, что свет тратит на прохождение этого пути 65109 лет. Астрономы говорят: расстояние составляет 6 миллиардов световых лет. Чем больше величина Z , тем удалённее галактики. Так как блеск источника убывает вместе с увеличением квадрата расстояния до него, то даже самые крупные телескопы не позволяют увидеть не только свет звезды, но и свет целых галактик при Z , превышающей единицу. Возникало впечатление, что на расстояниях, при которых Z превышает единицу, Вселенная пуста.

Казалось, что астрономы достигли предела дальности наблюдения, ибо им не встречались источники более яркие, чем галактики, в которых одновременно светится около 1010 звёзд. Исключением являются наша Галактика и галактика в созвездии Андромеды, содержащие в 10 раз большее количество звёзд.

ПУСТА ЛИ ВСЕЛЕННАЯ?

После строительства крупных радиотелескопов ситуация в этой области науки внезапно изменилась. В 1960 году были открыты удивительные источники радиоволн. Создавалось впечатление, что огромная излучаемая ими энергия исходит из одной точки. Их назвали квазизвёздными источниками радиоизлучения, сокращённо — квазарами. Астрофизики не могли понять природы этих источников радиоволн. Загадка ещё более сгустилась после того, как наблюдатели убедились в странном совпадении: положение некоторых из квазаров оказалось как бы наложенным на тускло светящиеся звёзды, видимые

только в крупнейшие из телескопов. Причём в их спектрах были обнаружены таинственные спектральные линии. Эти спектральные линии не совпадали со спектрами известных химических элементов. Квазары как бы выбывали из общей гармонии в распределении материи.

В 1963 году американский астрофизик М. Шмидт, пытаясь выявить какую-либо закономерность в положении спектральных линий одного из квазаров, обнаружил, что их можно сопоставить с известными спектральными линиями атомов водорода. Но при этом надо допустить, что все они сдвинуты в красную сторону спектра. Причина? В свете хаббловского мировоззрения это может происходить вследствие быстрого удаления квазара от Земли.

Простые вычисления показали, что скорость удаления этого квазара составляет 48 тысяч километров в секунду. Скорость, соответствующая значению $Z = 0,158$. Это один из близких к нам квазаров.

Правильность предположения подкреплялась тем, что Шмидту удалось отождествить и ряд других линий в спектре этого квазара со спектрами различных химических элементов.

Теперь известно, что квазары излучают электромагнитные волны в широчайшем диапазоне, включающем радиоволны, с одной стороны, и ультрафиолетовые волны — с другой стороны. Более того, аппаратура, установленная на искусственных спутниках Земли, зафиксировала ещё более коротковолновое излучение некоторых квазаров, простирающееся вплоть до диапазона гамма-лучей.

Теория, которая могла бы описать природу квазаров и процессы, обеспечивающие пополнение колоссальных потоков энергии, излучаемой ими в течение длительного времени, ещё не разработана. Известно лишь, что они излучают не меньше энергии, чем миллиарды Солнц, а их размеры не превышают размера Солнечной системы. Неудивительно, что мысли учёных в поисках объяснения обратились к другой космической тайне наших дней, к чёрным дырам. Не может ли быть, что в центре квазара расположена огромная чёрная дыра или даже несколько чёрных дыр? Ведь они обладают огромной массой и пополняют свою энергию, притягивая звёзды из окружающего пространства. Необычно большие гравитационные силы, исходящие из чёрной дыры, разрушают приближающиеся к ней звёзды. При этом возникает интенсивное излучение электромагнитных волн во всём диапазоне: от радиоволн до самого коротковолнового гамма-излучения. Картина, нарисованная воображением учёных, подходила к реальным наблюдениям.

Конечно, эта гипотеза привлекла к себе пристальное внимание. Она взволновала астрофизиков.

Вскоре были изучены спектры многих квазаров и обнаружена отчётливая закономерность: если отобрать ряд квазаров с одинаковой светимостью, то их количество растёт вместе с ростом Z , то есть вместе с расстоянием до них. Для квазаров с большей светимостью этот рост заметен сильнее, чем для квазаров с малой светимостью. Но при значении Z порядка 2,1 количество квазаров начинает падать. Самый далёкий из обнаруженных квазаров имеет $Z = 4,43$. Свет, приходящий к нам от этого квазара, был послан им в чрезвычайно отдалённое время, когда после Большого взрыва прошло «только» 2 миллиарда лет, а диаметр Вселенной составлял лишь 18 процентов современного значения.

Удивительно, что не найдено ни одного квазара, находящегося более далеко, хотя чувствительность современных крупных телескопов, оснащённых электроникой, такова, что при их помощи можно было бы наблюдать квазары с $Z = 6$.

Это значит, что квазары видны в ограниченном слое мирового пространства: между $Z = 0,15$ и $Z = 4,5$. Причём для Z , превосходящих 3, количество их быстро уменьшается.

Причина ещё не установлена. Не исключено, что для объяснения этого факта учёным придётся пойти на крайность, пересмотреть теорию эволюции Вселенной.

Внимательное изучение спектров наиболее удалённых квазаров показало, что в них спектральные линии, отождествлённые Шмидтом, сместились за пределы спектра, видимого глазом, уйдя в область невидимых инфракрасных волн.

Вместо них в видимом участке спектра появились новые широкие спектральные линии. Что это за линии? Какая тайна скрывается за ними? Астрономы обратились за советом к физикам. Вскоре неопознанные линии удалось отождествить с наиболее яркой спектральной линией, наблюдаемой в лабораториях в невидимой глазом ультрафиолетовой части спектра атомов водорода. Она принадлежит к серии спектральных линий, открытых в 1906 году американским физиком Т. Лайманом. Это событие не заметили. Никому и в голову не пришло, что открытие зазвучит во весь голос в конце века.

ВИДЕНИЯ ЛАЙМАНА

Теперь пора познакомиться с Лайманом. Теодор Лайман родился в 1874 году в США в городе Бостоне. Ему было двадцать три года, когда он окончил знаменитый Гарвардский университет. Работая в этом же университете, он открыл серию спектральных линий водорода, лежащих в далёкой ультрафиолетовой области спектра. Физики назвали эту серию именем Лаймана. Спектральные линии Лаймана возникают чаще всего в газах при небольших давлениях, когда атомы газа редко сталкиваются друг с другом. Что ж, учёные, работающие в области спектрального анализа, приняли это к сведению.

Изучение спектральных линий началось в 1817 году, когда немецкий физик И. Фраунгофер заметил в спектре Солнца отдельные узкие линии, выглядевшие тёмными на ярком фоне солнечного спектра. В 1834 году англичанин Ф. Тальбот объяснил: «Когда в спектре пламени появляются какие-нибудь определённые линии, они характеризуют металл, содержащийся в пламени». В 1859 году Г. Кирхгоф и Р. Бунзен создали метод спектрального анализа. Он дал науке огромные возможности: судить по спектральным линиям о наличии в исследуемом веществе или объекте определённых химических элементов. Этот метод плодотворно используется и в промышленности, и при лабораторных исследованиях, и при изучении космических объектов.

Особое звучание исследование спектров получило в 1870 году, когда Дж. Стони заметил, что три спектральные линии в спектре Солнца соответствуют трём спектральным линиям спектра атомов водорода и что длины волн этих линий относятся между собой как определённые целые числа.

Через пятнадцать лет швейцарский физик и математик И. Бальмер обнаружил важное обстоятельство: закономерность, замеченная Стони, есть частный случай более общего закона. Он нашёл, что длины волн всех видимых спектральных линий водорода могут быть связаны простой формулой. Нужно лишь приписывать некоторой переменной величине, входящей в эту формулу, целочисленные значения от трёх и больше. Эти спектральные линии водорода теперь называют спектральной серией Бальмера.

Закономерности, вскрытые Бальмером, Лайманом и другими физиками в спектре атомов водорода, стали экспериментальной основой, на которой Нильс Бор возвёл первый этаж величественного здания квантовой физики. Он построил модель атома водорода, поставив этим на твёрдую основу резерфордовскую планетарную модель атома. Недаром физики в шутку говорят: атом Бора — это не атом химического элемента бора, а атом водорода.

Потребовались годы коллективных усилий, прежде чем учёным удалось выявить закономерности, определяющие строение других атомов, более сложных, чем атом водорода. Когда же это было сделано, спектральный анализ получил возможность идентифицировать каждый из химических элементов и их ионов, а позже и изучать строение молекул. Он стал надёжным орудием физиков, химиков, астрофизиков, геологов, металлургов и специалистов других областей науки и техники. Приближалось время, когда должна была сделать свой вклад в космологию и «серия Лаймана».

Именно такую серию, сдвинутую красным смещением, опознал в 1963 году Шмидт в спектре одного из квазаров, дав мощный толчок исследованиям этих таинственных объектов. Серию Лаймана в спектрах небесных тел нельзя наблюдать с поверхности Земли. Дело в том,

что ультрафиолетовый участок спектра полностью поглощается атмосферой, главным образом слоем озона, возникающим в верхних слоях атмосферы под воздействием солнечного излучения.

Итак, в спектрах далёких квазаров, для которых красное смещение превосходит $Z = 2$, ультрафиолетовые спектральные линии водорода, открытые Лайманом, перемещаются в видимый диапазон. Самую яркую из них по традиции обозначают греческой буквой альфа.

В 1971 году неожиданно оказалось, что в спектрах многих квазаров с коротковолновой стороны от широкой яркой линии альфа Лаймана видны узкие тёмные спектральные линии, подобные линиям, открытым Фраунгофером в спектре Солнца. Такие линии возникают, когда свет яркого источника проходит сквозь слои более холодных газов. Атомы холодного газа поглощают свет волн точно той длины, которые они испускают, будучи нагретыми.

Это открытие, как часто бывает, не привлекло сразу внимания учёных. Потребовалось значительное улучшение качества электронной аппаратуры, применяемой астрономами для исследования спектров слабых источников. В строй вступили новые схемы, способные регистрировать приход единичных фотонов.

ОТ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ К ЛЕСУ

Систематические исследования спектральных линий поглощения, сопровождающих альфу Лаймана, были начаты в 1980 году американскими учёными под руководством В. Сарджента. Они увидели, что в коротковолновой окрестности линии альфа Лаймана простирается область непрерывного излучения, прорезанная десятком узких линий поглощения. Прибор нарисовал кривую, которая выглядит как еловый лес, отражающийся в водной глади: ели стоят сплошной стеной, а их вершины кажутся расположенными внизу. Сбоку на этой картине возвышается высокой и широкой вершиной изображение альфы Лаймана.

Так возникло и удержалось в научной литературе название — лес альфы Лаймана.

Какие тайны скрывает этот лес?

Помните, мы уже упоминали о том, что наиболее удалённые из галактик, видимых в лучшие телескопы, имеют значение красного смещения Z меньше чем единица? Астрономы могли только гадать: что же находится и происходит в огромном объёме, лежащем за этим пределом?

До тех пор пока не войдут в строй телескопы следующего поколения, составленные из многих зеркал, согласованно подчиняющихся командам ЭВМ, нечего и мечтать увидеть или сфотографировать за этим пределом объекты менее яркие, чем квазары.

Неожиданную возможность предоставил лес альфы Лаймана. Изучая его, расшифровывая информацию, закодированную в виде образующих его деревьев спектральных линий, можно получить информацию о том, что находится между нами и квазарами. Можно проникнуть мысленным взором туда, откуда к нам не доходит свет объектов менее ярких, чем квазары.

Впрочем, неведомое и этим путём не может быть полностью изучено с поверхности Земли. Для квазаров с Z меньшим чем 1,7, альфа Лаймана и её лес испытывают слишком малое красное смещение, чтобы пройти сквозь слой озона. Эту узкую зону с Z от 1 до 1,7 можно прощупать только с искусственных спутников Земли, которые движутся за пределами слоя озона.

Что же увидели учёные в лесу альфы Лаймана?

Оказалось, что каждая из линий, образующих этот лес, связана с поглощением света квазара при его прохождении через огромные облака атомарного водорода. Это именно отдельные облака. Каждое из них ограничено в пространстве. Расстояние до облаков может быть определено из величины красного смещения — скорости удаления от нас каждого облака. Удаления, обусловленного фридмановским расширением той области пространства, которое включает данное облако. Каждое из этих облаков, расположенных на пути, по

которому к нам идёт свет квазара, оставляет свою метку, свою линию поглощения, входящую в состав леса Альфы Лаймана. Речь идёт именно об отдельных облаках. Если бы всё космическое пространство было равномерно заполнено атомарным водородом, спектральные линии поглощения слились бы воедино, вызывая лишь ослабление света, приходящего к нам от квазара.

Убедительным подтверждением этой точки зрения является несхожесть структуры леса альфы Лаймана для различных квазаров. Ведь свет от них идёт к нам различными путями. Значит, он проходит через различные облака атомарного водорода, находящиеся на различных расстояниях от нас и имеющие индивидуальные значения величины красного смещения.

Исследуя спектральные линии поглощения, принадлежащие лесу альфы Лаймана данного квазара, учёные установили, что на каждый нейтральный атом водорода в облаке приходится около ста тысяч протонов (ионизированных атомов водорода). Удалось установить и массу облаков. Она огромна и обычно равна от 10⁷ до 10⁸ солнечных масс.

В 1984 году американские учёные, руководимые К. Фольтцем, установили, что размеры облаков сопоставимы с размерами галактик. При этом они опирались на одну интересную идею Эйнштейна. Речь идёт о гравитационных линзах — огромных областях пространства, геометрия которых искривлена скоплением колоссальных масс материи. Проходя через искривлённое пространство, изгибаются и лучи света. При удачном стечении обстоятельств наблюдатель может видеть квазар, расположенный за гравитационной линзой, раздвоенным. Сейчас известно семь гравитационных линз, образующих по два изображения находящихся за ними квазаров.

Доказательством того, что это действительно удвоенное изображение одного и того же квазара, служит полное совпадение линий, образующих лес альфы Лаймана, в каждом из них.

Этот результат показывает, что облако водорода, образующее каждую из линий поглощения, связано с галактикой, невидимой из-за большого расстояния. Если бы облако было больше типичной галактики, то линии леса были бы сдвинутыми. Если бы они были меньше неё, то в лесу были бы и другие «деревья». К этому мы ещё вернёмся.

Так открылась одна из тайн космоса. Размеры облаков столь велики (несколько десятков тысяч световых лет), что их собственные гравитационные силы не смогли бы удержать их от расширения. Их удерживает гравитация, сдерживающая и звёзды в галактиках. Источником этой гравитационной силы является огромная масса невидимых нейтрино, стянутых в незримое облако гравитационными силами на ранней стадии эволюции Вселенной.

Признав, что водородные облака — порождение столь отдалённой эпохи, следует принять и то, что в их состав не входят другие элементы, кроме гелия. Но обнаружить в этих облаках присутствие гелия с поверхности Земли мешает слой озона, поглощающий излучение, исходящее от атомов гелия. Увидеть его — задача космической астрономии. Космические телескопы позволят сделать контрольный замер: определить отношение количества водорода к количеству гелия. Другие методы уже дали ответ: это отношение, как и предсказала теория Большого взрыва, составляет три к одному.

НОВОЕ ОБ АНАТОМИИ ВСЕЛЕННОЙ

Теорией Большого взрыва учёные называют модель ранних этапов эволюции Вселенной. Началом в этой модели возникновения мира является взрывоподобное, быстрое расширение плотной горячей массы первоначальной материи.

В спектрах леса Альфы Лаймана, полученных у нескольких квазаров, помимо линий поглощения водорода обнаружены спектральные линии сравнительно тяжёлых элементов — углерода, кремния и магния. Так закодирована ещё одна тайна. Расшифровка спектров показала, что в этих случаях луч зрения от квазара к телескопу проходит не через край

водородного облака, а через его центральные области, проникая сквозь галактику, «спрятанную» в этом облаке. Точнее, луч зрения проходит через галактический диск или через гало, окружающее эту галактику, то есть через области, где, как показали исследования видимых, близких к нам, галактик, присутствуют эти элементы.

Французский учёный Ж. Бержерон специально исследовал эту проблему. К каким выводам привели его раздумья и наблюдения? Действительно, в тех случаях, когда свет квазара проходил сквозь гало видимой галактики, в этом гало обнаружено красное смещение, совпадающее с красным смещением линий тяжёлых элементов в лесу альфы Лаймана этого квазара.

Так возник ещё один способ увидеть невидимое. Анализируя «состав» леса Альфы Лаймана от невидимых галактик, можно многое узнать о них, например место нахождения, направление. Можно даже прикинуть расстояние до галактик, расположенных много дальше за ними. Это очень ценный метод, так как пока нельзя увидеть даже более близкие галактики. Надежда на огромные телескопы, находящиеся ещё в стадии проектирования.

Уже зафиксированы случаи, когда луч света от квазара проходит через области, где плотность атомов водорода в 1000 раз больше, чем в обычных облаках, образующих лес Альфы Лаймана. Во всех этих случаях в спектре появляются сильные линии тяжёлых элементов. Учёные сделали вывод, что в этих случаях луч света квазара проходит через центральный диск молодой галактики. В одном из таких случаев значение Z равнялось 3,3. Значит, галактика возникла лишь через несколько миллиардов лет после Большого взрыва. Наличие линий тяжёлых элементов в её спектре свидетельствует о том, что в ту раннюю эпоху уже произошли взрывы сверхновых звёзд первого поколения. Ведь элементы, тяжелее чем литий, могли образоваться только в результате таких взрывов. Существенно, что молекулярные облака и пыль в то время ещё не образовались, иначе их присутствие отобразилось бы в структуре спектров.

Наблюдения леса альфы Лаймана, позволяющие опознавать галактики за пределами видимости, уже дали возможность обнаружить огромные скопления галактик, находящихся в стенках «пены», заполняющей Вселенную. Пенной физики называют самые большие из структур, возникших, когда Вселенной было всего 3 миллиарда лет. Так была ещё раз подтверждена теория образования галактик из продуктов Большого взрыва, разработанная советским учёным Я. Б. Зельдовичем.

Эта теория существенно уточнила знания, полученные Ньютоном о строении Вселенной. Ньютон считал, что если в начале существования Вселенной образующее её вещество было распределено равномерно, то силы тяготения нарушат однородность, собрав это вещество во множество шарообразных скоплений.

Зельдович показал, что в процессе гравитационного сжатия шарообразные структуры, о которых писал Ньютон, оказываются неустойчивыми. Они постепенно превращаются в дискообразные структуры, Зельдович назвал их блинами. По мере утончения блина его поверхность возрастает.

Так как блины расположены в пространстве хаотически, то они постепенно соприкасаются между собой. При этом образуется хаотическая система, в которой блины превращаются в тонкие (по космическим масштабам) стенки, богатые веществом. Они окружают огромные пустоты, напоминая этим пену. В стенках пены со временем возникают галактики. Где соприкасаются два блина — две стенки, плотность вещества оказывается большей, чем в стенках. Поэтому там рождается большее количество галактик — скопление галактик. Где соприкасаются сразу три стенки, плотность вещества оказывается ещё большей. В таких местах обнаружены сверхскопления галактик.

Наблюдения подтвердили справедливость этой теории. Астрономы обнаружили во Вселенной огромные пустоты, лишённые галактик, и усеянные галактиками причудливые поверхности, ограничивающие эти пустоты. Скопления галактик расположены вдоль линий соприкосновения этих поверхностей. В свою очередь сверхскопления галактик обнаруживаются там, где пересекаются контуры пространств, населённых рядовыми

скоплениями галактик.

Интересно, что плотность облаков, образующих линии леса Альфы Лаймана и имеющих большие красные смещения, превосходит плотность тех облаков, для которых красные смещения меньше. Такое уменьшение свидетельствует о втягивании вещества облаков внутрь звёзд, образующих галактику, сожительствовавшую с облаком.

Исследования тайн леса альфы Лаймана постепенно расширяются. Астрофизики возлагают большие надежды на новые возможности, открываемые телескопами, расположенными на искусственных спутниках Земли. В этой загадочной области космологии каждый день может стать днём сенсации. Эта наука развивается на наших глазах. Возможно, нам предстоит встреча с великими открытиями. Следите за сообщениями о достижениях науки.

ЧЕРЕЗ МАГНИТНУЮ ЛУПУ

Судьба одаривает лишь подготовленные умы.

Л. Пастер

БОЖИЙ ДАР

В начале прошлого века тринадцатилетний сын лондонского кузнеца после кратковременного пребывания в начальной школе поступил в обучение к переплётчику. Там он мог утолить свою жажду чтения. Стоит ли думать о том, как сложилась бы его судьба и история науки, если бы ему пришлось обучаться другому ремеслу?

Майкл Фарадей не просто читал, а набирался знаний. Начал посещать публичные лекции. Лекции замечательного химика Дэви покорили юношу, и он послал Дэви письмо с просьбой принять его на работу. Так Фарадей проложил себе дорогу в науку.

Естественно, что, начав работать с Дэви, Майкл стал химиком. Но его тянуло к физике. Отсутствие систематических знаний математики наложило характерный отпечаток на все исследования Фарадея. Он был смелым и гениальным экспериментатором. Некоторые ограничивают его роль именно великими экспериментальными открытиями. Но он был, пожалуй, ещё более великим провидцем. Стремился и умел находить общность в, казалось, отдалённых областях науки, в совершенно несхожих явлениях. Он был глубоким теоретиком, способным проникать мысленным взором в самую суть вещей и явлений, и формулировал свои мысли в столь чёткой форме, что и в словесном выражении они не уступали математическим теоремам. Вот что писал по этому поводу Максвелл: «По мере того как я продвигался вперёд в изучении Фарадея, я убедился, что его способ понимания явлений также имеет математический характер, хотя он и не предстаёт нам облачённым в одежду общепринятых математических формул...»

Фарадей пришёл к глубокому убеждению о единстве природы и стремился отыскивать всё новые и новые доказательства этого единства. «...Теперь мы знаем, — писал Фарадей, — что он (магнетизм. — И. Р.) действует на все тела и находится в самой тесной связи с электричеством, теплотой, химическим действием, со светом, кристаллизацией, а через последнюю и с силами сцепления».

Фарадей проделал огромное количество опытов, вскрывающих единство того, что он называл силами, а в современной терминологии является различными формами энергии. Но величайшим открытием Фарадея, величайшим после Ньютона, является его теоретический вывод о существовании полей. Он отождествлял поля с материей, считая, что она проникает через все тела и заполняет всё пространство.

Пространство Ньютона — пассивноеместилище тел и зарядов. Пространство Фарадея — средоточие явлений, источник и передатчик сил, действующих на тела и заряды.

Внимание! Сейчас последует величайший для всей истории изучения и покорения

света вывод. Пространство, наполненное силовыми линиями, делает ненужным понятие эфира. Ненужным! Можно представить себе, что свет есть не что иное, как дрожание силовых линий.

«Если допустить такую возможность, — пишет Фарадей, — то можно было бы обойтись без эфира...»

ГЕНИЙ ПЯТНАДЦАТИ ЛЕТ

Максвелл поставил перед собой цель — придать идеям Фарадея математическую форму. Максвелл рано пристрастился к математике. Свою первую научную работу он выполнил за год до поступления в университет. В то время ему было лишь пятнадцать лет. Во всём блеске математическое дарование Максвелла проявилось при решении задачи, казавшейся совершенно недоступной обитателям Земли. Речь идёт о загадке колец Сатурна, открытых, как мы знаем, ещё Гюйгенсом. За века, прошедшие с тех пор, высказывалось множество гипотез о природе этих колец. Но никто не мог предложить способа проверки их истинности. И то, что было и до недавнего времени оставалось недоступным для опыта, оказалось решённым на листе бумаги. Максвелл расчётным путем показал, что кольца не сплошные образования — твёрдые или жидкие. Они должны состоять из множества отдельных тел, вращающихся по близким орбитам. В наши дни это подтверждено фотографиями с космических аппаратов, пролетающих вблизи Сатурна. Важное значение для науки имеют и работы Максвелла по кинетической теории газов, но самых ценных результатов он добился, развивая идеи Фарадея.

После долгой и кропотливой работы в период 1860–1875 годов Максвелл создал теорию, в которой электрические и магнитные силы природы объединены в понятие единого электромагнитного поля, включающего видимый свет, невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

Он свёл всё известное людям об электричестве и магнетизме к удивительно простым уравнениям. Именно они сообщили, что свет — это электромагнитные волны, способные распространяться в пустом пространстве так же легко, как в прозрачных телах. Из уравнений следовало, что эти волны могут существовать сами по себе. Они представляют собой реальность, ранее неведомую людям и внезапно появившуюся перед учёными, как могучий хребет из-за рассеявшегося тумана.

По признанию одного из крупнейших физиков нашего времени, даже «современные представления не могут служить основой для понимания этих электромагнитных колебаний, которые не сводятся к классическому и наглядному представлению о колебаниях материального тела; висящие в пустоте, если можно так сказать, они выглядят для непосвящённых (а может быть, даже и для физиков) чем-то довольно таинственным». Чего же требовать от современников Максвелла! Несмотря на свои невероятные свойства, эфир прочно утвердился в их умах, ибо люди, сформировавшие свои взгляды под влиянием ньютоновской физики, идеалом которой было сведение всех явлений к механическим, не могли отказаться от эфира как переносчика световых волн. Не могли поверить в самостоятельную сущность света и других, ещё неведомых волн.

Теория Максвелла явилась в науке первым этапом немеханической физики, первым этажом в грандиозной пирамиде всё усложняющихся абстракций. Мы увидим, что трудности, связанные с освоением новых абстракций, возникнут вновь, когда наступит эра теории относительности и квантовой механики.

Уравнения Максвелла содержали в себе не только описание известных явлений, но и предсказали существование новых волн, открытых впоследствии, в том числе радиоволн. Уравнения не содержали лишь одного — в них не было ничего, относящегося к световому эфиру и его поразительным свойствам. Эфир просто остался за бортом теории Максвелла, но это никак не мешало ей уверенно помогать развитию науки. Для некоторых учёных эфир стал просто синонимом пустого пространства.

Через двенадцать лет Герц обнаружил на опыте предсказанные теорией Максвелла электромагнитные волны. Однако традиции механистической физики не были сломлены. Многие физики упорно пытались подвести под теорию Максвелла ходячую привычную наглядности. Они объясняли: электромагнитные поля Максвелла — это особые натяжения эфира. Такое объяснение не пугало, ведь свет принимали за поперечные волны в эфире.

Другие, продолжая считать эфир реальностью, предпочитали забывать о его противоречивых свойствах, относя эфир в разряд непознаваемых невесомых субстанций.

YOU SEE?

XIX век перевалил в свою вторую половину под торжественные звуки фанфар. Здание науки уже красовалось многими башнями и казалось построенным на века.

Рассказывают, что один молодой человек, мечтавший заниматься теоретической физикой, поведал о своей мечте маститому Томсону. И тот отговаривал молодого физика, потому что теоретическая физика, по существу, закончена и в ней нечего делать. Это было в начале XX века.

Но Томсон ошибался, как ошибались многие и до и после него, считая, что достигли предела знаний, не понимая неисчерпаемости природы, безграничности процесса познания.

Наука манит своих слуг чарующим видом сияющих вершин, и они без усталости карабкаются по каменистым тропам, стремясь ввысь и пренебрегая устрашающими пропастями. Бывает и так: человек строит башню, чтобы с неё видеть дальше и больше. И другие нетерпеливо помогают ему. А у подножия башни образуется зияющий провал, грозящий поглотить строителей и их гордое творение, если они не сумеют вовремя укрепить фундамент...

Выдающийся немецкий физик Кирхгоф, уже прославившийся тем, что установил законы распространения электричества по проводам, ничем не отличавшиеся от законов, управляющих течением жидкости по трубам, настойчиво изучал оставшиеся ещё не вполне ясными свойства упругих тел. Судьбе было угодно столкнуть его с замечательным химиком Бунзеном, успевшим прославиться изобретением угольно-цинкового гальванического элемента, а затем, с его помощью, он получил металлический магний, литий, кальций и стронций.

Потеряв глаз при взрыве во время одного из опытов, тяжело отравившись мышьяком, Бунзен оставался оптимистом и видел многое, скрытое от других. Он проложил дорогу химии металлоорганических соединений и химии радикалов и стремился создать метод химического анализа, пригодный для контроля металлургических процессов. Здесь основным требованием была быстрота — качество, почти недоступное химии.

Итак, они встретились, и совместная работа закипела. Они начали изучать спектры пламени, окрашенного солями различных металлов, пользуясь спектроскопом и газовой горелкой, специально изобретённой Бунзеном. Эта горелка, существующая поныне, даёт почти бесцветное пламя. Её потомки трудятся и в газовых плитах, и в огромных топках.

После Ньютона не только в лабораториях, но и в светских гостиных увлекались разложением белого света на радужные полосы. Но лишь в самом начале XIX века Волластон соединил призму с узкой щелью в камере-обскуре. Так возник спектроскоп. Спектр получился в нём необычайно ярким, как хвост жар-птицы. Цвета были насыщенными, свободными от белесой дымки, мешавшей всем предшественникам Волластона. На фоне радужной полосы Волластон увидел семь тёмных линий. Он принял их за границы, разделяющие цвета спектра, и не придавал им никакого значения. Мелкий факт, вполне понятный. Что могло быть более обычным, чем границы в ту пору — пору мелких княжеств и враждующих государств.

Неудивительно, что об этом открытии вскоре забыли. Один из многих печальных случаев в истории науки.

Задумав увеличить яркость изображения при наблюдении спектров, Фраунгофер

соединил воедино зрительную трубу со щелевым спектро스코пом Волластона и направил в свой прибор солнечные лучи. Прекрасный яркий спектр пересекали чёткие тёмные линии... Сотни линий...

Спектроскопы Фраунгофера завоевывали всё большую популярность. Многие любовались чарующей симфонией света. Но «смотреть» не означает «видеть». По своему смыслу «видеть» гораздо ближе к «понимать». Именно это имеет в виду англичанин, спрашивая: «You see?»

Никто не может сказать, сколько человек, начиная с Ньютона, рассматривали всевозможные спектры. Несомненно, многие замечали, что окраска пламени связана с появлением в его спектре узких ярких линий. Возможно, кто-нибудь заметил и то, что жёлтые линии, порождаемые поваренной солью, возникали при внесении в пламя других солей натрия. Зелёные линии появлялись не только в присутствии металлической меди, но и при нагревании мельчайших крупинок медного купороса и других солей меди.

Кирхгоф и Бунзен после длительных опытов и раздумий пришли к твёрдому выводу — Тальбот прав, говоря: «Когда в спектре пламени появляются определённые линии, они характеризуют металл, содержащийся в пламени». Более того, каждый химический элемент характеризуется вполне определённым набором спектральных линий. Эти линии являются своеобразным паспортом химического элемента. Наблюдая их в спектроскоп, можно судить о наличии в веществе данного элемента.

Так родился спектральный анализ.

Вскоре после начала совместных работ Бунзен и Кирхгоф открыли два новых элемента, которым они дали наименование цезий (от латинского «голубой») и рубидий (красный) в соответствии с цветом характерных для этих элементов спектральных линий. Открытие убедительно продемонстрировало мощь нового метода. В развитие и применение спектрального анализа включилось множество учёных.

Один за другим были открыты таллий, индий, галлий; последний предсказан Д. И. Менделеевым на основании его периодического закона.

В спектре Солнца обнаружили линии, не совпадающие с какими-либо из известных на Земле. Так люди познакомились с гелием, лишь впоследствии найденным в земных условиях. Это был триумф. Но, пожалуй, много большее научное и философское значение имел постепенно крепнувший вывод о единстве мира, проявляющемся в том, что вся Вселенная состоит из одних и тех же элементов.

В 1888 году Гельмгольц писал, что открытие спектрального анализа вызвало восхищение всех людей и возбудило их фантазию в большей мере, чем какое-либо другое открытие, потому что оно позволило заглянуть в миры, представлявшие нам совершенно недоступными.

Постепенно оказалось, что спектральные линии элементов расположены отнюдь не хаотически, а подчиняются вполне определённым закономерностям. Стало ясно, что они связаны с какими-то особенностями самих элементов. Многие спектральные линии удалось сгруппировать в серии, подчиняющиеся очень простым математическим зависимостям. Удалось обнаружить простые числовые коэффициенты, входящие в формулы для нескольких различных серий, в том числе и таких, которые относятся к различным элементам. Но что означает этот порядок? Вследствие чего он существует? Природа как бы бросала вызов учёным. И манила в дебри материи, обещала прозрение её тайн...

ЦЫПЛЁНОК СТУЧИТ В СКОРЛУПУ

Тайны спектральных линий постепенно ложились всё более тяжким грузом не только на специалистов по спектральному анализу, но и на склонных к обобщениям мыслителей, стремившихся превратить неупорядоченные груды фактов в строгую конструкцию теории.

Вот эти факты.

1870 год. Стони обратил внимание на то, что частоты трёх главных линий спектра

водорода относятся как целые числа — 20:27:32.

1871 год. Стони вместе с Рейнольдсом установил, что частоты линий спектра хлористого хрома находятся в простых отношениях с совершенно неожиданными величинами — частотами гармонических колебаний скрипичной струны.

1885 год. Бальмер показал, что числа, полученные Стони, — частный случай более общего закона, в выражение которого входит одна постоянная величина, число 2, и переменная величина, принимающая целочисленные значения: 3, 4, 5 и так далее.

Работа Бальмера вызвала резонанс в умах экспериментаторов. Через несколько лет Ридберг нашёл подобные закономерности, объединяющие серии линий в спектрах таллия и ртути. А затем Кайзер и Рунге начали фотографировать спектры элементов, что позволило упростить процесс измерения, и непонятные закономерности посыпались как из рога изобилия.

Первое десятилетие XX века не изменило положения. Оно, пожалуй, только ещё больше запуталось, когда в 1904 году Лайман нашёл новую серию спектральных линий водорода в ультрафиолетовой части спектра, невидимой глазу, а в 1909 году Пашен обнаружил столь же невидимую серию в инфракрасной части спектра водорода.

Самым удивительным было то, что эти новые серии описываются формулами, очень похожими на формулу Бальмера, а большая постоянная величина, входящая в них, оказалась в точности повторенной. Такое не могло быть случайным. Теперь эта величина называется постоянной Ридберга.

В 1908 году Ритц, пытаясь выяснить характер спектральных закономерностей, уловил странные связи между числами, характеризующими частоты спектральных линий. Оказалось, что простым сложением или вычитанием частот каких-либо двух линий можно получить частоту третьей линии. Так были найдены новые, ранее неизвестные слабые спектральные линии. Правда, не все предсказания подтверждались. Но хотелось думать, что отсутствующие линии просто слишком слабы и в будущем их удастся обнаружить.

Многим в то время уже было ясно, что в спектральных сериях зашифрованы сокровенные тайны атомов. Пуанкаре, обсуждая спектральные закономерности, напоминающие законы колебаний струн, мембран и органических труб, и признавая бессилие науки перед этими фактами, писал: «...я думаю, здесь заключена одна из самых важных тайн природы». Цыплёнок нового закона отчётливо стучал в скорлупу, но никто не мог помочь ему пробиться к свету.

Загадка атома пришла к нам из глубокой древности, и XIX век лишь усложнил её, не дав никакой надежды на её решение.

Демокрит приписывал атомам только два свойства — величину и форму, Эпикур добавлял третье — тяжесть. Но века не могли подтвердить или опровергнуть догадки древних. Периодически учёные то увлекались идеей делимости вещества, то пренебрегали ею.

В самом начале XIX века Риттер предположил, что не только вещество, но и электричество состоит из атомов. В середине века Вебер писал о том, что движение атома электричества вокруг материального ядра может объяснить оптические и тепловые эффекты. В 1881 году Стони рассчитал величину атома электричества. Забавно, что эта величина в течение десяти лет существовала безымянной, пока Стони не дал ей имя «электрон».

...Маленькая страна Голландия известна большинству как страна тюльпанов и сыра. Но истинную её славу создал скромный молодой человек, впоследствии один из величайших физиков, Хендрик Антон Лоренц.

Студент Лейденского университета, он в восемнадцать лет получил диплом кандидата наук с отличием и жадно искал в науке необыкновенных деяний. Фортуна улыбнулась ему и подсунула в библиотеке физической лаборатории пачку нераспечатанных конвертов. Там лежали никем не читанные журналы, и в одном из них малоизвестный в Лейдене англичанин Джеймс Максвелл рассказывал об удивительной тайне, открытой ему уравнениями: Вселенная, оказывается, купается в океане электромагнитных волн, и всё, что мы видим

вокруг, — игра волн и материи. Правда, полученные результаты Максвелл излагал очень скупыми фразами, почти терявшимися среди математических выкладок. Физики старшего поколения знали за ним эту особенность, привыкли к тому, что его трактаты трудны для понимания. Может быть, поэтому работы Максвелла никто в Лейдене не читал.

Это были семидесятые годы позапрошлого столетия. В то время ещё не нашелся ум, способный оценить новую вспышку максвелловского гения. Не только в Лейдене, но и в других научных центрах математическая форма, непривычная для физиков тех лет, затрудняла понимание сути дела, а сама идея Максвелла была столь ошеломляюща, что прошло ещё несколько десятилетий, пока получила общее признание.

Лишь через двенадцать лет живший в Германии талантливый физик-экспериментатор и теоретик Генрих Герц обнаружил на опыте электромагнитные волны, а затем молодой инженер-электрик русского флота Александр Попов применил их для связи, вернее, для радиосвязи, как говорят теперь.

Лоренц понял Максвелла, сразу поверил ему и без колебаний пошёл за ним, а затем и новым, уже своим собственным, путём. Он не только проник в смысл максвелловской идеи и развил её дальше, но объединил электромагнитную теорию с электроном и создал таким образом электронную теорию вещества.

Согласно новой трактовке, в безбрежный океан электромагнитных полей вкраплены отрицательные электрические заряды — электроны, сочетания которых с положительными зарядами образуют все существующие тела.

Взаимодействие полей и зарядов создаёт всё многообразие мира. Даже вещество, представляющееся электрически нейтральным, включает в себе совокупность взаимно компенсирующихся электрических зарядов.

На основе своей модели Лоренц не только сумел объяснить ряд фактов, не понятых современниками, но и предсказал явления, о существовании которых не подозревал дотоле ни один человек.

...Принято считать, что поколения людей сменяют друг друга каждую четверть века. Конечно, мы живём дольше. Но история показывает, что в среднем каждые двадцать пять лет в активную жизнь вступают массы людей, вооружённых новыми умениями, обладающих новыми стремлениями, опирающихся на современные знания. Среди учёных смена поколений происходит ещё чаще. Каждое десятилетие в лаборатории вливается молодёжь, готовая к тому, чтобы обогнать своих учителей, взглянуть на старые проблемы свежими глазами, найти новые, неожиданные решения.

Наверное, это имел в виду Макс Планк, говоря: «Обычно новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу».

Великий Лоренц, дожив до рождения теории относительности и квантовой физики, с восхищением приветствовал все новшества, но... в пределах классической физики, в пределах той модели мира и образов, в которых сам был воспитан.

Ничто не казалось ему более ясным, чем взаимодействие электромагнитного поля с электроном — этот ключевой акт, на котором основана работа всех электрических приборов, машин, двигателей. Ничто не представлялось ему более красноречивой иллюстрацией этого акта, чем оптический спектр вещества.

Как и любой физик, он отлично знал, что каждое вещество имеет свой оптический паспорт-спектр. В нём нет ни чего, кроме тёмных или окрашенных в различные цвета полосок. Не посвященному в тайны науки человеку эти полоски не скажут ничего. Но физик по этим линиям может определить характер и строение вещества, даже если оно находится от него на расстоянии многих световых лет. Так люди узнали о составе звёзд и планет, о строении межзвёздной среды, о существовании на Солнце ещё не открытого на Земле элемента, названного затем гелием.

Линии спектра отражают многие тайны жизни макро— и микромира.

Когда Лоренц задумался над магией спектров, часть из этих тайн была уже расшифрована. Но гораздо большая их масса дразнила своей неразрешимостью. Одна из загадок особенно волновала воображение Лоренца: некоторые линии спектров атомов расщеплялись. Иногда они как бы расплывались или же удваивались, даже утраивались. Что это означает? Какие явления природы скрыты в таком зашифрованном виде?

Постепенно было установлено, что так проявляется влияние магнитного поля на исследуемое вещество. Но детали, подробности, глубина явления ускользали от исследователей. Лоренц сознавал, что его теория неспособна описать, объяснить это загадочное поведение линий спектров. Лишь через десятилетия с помощью квантовой теории было установлено, что причина крылась в магнитных свойствах электронов и ядер атомов.

Изучение этих свойств стало задачей учёных начала XX столетия. Но ни Лоренц, ни другие великие классики не могли с ней справиться. «Старикам» мешали запреты классической физики. Они признавали, что квантовая механика позволяет правильно рассчитать все детали расщепления спектральных линий. Признавали, но не хотели примириться с тем, что квантовая механика не могла нарисовать детальной картины явления и принуждала их мыслить абстрактно, оперировать только формулами.

Для людей, взгляды которых сформировались на основе классической физики, возникало затруднение: формулы квантовой физики заставляли их отказываться от привычной связи между причинами и следствиями, требовали признания невозможности точного и полного описания событий, происходящих в микромире.

Ответ должна была дать новая идеология. Лоренц не примирился с её радикальными положениями до конца своих дней. Он так и не нашёл правильную дорогу к полному пониманию законов магнетизма.

Сфере отношений электромагнитного поля и материи посвятил свою жизнь младший соотечественник Лоренца, его ученик Корнелис Якоб Гортер, впоследствии член ряда академий.

Он был молод, рождён XX веком, новые представления не казались ему ночным кошмаром. Он поклонялся старому богу — классической физике и её жрецу — своему учителю, но уже не мог не верить новым богам — квантовым закономерностям и их «апостолам» — Бору, Гейзенбергу, Шрёдингеру, де Бройлю, Дираку. Вооружённый их идеями, Гортер продолжил исследования магнитных свойств вещества.

Он играл в простую игру. Брал самодельный электромагнит, между его полюсами всовывал кусочки различных материалов — металлов, кристаллов, ампулы с жидкостями — и то включал, то выключал электрический ток в обмотке электромагнита. Гортер как бы просвечивал вещества магнитным полем. И наблюдал, что при этом происходит. Игра простая, но она привела Гортера к пониманию важных законов строения вещества.

Намагничивая различные кристаллы и жидкости при помощи сильного электромагнита и наблюдая, как исчезает эта намагничённость после выключения внешнего поля, он сумел получить ряд новых и ценных сведений о строении вещества, о влиянии теплового движения атомов на поведение твёрдых тел и жидкостей.

Казалось, само время шло навстречу Гортеру. Оно подбросило ему ещё одного помощника — радиоволны. Родилась электронная лампа. Из рук связистов она перешла в лаборатории физиков, и всё большему числу учёных становилось ясно, что, просвечивая вещества радиоволнами, можно проникнуть в тайны их строения более успешно, чем с помощью одного лишь магнитного поля.

Теоретики, опираясь на уравнения квантовой механики, предсказывали, что, пробираясь сквозь дебри, образованные внутренней структурой реальных тел, радиоволны разных частот ведут себя различно. Они по-разному поглощаются веществом — то в большей, то в меньшей степени. И это поглощение сильно зависит от частоты радиоволны и от величины и направления внешнего магнитного поля.

Где-то на какой-то частоте — специфической для данного вещества — должен возникнуть особый эффект: самое сильное поглощение, пик поглощения. Его называют

«резонанс». Во многих веществах следовало ожидать появления нескольких резонансных пиков, характерных именно для них. Почему это так заинтересовало исследователей? Потому что обещало прояснить скрытые ранее тайны поведения вещества.

Теория подсказывала, что многообещающими должны быть исследования кристаллов, особенно в том случае, когда во время облучения радиоволной они находятся в поле сильного магнита. Наиболее интересными казались именно те кристаллы, магнитные свойства которых изучал Гортер и его ученики.

Какие же явления происходят при этом в недрах кристаллов? Некоторые атомы, входящие в кристаллы, ведут себя как маленькие магнетики, стремящиеся, подобно стрелке компаса, повернуться в направлении внешнего магнитного поля. Но хаотическое тепловое движение окружающих атомов не даёт им послушно следовать велению магнитного поля. Они толкают «магниты» и поворачивают их в разные стороны. Подобные случайные толчки мешают иной раз и стрелке компаса правильно указывать на север.

Ещё сильнее на крошки-магнетики могут действовать регулярные толчки, особенно если они попадут в резонанс с их колебаниями. Кому неизвестна катастрофа, вызванная тем, что шаги отряда солдат попали в резонанс с колебаниями моста и разрушили его! Вспоминаются и факты, при которых вибрации двигателей вызывали разрушения морских судов и самолётов. Резонанс, столь приятный в музыке, может оказаться весьма опасным в одних случаях и очень полезным в других, если сумеешь разумно им воспользоваться.

Читатель, наверное, уже догадался, что такие толчки в кристаллах можно создавать при помощи радиоволн. Тогда-то и может произойти то внезапное бурное поглощение энергии радиоволн атомами вещества, которое названо резонансным поглощением.

Теоретики подсказывали: изменяя настройку генератора радиоволн, можно легко обнаружить эти резонансы.

Что могло быть проще — вращай ручку настройки лампового генератора и наблюдай!

Дело было за экспериментаторами.

Не только Гортер, многие пытались опытным путём обнаружить эти загадочные резонансы, но тщетно. Никто не понимал, в чём была причина неудач... Гортер подошёл почти вплотную к открытию, но... прошёл мимо.

Обратимся теперь к научным событиям, происходившим в первой половине тридцатых годов в Казани. Этот древний город с устоявшимися культурными традициями славится своим университетом.

В нём учился Ленин. В его стенах работали замечательные математики, в том числе один из создателей неевклидовой геометрии Лобачевский, крупнейший химик прошлого Бутлеров и наши современники, известные химики — отец и сын Арбузовы.

Победное окончание Великой Отечественной войны совпало с одним из величайших достижений современной физики, ещё раз прославившим Казанский университет.

Евгений Константинович Завойский со студенческих лет вынашивал идею об использовании электромагнитных волн для изучения строения и свойств веществ. Его, как и Лоренца, завораживали тайны, скрытые в оптических спектрах атомов.

Сочетание этих линий, расположение в спектрах, их появление и исчезновение стали предметом раздумий Завойского.

Ещё в предвоенные годы стало ясно, что исследование спектров не должно ограничиваться оптической областью. Многие могли бы поведать спектры в радиодиапазоне. Но лишь прогресс в радиотехнике дециметрового и сантиметрового диапазона, связанный с созданием радиолокации, открыл возможности для новых спектроскопических исследований. Рождалась радиоспектроскопия.

Зарубежные учёные использовали новые возможности для изучения газов. Теория предсказывала, а опыт раз за разом подтверждал, что именно в газах можно наблюдать возникновение резонансов при поглощении радиоволн. Расшифровка этих резонансов позволяла узнавать всё новые детали строения молекул. И эта область экспериментальной работы привлекала всё большее число исследователей.

Теоретики, пролагая путь экспериментаторам, ставили перед собой интересные задачи в радиоспектроскопии газов. Многие из учёных обращались к загадке неуловимых резонансов в магнитных кристаллах. Проблемы, возникавшие здесь, были нелёгкими. Но недаром физики шутят: был бы факт, а теория найдётся. Появились расчёты, показывающие, что резонансы, которые искал Гортнер и его последователи, вообще не должны наблюдаться.

КОЛУМБОВО ЯЙЦО

Большинство физиков, занимающихся радиоспектроскопией, спокойно восприняли эти результаты. Учёные, работавшие в других областях, просто не обратили на них внимания. Завойский же, глубоко обдумавший сущность процессов взаимодействия радиоволн с веществом, не мог согласиться с подобными выводами.

Он восстал против авторитета теоретиков. Он понял, что неудачи попыток Гортнера и других исследователей могут объясняться тем, что расчёты, на основе которых велись эксперименты, не опирались на правильные опытные данные. В эти расчёты помимо универсальных констант, таких, как постоянная Планка и некоторые другие, входили величины, ранёе полученные из опытов, основанных на применении постоянного магнитного поля.

Постоянное магнитное поле! А если?..

Говорят, что не меньше чем открытием Америки Колумб прославился решением знаменитой задачи о крутом яйце. (Тоже один из любопытных и плодотворных вопросов: как поставить вертикально яйцо, чтобы оно не упало?) Чтобы поставить его вертикально, Колумб просто надбил его.

Теперь нам кажется, что Завойский сделал очень небольшой шаг. Но этот шаг шёл в сторону от проторённой дороги. И он привёл молодого физика к успеху.

Почему все изменяли настройку генератора радиоволн, оставляя магнитное поле неизменным? — недоумевал Завойский. Такова традиция... Но есть ведь и другой путь. Пусть им ещё никто не шёл. Здесь есть свои трудности, но нет никаких разумных запретов. И Завойский решился. Вместо того чтобы вращать ручку своего генератора, перестраивая его частоту, как это делали исследователи до него, он оставил генератор в покое. Решил искать резонанс, меняя величину магнитного поля того магнита, между полюсами которого располагался кристалл. Для этого он плавно изменял величину электрического тока, протекающего по обмотке электромагнита, и непрерывно наблюдал, как радиоволны поглощаются веществом.

Так в 1944 году был впервые обнаружен замечательный эффект, долго ускользавший от самых опытных экспериментаторов, носящий несколько непонятное для непосвящённых наименование — электронный парамагнитный резонанс. Теперь мы с уверенностью относим открытие Завойского не только к самым замечательным, но и к самым плодотворным открытиям XX века.

Завойский обнаружил механизм, приводящий к поглощению радиоволн в кристаллах. Выяснилось, что этим механизмом управляют электроны, те самые электроны, что входят в состав некоторых ионов, образующих кристалл. Электроны оказались миниатюрными приёмниками радиоволн!

Перед экспериментаторами раскрылись необычайные возможности использования этого тонкого, гибкого, легко управляемого механизма для создания принципиально нового вида усилителя радиоволн. Ведь эти электроны в таком, ещё не созданном, усилителе связаны электрическими силами с атомными ядрами, а через них с самим кристаллом. Следовательно, настройка этих новых усилителей может изменяться. Она зависит как от строения кристалла, так и от входящих в него ионов. Изменяя структуру кристалла и вводя те или иные ионы в виде добавок, можно влиять на «грубую» настройку этого удивительного усилителя, а его точную настройку производить небольшим изменением величины постоянного магнитного поля.

Так родилась фантастическая идея усилителя, радикально отличающегося от всего известного ранее. В таком усилителе деталями служат не радиолампы, а электроны.

Открытие Завойского легло в основу нового типа усилителей радиоволн с чрезвычайно низким уровнем собственных шумов. И именно этот усилитель сделал возможной удивительную сенсацию, облетевшую весь мир, — локацию планет Венера, Меркурий, Юпитер, Марс.

НОВАЯ ЦЕНА РУБИНА

«Магнитная лупа» стала ещё более зоркой, и учёные смогли разглядеть сквозь неё в микромире то, о чём даже не подозревали. Магнитная лупа стала модным методом физического исследования. С её помощью сделано много ценнейших открытий в области строения вещества, и особенно твёрдого тела и полупроводников.

Электронный парамагнитный резонанс раздвинул возможности химии. Сейчас его взяли на вооружение биологи, они приступили к изучению парамагнитного резонанса в биологических объектах, в живых клетках и организмах.

Открытие Завойского не только явилось триумфом нового экспериментального метода, но и подтверждением теоретических прогнозов. Оправдалось предположение о том, что при взаимодействии электронов с радиоволнами проявляются свойства вещества, остающиеся скрытыми, когда опыт сводится лишь к наблюдению за его намагничиванием и размагничиванием. Начался новый этап в наступлении на тайны материи.

Многие учёные увлеклись исследованием парамагнитных веществ, поисками новых эффектов и практических возможностей.

А. М. Прохоров, за открытие мазеров и лазеров удостоенный Нобелевской премии, вместе со своим аспирантом А. А. Маненковым одним из первых приступил к исследованию парамагнитного резонанса, стремясь проникнуть в сокровенные тайны нового явления. Главные усилия Прохорова и Маненкова были направлены на исследования парамагнитного резонанса в рубине. Они изучали природные и искусственные рубины. Выращивали их в лаборатории, заказывали на заводах.

Рубины давно славятся своей твёрдостью, поэтому широко применяются в качестве сырья для подшипников, используемых в часах и различных точных приборах. Но Прохорова и Маненкова привлекала в рубине не его твёрдость, а совсем иные достоинства. Наши учёные уже далеко продвинулись в исследованиях и частично опубликовали их, когда почта принесла из США в библиотеку Физического института АН СССР очередной номер журнала «Физические обозрения».

В этом номере опубликована статья Николса Блумберхена, в которой он предлагает использовать для усиления и преобразования сверхвысоких частот совершенно неожиданные материалы — фторсиликат никеля и этилсульфат гадолиния. Блумберхен был уже достаточно авторитетным исследователем, чтобы отнестись с большим вниманием к его статье. Соотечественник Лоренца и Гортера, он родился в 1920 году, окончил Лейденский университет, защитил докторскую диссертацию и затем пересёк океан в поисках более широкого применения своих способностей. В Америке его фамилию начали произносить на американский лад, и она зазвучала как Бломберген.

Блумберхен — физик-теоретик, отличающийся чётким и рациональным подходом к задачам и умением выявлять пути экспериментальной проверки и практического применения своих результатов. В этот раз его статья под названием «Квантовый парамагнитный усилитель» имела подзаголовок: «Предложение усилителя нового типа».

Что поражало в этом названии? Слово «квантовый» напоминало молекулярный усилитель Басова, Прохорова, Таунса. Слово «парамагнитный» заставляло связать прибор с работами Гортера и Завойского. Что же Блумберхен взял от одного и что от другого направления? И почему из всех заманчивых возможностей, открытых новым явлением, Блумберхен сосредоточил внимание на одном: усилении радиоволн?

Многие стремились создать квантовые усилители радиоволн. Однако первоначально практические перспективы открывались лишь в диапазоне коротких радиоволн, длиной в несколько десятков метров. Но мало кто надеялся и пытался реализовать эти возможности, ибо было ясно, что новые, сравнительно сложные усилители не могли конкурировать в этом диапазоне с обычными радиолампами и транзисторами.

Блумберхен пошёл своим путем, в котором оказались сплавленными два направления, исходящие из его родного университета. Он предложил применить явление парамагнитного резонанса, предсказанное Гортнером и открытое Завойским, и работать в области сверхнизких температур при температуре жидкого гелия, впервые полученного в Лейдене Г. Каммерлинг-Оннесом.

В статье Блумберхена приведены не только уравнения, описывающие действие нового усилителя, но и оценки, показывающие, что такой усилитель должен обладать несравненно большей чувствительностью при приёме слабых сигналов, чем все известные ранее. Физиков особенно заинтересовал один аспект статьи. Автор указывал на радиоастрономию как на область, где применение подобного усилителя наиболее эффективно. Все сразу оценили эту рекомендацию однозначно: возникла возможность осуществить давнее намерение учёных — попытаться принять слабое радиоизлучение из космоса на волне 21 сантиметр, что подтвердило бы реальное существование свободных атомов водорода в космосе.

Блумберхен в своей статье обсуждает работу усилителя, который мог бы принять это радиоизлучение, и обращает внимание на то, что предлагаемый усилитель не только может быть применён в радиоастрономии, но способен также расширить возможности радиолокации.

Примерно через год американский учёный Х. К. Д. Сквилл с сотрудниками осуществил идею Блумберхена. Их квантовый парамагнитный усилитель, в котором работали кристаллы этилсульфата гадолиния, погружённые в жидкий гелий, обладал всеми свойствами, предсказанными Блумберхеном.

Публикация Сквилла открыла путь потоку статей о квантовых парамагнитных усилителях. Разные авторы применяли различные парамагнитные кристаллы, их усилители отличались конструктивными особенностями и длиной усиливаемых волн. Но принцип был единым. Вскоре выяснилось, что наилучшим и наиболее эффективным кристаллом для таких усилителей является все-таки рубин.

Повезло ли Прохорову или тут сработала его прославленная интуиция, но именно на рубине, как мы уже знаем, сосредоточилось его внимание.

Прохоров с группой аспирантов и сотрудников проводил обширные и глубокие исследования парамагнитных свойств рубина, исходя именно из того, что совокупность свойств этого драгоценного кристалла как нельзя лучше удовлетворяет требованиям, возникающим при создании квантовых усилителей дециметрового и сантиметрового диапазона радиоволн.

История создания этих усилителей впервые продемонстрировала, что Прохоров является не обычным кабинетным учёным, а научным работником нового типа, способным не только выдвигать идеи и лично вести сложную исследовательскую работу, но и одновременно выполнять функции учёного-организатора, сплачивающего большие и разнородные коллективы для решения крупной комплексной задачи. Теперь поиски велись во многих научно-исследовательских институтах, причём они были не только экспериментального и теоретического плана, но и конструкторского. Идеи воплощались в приборы нового типа.

Исследования не прекращались. Прохоров вместе с Маненковым продолжал изучать различные процессы, сопровождающие явление парамагнитного резонанса. Вместе с Н. В. Карловым, впоследствии ректором Московского физико-технического института, он исследовал трудности, которые должны были возникнуть при соединении будущего усилителя с антенной, стремился оценить важнейшую характеристику усилителя — рождающиеся внутри него шумы. На крупных магнитах НИИ ядерной физики МГУ

Прохоров со своими аспирантами Г. Н. Зверевым и Л. С. Корниенко проводил физические исследования парамагнитного резонанса. В ФИАНе (Физическом институте АН СССР) помимо глубоких физических исследований Прохоров уделял большое внимание поиску новых технических решений. Многие из них были затем использованы при разработках промышленных образцов квантовых парамагнитных усилителей. Работа под его общим руководством с успехом велась в нескольких отраслевых институтах.

Целая серия усилителей со стерженьками, изготовленными из рубина и помещёнными в волновод специального типа — устройство для передачи сантиметровых радиоволн, была разработана и выпущена коллективом, руководимым В. Б. Штейншлейгером, членом-корреспондентом АН СССР, который активно участвовал в применении этих усилителей для радиоастрономических исследований.

В этих усилителях через волновод проходит радиоволна. Длина волновода выбирается так, чтобы она могла отдавать свою энергию рубину, возбуждая в нём способность к усилению. Эта способность используется для усиления второй радиоволны, тоже проходящей через этот волновод и взаимодействующей в нём с возбуждённым кристаллом рубина. Физики назвали усилитель этого типа усилителем бегущей волны. Участок волновода, содержащий рубиновые стержни, расположен между полюсами магнита. Изменяя силу магнитного поля, можно изменять настройку усилителя на радиоволны различной длины.

В непосредственном контакте с Прохоровым работал коллектив Института радиотехники и электроники АН СССР (ИРЭ). Здесь М. Е. Жаботинский и А. В. Францесон создали квантовые парамагнитные усилители нового типа, специально приспособленные для работы в дециметровом диапазоне волн. На волне, излучаемой космическим водородом, и на более длинных волнах они по всем основным характеристикам превзошли усилители лучших зарубежных моделей. Неудивительно, что коллектив исследователей и создателей новых усилителей, включающий сотрудников исследовательских организаций Академии наук и промышленности, был удостоен Государственной премии СССР.

Несомненно, что высокое совершенство квантовых усилителей Института радиотехники и электроники обусловлено тем, что их создатели, начав с фундаментальных исследований, довели их до практического применения при решении сложной комплексной задачи. Эта задача — радиолокация планет Венера, Марс, Юпитер — была успешно выполнена. Так возник особый раздел современной науки и техники, интересный и важный.

ВАЛЬСИРУЮЩИЕ ПРОТОНЫ

Когда возникла загадка парамагнитного резонанса, казалось, что разрешение её очень далеко от запросов жизни. Но выяснилось, что эта туманная научная тема вывела учёных на передний край проблематики наших дней, на прямую и точную дорогу в космос.

Естественно, это научило организаторов науки быть осторожными и более дальновидными в оценке далёких (на первый, взгляд) и мало перспективных (тоже на первый взгляд) увлечений исследователей.

Остановимся ещё на одном явлении, тоже загадочном, тоже долго сопротивлявшемся разглашению своих тайн, но наконец сдавшемся и подарившем своим покорителям не один сюрприз.

Теория предсказывала, что резонансное поглощение радиоволн должно быть связано с магнитными свойствами не только электронов, но и многих атомных ядер.

И хотя опыты с пучками атомов, летящих в пустоте, подтверждали предсказания теории, при наблюдении твёрдых тел и жидкостей никак не удавалось эти резонансы обнаружить. Здесь оказался бессилён и новый метод Завойского. Сколь ни плавно он изменял поле своего магнита, резонансы не появлялись.

Эта страница физики — одна из наиболее драматичных и поучительных. Она рассказывает о том, как обстоятельства иногда бывают сильнее самых сильных и смелых характеров, как теория, которая обычно является путеводной звездой эксперимента, может сбить его с правильного пути и завести в тупик.

И тут физикам-экспериментаторам приходится стать на неведомый путь, восстать против теории. Им надо опереться на свои силы.

Теоретики В. Г. Гайтлер и Э. Теллер сделали расчёт. Он имел поистине зловещий характер, и никто бы не удивился, если бы он отвадил физиков от постановки опытов. Результат

ЧЕРЕЗ МАГНИТНУЮ ЛУПУ

165 гласил: чтобы зафиксировать ядерный резонанс, надо ждать... миллионы лет. Это звучало безнадежно, и все, кто занимался такими исследованиями, прекратили их. Кроме Гортера. И кроме Завойского. Они продолжали искать ядерный резонанс. Гортер прошёл совсем близко от него, случайно не заметив. А Завойскому продолжать опыты в полную силу и сделать второе, не менее замечательное, чем электронный парамагнитный резонанс, открытие помешала война. Имей Завойский ещё немного времени для продолжения экспериментов и улучшения качества применяемого магнита, он убедился бы в существовании ядерного магнитного резонанса.

Вот что говорил об этом один из сотрудников Завойского профессор Б. М. Козырев: «Огорчительно рассказывать об этом теперь, после нигде не зафиксированных, а следовательно, совершенно недоказуемых наблюдений, и, разумеется, мы не претендуем на какое-нибудь утверждение приоритета этим плачевно-запоздалым рассказом; просто нам показалось небезынтересным, говоря о ходе одного крупного открытия — электронного парамагнитного резонанса, упомянуть о несостоявшемся другом, несомненно не менее значительном. Почему же все-таки это открытие не состоялось? Дело в том, что Завойскому не удалось до начала войны добиться хорошей повторяемости результатов: эффект то появлялся, то исчезал. Теперь-то нам понятно, что главной причиной этого была топография постоянного магнитного поля, которое создавалось старомодным электромагнитом невысокого качества. Когда образец попадал в относительно более однородный участок поля, сигнал появлялся, а на участках менее однородных он уширялся настолько, что становился ненаблюдаемым. Имей Завойский ещё два-три месяца для экспериментов, он, без сомнения, нашёл бы причину плохой воспроизводимости результатов, и таким образом мы получили бы полную уверенность в реальном существовании магнитного поглощения в кристаллах. Но трудные условия военного времени не позволяли должным образом проводить опыты. Сообщению в печати о единичных наблюдениях ядерного магнитного резонанса на фоне частых неудач препятствовала вдобавок неполная уверенность в самой возможности этих наблюдений, вытекавшая из роковой для нас статьи Гайтлера и Теллера и неудачи Гортера.

Поэтому мы ограничились лишь осторожным намёком в статье, написанной в начале 1944 года, о проведённых нами методом сеточного тока измерениях нерезонансного электронного парамагнитного поглощения.

Мы писали там: «Принимая во внимание малую изученность парамагнитной абсорбции и имея, кроме того, в виду попытаться в дальнейшем измерить ядерные магнитные моменты, мы решили повторить упомянутые опыты Гортера...» Эта фраза осталась в печати единственным следом от нашей работы по ядерному магнитному резонансу...».

Нобелевскую премию за открытие ядерного магнитного резонанса получили американцы Ф. Блох, Е. Н. Пёрсел и Р. В. Паунд.

Как удалось им напасть на след капризного резонанса?

...Феликс Блох после работы вышел из душевной лаборатории и залюбовался красотой уходящего зимнего дня. Шёл густой неторопливый снег. Снежинки ложились на землю непринуждённо и легко. Как говорил впоследствии Блох в своей нобелевской лекции, именно тогда ему пришла в голову неожиданная мысль: «А ведь в каждой снежинке — миллионы протонов! И они кружатся, покорные земному магнитному полю! Зачем же тратить силы, средства и время на создание специальных установок, обеспечивающих

однородное магнитное поле? Ведь сама природа идёт нам навстречу: мы всю жизнь проводим в весьма однородном магнитном поле Земли. Надо лишь обеспечить условия, при которых в опыте это магнитное поле не искажалось кусками железа или магнитными полями, порождаемыми электрическими токами в окружающих проводах».

И Блох создал чрезвычайно простую установку. Ампула с небольшим количеством воды помещалась внутри проволочной катушки, соединённой с несложной радиосхемой. Через вторую катушку он пропускал постоянный электрический ток такой величины, чтобы в центре катушки, где помещалась ампула с водой, создавалось сильное магнитное поле. Оно заставляло протоны — ядра атомов водорода, составляющие две трети от всех ядер в воде, подобно маленьким магнетикам ориентироваться вдоль оси катушки.

Стоило Блоху выключить ток, как намагничивающее поле исчезало и протоны оказывались всецело во власти магнитного поля Земли. А оно заставляло их совершать принудительное движение, напоминающее движение волчка, ось которого описывает конус вокруг линии отвеса. Но в отличие от волчка линиями, вокруг которых по конусу двигались оси невидимых протонов, являлись линии магнитного поля Земли.

В то время как миллиарды и миллиарды протонов, содержащихся в воде, заключённой в колбочке, дружно совершали свой ритмический танец, безмерно слабое магнитное поле, связанное с собственным магнетизмом каждого из них, примерно 2,5 тысячи раз в секунду пересекало витки маленькой катушечки, возбуждая в ней переменный ток. При этом миллиарды миллиардов протонов вращались более согласованно, чем вальсирующие пары на танцевальной площадке, ибо одинаковым был не только ритм их вращения, но и фаза. Так вращаются пары в хороших ансамблях, руководимых опытными балетмейстерами: вот лицом к нам обращены все танцовщицы, а в следующий момент они обращены к нам спиной, и мы видим лица их партнёров.

Так воображаемые танцоры-магнетики, связанные с протонами, двигались в опытах Блоха параллельно друг другу, и действие их складывалось в заметную величину.

Получалась миниатюрная динамо-машина, статором которой являлась катушечка, а вращающимся ротором — сонмы вальсирующих протонов.

Каждый раз, когда Блох включал, а затем выключал ток в своей большой намагничивающей катушке, он мог слышать в наушниках, присоединённых к схеме, постепенно слабеющий звук. Это пели вальсирующие протоны.

Звук затихал, как только из-за теплового движения молекул воды и влияния магнитных сил, действующих между ядрами и электронами, вальсирующие протоны хотя бы на мгновение сбивались с ритма. В результате таких сбоев исчезал порядок, первоначально созданный в системе протонов сильным магнитным полем катушки. Период вращения сохранялся, но магнетики уже смотрели кто куда и действовали вразнобой.

Стремление и умение обходиться простыми средствами характерно не только для Блоха-экспериментатора, но и для Блоха-теоретика. Он не пытался проследить за поведением каждого протона из бесчисленного количества участвовавших в опыте и учесть все силы, действующие на него. Он понял, что основное и существенное для понимания опыта можно извлечь, рассматривая всю совокупность протонов как некий магнит. Намагниченность этого магнита равна нулю, когда оси протонов хаотически смотрят во все стороны. И становится ощутимой, когда сильное внешнее магнитное поле заставляет их согласованно поворачиваться в одном направлении.

Блох знал, что и стрелка компаса никогда сразу не устанавливается в сторону севера. Она качается вокруг этого направления до тех пор, пока сила трения не погасит её размахи.

Роль силы трения в уравнениях Блоха играли процессы, чрезвычайно широко распространённые в природе: это они заставляют остывать нагретые тела, это они постепенно уменьшают высоту отскока мячика, упавшего на пол. Словом, это релаксационные процессы (так именуются процессы, приводящие к превращению всех форм энергии в тепло и к его рассеянию в пространстве). Процессы, являющиеся неизбежным следствием великих законов термодинамики.

Блох не только уловил момент, когда ядра атомов водорода протоны стали подобны идеальному генератору, но и создал теорию, объясняющую это явление.

Уравнения Блоха позволили понять многие детали поведения намагниченных ядер и электронов, неведомые ранее процессы и явления, обусловленные ими. Впоследствии уравнения Блоха были усовершенствованы, а постоянные величины, введённые им в качестве характеристик изучаемого вещества, были вычислены на основании общих и чрезвычайно мощных методов квантовой физики...

Так искусный эксперимент оплодотворил теорию, а теория в свою очередь объяснила мотивы интуитивной постановки опыта.

Последующий шаг в понимании явлений, связанных с магнитными свойствами электронов и ядер, сделал Б. Н. Провоторов.

ФИЗИК И ВАРЁНОЕ ЯЙЦО

По складу ума и по образованию Б. Н. Провоторов — физик широкого диапазона. Он рано понял, что теория размагничивания противоречива. И начал искать возможность связать концы с концами. Суть его теории легко продемонстрировать мысленным опытом.

Заглянем в лабораторию некоего физика в тот момент, когда он занят совсем не профессиональным делом: запалив две горелки, ставит на газовую плиту ведро и маленькую кастрюльку с водой, а затем опускает в них по сырому яйцу. Подождём, пока вода в каждом из сосудов закипит и он выключит горелки. Что произойдет после этого? Ничего. Физик сядет на табурет перед плитой и, глядя на ведро и кастрюльку, конечно, погрузится в раздумья...

Что ж, и нам придётся составить ему компанию. Можно ли предсказать, что будет с каждым из яиц после того, как вода в соответствующих сосудах остынет настолько, что яйца можно безопасно извлечь рукой?

Каждая хозяйка знает, что, вынув яйцо из только что остывшей маленькой кастрюльки, его нужно быстро положить на стол, иначе рискуешь обжечь руку. Внутренность яйца ещё долго остаётся горячей и вновь нагревает скорлупу, не охлаждаемую более водой.

Но в остывшем ведре всё яйцо, включая его внутреннюю часть, успеет остудиться практически до той же температуры, что и окружающая его вода (конечно, если подождать достаточно долго, то успеет охладиться и яйцо, лежащее в кастрюлке).

Учёные, развивавшие вплоть до начала шестидесятых годов теорию парамагнитной релаксации, единодушно исповедовали «ведёрную» модель явления: электроны и ядра внутри твёрдого тела ведут себя подобно яйцу в большом ведре. Взаимодействие всех частей сложной системы, именуемой веществом, происходит так, как между яйцом и водой в ведре: температура «яйца» и «воды» в любой момент времени практически совпадает.

И только молодой советский физик Провоторов обратил внимание на то, что убеждение, по существу, ни на чём не основано. Он утверждал, что гораздо лучшей моделью могло бы послужить яйцо в маленькой кастрюлке. Не предположив, что температура в разных частях яйца различна, невозможно понять, как сваренное в маленькой кастрюлке яйцо может сохранить жидкий желток, окружённый твёрдым белком. Это небольшое на первый взгляд уточнение привело Провоторова к далеко идущим выводам.

У него начала созревать теория, которая сегодня во всём мире называется провоторовской. Он же придал своей концепции безупречную математическую форму.

Однако случилось так, что его теория некоторое время напоминала чеховское ружьё, празднично висящее на сцене. Большинство физиков не придало значения работам Провоторова, не усмотрело в них возможности получения новых результатов.

Никто не ожидал, что его «ружьё» может выстрелить.

Некоторые коллеги, те, которые обычно при появлении незаурядных неапробированных работ презрительно говорят: «Это чушь», а потом, после их признания: «Это банально, это давно вытекает из моих работ», критиковали Провоторова.

Мыслящие учёные оценивали его открытие более объективно, говоря: «Да, это новая теория, и её новые усложнённые уравнения хорошо описывают известные явления, но и старая теория описывает их достаточно точно. Зачем же усложнять?».

А были и такие, кто просто не понял, что к чему. Некоторые не понимают и по сей день. Физики приводят такой курьёзный пример. В 1961 году в Москве была организована французская выставка с научной экспозицией. Она сопровождалась пояснениями и лекциями французских учёных. Одну из них читал видный специалист по ядерному магнетизму Анатолий Абрагам.

В своей области Абрагам авторитет, и послушать его пришли многие советские специалисты, работающие над теми же проблемами. Был там и Провоторов и подарил Абрагаму одну из своих статей. Он ждал, что же скажет ему старший коллега? Но коллега ничего не сказал и, как потом признался, не мог ничего сказать. Он не понял.

Даже после того как Провоторов защитил докторскую диссертацию, написал несколько статей и его теория стала популярной, многие ещё спрашивали: «А зачем это нужно?»

Неизвестно, как долго продолжалось бы такое положение, если бы провоторовские идеи не привлекли внимания молодой женщины-физика Майи Родак.

Отношение ко всем жизненным проблемам у Майи всегда было серьёзным и решительным. Так повелось ещё с военной юности.

После двух курсов одесского физфака она ушла на фронт. Сначала ушёл в ополчение отец, подала заявление в военкомат мать. Майя ждала своей очереди. Ещё до войны сдала комплекс ВС-2 — ворошиловский стрелок... Ожидая ответа военкомата, училась на курсах медсестёр. Но медицину не любила и выпросила назначение в зенитную артиллерию. Так она попала в самое пекло — под Сталинград.

После Победы — МГУ, затем — шесть лет преподавания и, наконец, научная работа в Институте радиотехники и электроники Академии наук СССР (ИРЭ). Здесь включилась в одну из самых интересных тем современной физики: создание квантовых парамагнитных усилителей — мазеров, включилась как физик-теоретик.

Продумывая детали провоторовской точки зрения на свойства веществ, называемых парамагнитными, Родак почувствовала, что в этом подходе таятся возможности, намного более серьёзные, чем обещанные общепризнанными теориями ученика Гортера — Блумберхена и лауреатов Нобелевской премии Парсела и Паунда. Теориями, прочно вошедшими во все учебники.

Исследуя парамагнитные вещества при помощи радиоволн, учёные наблюдают результат поглощения атомами или ионами сравнительно слабых радиоволн, испускаемых маломощными источниками. При этом приборы регистрируют не единичные акты, при которых отдельный ион или атом поглощают квант электромагнитной энергии — фотон радиодиапазона, а суммарный эффект, складывающийся из множества таких актов.

Если в ходе опыта изменяется не мощность, а только длина волны, воздействующей на вещество, то на экране осциллографа или на ленте самописца возникает кривая, отображающая зависимость интенсивности поглощения от длины волны. Это знакомая нам спектральная линия, расположенная в диапазоне радиоволн.

Обычно форма спектральной линии симметрична, она выглядит одинаково по обе стороны от вершины, опускаясь от неё плавными крыльями. Она похожа на равностороннюю горку...

Всё это — от момента облучения вещества радиоволной до появления спектральной линии, соответствующей этому опыту, — совсем недавно считалось непротиворечивым, доказанным всеми опытами и теориями парамагнитных явлений.

Майя Родак сломала эту красивую горку и вместо неё нарисовала довольно странную асимметричную кривую.

И на протесты упрямо отвечала, что именно такая горка иллюстрирует истинное положение вещей в парамагнитных веществах.

Проследим же за ходом её рассуждений. Всё началось с того, что она решила вернуться

к вопросу о том, что произойдёт, если увеличить мощность источника радиоволн. Учебники, исходя из общепризнанной теории Блумберхена, отвечали: по мере увеличения мощности ширина кривой, изображающей спектральную линию, будет увеличиваться, а её высота — уменьшаться до тех пор, пока при достаточно большой мощности кривая не исчезнет. Здесь не было ничего странного. Это явление называется насыщением поглощения. Вещество насыщается радиоволной — так предсказывала теория. Поглощение практически прекращается. Ослабление радиоволн становится малым. Оно связано с рассеянием и с процессами релаксации, сопровождающимися выделением тепла.

Теория предсказывала и ещё один эффект.

Пусть, кроме маломощного генератора радиоволн, длина волны которого изменяется для наблюдения за спектральной линией, на вещество действует второй генератор. И пусть длина его волны во время опыта остаётся постоянной, а мощность изменяется. Что станет с наблюдаемой спектральной линией по мере увеличения мощности второго генератора, если длина его волны расположена в пределах спектральной линии?

Теория отвечала: спектральная линия будет насыщаться. По мере увеличения мощности второго генератора её ширина будет расти, а высота уменьшаться, пока она не исчезнет совсем. Об этом мы уже знаем. Для учёных это явление было непреложной и доказанной истиной. Так, говорила теория, будет всегда, если длина волны второго генератора останется в пределах спектральной линии.

Всё казалось столь ясным, что никто не проделал соответствующего опыта! Такова психологическая сила общепризнанной теории.

Родак усомнилась. Она знала, что процессы передачи энергии между частицами вещества сложнее, чем предполагалось при построении общепризнанной теории. (Вспомним о нашем мысленном опыте: яйцо в маленькой кастрюльке остывает иначе, чем в ведре. Изменения температуры яйца могут отставать от изменений температуры воды!) Мощный генератор нагревает вещество. Его энергия, поглощённая парамагнитными частицами, постепенно распределяется между всеми частицами вещества. Если следовать Провоторову, надо выяснить: не возникает ли и здесь отставание температуры одних групп частиц от температуры других групп частиц?

Родак занялась расчётами. Её предположения подтвердились. Формулы показали, что результаты опыта должны напоминать поведение яйца в кастрюльке, а не в ведре. Температура различных частиц в парамагнитном веществе может различаться. Родак приняла эту революционную, расходящуюся с учебниками позицию и свежим взглядом оглядела «поле боя»: взаимодействие радиоволн с парамагнитными частицами. И ей открылось то, что для других исследователей казалось невероятным. Прежде всего форма спектральной линии в опыте, не поставленном никем, должна исказиться! Более того, при некоторых условиях ослабление в веществе слабого сигнала первого (перестраиваемого) генератора должно смениться его усилением. Это казалось крамоллой, но так получалось, и из этого вытекали поразительные следствия — возможность создания нового чувствительного механизма усиления радиоволн!

Так просто и непринуждённо Родак добилась эффекта, ради которого многие учёные шли на ухищрения и сложности!

Вынужденное излучение парамагнитных кристаллов в диапазоне сантиметровых радиоволн наблюдалось до тех пор только в мазерах, в приборах, где искусственно создавались условия, вынуждающие атомы излучать радиоволны. При этом (по предложению Басова и Прохорова) использовались две спектральные линии — так называемая система «трёх уровней» энергии. Эффективная, но довольно сложная система воздействия на атомы, целью которой было одно: заставить атомы излучать или усиливать радиоволны.

Для этого атомы должны поглощать радиоволны на более высокой частоте, чем частота тех радиоволн, которые подлежат усилению или излучению атомами.

Родак фактически указала на возможность получения непрерывно действующего

мазера в пределах одной спектральной линии. Всем, кто хоть как-нибудь соприкасался с мазером, такой эффект казался совершенно невозможным.

Сотрудники Родак, первыми узнавшие об этом предсказании, отнеслись к нему с должным недоверием, но, разобравшись, поняли: так должно быть. Вопрос лишь в том, можно ли создать условия, при которых неожиданное явление станет доступным наблюдению?

Экспериментальную часть работы взял на себя младший коллега Родак, сотрудник той же Лаборатории квантовой радиофизики ИРЭ, Вадим Ацаркин (эта работа стала частью его докторской диссертации, которую он блестяще защитил). Ацаркин уже имел необходимый опыт в этой сложной области физического эксперимента и понимал, что цели легче достигнуть, воздействуя на парамагнитный кристалл мощными кратковременными импульсами радиоволн. В промежутках между импульсами Ацаркин наблюдал за поведением спектральных линий на экране осциллографа при помощи маломощного генератора радиоволн. Частота его плавно изменялась от малых значений частоты колебаний к большим, а затем скачком возвращалась к начальному значению.

Конечно, не сразу осциллограф показал ему кривую, порождённую расчётами Родак. Но Ацаркин преодолел все препятствия, неизбежно возникающие перед экспериментатором. Его задача существенно облегчалась тем, что он знал, что следует искать, знал, осциллограф должен рано или поздно вычертить кривую, подобную построенной в тетради Родак. И она появилась. Её рисовал на экране осциллографа электронный луч, смещавшийся слева направо в то время, как частота маломощного сигнального генератора радиоволн изменялась от меньших значений частоты колебаний в сторону больших значений.

Спектральная линия, имевшая на экране осциллографа вид симметричной горки, искажалась, если одновременно выполнялись два условия: частота мощного вспомогательного импульсного генератора радиоволн была выбрана так, что она лежала на одном из склонов спектральной линии, и при этом его мощность была достаточно велика. При выполнении обоих условий симметрия спектральной линии нарушалась. На том её склоне, на который воздействовал сигнал вспомогательного импульсного генератора, возникал провал. Если этот генератор оказывался на том крыле спектральной линии, на которое сигнал основного генератора попадал после прохождения вершины спектральной линии, то картина становилась ещё более удивительной. Это крыло после воздействия импульса искажалось настолько, что изображающая его кривая опускалась ниже нулевой линии осциллографа. Так реализовывалось предсказание Родак: на крыле спектральной линии поглощение становилось отрицательным. А отрицательное поглощение это не что иное, как усиление. Усиление, наблюдаемое в пределах одной спектральной линии, если только она подвергается достаточно сильному воздействию мощного импульсного генератора.

Такие кривые были получены Ацаркиным и Родак не только в опытах с атомными ядрами, но и с электронами. На них они воздействовали сантиметровыми волнами, дав надежду на новые возможности использования этого метода в практике физического исследования.

Серия экспериментов Ацаркина была столь впечатляюща, что их повторили и полностью подтвердили в Лейденской лаборатории, а затем и в других научных центрах.

Блумберхен, побывав в Москве и ознакомившись с работами Родак и Ацаркина, высоко оценил их и признал эффективность провоторовского подхода к исследованию парамагнитных веществ. Поехав после этого в Грузию, он рас сказал о новых работах грузинским физикам. Так бывает в науке: личное общение даёт много больший эффект, чем чтение статей. Может быть, тбилисские теоретики и были знакомы со статьями москвичей. Но по-настоящему заинтересовались новой областью лишь после беседы с Блумберхеном. Толчок был дан, грузинские физики связались с московскими и включились в развитие провоторовских идей. Группа физиков во главе с членом-корреспондентом АН Грузинской ССР Г. Р. Хуцишвили сумела глубоко развить многие аспекты теории, подход к которым без

использования идей Провоторова был невозможен. Им так же, как и московским физикам, удалось предсказать и наблюдать в этой области несколько тонких эффектов, придавших явлению более общее значение.

Особенно привлекло внимание учёных математическое изящество дополнений, сделанных тбилисскими физиками, испытывавших на себе плодотворное влияние прославленной школы грузинских математиков. Их сложные физические исследования обычно бывают оформлены с безукоризненной математической аккуратностью. Своей главной задачей в данном вопросе они сочли создание более простой математической модели явления и более простого эксперимента.

Хуцишвили вместе с Л. Л. Буишвили и другими своими учениками и сотрудниками и раньше успешно развивал направление, которое учёные называют динамикой спиновых систем. Их метод, по существу, описывает движение атомных магнетиков под влиянием различных воздействий. Им удалось многого достичь при помощи традиционных методов. Но провоторовский подход позволил продвинуться значительно дальше туда, где прежние методы оказываются неэффективными.

Затем в этом коллективе появились и экспериментаторы, сумевшие в сотрудничестве с теоретиками исследовать ряд тонких эффектов, ускользавших от других учёных.

Идеи Провоторова получили отклик и на родине пара магнитного резонанса — среди казанских физиков, и во многих зарубежных лабораториях. В работе над физическими следствиями, вытекающими из провоторовских идей, открывалось большое поле деятельности.

МУРАВЕЙНИК ПОД ОБСТРЕЛОМ

На этом провоторовский подход не исчерпал скрытых в нём возможностей. Родак и Ацаркину удалось совершить ещё один прорыв в прочно устоявшейся и ставшей традиционной области физики.

Речь идёт о важной ветви экспериментальной ядерной физики, о создании так называемых поляризованных ядерных мишеней, которые физики обстреливают пучками частиц высоких энергий, получаемых при помощи ускорителей, или пучками нейтронов.

Цель обстрела: изучить процесс столкновения частиц— «снарядов» с частицами— «мишенями». Ведь между ядрами атомов, образующих мишень, и пучками частиц, падающих на неё, возникают разнообразные ядерные реакции, начиная от простых взаимодействий, при которых лишь меняется характер движения сталкивающихся частиц, до сложнейших, сопровождающихся рождением новых элементарных частиц! Тут и возникает возможность разобраться в деталях этих взаимодействий: установить характер сил, действующих между частицами, выяснить свойства этих мельчайших частиц, выявить, имеются ли среди них истинно простейшие частицы мироздания, и, если повезёт, попытаться восстановить сложную иерархию различных семейств частиц, объединяемых общими свойствами.

Но и без того сложную картину таких взаимодействий ещё более усложняет хаос, царящий в глубинах материи. Этот хаос вызван естественными причинами. Он является результатом непрерывного теплового движения частиц. Чтобы избавиться от него или хотя бы ослабить влияние теплового движения, учёные идут на всякие ухищрения. В частности, понижают температуру мишени как можно ниже, в область, близкую к абсолютному нулю. Но и этого мало. Хотя тепловые движения при этих температурах существенно ослабляются, всё равно оси частиц мишени располагаются по всем направлениям случайно, хаотично. Так выглядит множество муравьёв, зафиксированных моментальным фотоснимком муравейника. И если «нападающие» частицы что-то меняют в этом беспорядке, понять, что же именно изменилось, очень трудно.

Для того чтобы извлечь максимум информации из ядерных экспериментов, нужно, чтобы ядерные частицы на воображаемой фотографии в начале процесса напоминали не хаос

муравейника, а строй солдат, выровненный по команде. Тогда изменения в расположении частиц будет легко зафиксировать.

Что же предпринять для установления порядка среди частиц мишени? Вот над чем думали экспериментаторы. И решили использовать для этой цели тот факт, что многие атомные ядра являются маленькими магнетиками. Может быть, попытаться ориентировать их при помощи сильного магнитного поля? Так возникла идея «магнитного кнута».

Но это не очень дисциплинировало частицы. Тогда, кроме «магнитного кнута», французские учёные А. Абрагам и В. Проктор применили «радиотехническую плётку». И действительно, магнитное поле плюс радиоволны определённой частоты позволили добиться большей упорядоченности в расположении ядер. Наилучший эффект при этом достигается, если радиоволны действуют не непосредственно на ядра, а на электроны парамагнитных атомов, вводимых в небольшом количестве в состав вещества мишени. Дело в том, что магнитные свойства электронов примерно в 2000 раз сильнее, чем магнитные свойства ядер. Поэтому воздействие радиоволн на них оказывается во столько же раз более эффективным. Электроны же в свою очередь очень хорошо передают полученную ими упорядоченность движения ядрам атомов мишени.

Все эти тончайшие манипуляции с микрочастицами придали вес французским экспериментам. Метод, теоретически и практически разработанный Абрагамом и Проктором, нашёл широкое применение в ядерной физике и вошёл в учебники и методические пособия.

Каково же было недоумение и даже возмущение специалистов, когда московские физики Ацаркин и Родак выдвинули возражения против этого замечательного метода. Какие основания? Что заставило их сомневаться? Оказывается, возражения основывались на анализе явления, который они провели, применив провоторовский подход, с таким успехом использованный ими ранее.

Ацаркин и Родак уже не могли опереться на представление о единой температуре, якобы характеризующей поведение всех частей атома, представление, лежащее в основе метода Абрагама и Проктора. Теперь московские физики были убеждены, что теория, базирующаяся на идеях Провоторова, и опыт свидетельствуют о том, что такая единая температура устанавливается в веществе далеко не мгновенно. Нужно было заново проанализировать всё происходящее в опытах, отказавшись от устаревших догм. Нужно было решиться признать и необходимость новых математических методов для расчёта взаимодействия частиц с электромагнитными полями.

Предварительные оценки показали, что модель Абрагама и Проктора действительно не является полноценной основой для расчёта и получения поляризованных мишеней. Более того, она является лишь частным случаем, освоенным раньше других благодаря своей простоте.

Развитие теории и экспериментальные исследования проводились на этот раз практически параллельно, подкрепляя и дополняя друг друга. И закончились новым торжеством провоторовского подхода.

Оказалось, что новый метод позволяет достичь большей степени упорядоченности частиц мишени, чем это удавалось сделать раньше. Более того, можно успешно обеспечить поляризацию ядер даже в тех мишенях, в которых на основе метода Абрагама — Проктора получить это, казалось, совершенно невозможно.

Так возник новый мост между «чистой» теорией и потребностями техники. Рассказанное можно считать применением нового круга идей в ядерной физике.

Но и этим не кончились прорывы в область слабых и труднонаблюдаемых эффектов! Основываясь на том же провоторовском подходе, Ацаркин понял, что, воздействуя на температуру отдельных групп частиц в парамагнитном кристалле, можно усилить сигналы о процессах, сведения о которых при обычных условиях терялись в шумах и поэтому не поддавались наблюдению.

К ним относятся, например, магнитные явления в парамагнитных веществах при

низких частотах. Ацаркину вместе со студентом О. Рябушкиным удалось на опыте с электронами подтвердить значительное усиление таких слабых сигналов.

НАУКА — ТЕХНИКА — ЖИЗНЬ

И снова перенесёмся в Казань, не только родину парамагнитного резонанса, но и его столицу, ибо здесь и после отъезда Завойского в Москву растёт, развивается мощная школа учёных, всесторонне исследующих физику парамагнитных явлений. Здесь продолжали работать члены-корреспонденты АН СССР Козырев и Альтшуллер, известные физики-теоретики, глубоко изучившие разнообразные проявления парамагнетизма и создавшие свои научные школы.

Как ни странно это звучит для непосвящённого, но явление парамагнитного резонанса тесно смыкается с акустикой, учением о звуке. При этом возникает изящная цепочка, на одном конце которой находится генератор радиоволн, возбуждающий парамагнитный резонанс в кристалле, а на другом — приёмник ультразвуковых колебаний. Обнаружено, что при парамагнитном резонансе значительная часть энергии радиоволн, поглощаемых кристаллом, превращается в фононы — кванты звука. Возможна и другая ситуация, при которой на кристалл одновременно действует радиоволна и ультразвуковая волна. При этом явление парамагнитного резонанса сильно зависит от частоты и интенсивности ультразвуковых колебаний.

Но это не всё. Цепочка может протянуться и дальше. Ультразвуковые колебания, возникающие при парамагнитном резонансе, могут проявляться в изменении оптических свойств кристалла. Козырев, Альтшуллер и их сотрудники теоретически и экспериментально изучили интенсивное рассеяние света в парамагнитных кристаллах, показывающее, что такая цепочка взаимосвязанных явлений действительно существует. Много интересных работ, в которых объединяются парамагнитный и акустический резонансы, выполнил, в частности, молодой казанский физик В. А. Голенищев-Кутузов.

Все эти взаимодействия — не просто олицетворение изящества физического эксперимента. Главное — это указание на глубокое единство природы. Единство, о котором мы часто только догадываемся, но не всегда ещё умеем обнаружить его.

В химии, особенно органической, учёные и инженеры имеют дело с чрезвычайно сложными молекулами, состоящими из тысяч, а иногда из сотен тысяч атомов. Установить структуру этих молекул, изменить их строение и свойства в нужном направлении — задача не простая. Здесь могут помочь исследования парамагнитного резонанса, позволяющие весьма точно расшифровать строение сложных молекул, определять расстояния между атомами и многое другое.

В геологической разведке, в космических исследованиях необходимо точно измерять слабые магнитные поля и их небольшие изменения в пространстве и во времени. Наиболее точными и чувствительными приборами, способными непрерывно регистрировать малейшие изменения магнитного поля, но не требующие применения жидкого гелия, являются квантовые магнитометры, использующие парамагнитные свойства ядер атомов рубидия.

Одной из актуальных задач современности является передача электроэнергии от крупных электростанций к потребителям. При этом необходимо до минимума снизить потери энергии в линиях передач. Один из путей — использование сверхпроводящих кабелей. Но учёные, как мы знаем, в то время ещё не могли создать материалы, обладающие сверхпроводимостью при температурах, превышающих $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Они лишь мечтали о сверхпроводимости при комнатной температуре. Первая задача — создать сверхпроводник хотя бы при температуре жидкого азота (примерно $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$) — уже решена во многих лабораториях. Для применения этих результатов и в промышленности нужно глубоко изучить законы сверхпроводимости, в том числе свойства вещества при самых низких температурах. Температуры, предельно близкие к абсолютному нулю, необходимы для решения других важных задач, а получить их можно, используя парамагнитные свойства

электронов и ядер. Эта область современных исследований сейчас чревата бурными событиями, о них мы уже рассказывали.

В биологических и многих химических процессах играют большую роль особые активные осколки молекул, называемые свободными радикалами. Имеются подозрения, что некоторые из них канцерогенны, то есть способствуют развитию рака. Много свободных радикалов содержится в частицах дыма, в частности дыма папирос и сигарет. Свободные радикалы образуются при обугливание органических веществ — например, их можно обнаружить в остатках подгоревших на сковороде продуктов. (Именно поэтому гигиенисты настоятельно рекомендуют не курить, не допускать подгорания пищи и тщательно мыть сковороды после каждого употребления.) Все свободные радикалы обладают электронным парамагнетизмом. Поэтому метод парамагнитного резонанса незаменим при их исследованиях, позволяя обнаруживать и изучать их при ничтожных концентрациях. Электронный парамагнитный резонанс уже применяется в промышленности, на пример при массовом автоматизированном и бесконтактном контроле качества пищевых продуктов.

Новейшим достижением медицины в области диагностики стала ядерная компьютерная томография — синтез ядерного магнитного резонанса с ЭВМ. Первый шаг в этом направлении был сделан рентгенологами. В течение десятилетий они совершенствовали методы диагностического применения рентгеновских лучей, стремясь уменьшить их вредное воздействие на организм больного. Для этой цели были изобретены специальные фотографические эмульсии, особо чувствительные к рентгеновским лучам, были разработаны люминесцентные экраны, дающие яркое изображение при чрезвычайно малой интенсивности рентгеновского излучения. Наконец, рентгеновские аппараты были оснащены телевизионной аппаратурой, позволяющей врачу обследовать пациента при меньших дозах рентгеновского облучения и большей защищённости от рентгеновских лучей. Эта аппаратура позволила наблюдать изображение на телевизионном экране в отдельном помещении и делать снимки в те моменты, когда они наилучшим образом фиксируют состояние больного органа.

Но все эти методики обладают общим недостатком, обусловленным тем, что на рентгеновском снимке налагаются друг на друга различные органы и ткани, находящиеся на пути рентгеновских лучей. Выделить из них нужную информацию также трудно, как прочесть текст, напечатанный на листе папиросной бумаги, когда над ним и под ним находятся такие же листы, заполненные другим текстом. Подобная задача возникла бы при попытке рассмотреть изображение на диапозитиве или слайде, просвечиваемом одновременно с другими наложенными на него диапозитивами или слайдами. В случае рентгеновской диагностики дело осложняется тем, что кости поглощают рентгеновские лучи гораздо сильнее, чем мягкие ткани. Это делает крайне трудным рентгеновское исследование головного мозга и осложняет исследование патологии мягких тканей, если они находятся в области таза или примыкают к крупным костям.

Важное значение рентгеновской диагностики привело к разработке нового метода, получившего название рентгеновской компьютерной томографии. Его суть состоит в совершенствовании приёма, которым пользуются все рентгенологи, заставляющие пациента поворачиваться во время просвечивания и делающие снимки, когда рентгеновские лучи проходят через тело больного под разными углами. При этом рентгенолог может видеть на одном снимке те участки мягких тканей, которые на другом снимке скрыты костями. Однако извлечение информации путём сравнения таких снимков требует огромного опыта и граничит с искусством. Оно доступно немногим.

Французский врач Е. М. Бокаж запатентовал в 1921 году метод, позволяющий получать достаточно чёткие рентгеновские снимки и в тех случаях, когда обычные методы не давали никакой информации. Идея метода чрезвычайно проста. Для получения рентгеновского снимка определённого небольшого участка тела нужно поместить пациента между рентгеновской трубкой и фотоплёнкой, а затем, оставляя пациента неподвижным, перемещать трубку и плёнку в противоположных направлениях вдоль параллельных прямых

линий. При этом скорость перемещения выбирается так, чтобы соединяющая их прямая вращалась вокруг центра области, подлежащей исследованию. Ясно, что при этом все области, находящиеся по обе стороны той, что подлежит исследованию, не дадут чёткого изображения, а будут смазаны. Так смазывается движущийся объект на обычной фотографии, сделанной с длительной экспозицией. Напротив, области, примыкающие к воображаемой оси, через которую постоянно проходит прямая, соединяющая рентгеновскую трубку с серединой фотоплёнки, образуют на фотоплёнке наиболее чёткое изображение, даже если они со всех сторон окружены другими тканями организма.

Итальянский инженер Валлебона, впервые реализовавший эту идею на практике, назвал созданный им аппарат томографом, имея в виду, что он позволяет получить рентгеновское изображение «плоского среза» внутри человеческого тела.

Новый метод существенно расширил возможности рентгенологов, которые смогли обнаруживать глубоко лежащие туберкулёзные очаги и инфильтраты, туберкулёзные каверны и злокачественные опухоли лёгких. Ларингологи получили возможность выявлять заболевания гортани, которая на обычных снимках полностью затемняется позвонками.

Метод Бокажа обладает двумя крупными недостатками. Во-первых, хотя смазанные изображения слоёв, лежащих выше и ниже исследуемого слоя, не образуют чёткого изображения, они приводят к ухудшению контрастности деталей изображения, подлежащего исследованию. Это проявляется в форме однородного потемнения — вуали, подобной той, что огорчает фотографов, засветивших плёнку. Во-вторых, при необходимости подробного обследования, когда требуется получение нескольких рентгеновских «срезов», больной должен быть подвергнут большим дозам облучения.

Разработка и совершенствование ЭВМ, приведшее к огромному увеличению скорости их действия и объёма памяти позволили А. Кормаку в начале шестидесятых годов предложить новый метод получения и обработки рентгеновских изображений, специально ориентированный на применение в медицинской диагностике.

Примерно через десять лет, в начале семидесятых годов, Г. Хаунсфилд реализовал идею Кормака, создав прибор, способный получать контрастные изображения отдельных сечений головного мозга человека. Уже через семь лет ряд фирм начал серийно выпускать томографические установки, в том числе очень крупные, позволяющие исследовать любое сечение человеческого тела. Это внесло радикальное изменение в диагностику различных заболеваний внутренних органов, в том числе злокачественных опухолей, желчных и почечных камней, болезней кровеносных сосудов и лёгких и т. п. Несмотря на то что крупные установки для рентгеновской томографии стоят свыше миллиона рублей, рентгеновские томографические установки различных типов работают более чем в 2000 клиниках.

За выдающийся вклад в развитие рентгеновской вычислительной томографии математику А. Кормаку и инженеру Г. Хаунсфилду в 1979 году была присуждена Нобелевская премия по медицине.

Является ли случайным то, что начало рентгеновской вычислительной томографии заложил математик, а не врач рентгенолог, специалист в области физики рентгеновских лучей? Нет, это не случайно, ибо в этой пограничной области возникают весьма сложные математические задачи. Математики различают два типа задач — прямые и обратные. Простой пример прямой задачи: дана скорость поезда и время, в течение которого он находился в пути; требуется найти пройденное им расстояние. Соответствующая ей обратная задача: дано время движения поезда и расстояние между станциями; требуется найти скорость поезда. Первая задача решается умножением скорости на время, вторая задача решается делением расстояния на время. Каждый знает, что деление требует более сложных вычислений, чем умножение. Этот пример иллюстрирует общее правило: решение обратных задач сложнее, чем решение прямых.

Решение более сложных обратных задач обычно встречается с существенной дополнительной трудностью. Обратные задачи могут иметь более чем одно решение.

Математики говорят: решение таких задач не однозначно. Для того чтобы в этих случаях выделить искомое решение среди остальных, требуется привлечение дополнительных сведений.

Небольшое усложнение задач, рассмотренных выше, показывает, что имеется в виду. Например, путь между двумя станциями, наряду с ровными участками, имеет спуски и подъёмы, крутизна которых известна. Известна также зависимость скорости поезда от крутизны спуска и подъёма. Если пассажир измеряет интервалы времени, затрачиваемые на преодоление отдельных отрезков пути, то при помощи умножения и сложения он без труда определит полное расстояние, пройденное поездом.

Но если известно общее расстояние и время, затраченное поездом на преодоление отдельных участков пути, то без дополнительных сведений невозможно узнать, в какой последовательности расположены подъёмы, спуски и ровные участки.

Возвратимся теперь к рентгеновской диагностике. Светлые и тёмные места на рентгеновском снимке обусловлены различным поглощением рентгеновских лучей на их пути внутри исследуемого объекта. Кости, сильно поглощающие рентгеновские лучи, отображаются на снимке прозрачными участками. Мягкие ткани, поглощающие слабее, выглядят тёмными. Отличить металлический осколок, застрявший в мягких тканях, от толстого осколка кости может только опытный врач-рентгенолог. Ему при этом приходится без помощи математики, лишь на основании собственного опыта и знания анатомии, решать обратную задачу — определять плотность материала, из которого состоит объект, поглощающий рентгеновские лучи.

Вычислительная рентгеновская томография легко справляется с этой задачей, применяя при этом разнообразные варианты метода Бокажа. Исследуемый объект просвечивают рентгеновскими лучами в различных направлениях, фиксируя интенсивность рентгеновских лучей, прошедших сквозь объект, при помощи электронного приёмника. Сигналы этого приёмника преобразуют в цифровую форму и записывают в память ЭВМ.

После окончания сеанса просвечивания ЭВМ обрабатывает весь массив записанной информации и послойно решает обратные задачи определения плотности вещества в различных областях объекта. Присущая решению обратной задачи неоднозначность ликвидируется благодаря дополнительному требованию плавного перехода решения, полученного для каждого слоя, в решение, полученное для соседних слоёв.

Блестящие результаты вычислительной рентгеновской томографии не исключили основного недостатка, присущего применению рентгеновских лучей для просвечивания человеческого организма. Принося огромную пользу, они одновременно вносят риск последующего образования злокачественных опухолей, которые, как показал опыт, могут быть следствием поражения рентгеновскими лучами генетического аппарата отдельных клеток организма. Поэтому в ряде стран рентгеновское исследование младенцев полностью запрещено, а исследование детей сильно ограничено. В случае рентгеновской вычислительной томографии опасность усугубляется необходимостью применения больших суммарных доз облучения.

Вскоре после разработки рентгеновской вычислительной томографии учёным стало ясно, что эти методы могут быть созданы на основе физических процессов, не связанных с рентгеновскими лучами.

Один из новых методов вычислительной томографии, весьма важный для медицины и биологии, основан на применении ядерного магнитного резонанса. Его называют методом ЯМР-томографии. Он основан на наблюдении ядерного магнитного резонанса и ядерной релаксации в различных тканях человеческого организма. Наибольшее распространение получили установки, основанные на наблюдении ядерного магнитного резонанса протонов, составляющих большую часть тканей живых организмов.

Благодаря тому что точное значение частоты ядерного магнитного резонанса и скорости релаксации протонов зависят от их ближайшего окружения, ЯМР-томография легко различает мышечную ткань от жировой, злокачественные опухоли от здоровой ткани и

даже позволяет определить скорость кровотока в сосудах, что даёт возможность судить о состоянии кровоснабжения отдельных органов, в том числе мозга.

ЯМР-томографы несколько сложнее рентгеновских потому, что в их состав должны входить большие магниты, создающие весьма однородное магнитное поле, сложные приборы, управляющие значением дополнительного переменного магнитного поля в различных областях пространства, приборы для измерения частоты ядерного магнитного резонанса и величины ядерной релаксации.

ЭВМ, входящая в состав ЯМР-томографа, не только обрабатывает результаты измерений, но управляет согласованной работой всего прибора. Она перемещает малую зону, в которой выполнены условия, необходимые для наблюдения ядерного магнитного резонанса, так, чтобы точку за точкой, слой за слоем обследовать организм пациента.

Результаты, получаемые ЭВМ при обработке данных, записываемых в её память, выводятся на экран дисплея, аналогичный экрану телевизора, и врач может в соответствии с целями обследования выносить на экран ту или иную информацию. Получающиеся при этом изображения различных сечений тела пациента с поразительной точностью повторяют изображения, которые ранее могли быть получены только в анатомических лабораториях. Во многих ЯМР-томографах полученные изображения окрашивают в условные тона, помогающие врачу отличать одни ткани от других. Например, жировая ткань может изображаться белым цветом, мышечная — розовым, а ткань злокачественных опухолей — чёрным. По команде врача изображения, нужные для проведения операции, автоматически воспроизводятся на бумаге.

Возможности ЯМР-томографии расширяются тем, что ядерный магнитный резонанс может быть получен не только от протонов, но и от ядер фосфора, в большом количестве содержащихся в важных компонентах живых организмов, и от ядер фтора.

ЯМР-томография может найти важное применение в промышленности и торговле, например для полного бесконтактного контроля упакованных пищевых продуктов, таких, как масло, сыр, маргарин и других, в состав которых входят соединения, содержащие водород. Ранее здесь мог быть применён только выборочный контроль.

Связи различных разделов науки между собой и связи науки с жизнью так же глубоки и беспредельны, как сама жизнь.

ПРЕДКИ И РОЖДЕНИЕ ЛАЗЕРОВ

Открытие одной и той же формулы в одно и то же время двумя учёными...

является очень любопытным случаем с точки зрения теории вероятностей.

Х.А. Лоренц

ТУЧНЫЕ ГОДЫ

Если будущий историк захочет установить, когда именно учёные, более двух тысячелетий проникавшие в сущность света и атомов, сделали первый непосредственный шаг к лазерам, он, несомненно, вспомнит притчу о семи тучных и семи тощих коровах.

Кто из безымянных авторов Библии придумал эту притчу?

Урожайные годы бывают не только на полях, но и в лабораториях. В 1895 году А.С. Попов изобрёл радио. Тогда же Ж.Б. Перрен обнаружил отрицательный заряд катодных лучей Крукса и тем положил начало электронике. (Много лет спустя наш замечательный современник академик А.И. Берг объединил этих близнецов в синтетическую науку — радиоэлектронику.) В том же году В.К. Рентген, поддавшись всеобщему увлечению исследованиями катодных лучей, открыл новые икс-лучи, впоследствии названные его именем.

Следующий, 1896 год тоже принадлежал к тучным. Анри Беккерель, внук известного физика Антуана Беккереля, продолжал исследования свечения солей урана, таинственного явления, ставшего главным увлечением его отца Эдмона Беккереля. Оказывается, и в физике существуют династии: сын Анри Беккереля, Жан, тоже был известным физиком.

Но возвратимся к Анри Беккерелю, изучавшему люминесценцию ураниловых солей, которые ярко светились в темноте, если их до того выставляли под лучи солнца. Он открыл невидимое излучение солей урана, не связанное с предварительным освещением.

Узнав, что недавно открытые Рентгеном икс-лучи вызывают утечку электрического заряда с заряженного тела, Беккерель решил проверить, не способно ли к этому же открытое им излучение. Опыт подтвердил его догадку. Теперь он мог пользоваться двумя методами — фотографическим и электрическим. Прошло лишь два года, и супруги Кюри обнаружили, что торий обладает теми же свойствами, что и уран. Они ввели термин «радиоактивность» для обозначения особого свойства тех веществ, которые способны испускать «лучи Беккереля». Заметив, что некоторые минералы радиоактивнее тория и урана, они начали искать причину этого и обнаружили полоний, названный так в честь Польши — родины Марии Кюри, а затем радий, наиболее радиоактивный из всех известных до того радиоактивных элементов. На рубеже нашего века Беккерель обнаружил, что его лучи отклоняются магнитом, а Э. Резерфорд, о котором мир узнал лишь впоследствии, установил, что эти лучи состоят из двух частей. Он назвал одну из них альфа-излучением (она сильно поглощалась веществом), а другую — бета-излучением (она поглощалась значительно слабее).

Вскоре П. Вийяр обнаружил ещё более проникающую компоненту, совсем не отклоняемую магнитом. Он назвал её гамма-излучением.

Постепенно было установлено, что альфа-лучи заряжены положительно, бета-лучи — отрицательно, а гамма лучи совсем не несут заряда, чем напоминают лучи Рентгена. Удалось установить поразительный факт: частицы бета-лучей имеют различные скорости, а отношение их заряда к массе менялось в зависимости от скорости частиц. Это заставило вспомнить о старой мысли М. Абрагама, предположившего, что масса электрона, по крайней мере частично, зависит от окружающего его электромагнитного поля. Возник вопрос: не являются ли бета-лучи электронами?

Радиоактивные процессы возникают в самых глубинах атомов, в их ядрах, и сопровождаются выделением тепла. Пьер Кюри вместе с А. Лабордом изучили процесс и двумя способами определили, что каждый грамм радия ежедневно выделяет 100 калорий энергии. Откуда она берется?

Ещё раньше Мария Кюри предположила, что тепло выделяется радиоактивным веществом во время испускания лучей Беккереля и при этом радиоактивные вещества очень медленно изменяются. Но такая гипотеза противоречила всем основам науки — закону сохранения энергии (откуда берётся эта энергия?), закону сохранения вещества (как может изменяться радиоактивное вещество?) и интуитивному многовековому представлению о неизменности атомов.

Испугавшись собственной смелости, Мария выдвинула вторую гипотезу: радиоактивные вещества улавливают неизвестное внешнее излучение, недоступное нашим приборам, и преобразуют его в тепло и энергию радиоактивного излучения.

Время показало, что и в науке безграничная смелость лучше рабской осторожности. Все три грозных возражения против первой из гипотез превратились в её незыблемые доказательства.

ОЗАРЕНИЕ ДЖИ-ДЖИ

Исследования радиоактивности привели к открытию радиоактивных превращений атомов. Эйнштейн выявил глубокую связь между энергией и веществом и объединил два старых закона в единый закон сохранения энергии и вещества — в закон сохранения

материи.

Все явственнее назревала необходимость осознать сложные законы радиоактивных превращений, представлявшихся учёным массой несвязанных эмпирических гипотез. Особенно настоятельным это стало после 1908 года, когда Резерфорд установил, что альфа-частицы, вылетающие из радиоактивных веществ, представляют собой полностью ионизированные атомы гелия. Гелий получается из радиоактивных элементов! Столь крамольное предположение стало реальностью.

Нужно было решиться приступить к решению загадки атома. До того существовало лишь старое и весьма общее предположение У. Праута о том, что атомы всех веществ каким-то способом образуются из водорода. Гипотеза, основанная на кратности атомных весов, верность которой стала сомнительной после уточнения измерения атомных весов ряда элементов, обнаруживших существенное отклонение от кратности. (Впоследствии, после открытия изотопов, это возражение отпало, однако гипотеза Праута уже была не нужна).

Первую модель атома предложил Джозеф Джон Томсон, знаменитый Джи-Джи, которого иногда путают с не менее знаменитым Уильямом Томсоном, впоследствии получившим титул лорда Кельвина.

Короткое время Джи-Джи считал, что хорошей моделью атома могут служить магнитики А. Майера. Майер подвешивал над сосудом с водой большой магнит, а на воду пускал маленькие пробочки с воткнутыми в них намагниченными иглами.

Маленькие магнитики устанавливаются в устойчивые конфигурации: один в центре, под большим магнитом, во круг него шесть магнитиков, образующих правильный шестиугольник, затем десятиугольник больших размеров и вокруг него двенадцатиугольник. Майер заметил, что, покачав большой магнит, можно заставить маленькие магнитики переместиться. И тогда внешние конфигурации превращаются в девяти— и тринадцатиугольники. Майер считал, что это напоминает поведение некоторых реальных тел, способных изменять свои свойства при затвердении.

Впрочем, вскоре Томсон понял, что эта модель слишком сложна и не может описать многие известные свойства атомов.

В игру включился Уильям Томсон. Он заметил, что опыты с лучами Крукса, как тогда называли катодные лучи, которые, по существу, являются потоком электронов, летящих в вакууме, и бета-частицами, свидетельствуют о том, что электроны пролетают не только между атомами, но и сквозь них. Он предполагал, что электрон, находящийся вне атома, притягивается к нему с силой, пропорциональной квадрату расстояний между их центрами. Если же электрон пролетает внутри атома, то притяжение пропорционально первой степени этого расстояния. Так могло быть, но только в том случае, если весь объём атома заполнен чем-то, имеющим положительный заряд, а размеры электронов много меньше размеров атомов.

Томсон считал, что нейтральность атома обеспечивается тем, что в нём существует ровно столько электронов, сколько нужно для компенсации положительного заряда. Они располагаются по сферическим поверхностям и, возможно, вращаются вокруг центра.

Такая модель, известная под названием «атома Томсона», просуществовала более десятилетия, хотя было ясно, что она не объясняет многих фактов и не отвечает требованиям устойчивости. Так ещё раз проявила свою иронию Её Величество Наука, милостивая к корифеям, покорно несущим её шлейф, и пренебрегающая провидцами, обгоняющими её неспешную величественную поступь.

В декабре того же 1903 года, когда оба Томсона, более молодой Джи-Джи и маститый лорд Кельвин, закончили в общих чертах построение моделей атома, японский физик Х. Нагаока сообщил Токийскому физико-математическому обществу о своей модели атома, построенной наподобие системы Сатурна и его колец. В следующем году это сообщение появилось в лондонском журнале «Природа», но не вызвало особого резонанса среди физиков. Сейчас мы можем лишь удивляться подобному невниманию и пытаться объяснить его гипнотизирующим влиянием авторитета, инерцией ума или традиционной ссылкой на

судьбу идей, опередивших своё время.

Нагаока исходил из ясно осознанной необходимости объяснить закономерности спектральных серий и явления радиоактивности. Его статья называлась «О динамической системе, иллюстрирующей спектральные линии и явление радиоактивности». Он писал: «Атом состоит из большого числа частиц одинаковой массы, расположенных по кругу через равные угловые интервалы и взаимно отталкивающихся с силой, обратно пропорциональной расстоянию между ними. В центре круга помещается тяжёлая частица, которая притягивает другие частицы, образующие кольцо, по тому же закону... Рассмотренная система будет реализована, если по кольцу разместятся электроны, а положительный заряд в центре».

Модель Нагаоки могла объяснить отклонения альфа-частиц, наблюдавшиеся Х. В. Гайгером и Э. Марсденом при прохождении альфа-частиц через тонкие листы металлической фольги. Модель атома Томсона была здесь бессильна. Несмотря на все это, планетарная модель атома прочно ассоциируется с именем Резерфорда, который обосновал её в 1913 году, когда пришло время, и при его участии были получены опытные факты, превратившие планетарную модель из гипотезы в очевидную реальность.

Один из решающих доводов в пользу планетарной модели получил ассистент Резерфорда Г. Мозли из наблюдений спектров рентгеновских лучей. «Атому присуща характерная величина, регулярно увеличивающаяся при переходе от атома к атому (в периодической системе Менделеева). Эта величина не может быть ничем иным, как зарядом внутреннего ядра», — написал он.

Результат, полученный Мозли, прекрасно сочетается с законом превращения радиоактивных элементов, открытым Ф. Содди и Резерфордом за десять лет до того и вызвавшим резкие возражения консервативных сторонников традиционной точки зрения о вечности и неизменности атомов.

В модели Резерфорда всё стало на свои места: в положительно заряженном ядре происходят все радиоактивные превращения, вокруг ядра вращаются электроны, ответственные за возникновение спектров и за химические взаимодействия.

Основной слабостью планетарной модели Нагаоки, не устранённой и Резерфордом, была невозможность количественно связать эту модель с явлением излучения и поглощения света и рентгеновских волн. Модель не позволяла рассчитать длины излучаемых и поглощаемых волн, более того, её нельзя было примирить с фактом существования атомов. Ведь в соответствии с теорией Дж. К. Максвелла вращающийся по орбите электрон должен непрерывно излучать электромагнитные волны, передавая им часть своей кинетической энергии. При этом орбита электрона должна всё более сжиматься, и он должен быстро упасть на ядро.

Если и была надежда когда-нибудь в будущем объяснить этим радиоактивные превращения, то совместить такую модель с существованием стабильных атомов было совершенно невозможно.

Модель Резерфорда ждала неизбежная гибель. Но она не успела подвергнуться поруганию и забвению потому, что в лаборатории Резерфорда уже около года работал молодой датский физик Нильс Бор.

ЕРЕТИК

Бор отчётливо ощущал обширные возможности, содержащиеся в планетарной модели атома, и поставил себе целью спасти её от анафемы, которой ей грозила классическая физика.

Спасителями могли быть только еретический квант действия, вошедший в науку, несмотря на все опасения его создателя М. Планка, и не менее крамольный фотон, отец которого, Эйнштейн, потом долгие годы был основным оппонентом Бора по самым сложным и глубоким проблемам современной физики.

Цитата, которую я привожу ниже, возможно, слишком длинна, но она лучше всего

покажет возникновение наиболее драматического скачка в науке, вознёсшего человечество над стройными громадами классической физики. Бор писал:

«Существование элементарного кванта действия выражает новое свойство индивидуальности физических процессов, совершенно чуждое классическим законам механики и электромагнетизма; оно ограничивает их справедливость теми явлениями, в которых величины размерности действий велики по сравнению со значением единичного кванта, даваемым новой атомистической постоянной Планка. Такое условие ни в какой мере не выполняется для электронов в атомах, хотя ему с избытком удовлетворяют явления в обычных физических опытах. И действительно, только существование кванта действия препятствует слиянию электронов с ядром в нейтральную тяжёлую частицу практически бесконечно малого размера.

Признание такого положения тотчас же навело на мысль описывать удержание каждого электрона полем вокруг ядра как непрерывный ряд индивидуальных процессов. Процессов, которые переводят атом из одного, так называемого стационарного, состояния в другое состояние с испусканием освобождённой энергии в виде единичного кванта электромагнитного излучения — фотона. (Это очень важное место в размышлениях Бора, так как тут выражено интуитивное предчувствие принципа, лёгшего в основу работы лазера.) Эта идея внутренне сродни эйнштейновскому успешному толкованию фотоэлектрического эффекта, столь убедительно подтверждённому прекрасными работами Дж. Франка и Г. Герца над возбуждением спектральных линий ударами электронов об атомы. Она дала не только прямое объяснение загадочных законов линейчатых спектров, распутанных И. Я. Бальмером, И. Р. Ридбергом и В. Ритцем. Но и постепенно привела к систематической классификации, на основе спектроскопических данных, типов стационарной связи каждого электрона в атоме. Это дало полное объяснение замечательным зависимостям между физическими и химическими свойствами элементов, зависимостям, выраженным в знаменитой таблице Д. И. Менделеева. Такое толкование свойств материи казалось осуществлением древнего идеала — свести формулирование законов природы к рассмотрению только чисел, — превосходящим даже мечты пифагорейцев. Основное предположение об индивидуальности атомных процессов означало в то же время неизбежный отказ от установления детальной причинной связи между физическими событиями, существование которой было в течение столетий бесспорной основой философии естествознания».

Как поразительно работает интуиция гения: она предчувствует то, что ещё не стало осознанной реальностью.

Бор сформулировал свои идеи в виде трёх постулатов: атом может находиться в ряде определённых стационарных состояний, не теряя энергии на излучение; излучение возникает при переходе из одного стационарного состояния в другое; частота излучения определяется отношением разности энергий, соответствующих двум стационарным состояниям, между которыми совершается переход, к постоянной Планка.

В этих постулатах уже содержалась суть лазеров, но об этом пока никто не знал.

Бор применил эти постулаты к простейшему атому водорода, вокруг ядра которого вращается только один электрон. Каждый шаг был триумфом. Радиус орбиты электрона хорошо совпал с радиусом атома водорода, известным из опытов с газами. Подсчёт частот, связанных с переходами между простейшими стационарными состояниями, совпал с известными сериями линий Бальмера и Ф. Пашена и позволил вычислить постоянную Ридберга, определённую ранее только из опыта.

Бор применил свою теорию к иону гелия — системе, также имеющей только один электрон, но вчетверо более тяжёлое ядро, чем ядро атома водорода. Так он получил серию частот, совпадавшую с серией спектральных линий, наблюдавшихся в некоторых звёздах и в то время приписывавшихся водороду. Впоследствии правота Бора стала ещё одним триумфом его теории.

Но попытки применить теорию к неионизированному атому гелия — системе с двумя электронами — и к более сложным атомам натолкнулись на непреодолимые математические

трудности.

Эти трудности в существенной мере преодолел теоретик старшего поколения А. Зоммерфельд. Он ввёл в модель Бора наряду с круговыми орбитами более сложные эллиптические орбиты электронов. Это позволило ему вывести расчётным путём комбинационный принцип, полученный Ритцем из простого сопоставления данных опыта. Затем Зоммерфельд, оценив скорости движения электронов по их орбитам, установил, что они столь велики, что для расчётов нужно применять теорию относительности Эйнштейна.

Так он смог объяснить существование многих спектральных линий, не входивших в известные спектральные серии. Оказалось, что они возникают вследствие того, что эллиптические орбиты в соответствии с требованиями теории относительности вращаются вокруг ядра так, что электрон движется не по замкнутому эллипсу, а по своеобразной бесконечной розетке. Впрочем, и после усовершенствования теория была слишком сложной, а главное, не все её предсказания согласовывались с опытом.

Постепенно у физиков крепло сознание необходимости перемен.

ПОВОРОТ К ЛАЗЕРУ

В 1917 году Эйнштейн сделал шаг, последствия которого он ещё не мог предвидеть. Шаг заключался в применении к атому Бора того статистического подхода, который сам Эйнштейн и польский учёный М. Смолуховский применили к расчётам таинственного броуновского движения — безостановочной пляске мельчайших частиц, плавающих в жидкости.

Эйнштейн заметил, что акты излучения и поглощения света должны подчиняться таким же вероятностным закономерностям, как радиоактивный распад. Каждый единичный акт непредсказуем и случаен, но в среднем проявляются чёткие закономерности, соответствующие объективным законам природы.

Он предположил, что в атомах, не подвергающихся внешним воздействиям, электроны переходят из состояний с более высокой энергией в состояние с более низкой энергией с вполне определённой вероятностью, обусловленной строением атома. Интенсивность излучения, связанного с такими спонтанными, самопроизвольными переходами, пропорциональна числу возбуждённых атомов, то есть атомов, находящихся в состоянии высокой энергии.

Если же атомы находятся в поле излучения, частота которого совпадает с одной из боровских частот, то вероятность электронного перехода, связанного с излучением или поглощением фотона этой частоты, пропорциональна интенсивности поля.

Эти два предположения имели два важнейших следствия.

Из них непосредственно вытекает формула Планка для излучения «чёрного тела», устранившая опасность «ультрафиолетовой катастрофы». Это давало уверенность в правоте Эйнштейна.

Но второе следствие настораживало.

Из предположений Эйнштейна неизбежно получалось, что фотон уносит из атома не только энергию, но и импульс, что элементарный акт излучения света не может быть описан сферической волной. Так в науку вновь вошла необходимость объединения волновых и корпускулярных свойств света, ибо теперь фотоны, обретя импульс, ещё ближе уподобились частицам. Теперь в физику по-настоящему вторглись законы случая, и их уже нельзя рассматривать просто как путь упрощения слишком громоздких вычислений в задачах о множестве частиц. Вероятностные законы оказались связанными с элементарными единичными актами. Лишь много позднее выяснилось, что всё это связано с лазерами, что теория лазеров уже работает, ещё неосознанно, но уже подготавливая почву для озарения. Пока учёные это осознали, в науке должно было произойти много важных событий.

СУМАСШЕДШИЙ?

Шёл 1911 год. В науку входил один из интереснейших умов. Луи де Бройль начал свою самостоятельную жизнь с получения степени бакалавра, а затем лицензиата литературы по разделу истории. Но его влекла деятельность, которой посвятил себя его брат. И вот Луи, через брата, знакомится с докладами, обсуждавшимися на физическом конгрессе. Доклады были посвящены квантам. Кванты решили судьбу юноши.

Начал он с того, что стал работать в лаборатории своего брата. Первые его труды посвящены рентгеновскому излучению и фотоэффекту. Истории было суждено прервать своеобразный старт — началась Первая мировая война. Историк — физик — солдат пять лет отдаёт армии. А вернув шись в 1919 году из армии, он полностью подпадает под обаяние эйнштейновской теории световых квантов — фотонов. Его подхлестнуло именно то, что маститым немецким физикам казалось подозрительным в дерзкой теории.

Эйнштейн и не претендовал на то, чтобы объяснить при помощи квантов появление цвета в тонких плёнках, например радужной окраски разлитой по воде нефти, и других интерференционных явлений. Если считать, что свет — только частицы, этого не объяснишь. Он был слишком глубоким физиком, чтобы идти облегчённым путём. То была бы грубая работа.

Творец фотонов оставлял эту задачу волновой оптике. Ей было легче, так как исходила она из того, что свет — это волны. Он исходил из двойственности природы света. В одних условиях свет существует как непрерывная волна, а в других он, не менее реально, выступает как поток квантов, которые позднее получили название фотонов.

Эйнштейн был одинок в своём подходе к природе света. Даже впоследствии, когда он после создания теории относительности был поставлен рядом с Ньютоном, квантовая теория света осталась непонятой и забытой. Она помогла Бору в создании теории атома, но и это не обеспечило ей признания. Сам Эйнштейн, поглощённый всё более трудными задачами, возникавшими по мере развития его основного труда, не возвращался к этим работам.

Луи де Бройль подхватил идеи Эйнштейна. Ещё в ранней молодости его поразила аналогия уравнений, управляющих движением волн и поведением сложных механических систем. Теперь же непостижимое появление целых чисел в правилах, позволяющих вычислять орбиты атома водорода, навело его на мысль о родстве этих правил с законами волнового движения, в которых постоянно возникают простые целые числа.

Руководствуясь идеями Эйнштейна, в частности его соображениями о связи массы и энергии, вытекающими из теории относительности, де Бройль проделал для частиц работу, обратную той, которую Эйнштейн провёл для волн света. Эйнштейн связал электромагнитные волны с частицами света; де Бройль связал движение частиц вещества с распространением волн, которые он назвал волнами материи. В конце лета 1923 года в «Докладах Французской академии наук» появились три статьи, три шедевра, в которых были заключены основные принципы новой волновой механики.

А в докторской диссертации де Бройля идеи волновой механики были развиты и отшлифованы так тонко, что жюри знаменитой Сорбонны, в состав которого входили такие корифеи французской науки, как Поль Ланжевен и Жан Перрен, без колебаний оценило её «как бриллиант первой величины», а Эйнштейн рекомендовал прочесть её всем физикам, хоть и кажется, что писал её сумасшедший.

НЕ ДУМАЯ

Через год двадцатипятилетний геттингенец Вернер Гейзенберг опубликовал свою знаменитую матричную механику. Она была удивительным порождением интуиции одного учёного и в известном смысле освобождала других от необходимости... думать... Основной труд уходил на освоение непривычных математических методов. Дальше всё шло удивительно просто. Нужно было записать условия очередной задачи в символической матричной форме (для этого, конечно, нужно поломать голову). Но дальше можно

действовать по раз навсегда разработанным правилам. В конце этой почти механической работы возникало решение. Разглядеть его среди леса формул всегда помогал опыт.

Молодой профессор из Цюриха Эрвин Шрёдингер весной 1926 года прорубил ещё одну просеку в дремучем лесу микромира. Шрёдингер получил замечательное уравнение, известное теперь под названием волнового и носящее его имя. Он показал, что в сложных случаях, когда в процессе участвует сразу много частиц, соответствующая волна, описывающая их движение, становится очень сложной. Она уже не помещается в пределах обычного трёхмерного пространства. Для её описания нужно вообразить пространство со многими измерениями!

Теперь в физику микромира прочно вошло абстрактное многомерное пространство, дотоле бывшее многолетней вотчиной классической математики.

Так в результате вдохновенной работы де Бройля, Гейзенберга и Шрёдингера родилась новая квантовая механика — удивительное, не совсем понятное, заряженное математической взрывчаткой оружие для дальнейших походов в микромир.

В преодолении трудностей, возникавших на пути триединой теории, включались всё новые силы. Но главное направление здесь вело не к лазерам, а к атомной бомбе и атомной электростанции. Поэтому мы оставим этот путь и вернёмся назад, чтобы проследить за развитием других идей, имеющих непосредственное отношение к нашей теме.

СКАЧОК

Отступим к началу нашего века, когда в науку входил юноша из Одессы Леонид Мандельштам.

В эти столь бурные годы Мандельштама привлекли работы Планка, стремившегося понять, почему свет, проходящий через прозрачную, незамутнённую среду, ослабляется. Причиной могло быть только рассеяние. Но что может рассеивать свет в чистом, однородном газе?

И как быть с опытами, безупречными опытами, с удивительной точностью подтверждавшими ранее господствующую теорию рассеяния? Всё в ней представлялось бесспорным и как бы протестовало против вмешательства.

Мандельштам не смутило совпадение результатов опытов с прежней теорией. Об одном из таких опытов он написал в 1907 году: «Это совпадение должно рассматриваться как случайное».

Целым рядом работ Мандельштам показал, что беспорядочное движение молекул не делает газ однородным. В реальном газе всегда имеются мельчайшие разрежения и уплотнения, образующиеся в результате хаотического теплового движения. Вот они-то и приводят к рассеянию света, так как нарушают оптическую однородность воздуха.

Мандельштам писал: «Если среда оптически неоднородна, то, вообще говоря, падающий свет будет рассеиваться в стороны».

Много позже, в 1917 году, Мандельштам и независимо от него французский учёный Леон Бриллюэн задались вопросом о том, как же происходит рассеяние света в прозрачных однородных жидкостях и твёрдых телах, плотность которых неизмеримо больше плотности воздуха?

Оказалось, что и здесь большую роль играют флуктуации плотности, подчиняющиеся законам, родственными тем, которые приводят в движение броуновские частицы.

Но в жидкостях и твёрдых телах, которые физики объединяют обобщающим понятием — конденсированные среды, в процесс рассеяния света вмешивается новый фактор, корни которого простираются до 1820 года, когда французы П. Дюлонг и А. Пти установили замечательный факт равенства удельной теплоёмкости всех твёрдых тел. Попытки объяснить эту закономерность дали толчок многим далеко идущим исследованиям. Но причина столь удивительного равенства так и осталась неясной, и опытный факт со временем превратился в закон Дюлонга и Пти. Лишь более чем через половину века цюрихский профессор Х. Вебер обнаружил, что удельные теплоёмкости алмаза, графита, бора и кремния резко отклоняются в меньшую сторону от закона Дюлонга и Пти. Он же установил, что повышение температуры

уменьшает обнаруженное им отклонение.

Эйнштейн, в студенческие годы слушавший лекции Вебера, не мог остаться равнодушным к его открытию. Он представил себе атомы твёрдых тел колеблющимися вокруг устойчивых положений равновесия, определяемых взаимодействием их электрических полей. Свойства таких атомных систем напоминают в общих чертах поведение системы грузиков, связанных пружинками. Эйнштейн стремился во всех случаях описать сложную систему при помощи наиболее простых моделей и наиболее простых формул, лишь бы они воспроизводили существенные черты реальных явлений. Этот путь и здесь привёл его к успеху. Применяв к своей модели формулы Планка, он смог объяснить наблюдения Вебера.

Впоследствии П. Дебай развил работу Эйнштейна и показал, что тепловые колебания твёрдых тел имеют ту же природу, что и звуковые колебания, но частоты их занимают несравненно больший диапазон, чем слышит наше ухо. То были ультразвуковые и гиперзвуковые колебания, много позже освоенные техникой. Но звуковые волны связаны с сжатием и разрежением, с изменением плотности вещества. Если эти волны порождаются тепловыми движениями, то их наложение приводит к хаотическим изменениям, к флуктуациям плотности. Достаточно было осознать это, и механизм рассеяния света в конденсированных средах становился ясным. Теперь этот процесс известен как рассеяние Мандельштама — Бриллюэна. Он приобрёл новое значение после создания лазеров.

НАХОДКА

Много лет спустя, в 1925 году, став заведующим кафедрой Московского университета, Мандельштам продолжил исследования рассеяния света совместно с искусным экспериментатором Г. С. Ландсбергом.

Результаты совместной работы были неожиданны и необычны. Учёные обнаружили совсем не то, чего ожидали, не то, что было предсказано теорией. Она открыли совершенно новое явление. Но какое? В рассеянном свете появилась целая комбинация частот, которых не было в падающем на вещество свете. Не ошибка ли это?

На фотографиях спектра рассеянного света упорно появлялись слабые и тем не менее вполне явные линии, свидетельствующие о наличии в рассеянном свете «лишних» частот. Многие месяцы учёные искали объяснение этому явлению. Откуда в рассеянном свете появились «чужие» частоты?

И настал день, когда Мандельштам осенила изумительная догадка. Это было удивительное открытие, то самое, которое и теперь считается одним из важнейших открытий XX века.

Глубокая интуиция и ясный аналитический ум Мандельштама подсказали учёному, что обнаруженные изменения частоты рассеянного света не могут быть вызваны теми межмолекулярными силами, которые выравнивают случайные неоднородности плотности воздуха или вызывают ультразвуковые — дебаевские — волны в твёрдых телах. Учёному стало ясно: причина, несомненно, кроется внутри самих молекул вещества и явление вызвано внутримолекулярными колебаниями атомов, образующих молекулу. Такие колебания происходят с гораздо более высокой частотой, чем те, что сопровождают образование и рассасывание случайных неоднородностей среды. Вот эти-то колебания атомов в молекулах и сказываются на рассеянном свете. Атомы как бы метят его, оставляют на нём свои следы, зашифровывают дополнительными частотами.

Таким образом, для объяснения нового явления, которое получило название «комбинационное рассеяние света», достаточно было теорию молекулярного рассеяния, созданную Мандельштамом, дополнить данными о влиянии колебаний атомов внутри молекул.

Следует отметить, что одновременно индийские исследователи Ч. Раман и К. Кришнан искали оптическую аналогию эффекта А. Х. Комптона, открывшего изменение длины волны

рентгеновского излучения при рассеянии его электронами вещества и тем подтвердившего предсказание, сделанное Эйнштейном. Они тоже нашли не то, что искали. Они тоже открыли комбинационное рассеяние света.

Впоследствии из этого «сдвоенного» открытия была извлечена огромнейшая польза, оно получило ценное практическое применение. Сейчас же для нас важно одно: комбинационное рассеяние стало основой одного из типов лазеров.

ЭЙНШТЕЙН И ЛАЗЕРЫ

Мы уже знаем, как Эйнштейн сделал первый шаг к лазерам. Но в то время никто не понял, куда ведёт тропинка, на которую он ступил. Не понял этого и он сам. Его интересовало другое. Он стремился лишь к тому, чтобы устранить назревшее противоречие между оптикой и термодинамикой.

Оптикам и до Эйнштейна было известно, что самопроизвольное излучение атомов не зависит от внешних условий, а определяется только свойствами самих атомов. Эйнштейн установил, что наряду с поглощением существует вынужденное испускание и оба процесса растут вместе с интенсивностью падающего на вещество света.

Это был чисто теоретический вывод. Вынужденное излучение, возникающее в результате вынужденного испускания, не поддавалось наблюдению: его маскировало более сильное поглощение.

Советский физик В. А. Фабрикант обратил внимание на то, что вынужденное излучение ненаблюдаемо только потому, что в обычных условиях этому препятствует закон Больцмана. В соответствии с ним атомы предпочитают находиться в состояниях с малой энергией, подобно тому как молекулы воздуха скапливаются в нижних слоях атмосферы. Внизу воздух плотнее, с высотой он становится всё более разреженным.

Так и атомы. В состояниях с малой энергией их много, в верхних состояниях меньше. А так как, по теории Эйнштейна, внешнее электромагнитное поле с равной вероятностью побуждает единичный атом поглотить фотон и повысить свою энергию или испустить фотон и избавиться от избыточной энергии, то результат определяется законом Больцмана: в обычных условиях число атомов, способных к поглощению, преобладает.

Значит, сказал Фабрикант, нужно создать необычные условия, в которых закон Больцмана уже не властен. Для этого необходимо нарушить тепловое равновесие среды, и нарушить так сильно, чтобы атомов с большой энергией стало больше, чем атомов с малой. Тогда такая среда вместо поглощения света будет усиливать его...

Шли годы. Началась Вторая мировая война. Гитлеровцы предательски напали на нашу Родину. Народ бросил все силы на борьбу с врагом. Вместе со всеми, конечно, были и учёные.

Но вот пришла долгожданная победа. Люди возвращались к мирному труду. Вся страна, каждый человек занялись неотложными делами. Только через пять лет Фабрикант смог вспомнить о своей давнишней работе. В те годы каждый думал прежде всего о непосредственной пользе. И Фабрикант, конечно, увидел, что и его докторская диссертация может найти техническое применение. Он вместе с несколькими сотрудниками принялся за работу. Ее итог — заявка на изобретение способа усиления электромагнитных волн при помощи вынужденного излучения. Дата приоритета — 1951 год. В заявке указывалось несколько путей достижения желаемого результата в газовых средах. Однако, несмотря на все усилия, авторы не смогли реализовать ни одного из них.

К сожалению, публикация заявки затянулась до 1959 года, так что приоритет авторов приобрёл в значительной мере формальный характер, и она практически не оказала влияния на последующие работы других учёных.

В том же 1951 году известный физик Э. Пэрселл и молодой радиофизик Р. Паунд сумели на короткий срок столь сильно нарушить тепловое равновесие вещества, что оно стало активным и вынужденное испускание в нём превосходило поглощение

электромагнитных волн. Прав да, то были не световые, а радиоволны, но от этого опыт не становился менее важным. Опыт был очень простым. Физики помещали кристалл фтористого лития в поле сильного магнита. Кристалл намагничивался. Большинство ядер атомов лития и фтора, являющихся подобием маленьких магнетиков, поворачивалось вдоль поля магнита так, чтобы их энергия в поле была минимальной. Затем кристалл нужно было быстро вынуть из поля, перевернуть так, чтобы та его сторона, которая была обращена к северному полюсу магнита, обратилась к южному, и всунуть кристалл обратно.

Теперь большинство ядер-магнетиков было направлено против поля, а их энергия в поле стала максимальной. Позиция, в которой они стремятся избавиться от избыточной энергии и излучают радиоволны. Это излучение происходит спонтанно — самопроизвольно. Но Пэрселл и Паунд не догадались, что стоит направить на кристалл внешнюю радиоволну — и она будет усилена. Пэрселл и Паунд стояли на пороге открытия, но не сделали решающего шага.

ПЕРВЫЕ

Для того чтобы понять, почему глубокие идеи Эйнштейна и Дирака, конкретные предложения Фабриканта и замечательный опыт Пэрселла и Паунда не привели непосредственно к созданию лазеров, ни даже к возникновению квантовой электроники, нужно на время отвлечься от судьбы исследований света.

Мысленно посетим старый ФИАН — Физический институт Академии наук СССР, который помещался в то время на 3-й Миусской улице Москвы. В 1939 году в нём появился выпускник Ленинградского университета Саша Прохоров. Он хотел заниматься радиофизикой и включился в исследования распространения радиоволн, которые проводились под руководством учёных друзей — Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, основавших знаменитую Лабораторию колебаний.

В Лаборатории колебаний все были проникнуты стремлением к познанию основных закономерностей, объединяющих между собой разнообразные явления. Главным руководством служила общая теория колебаний, которая в то время находилась в стадии построения своей наиболее сложной — нелинейной — части. Эта теория позволяла рассмотреть с единой точки зрения работу лампового генератора радиоволн и работу человеческого сердца, распространение радиоволн и распространение звука, таинственный люксембургско-горьковский эффект и прохождение света через кристаллы. Всего не перечислить.

Здесь учили пользоваться безмерной мощью математики, но старались по возможности привлекать наиболее простые и наглядные методы. Через оптические явления перебрасывались мосты в мир атомов, в лишь недавно освоенную квантовую область. Отсюда проходили пути к предельным скоростям, в мир теории относительности. И главное, тут учили замыкать связь между идеей и её техническим воплощением. Словом, Прохоров попал в одну из самых передовых школ современной физики, и он пришёл здесь ко двору. Теория перемешалась с экспериментом, лабораторная работа сочеталась с экспедициями. Белое море, Кавказ, Рыбинское море.

Но пробыл он в лаборатории недолго. Грянула война, и ему пришлось сменить романтику научного поиска на будни армейской разведки. После войны из-за последствий тяжёлого ранения он долго не мог участвовать в полевых экспериментальных исследованиях. Пришлось работать только в лаборатории, изменить научную тематику. Но и в этих условиях он продолжал вносить свой вклад в общее дело, работал над повышением точности радиолокационных и радионавигационных систем.

Он стал аспирантом профессора С. М. Рытова, члена корреспондента АН СССР, глубокого и интересного учёного, и через три года трудных теоретических и экспериментальных исследований защитил кандидатскую диссертацию.

В это время в лаборатории появился студент-практикант Николай Басов. Война

оставила свой мрачный след и в его жизни. Призванный в армию, он был послан в Военно-медицинскую академию. Не успев кончить академию, попал на фронт. После победы участвовал в демонтаже заводов, на которых гитлеровцы изготавливали отравляющие вещества, перенёс сильное отравление, долго болел.

После демобилизации Басов выбрал Московский инженерно-физический институт. Физика казалась ему неотделимой от техники. Он правильно понял дух нашего века. Постепенно его начала всё сильнее привлекать к себе теоретическая физика, её покоряющая мощь, её гигантские успехи, её захватывающие тайны. Может быть, это произошло потому, что кафедрой теоретической физики в институте руководил академик И. Е. Тамм, блестящий представитель школы Мандельштама. Басов стал одним из лучших студентов кафедры. Но, попав на практику в Физический институт, в лабораторию к Прохорову, на чисто экспериментальную работу, он включился в неё со всей присущей ему энергией и вскоре на год раньше установленного срока защитил дипломный проект. Здесь экспериментальным исследованиям было уделено не меньше места, чем теоретическим.

Басов вместе с Прохоровым увлёкся радиоспектроскопией. Одно из исследований в этой области стало темой его кандидатской диссертации.

Дружная работа молодых радиофизиков, одинаково хорошо владеющих искусством тонкого эксперимента и методами современной теории, обладающих исключительной интуицией и чувством нового, привела к переломному пункту их научной судьбы — к созданию молекулярного генератора радиоволн, к открытию фундаментальных принципов, ставших основой новой области науки, которую они назвали квантовой радиофизикой.

Примерно в то же время далеко за океаном, в Колумбийском университете города Нью-Йорка, почти тем же путём входил в науку молодой физик Чарлз Таунс. Колумбийский университет, основанный в 1754 году, превратился в крупный научный центр ещё до того, как разгул фашизма в Италии и Германии, а затем захват гитлеровцами стран Центральной и Западной Европы вызвали массовую эмиграцию учёных. Впрочем, даже в двадцатые годы нашего века Колумбийский университет был единственным местом в многомиллионном городе, где можно было заниматься физикой.

К началу Второй мировой войны здесь сформировался первоклассный центр по исследованию атомных пучков. Основатель его, Изидор Раби, взял старт в Европе, в лаборатории О. Штерна, патриарха подобных исследований. Но Раби сделал существенный шаг вперёд: он сочетал технику атомных пучков с радиотехникой. Так, по существу, родилась радиоспектроскопия.

Радио объединилось с атомами и молекулами. Появилась возможность чрезвычайно точно исследовать многие свойства атомных ядер, но это ещё не привело к возникновению новой области науки.

Радиоспектроскопия родилась вторично и начала бурно развиваться после Второй мировой войны, когда физикам стала доступна техника сантиметровых радиоволн, созданная в ходе развития радиолокации.

Ранние публикации Таунса в области радиоспектроскопии относятся к 1946 году. Первая содержала несколько строчек. То была лишь аннотация, по английской терминологии «абстракт», об исследовании молекулы аммиака. Вторая составила уже примерно страничку, содержащую письмо в редакцию журнала «Физические обозрения» об исследовании молекулы воды. Работы не произвели особого впечатления. В то время исследования аммиака и воды уже велись широким фронтом во многих лабораториях, пожалуй, на более высоком уровне.

За первым шагом последовал быстрый разбег: в следующем году два письма и три абстракта, уже с новыми интересными результатами, а ещё через год Таунс стал одним из ведущих специалистов в области радиоспектроскопии газов.

ОН РОДИЛСЯ!

Многие переломные даты представляются крайне условными. Это относится не только к началу нашей эры, но и к началу века пара, века электричества... Лишь в начале атомного века стоит страшная зарубка взрыва, всколыхнувшего пустыню штата Нью-Мексико.

Рождение квантовой радиофизики относится к 1954 году, когда Басов и Прохоров в Физическом институте имени П. Н. Лебедева в Москве и Таунс вместе с Гордоном и Цайгером в Колумбийском университете в Нью-Йорке практически одновременно и совершенно независимо добились генерации радиоволн при помощи молекул. Это был прибор нового типа. Молекулярный генератор — назвали его в Москве, мазер — окрестили его в Нью-Йорке. Слово «мазер» образовалось из первых букв английской фразы, описывающей принцип, лежащий в основе работы прибора («усиление радиоволн при помощи вынужденного испускания» — «Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation»).

Но поскольку молекулярный генератор был действующим прибором, его появление означало рождение близнецов. Из квантовой радиофизики возникла квантовая электроника — так впоследствии назвали техническое направление новой науки.

Атомы, комбинируясь в различных сочетаниях, образуют всё многообразие мира. Даже если атомы однотипны, они могут группироваться по-разному. Так, углерод может предстать невзрачным коксом, блестящим чёрным графитом и ослепительным алмазом. Всё зависит от условий, созданных природой или человеком. Так, будничная окись хрома, попав в бесцветный корунд, превращает его в прекрасный рубин, а войдя в столь же бесцветный берилл, порождает изумруд, считающийся более драгоценным камнем, чем бриллиант.

В молекулярном генераторе объединились и выкристаллизовались идеи и методы многих замечательных людей.

Вобрав их в себя, он подвёл итоги целой эпохи и открыл перед человечеством новые перспективы.

Советский и американский варианты молекулярных генераторов — настоящие близнецы. Генетически они тождественны. Но, развиваясь в различных условиях, приобрели некоторые внешние различия.

Сердцем обоих приборов является объёмный резонатор. Под влиянием его электромагнитного поля происходят акты вынужденного испускания фотонов молекулами. Он реализует обратную связь, связь между молекулами, уже успевшими излучить квант энергии, и теми, которым это только предстоит. Он обеспечивает высокую упорядоченность такого коллективного излучения. Упорядоченность, несвойственную ранее излучению молекул и атомов, но являющуюся отличительной особенностью радиоволн. Итак, сердце в обоих приборах исполняет одинаковую функцию и действует в соответствии с едиными законами. Здесь сочетаются вынужденное испускание волн и обратная связь. Несколько различаются лишь размеры резонаторов, но это почти не сказывается на работе прибора.

И в Москве, и в Нью-Йорке рабочим веществом был аммиак — газ, ставший пробным камнем радиоспектроскопии. Его молекулы обладают самыми интенсивными спектральными линиями в диапазоне сантиметровых волн, наиболее удобном для проведения экспериментов. Свойства молекулы хорошо изучены и позволяют просто совершить важнейший шаг, без которого молекулярный генератор остался бы грудой металла. Речь идёт о нарушении теплового равновесия, нарушении столь сильном, что в результате молекул, находящихся на более высоком энергетическом уровне, становится больше, чем оставшихся на нижнем уровне. Если это достигнуто, совокупность молекул, попав в поле резонатора, будет излучать радиоволны, усиливая поле. Если же равновесие нарушено недостаточно сильно или не нарушено совсем, то в совокупности молекул будут преобладать энергетически слабые молекулы, что приведёт к обычному поглощению энергии радиоволн.

Но продолжим сравнение близнецов. Все их существенные детали расположены внутри металлических кожухов. Конечно, форма кожухов различна, но назначение одинаково. Внутри должен быть обеспечен вакуум. Доступ воздуха недопустим. Вакуум обеспечивается

специальными насосами. Насосы поступили с различных заводов, но и они близнецы. Они способны в должной мере откачать из прибора воздух, но не могут справиться с массой аммиака, которая, по расчётам, должна поступать в приборы во время их работы. И в Физическом институте, и в Колумбийском университете на помощь насосам призван жидкий азот. Он охлаждает специальные металлические поверхности до температуры 77°K и аммиак намерзает на них, постепенно образуя слой, похожий на иней. Его можно видеть через смотровые окна, имеющиеся в приборах. Аммиак поступает в приборы из баллонов. Сперва он попадает в цилиндр, одна из стенок которого сделана из металлической фольги со множеством мельчайших отверстий. Через отверстия в вакуум вылетает пучок молекул аммиака. Молекулярный пучок, по терминологии физиков, — это пучок молекул, вылетающих в вакуум таким образом, что они летят почти параллельно друг другу, практически не сталкиваясь между собой. Таких условий можно добиться, подбирая размеры отверстий в фольге и давление газа перед нею в соответствии с правилами, определяемыми свойствами газов.

Важнейшей деталью молекулярного генератора является квадрупольный конденсатор — конденсатор, образованный четырьмя стерженьками специальной формы, присоединёнными через один к положительному и отрицательному полюсам высоковольтного выпрямителя. Конденсатор установлен между источником молекулярного пучка и входным отверстием резонатора. Поле конденсатора действует на молекулы аммиака так, что те из них, которые находятся в нижних энергетических состояниях, отбрасываются в стороны, а находящиеся в высших энергетических состояниях направляются в резонатор. Таким образом, в резонатор попадает пучок молекул, подавляющее большинство которых обладает избытком внутренней энергии. Физики называют такой пучок инвертированным. Под действием поля резонатора молекулы пучка отдают полю избыток своей внутренней энергии. Так молекулы генерируют радиоволны.

Логика науки держала физиков в жёстких рамках. Именно поэтому обе группы шли столь схожими путями, как если бы они постоянно обменивались мыслями, обсуждали планы, достижения и неудачи. Может ли быть более убедительный пример единства научного процесса!

Басов, Прохоров и Таунс много потрудились над исследованием и усовершенствованием молекулярного генератора. Но это был лишь первый шаг в новом направлении. Узенькая тропинка в неведомое быстро расширялась, переходя в широкую дорогу, от которой ответвлялось всё больше новых путей. И по-прежнему перед первопроходцами возникали острые камни и пропасти, а за ними оставалась гладкая дорога. И если оглянуться далеко назад, видно, как там, вдали, она уже покрыта асфальтом и по ней мчатся машины, а вдоль тротуаров счастливые родители катят в колясках своих малышек.

Изберём же ту из дорог, которая приведёт к лазеру.

МОЛНИЯ

В середине сентября 1959 года вблизи Нью-Йорка, в тихом местечке Хай Вью, собралась разноязычная компания учёных. Это были участники первой международной конференции по квантовой электронике. По сравнению с масштабами других международных конференций, учёных было так мало, что организаторы смогли поместить в томе трудов конференции список всех её участников. Здесь наряду с Басовым, Прохоровым и Таунсом можно найти имена многих знаменитых современных физиков.

Конференция как в зеркале отразила основные направления оптической науки. Большинство докладов и кулуарных бесед касались молекулярных генераторов, атомных часов, парамагнитных усилителей. Речь шла об их исследованиях и применениях. Это было естественно. Но главным в конференции было не это. Здесь прозвучали фанфары, возвещавшие вторжение радиофизиков в исконную вотчину оптиков. Ещё в 1958 году Таунс вместе с А. Шавловым указали этот путь. В свою очередь Прохоров напомнил, что

оптический эталон, носящий имена Ш. Фабри и А. Перо, является по существу резонатором для оптических волн.

Басов и Прохоров предложили добиваться инверсии состояний — превосходства высших состояний (по энергии) над низшими путём накачки. Так они назвали воздействие электромагнитных волн на частицы вещества.

После конференции многие лаборатории взялись за новую тематику. Радиофизики подходили к оптическим задачам со своих позиций. Результаты появились быстро.

В начале 1960 года в лондонском журнале «Природа» было напечатано коротенькое сообщение американца Т. Меймана о том, что он создал принципиально новый генератор световых волн.

В лабораторию к Мейману началось паломничество. Там стоял небольшой, ничем с виду не примечательный прибор. Но посетители не сводили глаз с ящика, на верхней крышке которого лежал металлический цилиндр размером с литровую консервную банку. В середине его торца виднелось небольшое отверстие.

После кратких пояснений Мейман нажимал кнопку, вмонтированную в корпус прибора. В середине листа, прикреплённого к стене лаборатории, на мгновение ослепительно вспыхивало небольшое ярко-красное пятно!

Но те, кто смотрел не на стену, а на прибор, видели, как из отверстия в его торце вылетал луч толщиной не больше карандаша. Почти не расширяясь, луч упирался в стену, оканчиваясь ослепительным круглым пятнышком. В комнате было совсем светло, но красный луч выглядел примерно так же, как луч солнца, проходящий в затемнённую комнату через отверстия шторы.

После нескольких вспышек металлический цилиндр обычно открывали. Но в нём не было ничего необычного. Разве лишь два тривиальных предмета. Спиральная лампа вспышка, похожая на те, которыми пользуются фотографы, и бледно-розовый прозрачный стерженёк длиной и диаметром с обычную сигарету. Концы его блестели как зеркало. Они действительно были покрыты зеркальным слоем серебра и образовывали оптический резонатор.

Мейман рассказывал коллегам, что стерженёк сделан из искусственного рубина. Такой же рубин, но ещё более светлый, применяется в мазерах для усиления радиоволн. Лампа-вспышка осуществляет оптическую накачку кристалла.

В поглощении света участвует не весь материал, образующий кристалл, а только ионы хрома, которых здесь лишь доли процента. Свойства рубина подробно изучены при разработке мазеров. Облучая его радиоволной, можно заставить ионы хрома усиливать радиоволны.

Мейман первый догадался, что, облучая рубин светом лампы-вспышки, можно заставить его усиливать свет. Опыт работы с мазерами и статья Таунса (а может быть, он читал статьи Прохорова и Басова) говорили о том, что, применив обратную связь, можно превратить усилитель в генератор — генератор света, действующий совершенно так же, как обычный радиопередатчик. Какой резонатор можно применить при работе со светом, тоже было известно — пару параллельных зеркал. Проще всего отполировать торцы рубинового стержня и прямо на них нанести зеркальный слой серебра.

Новый прибор оказался настолько похожим на мазер, что Мейман в его названии заменил лишь одну букву, превратив мазер в лазер. Буква «л» — сокращение слова «лайт» (свет). Остальные буквы означают «усиление при помощи вынужденного испускания». Он сказал: «Это потому, что принцип действия обоих приборов одинаков. Различаются только диапазоны длин волн, в которых они работают».

В лазере источником света служат миллиарды миллиардов электронов, входящих в состав ионов хрома, рассеянных в толще рубинового стержня. И все эти электроны испускают свет не независимо, не хаотически, не самопроизвольно. Они испускают его под влиянием резонатора — двух посеребрённых торцов стержня — более согласованно, чем звучат скрипки в хорошем оркестре.

Оптики называют такое совпадение основных характеристик световых волн когерентностью. Почти все умопомрачительные достижения лазеров так или иначе связаны с когерентностью. С тем, что вынужденное испускание света отдельными частицами в результате обратной связи оказывается жёстко связанным и вся масса активного вещества генерирует как одно целое.

До появления лазера оптики почти всегда имели дело с не когерентным светом. Лазер впервые показал, что и в оптике слаженный коллектив приобретает качества и возможности, недоступные хаотическому сборищу индивидуальностей.

Физики имели дело с вынужденным испусканием электромагнитных волн в сантиметровом диапазоне радиоволн. Там оно привело к недостижимой ранее стабильности генераторов, к предельной чувствительности приёмников.

Теперь им было ясно, что вынужденное испускание в оптике даёт гораздо больше, чем простое усиление света, о котором писал Фабрикант в своей диссертации. Вынужденное испускание в оптике открывает путь для небывалой концентрации энергии, для её передачи на огромные расстояния с очень малыми потерями, для создания новых систем связи... Впрочем, здесь могут возникнуть перспективы, о которых никто ещё не мечтал.

Первый лазер на вид странно прост. Почти примитивен. Кусок искусственного рубина... Лампа-вспышка, только размерами отличающаяся от применяемых фотоаппаратами... И больше ничего. Но один из зарубежных исследователей, случайно попавший под луч лазера на расстоянии мили от него, получил тяжёлое повреждение зрения. Яркость этого луча в миллион раз больше яркости Солнца! Луч лазера мгновенно пробивает отверстие в стальных пластинах. Вот почему он стал незаменимым инструментом для обработки алмазов и сверхтвёрдых сплавов. Его применяют для ускорения потоков заряженных частиц и для управления химическими реакциями.

Басов вскоре после изобретения молекулярного генератора увлёкся идеей создания лазеров на полупроводниках. Здесь открывалась заманчивая перспектива прямого преобразования электричества в световые волны. И уже его мерная совместная работа с Б. М. Вулом и Ю. М. Поповым заложила теоретические основы для построения таких приборов. Но трудности на пути к практике были столь велики, что долгое время в создание лазеров на полупроводниках не верил никто, кроме самих участников работы.

Однако Басов, Крохин и Попов всё же додумались, как, пропуская через полупроводник электрический ток, полностью, почти без потерь, превращать его в луч света. Работа закипела в лабораториях Басова и Вула в Москве и Д. Н. Наследова в Ленинграде. Ленинградцы первые получили обнадеживающие результаты. Вскоре удивительный лазер засветился в США и в СССР. Большой цикл работ советских учёных, приведших к созданию полупроводниковых лазеров, был удостоен Ленинской премии за 1964 год. А потом Басов и его сотрудники опять добились успеха. Их новый лазер светился благодаря бомбардировке полупроводника пучком электронов.

Над созданием и применением новых приборов — мазеров и лазеров — теперь работают тысячи учёных в сотнях лабораторий. Но главную, ведущую роль здесь сыграли Басов, Прохоров и Таунс. Это признала мировая научная общественность. Их деятельность по достоинству оценила Шведская академия наук, присудив им Нобелевскую премию.

НОБЕЛЕВСКАЯ

...10 декабря 1964 года... Зал Стокгольмского концертхауса переполнен. Под звуки фанфар входят Басов, Прохоров и Таунс. Учёные идут тем же путём, каким до них входили сюда многие замечательные исследователи.

Этот зал помнит Эйнштейна, Планка, Бора...

Высокий статный старик, король Швеции, приветствует новых лауреатов. Адольф VI, король-профессор, который каждый год брал трёхмесячный творческий отпуск для научной работы, отлично понимал значение открытия, сделанного одновременно и независимо в

СССР и США. Но для королевы и её фрейлин, да и для большинства сидящих в зале речь одного из шведских академиков, произнесённая на родном шведском языке, была не более понятна, чем средневековая латынь.

Неудивительно, что в зале шёпотом переговаривались:

Что они изобрели?

Генератор...

Мало ли генераторов на свете?

Но это необыкновенный генератор...

Необыкновенно мощный?

Нет, необыкновенно немощный...

Господи, тогда зачем же он?!

Законный вопрос... Каждый образованный человек знает, что генераторы электрического тока достигли в наши дни огромных мощностей в 300, 500 тысяч и даже в миллион киловатт. Какова же мощность молекулярного генератора? Около одной миллиардной доли ватта! Жужжание комара куда сильнее...

Так что же привлекательного в этом немощном приборе? В своей нобелевской речи Прохоров рассказал о том, что излучение молекул и атомов привлекательно не мощностью, а точностью.

В молекулярном приборе нет радиоламп, конденсаторов, сопротивлений — всех тех деталей, порча которых терзает нервы владельцев радиоприёмников и телевизоров. Нерукотворные молекулы, дружно излучающие электромагнитные волны, сообщают новому прибору свои качества — неизменность и постоянство. Расчёты показывали: с его помощью можно так точно измерять время, как это никогда не удавалось людям раньше. Часы, управляемые молекулами, могут обладать поразительным постоянством хода: ошибка в одну секунду набегит лишь через 3000 лет...

Конечно, в обыденной жизни такие часы ни к чему. Но они необходимы штурманам кораблей и самолётов, нужны для управления космическими ракетами, для решения многих технических задач.

Прохоров подчеркнул, что лазеры и мазеры вобрали в себя самые новейшие достижения науки. Они стоят на трёх китах. Это явление парамагнитного резонанса, открытое академиком Завойским, и особый метод приведения квантовых систем в излучающее состояние, предложенный Басовым и Прохоровым, и техника работ при сверхнизких температурах, разработанная академиком Капицей.

На словах путь к лазеру казался простым и скорым! На самом деле он не менее тернист, чем путь от осознания атомной структуры материи до атомной электростанции, от первых полётов братьев Райт над песками Китти-Хоук до космического старта Гагарина.

Этот путь привёл к революционной ломке прежних физических представлений. Ведь лазер, рождённый сегодняшней действительностью, даже если он совсем невелик по размерам, может излучать свет во много миллионов раз более интенсивный, чем все светильники, предложенные прежней оптикой, вместе взятые, и даже более яркий, чем у гиперблоида инженера Гарина — лазера, придуманного писателем-фантастом.

При взаимодействии такого мощного луча с окружающей средой возникают явления, не предвиденные ни прежней физикой, ни человеческим воображением. Они-то и стали предметом изучения квантовой радиофизики и квантовой электроники — новых областей физики и техники, возникших в результате находок Басова, Прохорова и Таунса.

Сегодня пишутся только первые страницы этой науки. Своим появлением лазеры вызвали рождение новых идей, отраслей знания, дали толчок развитию новых технологических процессов в промышленности.

Прохоров в своей нобелевской речи нарисовал примерную картину будущей лазерной техники.

...Механический завод, где лучи лазеров ведут точнейшую обработку самых твёрдых материалов, придавая изделиям любую нужную конфигурацию. Завод управляется

математической машиной, все элементы которой работают на лучах света, обмениваясь ими через тончайшие нити световоды, заменяющие электрические провода. Быстродействие машины и объём её памяти в тысячи раз превосходят существующие, а размеры много меньше...

...Автоматические телефонные станции, в которых нет ни одного реле — работает только свет и вместо толстых многожильных кабелей лежат тонкие жгуты световодов. Станции включены в глобальную систему связи, использующую серию космических спутников, радиоволны и лучи света. Такая система обеспечит не только все потребности связи на Земле, но и общение с покорителями соседних планет...

Прохоров мог рассказать ещё о десятках самых неожиданных применений лазеров. Он знал: учёных этим не удивишь и не испугаешь. Они уверены, что сухие формулы и лабораторные установки способны породить и более поразительные реальности.

И если бы Прохоров не обладал такой безоговорочной, даже безрассудной верой в силу человеческого интеллекта, в безграничность познания и в то, что каждый шаг в глубь тайн природы несёт открытия, мы не увидели бы сегодня в его лабораториях всего того, о чём он мечтал, что обещал тогда, в 1964 году.

РЫЦАРЬ ОРДЕНА ОГУРЦА

11 июля 1966 года ... Банкетный зал затих, и юноша, долго взывавший к порядку, мог начать свою речь. Он открыл адрес в красивом переплёте, и вот что мы услышали:

«Дорогой коллега!

В день Вашего юбилея Вас приветствует и поздравляет Лапутянская академия наук.

Вы являетесь славным продолжателем научных исследований по квантовой электронике, начатых в нашей академии примерно 250 лет назад. Упоминание об этих исследованиях содержится в летописи академии, отрывок из которой позвольте здесь прочесть.

Летописец пишет: «Первый учёный, которого я посетил, был тощий человек с закопчённым лицом и руками, с длинными, всклокоченными и местами опалёнными волосами и бородой. Его платье и кожа были такого же цвета. Восемь лет он разрабатывал проект извлечения солнечных лучей из огурцов. Добытые таким образом лучи он собирал в герметически закупоренные склянки, чтобы затем пользоваться ими для согревания воздуха в случае холодного и дождливого лета».

И далее пишет летописец: «...Учёный не сомневался, что через восемь лет он будет иметь возможность продавать солнечные лучи для губернаторских садов по умеренной цене, однако жаловался, что запасы его невелики, и просил меня дать ему что-нибудь в качестве поощрения, тем более что огурцы в этом году были очень дороги. Я предложил профессору несколько монет»...

Дружный смех долго не давал оратору закончить это приветствие, но тренированный физик перекрычал аудиторию и прочитал адрес до конца:

«Вы видите, дорогой юбиляр, что наука всегда зависела как от состояния сельского хозяйства, так и от расположения благодетелей.

Поняв это, Вы научились добывать деньги из такого пустяка, как атомы и молекулы...

Велики Ваши заслуги перед физикой. Вы заменили огуречное семя более твёрдым телом и, вооружившись им, уверенно идёте к высотам науки...

Учитывая Ваши успехи и главным образом Ваше личное обаяние, Лапутянская академия наук избрала Вас почётным членом.

Мы надеемся, что теперь, став членом нашей академии, Вы получите доступ к отчёту за 1726 год, написанному неким Джонатаном Свифтом (под шифром «Путешествие Гулливера»), и найдёте там много свежих идей для Вашей дальнейшей деятельности.

Позвольте поздравить Вас и вручить Вам мантию почётного члена Лапутянской академии наук».

Под одобрительные возгласы молодые физики натянули на высоченную фигуру юбиляра — Александра Михайловича Прохорова — чёрную мантию и повесили на шею

эмблему: огромный огурец на тесёмке. Чёрную шапочку юбиляр надел сам: его почти двухметровый рост не позволил это сделать его инициативным ученикам...

Это было, когда Александр Михайлович праздновал свое пятидесятилетие и одновременно избрание его действительным членом Академии наук СССР.

...Большинство исследователей видят основную цель своей деятельности в открытии нового. Они ставят и решают важнейшие вопросы: как устроен атом? Что обеспечивает сходство потомков с предками? И многие другие. Установив, что вокруг атомного ядра вращаются электроны, а наследственная информация заключена в генах, они считают свою задачу выполненной.

Но есть другой тип учёных. Для них главным является вопрос «почему?». Они не могут успокоиться, не выяснив, в силу каких причин атомы стабильны, хотя законы классической механики и электродинамики предсказывают неустойчивость их планетарной модели.

История науки свидетельствует, что попытки ответить на вопрос — проклятый вопрос — «почему?» часто приводят к радикальной ломке устоявшихся взглядов, к настоящей революции идей.

ЗРЕЛОСТЬ ЛАЗЕРОВ

Воображение и интуиция помогают мысли осуществить великие завоевания.

Л. де Бройль

ОТСТУПЛЕНИЕ

Развитие и совершенствование лазеров идёт с нарастающей скоростью, и этой тенденции не видно конца. Появляются новые типы лазеров, увеличивается мощность мощных лазеров, стабильность стабильных, диапазон перестройки перестраиваемых. Лазеры шагнули через ультрафиолетовый диапазон в казавшийся недоступным для них диапазон рентгеновских волн. Лазеры вызвали возникновение новых научных и технических дисциплин, а процесс совершенствования расширил возможности лазеров там, где недавно лишь начиналось их применение.

На заре квантовой электроники физики-острословы упражнялись в сочинении различных вариантов смысла слова MASER (в то время большинство ещё не привыкло к слову LASER, предпочитая ему словосочетание «оптический мазер»). Среди ряда «находок» было и такое: Military Application Seem Extremely Remot. В переводе на русский это значит: военные применения кажутся весьма отдалёнными.

Этот оптимистический прогноз продержался недолго. Идеологи звёздных войн считают лазеры одним из необходимых элементов космического оружия, направленного как против космических объектов, так и против наземных сооружений.

Лазер уподобился гиперголоиду инженера Гарина, порождённой фантазией писателя А. Толстого.

Но сегодняшняя реальность страшнее фантастики.

Современные лазеры способны излучать энергию, достаточную для того, чтобы вызвать катастрофические пожары в городах и лесах, уничтожить урожай и ослеплять людей, выводить из строя оптические приборы. Правда, лазерное оружие уступает ядерному по разрушительной мощи, по опасности последующих бедствий. Его применение не влечёт за собой генетических поражений и климатических катаклизмов. Но оно возбуждает в некоторых стратегах мысль о возможности победы в ядерной войне, основанной на том, что наносящий ядерный удар первым способен обезопасить себя от ответного удара при помощи лазерного щита.

Будем надеяться, что начатый по инициативе нашей страны процесс уничтожения

ядерного оружия и средств его доставки дойдёт до конца и мы обойдёмся в XXI веке без ядерного оружия, поставим надёжный заслон на пути звёздных войн и в конце концов уничтожим ядерное, лазерное и обычное оружие... Что касается лазеров, то у них достаточно обширное мирное будущее.

Продолжим рассказ о настоящем лазеров, помечтаем об их будущем, которое самым органическим образом связано с нашим будущим. Мирное будущее лазеров — залог нашего мирного будущего.

ОБРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Чепуха, вправе сказать читатель. Время необратимо течёт от прошлого к будущему. Люди знали это в глубокой древности. Знали на основе собственного опыта. Время невозможно остановить, а тем более обратить вспять. Машина времени, способная возвращаться в прошлое, существует только в научно-фантастической литературе.

Задумайтесь над этим. Почему время необратимо? Это кажется весьма таинственным. Физики не могут объяснить, в чём суть необратимости времени, не могут свести её к каким-либо законам.

Необратимость течения времени является одним из основных свойств природы, столь же фундаментальным, как то, что мы живём в мире, имеющем три пространственных измерения. Люди привыкают к этому с рождения. Но с возрастом возникает стремление к познанию. Наряду с вопросами «как?», «какой?» возникает вопрос «почему?».

Применительно к времени этот вопрос приобрёл особое значение, когда учёные осознали, что в механике Ньютона и электродинамике Максвелла направление течения времени не фиксируется. Здесь прошлое и будущее — равноправны.

Постепенно выяснилось, что формальное обращение времени проявляется во многих теориях физических процессов, кроме тепловых. Это значит, что для любого возможного движения физической системы, не связанного с выделением или поглощением тепла, может осуществляться обращённое во времени движение. При этом система последовательно проходит в обратном порядке состояния, симметричные состояниям, которые она прошла первоначально. Учёные пока обнаружили только один случай нарушения симметрии относительно направления течения времени: это распад долгоживущего К-мезона. Причина этого нарушения, природа сил его вызывающих, ещё не установлена.

Кино делает очевидной условную симметрию течения времени. Если на плёнке зафиксировано падение шарика или разряд молнии, то, прокручивая плёнку в обратном направлении (обратив течение времени), мы увидим, как шарик поднимается вверх, а молния постепенно укорачивается и исчезает.

Конечно, и не прибегая к обращению времени, можно заставить шарик изменить направление движения и лететь вверх. Для этого достаточно толкнуть его снизу вверх. Но существуют процессы, идущие лишь в одном направлении. Например, горение. Только в кино (двигая плёнку в обратном направлении) можно увидеть, как горящая спичка удлиняется, а потом пламя гаснет и спичка вновь оказывается целой. Термодинамика описывает этот процесс. Но она не объясняет необратимость времени. Наоборот, необратимость времени лежит в основе термодинамики.

Поэтому невозможно получить термодинамику из механики. Невозможно именно потому, что в механике не заложена необратимость времени.

В школе, по традиции, вначале изучают механику, затем электричество, магнетизм и только потом начатки электродинамики. Так в нашем сознании формируется дробление науки. Позднее нам трудно почувствовать и осознать единство природы, связи между различными отраслями науки, изучающими природу с различных точек зрения.

Поговорим о волнах. О видимых волнах, бегущих по поверхности воды. О невидимых, но слышимых волнах звука. О невидимых и неслышимых радиоволнах.

Вспомним об океанских волнах, вид которых произвёл огромное впечатление на

молодого Ньютона, дав ему понять необозримость неведомого и ограниченность человеческих усилий. И ещё вспомним слова Козьмы Пруткова: «Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою».

Последуем же совету премудрого Козьмы.

Бросим маленький камешек в самую середину кастрюльки, наполненной водой. В месте его падения возникнут разбегающиеся кольцевые волны. Об этих кругах и говорил мудрец. Добежав до стенок, они повернут обратно.

Если камень попал в центр кастрюльки, а её стенки не деформированы, волны, отразившись от стенок, побегут назад, оставаясь круговыми, и будут повторять свой путь раз за разом, как бы отражаясь от центра. Если не обращать внимания на медленное затухание волн, вызванное превращением их энергии в тепло, то картина будет многократно повторяться. Теперь невозможно узнать, родились ли волны в центре или их каким-то образом породили стенки кастрюльки. Если снять кинофильм, то изображения, видимые при движении киноплёнки в любом направлении, неотличимы от видимых при противоположном направлении движения киноплёнки. Так проявляется независимость механических явлений от направления во времени.

Если же стенки кастрюльки деформированы, то после первого прохода волны перестанут быть круговыми, и вскоре поверхность воды окажется покрытой хаотической рябью. Теперь снятый кинофильм утратит обратимость: просматривая его в одном направлении, мы увидим, что рябь становится всё более хаотичной, а при противоположном направлении хаос будет упрощаться и картина будет всё более регулярной. Не приводит ли в данном случае нерегулярная деформация стенки к необратимости процесса во времени? Это важный вопрос, но оставим его на дальнейшее.

Подобная рябь возникнет и в том случае, когда стенки кастрюльки идеально круглые, но на её дне имеются бугры и впадины, а слой воды так тонок, что наиболее высокие бугры едва покрыты водой. Даже если камешек падает точно в центре, круги будут деформированы уже при первом проходе. Так действует зависимость скорости распространения волны от глубины воды. При следующих проходах отличие фронта волны от круговой симметрии будет всё более возрастать.

Заметив это, естественно приходишь к вопросу: можно ли сделать так, чтобы и в кастрюльке с деформированным дном волны собирались в её центре?

Этот вопрос наверное не возник бы или оказался забытым, если бы речь шла только о волнах в кастрюльке.

Иное дело, когда речь идёт о световых волнах, особенно о волнах, испускаемых лазером.

Излучение лазера обладает большой упорядоченностью. Особенно упорядочены лучи газовых лазеров. Причина — высокая однородность газов по сравнению с твёрдым телом, например со стеклом или кристаллом. Чем однороднее рабочее вещество лазера, тем меньше расходится световой пучок, тем меньше разброс длин волн, излучаемых лазером. Тем легче собрать излучение лазера в маленькое пятнышко. А это бывает необходимо во многих случаях применения лазеров. Тем меньше ослабевает интенсивность лазерного излучения с увеличением расстояния. Это особенно важно при применении лазерных маяков в навигации или лазерных нивелиров в геодезии и при строительных работах.

Физиков давно преследовало желание совместить в одном приборе два качественных преимущества разных лазеров: способность стеклянных лазеров к генерации световых пучков, обладающих большой энергией, с малой расходимостью пучков, присущей газовым лазерам.

Уже первые оценки показали, что главным препятствием здесь являются неоднородности оптических свойств среды, в которой распространяются лучи лазера. Таковы неоднородности показателя преломления атмосферы, вызывающие отклонения лучей света от прямой линии и искажение фронта световых волн.

Конструкторы много работают над тем, чтобы повысить энергию, излучаемую

компактными твердотельными лазерами, без ухудшения «качества» их излучения. Почему это так важно?

Энергия излучения лазера непосредственно связана с объёмом вещества, охваченного процессом генерации этого излучения. Но чисто технологические причины приводят к тому, что величина внутренних неоднородностей в лазерном веществе увеличивается с ростом его объёма. Увеличение внутренних неоднородностей в свою очередь приводит к ухудшению «качества» лазерного излучения. Излучение, выходящее из лазера, становится более неоднородным по сечению светового пучка. Пучок быстрее расширяется по мере удаления от лазера. А спектр излучения становится более широким (в нём присутствует большее число световых волн, различающихся своей длиной).

Казалось, этого можно избежать при помощи лазера, содержащего очень малый объём активного лазерного вещества. Ведь его несложно сделать однородным, а значит, «качество» генерируемого излучения станет высоким. Затем, конечно, нужно пропустить излучение этого лазера-генератора через мощный лазер — усилитель. Но надежда на то, что таким путём можно получить высококачественное мощное лазерное излучение, эфемерна. Ведь мощный лазер-усилитель должен содержать большой объём активного лазерного вещества. А это неизбежно приводит к увеличению неоднородности усиленного лазерного пучка.

Можно ли преодолеть эту трудность? Как добиться того, чтобы (несмотря на неизбежные неоднородности материала, работающего в лазере-усилителе) свойства усиленного излучения были бы не хуже свойств излучения, подлежащего усилению?

Ответ на эти вопросы подсказывают мысленные опыты с кастрюлькой, проведённые нами выше. Нужно заставить свет, прошедший через неоднородную среду, возвратиться обратно точно по тому пути, по которому он распространялся первый раз! Тогда все искажения, возникшие при первом прохождении, повторятся на обратном пути, но с обратным знаком. А значит, в итоге все искажения взаимно уничтожатся!

Выполнить этот простой рецепт весьма непросто. Даже в случае волн в кастрюльке с деформированным дном. Здесь рецепт звучит так: деформируйте стенки кастрюльки таким образом, чтобы при первом пробеге фронт волны коснулся её деформированных стенок повсюду одновременно. Благодаря тому что фронт волны на поверхности воды хорошо виден, это требование, хотя бы в принципе, выполнимо.

Иное дело — фронт световой волны. Сделать его видимым — сложная задача. Она может быть решена, например при помощи голографии. При помощи голографии можно достичь и главной цели — повернуть световую волну в обратном направлении так, чтобы в месте поворота фронт волны, бегущей обратно, точно совпал с фронтом проходящей волны.

САМООБРАЩЕНИЕ

Но группа учёных Физического института РАН достигла этой цели другим путём, более простым, чем голография. Они заставили саму исходную световую волну сформировать своеобразное «зеркало», отражение от которого заставляет отражённую волну вернуться обратно, повторяя во всех деталях путь волны, идущей в первоначальном направлении. Они назвали этот процесс самообращением волнового фронта.

Возможность самообращения реализуется только для очень мощного излучения, когда законы обычной оптики уступают место законам нелинейной оптики, появление которой предсказал С. И. Вавилов.

Б. Я. Зельдович (сын учёного, которого знает весь научный мир, академика Я. Б. Зельдовича) и его сотрудники решили привлечь к выполнению этой задачи процесс, называемый вынужденным рассеянием Мандельштама — Бриллюэна. Напомним, что на рубеже двадцатых годов нашего века советский учёный Л. И. Мандельштам и французский учёный Л. Бриллюэн независимо друг от друга предсказали, что неоднородности плотности вещества, порождаемые хаотическим тепловым движением молекул, приводят к столь же хаотическим изменениям показателя преломления, а следовательно, к рассеянию света,

проходящего через это вещество. Такое рассеяние было позднее обнаружено Мандельштамом и Г. С. Ландсбергом и подробно изучено Е. Ф. Гроссом.

Создание мощных лазеров внесло существенное изменение в процесс этого рассеяния. Свет от самых мощных нелазерных источников практически не влияет на свойства вещества, через которое он распространяется. Мощный лазерный свет, напротив, изменяет оптические свойства прозрачных тел. В частности, он приводит к значительным изменениям показателя преломления вещества. Это в свою очередь влияет на распространение света в веществе, сквозь которое проходят лучи мощного лазера. При этом вместе с мощностью лазерного пучка изменяется и процесс его распространения в веществе. Возникает самовоздействие лазерного излучения. Существует ряд веществ, свойства которых особенно сильно изменяются под действием мощного лазерного излучения. Учёные называют их нелинейными средами, имея в виду, что в них особенно заметны законы нелинейной оптики.

Если исходная лазерная волна обладает пространственной неоднородностью, например в результате прохождения через неоднородное вещество лазера-усилителя, то интенсивность этой волны сильно изменяется в пространстве. Когда такая неоднородная волна проникает в нелинейное вещество, она вызывает в нём сильные изменения показателя преломления. Эти изменения в свою очередь влияют на распространение лазерного излучения. При этом сильно увеличивается его рассеяние.

Для того чтобы подчеркнуть особенности такого процесса, физики называют его вынужденным рассеянием, имея в виду, что оно много больше, чем рассеяние нелазерного света, и что оно является одним из проявлений самовоздействия мощных лазерных пучков.

Б. Я. Зельдович и его сотрудники использовали важную особенность вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна. Складываясь с первоначальным лазерным излучением, распространяющимся в глубь оптически нелинейного вещества, свет, возникающий в результате вынужденного рассеяния, формирует в этом веществе области со значительными перепадами коэффициента преломления. Такие перепады, подобно зеркалу, отражают падающий на них свет. По распределению в пространстве эти области, эти «зеркала», совпадают с фронтами волн первоначального лазерного излучения.

Так, проникая в вещество, показатель преломления которого сильно зависит от интенсивности лазерного излучения, это излучение порождает в веществе «зеркала». Их форма такова, что первоначальное лазерное излучение отражается и распространяется назад точно по тем же направлениям, по которым оно вошло в вещество. Это и есть обращение волнового фронта. И это явление подсказало прозорливым исследователям способ, каким можно избавиться от искажений лазерного луча!

Давайте рассуждать вместе с учёными. Итак, волна, повернув назад, проходит через лазер-усилитель точно по тому пути, по которому она прошла первоначально. При этом она вновь испытает искажения из-за неоднородности вещества лазера-усилителя. Эти искажения точно равны по величине, но обратны по знаку искажениям, испытанным ею при первом прохождении через усилитель. В результате из усилителя выйдет дважды усиленное излучение, полностью свободное от искажений. Его оптическое качество не ухудшено по сравнению с излучением маломощного лазера-генератора!

Впоследствии было установлено, что не только вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна, но и другие процессы вызывают самовоздействие лазерного излучения в веществах, показатель преломления которых зависит от интенсивности лазерного излучения.

Академия наук СССР, учтя заслуги Б. Я. Зельдовича в исследовании и применении явления самообращения волнового фронта лазерного излучения, избрала его своим членом-корреспондентом.

ДВЕ ЦЕЛИ

Рассмотрим два случая использования явления самообращения волнового фронта.

Первый из них относится к попытке применить мощные лидеры для получения

термоядерной энергии.

Мы знаем, что в таком реакторе маленькая мишень, содержащая тяжёлые изотопы водорода, маленькая водородная «льдинка», должна со всех сторон освещаться мощным лазерным излучением. Мощность его должна быть столь большой, чтобы быстро и сильно сжать мишень, одновременно нагревая её до сотен миллионов градусов. При этом водородная мишень превратится в гелий, что сопровождается значительным выделением энергии. Эта энергия и будет передаваться потребителю.

Можно представить себе, сколь сложно сосредоточить энергию многих лазеров на мишень, движущуюся внутри рабочей камеры установки. Сосредоточить так, чтобы мишень освещалась одновременно и равномерно со всех направлений. Здесь приходится решать две задачи: обеспечение одновременности генерации и «прицеливание» независимых лазерогенераторов на мишень.

Применение обращения волнового фронта радикально упрощает обе задачи. Для этого мощные лазеры-генераторы заменяют ещё более мощными лазерами-усилителями, а мишень освещают излучением вспомогательного лазера. Мишень рассеивает его излучение. Рассеянное излучение попадает на лазеры-усилители и проходит сквозь них, приобретая большую дополнительную энергию. Позади каждого из них расположено устройство, обращающее волновой фронт излучения, заставляя его второй раз пройти через усилитель. Так как излучение с обращённым волновым фронтом точно повторяет (но в обратном направлении) путь излучения, прошедшего через усилитель, то оно неизбежно попадает на мишень. При этом становятся ненужными устройства для «прицеливания». Ненужными, несмотря на то, что мишень выстреливается в рабочую камеру реактора и движется в ней под действием силы тяжести.

Для того чтобы отпала необходимость прицеливания вспомогательного лазера на летящую льдинку, его пучок расширяют при помощи оптических линз так, что он освещает всю среднюю часть камеры. «Прицеливание» усилите лей не нужно потому, что их излучение в результате обращения волнового фронта вернётся в ту точку, где находилась мишень, когда её осветил пучок излучения вспомогательного лазера. Ведь скорость света столь велика по сравнению со скоростью движения мишени, что мишень не успевает сместиться за время, нужное свету, рассеянному ею, для прохождения от мишени сквозь усилитель и обратно.

Явление обращения волнового фронта использовано при разработке некоторых вариантов лазерного оружия звёздных войн.

Путём небольшого видоизменения эту систему можно применить для поражения космических объектов, например спутников связи и других сугубо мирных объектов и, конечно, для разрушения ядерных ракет. Для этого система убийца помимо маломощного лазера, излучение которого усиливается мощным наземным лазером, должна быть снабжена большим зеркалом, направляющим усиленный пучок лазерного излучения на цель.

РУКОТВОРНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Мы знаем лазер на искусственном рубине, на искусно подобранной смеси газов. Оказалось, что это не единственные вещества, которые могут зажечь лазерный свет.

Теперь мы познакомимся ещё с одним типом лазера. Рабочим веществом в нём служит стекло. Стекло — твёрдое тело, но по своему строению оно мало отличается от очень вязкой жидкости, например смолы. Разница между ними много меньше, чем различие стекла и кристалла.

В большинстве кристаллов образующие их ионы располагаются регулярно так, что их взаимное расположение многократно повторяется подобно рисунку на обоях. Конечно, это не полная аналогия, ибо рисунок повторяется на плоскости, а расположение ионов — в пространстве.

В стёклах упорядоченность может быть обнаружена только в расположении

ближайших соседей. Дальше царствует хаос. Именно это и роднит стекло с жидкостями. Различие между ними лишь в величине вязкости. Она столь велика, а текучесть стекла столь мала, что по механическим свойствам оно близко к хрупким твёрдым телам.

Имеется ещё один признак отличия. Кристаллы плавятся, превращаясь в жидкость при вполне определённой для каждого вида температуре. Физики называют такое их превращение фазовым переходом. Кристаллическая фаза, говорят они, переходит в жидкую фазу при постоянной температуре. Так, лёд превращается в воду при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в обычных условиях не может оставаться льдом при более высокой температуре.

Стекло же не знает такого перехода. При медленном нагревании его вязкость постепенно уменьшается до тех пор, пока не станет столь малой, что стекло превратится в жидкость. Изменение температуры во время такого перехода может достигать сотен градусов.

Стекло изредка встречается в природе. Это сплав окислов различных металлов, возникающих при извержении вулканов. Иногда капли стекла образуются при попадании молнии в песчаную почву. Стекло, применяемое людьми, изготавливается искусственно. Для этого в специальных печах расплавляют специально подобранные смеси окислов, тщательно перемешивают расплав и медленно остужают. Мастера на опыте определили составы смесей, позволяющих получать прозрачные бесцветные или окрашенные стекла.

Большая часть применяемых стёкол содержит в качестве основной части двуокись кремния. Такие стёкла называют силикатными.

Создатель первого лазера, работающего на стекле, американский учёный Е. Снитцер, изготовил для своего лазера особое стекло, добавив в исходный состав окись неодима, одного из редкоземельных элементов. Ионы неодима придали стеклу нежный сиреневый цвет. Снитцер изготовил из него круглый стержень, торцы которого были тщательно отполированы и посеребрены. Его генерация возбуждалась вспышками.

Лазерное излучение, порождаемое ионами неодима, лежит за пределами видимого спектра в начале его инфракрасной части. Многовековое совершенствование технологии производства стекла позволило изготавливать из него большие, весьма однородные блоки, предназначавшиеся для объективов крупных телескопов.

На этой основе технологами было налажено изготовление рабочих элементов для лазеров, намного превосходивших рабочие элементы из рубина по размерам и однородности. Важно и то, что они обходились гораздо дешевле.

Затем появились полупроводниковые лазеры. Возможность их создания предсказал Басов. Но реализация таких лазеров оказалась очень трудной.

Американским учёным удалось найти путь, технически сложный, но во многом более доступный. Они сформировали двухслойный полупроводниковый элемент, в котором на границе слоёв образуется тонкая прослойка. В ней и осуществляются условия, необходимые для усиления света, идущего вдоль пограничного слоя. Для реализации лазерного усиления достаточно пропускать поперёк пограничного слоя слабый электрический ток. Для получения лазерной генерации здесь можно обходиться без зеркальных слоёв. Достаточно научиться аккуратно скалывать края этого полупроводникового сэндвича так, чтобы сколы были параллельны между собой.

Преимущество полупроводникового лазера состоит в его способности преобразовывать энергию электрического тока непосредственно в энергию лазерного излучения. Вспомним, что в лазерах на рубине и стекле энергия электрического тока предварительно преобразовывается лампой-вспышкой в нелазерный свет. В газовом лазере электрическая энергия предварительно возбуждает газовый разряд. Полупроводниковые лазеры не нуждаются в подобных предварительных преобразованиях, и поэтому они работают более эффективно.

Второе преимущество полупроводникового лазера — простота управления величиной интенсивности его излучения.

Она меняется в зависимости от силы электрического тока, питающего лазер.

Наконец, третье преимущество полупроводниковых лазеров — их малые габариты и вес, а также, конечно, малый расход электрической энергии.

Однако полупроводниковые лазеры не могут конкурировать с другими по энергии и мощности излучения. Причина — быстрое ухудшение их лазерных характеристик при повышении температуры в рабочем элементе.

Выделение тепловой энергии в активном веществе во всех лазерах — неизбежный вредный спутник процессов, приводящих к возбуждению лазерных свойств. Поэтому перед физиками стоит задача уменьшить тепловыделение приборов, улучшить теплоотвод от лазерного элемента.

Все типы лазеров, о которых мы говорили, в большей или меньшей степени характеризуются одноцветностью излучения. Наиболее монохроматично излучение газовых лазеров, наименее — полупроводниковых. Степень одноцветности зависит от вида оптического спектра рабочего вещества. Спектр газов имеет вид очень узких спектральных линий. Спектры твёрдых тел характеризуются более широкими спектральными полосами. Они образуются от слияния близко расположенных спектральных линий.

В результате каждый тип лазера даёт излучение вполне определённого цвета: рубиновый — тёмно-красное; гелий-неоновый — красное; более алого оттенка; стеклянный «неодимовый» лазер — невидимое излучение с длиной волны около одного микрона. Цвет излучения каждого полупроводникового лазера зависит от его состава, и, меняя состав, можно варьировать длину волны лазерного излучения в широких пределах.

Получить лазер, дающий свет одного тона — большая победа учёных. Однако имеются области применения лазеров, в которых жёсткая монохроматичность является не достоинством, а недостатком.

Поэтому учёные начали поиск веществ для лазеров, которые позволили бы перестраивать рабочую частоту световой волны. Лучшими из них оказались растворы органических красителей. Их оптические спектры содержат широкие линии и полосы. Конечно, создание монохроматических перестраиваемых лазеров на основе таких красителей потребовало усовершенствования систем обратной связи: пары зеркал, применявшихся ранее, оказалось недостаточным.

Перестраиваемые системы обратной связи были созданы при помощи давно известных оптикам элементов — призм и дифракционных решёток, с которыми знаком каждый школьник.

Большая часть достижений в области создания перестраиваемых лазеров на красителях принадлежит белорусскому академику Б. И. Степанову и руководимому им коллективу физики Института Белорусской академии наук в Минске.

Создание первых лазеров стало началом пути, который ещё не пройден до конца. Более того, этот путь сразу начал ветвиться по мере того, как открывались новые возможности применения лазеров и, соответственно, возникали новые требования к ним.

Один из путей — увеличение энергии лазерного излучения.

На этом пути началось увлекательное соревнование газовых лазеров и лазеров на стекле. Учёные перепробовали множество газовых смесей. В результате были получены сотни составов, способных к лазерной генерации. Каждый из них генерировал на своей, отличной от других, частоте. Некоторые генерировали сразу на нескольких частотах. Впрочем, применение особых систем обратной связи позволяет варьировать обе возможности.

Наиболее мощными, способными непрерывно выделять большую энергию лазерного излучения, оказались смесь углекислого газа с азотом и некоторыми другими добавками, а также смесь окиси углерода (угарного газа) с азотом и другими добавками. Излучение обоих лежит в инфракрасном диапазоне. Первый работает на волне около десяти микрон, а второй — около пяти микрон.

Увеличение мощности лазера требует увеличения количества рабочего вещества, а это связано с увеличением выделяемого тепла и, естественно, ведёт к поискам мер эффективного

охлаждения рабочего вещества. Для газовых лазеров эта задача оказалась более простой, чем для лазеров других типов. Здесь можно просто заменять (продувать) газовую смесь через рабочий объём лазера. В начале нагретые газы выпускали наружу, а на их место из баллонов вводили новые порции. Но когда мощности (а следовательно, и расход газов) стали слишком большими, были разработаны лазеры с замкнутым циклом. В них нагретая газовая смесь вытягивается из рабочего объёма при помощи вентилятора, продувается через теплообменник, где она интенсивно охлаждается, и снова направляется в рабочий объём.

Именно такие лазеры применяют технологи для резки металлов и сплавов, реставрации металлических изделий направлением, закалки сталей и для других целей. Создание таких лазеров — заслуга промышленности. Но, конечно, принципы их построения родились в лабораториях учёных.

Газовые лазеры заняли лидирующее место и в других областях науки и техники. Сейчас лазеры на смеси гелия и неона, а также лазеры на углекислом газе успешно соревнуются с квантовыми стандартами частоты радиодиапазона. Они открыли реальную возможность создания единого эталона времени и длины.

Сейчас эталонами времени (частоты) служат квантовые эталоны. Они основаны на применении пучков атомов цезия, пролетающих внутри вакуумной трубки через специально сформированные магнитные и высокочастотные поля сантиметрового диапазона волн. Их преимуществом является не только огромная стабильность каждого прибора (ошибка в одну секунду может накопиться лишь за миллионы лет), но и надёжность конструкции, обеспечивающая возможность того, что любой из правильно изготовленных приборов такого типа фиксирует одну и ту же частоту с погрешностью не более 10–14.

Лазерные стандарты частоты уже догнали цезиевые эталоны по стабильности работы, но ещё нет уверенности в том, что каждый из них воспроизводит с этой точностью одну и ту же частоту. Когда удастся реализовать эту возможность, отпадёт и необходимость пользоваться отдельным эталоном длины.

Первоначально эталоном длины служил тщательно изготовленный стержень из платино-иридиевого сплава. Затем этот уникальный рукотворный эталон был заменён природным: в качестве эталона была избрана длина волны, соответствующая одной из спектральных линий, испускаемых атомами криптона.

Техническое воплощение такого эталона имеет вид стеклянного баллона, заполненного газообразным криптоном при малом давлении. При пользовании эталоном внутри него зажигают электрический разряд.

Таким путём не удалось существенно уменьшить погрешность определения единицы длины (она равна 10⁻⁸), но переход от искусственного эталона к природному обеспечил устойчивость системы мер.

Теперь, когда погрешность частоты лазера уменьшилась до 10–14, стало естественным принять длину его волны (обладающую столь же малой погрешностью) за основу эталона длины. Погрешность лазерного эталона длины в миллион раз меньше, чем у принятого теперь эталона, основанного на длине волны спектральной линии криптона.

Сверхстабильные лазеры дали потрясающую возможность наблюдать спектры одиночных атомов и ионов. А это открывает перспективу получения эталонов частоты с погрешностью 10–17, то есть ещё в тысячу раз меньшей, чем у существующих эталонов.

Наблюдения спектров одиночных атомов и ионов открывают небывалые возможности изучения их строения и свойств сил, действующих в микромире.

Лидирующее место в развитии этого направления занимают коллективы сотрудников Института теплофизики РАН в Новосибирске под руководством члена-корреспондента РАН В. Н. Чебатаева и Института спектроскопии РАН в городе Троицке (под Москвой), руководимого профессором В. С. Летоховым.

ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДА

Имеется ряд задач, для решения которых за короткое время необходимо сосредоточить на мишени большую энергию. Наиболее остро эта задача возникает в исследовании высокотемпературной плазмы, связанном с получением управляемой термоядерной реакции. На лабораторном жаргоне это направление получило название «лазерный термояд». Мы уже знакомы с физическими проблемами, стоящими перед учёными, работающими в этой области.

Для того чтобы получить большую энергию в течение короткого времени, необходимо заставить множество ионов согласованно порождать лазерное излучение.

Для достижения этого при помощи лазеров приходится применять газы, находящиеся под высоким давлением. Это усложняет установки и всё же не может обеспечить плотность рабочих частиц, легко достижимую в твёрдых телах. Поэтому здесь возникает своеобразное соревнование между твердотельными и газовыми лазерами.

Для нагрева плазмы применяются главным образом твёрдотельные лазеры на стекле потому, что наряду с большой плотностью рабочих частиц в стекле из него можно изготавливать рабочие лазерные элементы больших размеров, недоступные при выращивании искусственных кристаллов.

Промышленность выпускает сверходнородные рабочие элементы из стекла столь большие, что в лабораториях их называли «шпалами». Иногда им придают форму толстых прямоугольных пластин, которые по размерам сопоставимы с цементными плитами для тротуаров.

В течение первых десяти лет все рабочие элементы для лазеров на стекле изготавливали, вслед за Снитцером, из силикатного стекла. Когда коллектив сотрудников Института радиотехники и электроники РАН и Института общей и неорганической химии РАН по инициативе профессора М. Е. Жаботинского и аспиранта Ю. П. Рудницкого высказал уверенность в том, что лазерное стекло, сваренное на основе фосфатов, может иметь ряд преимуществ по сравнению с традиционным силикатным стеклом, они встретили дружные возражения лазерщиков и технологов.

Технологи были знакомы с обычным нелазерным фосфатным стеклом и знали его как сложное в изготовлении, склонное к кристаллизации и к возникновению внутренних неоднородностей. Кроме прочих недостатков, оно ещё неустойчиво по отношению к воздействию влаги и даже паров воды, присутствующих в воздухе. Такое стекло изготавливали с большим трудом для узких применений.

Но уверенность физиков увлекла химиков, и они преодолели капризы фосфатного стекла. Когда в исходную смесь фосфатов добавили окись неодима, сварили первое лазерное фосфатное стекло и изготовили из него рабочие элементы для лазеров, все ожидания подтвердились.

И повторилась, к сожалению нередкая, научная реакция. Увидев новые лазерные элементы из фосфатного стекла, некоторые специалисты заявили, что этого не может быть. Возражения приближались к аргументации одного из героев Чехова: этого не может быть потому, что не может быть никогда. Говорили даже, что это обычное силикатное стекло, что было, по существу, обвинением в обмане.

Сомнения были отвергнуты беспристрастным анализом. Тогда мнения изменились: стекло как стекло, но сварить из него крупные однородные рабочие элементы не удастся. Не удастся потому, что крупные элементы нужно охлаждать медленно, а при этом фосфатное стекло закристаллизуется. Да и неоднородности в нём неизбежны.

Прошло время, и мнения ещё раз изменились. Во многих местах заявляли: «Что здесь удивительного, я говорил, что будущее за фосфатным лазерным стеклом».

Теперь не только в России, но и в Японии, США и Франции в установках для исследования лазерного термояда применяют лазеры, работающие на фосфатном стекле, содержащем ионы неодима. Оно работает и во многих промышленных установках.

Конечно, силикатное лазерное стекло не сошло со сцены: оно дешевле и его проще изготавливать. Появились и другие лазерные стекла, но они не получили широкого

применения.

ГИГАНТСКИЙ ИМПУЛЬС

С развитием лазеров выяснилось, что для ряда целей важно добиваться высокой мощности излучения, хотя бы в течение коротких промежутков времени.

Первым шагом в этом направлении было осуществление необычного режима работы лазеров. Такой режим был реализован в твердотельных лазерах на рубине американским учёным Р. В. Хеллворсом и на силикатном стекле сотрудником ФИАН В. И. Малышевым.

Идея состояла в том, что освещать рабочий элемент лазера лампой-вспышкой следует при отсутствии обратной связи. При этом лазерная генерация не может начаться и в течение всего времени горения лампы-вспышки её свет поглощается рабочим веществом лазера, а накопленная в нём энергия возрастает.

Правда, вследствие различных причин часть энергии, способной участвовать в лазерной генерации, исчезает. Поэтому, когда величина запасённой энергии достигнет максимума, следует очень быстро включить обратную связь. При этом возникнет короткий, чрезвычайно мощный импульс лазерного излучения. Лабораторный жаргон нарек его гигантским импульсом. Уже в первых опытах мощность импульса достигла миллионов ватт, а длительность — лишь нескольких стомиллионных долей секунды. Первоначально быстрое включение обратной связи производили механическими средствами. Например, между зеркалами, осуществляющими обратную связь, располагали вращающийся непрозрачный диск с отверстием. При этом обратная связь возникала только тогда, когда между зеркалами появлялось отверстие. В других системах одно из зеркал делали быстро вращающимся вокруг оси, параллельной неподвижному зеркалу. При этом обратная связь возникала, когда вращающееся зеркало оказывалось параллельным неподвижному.

Затем был найден другой способ. Его назвали пассивным, ибо он сделал ненужным применение движущихся элементов или других способов внешнего воздействия на систему обратной связи. Происхождение названия «пассивный» возникло потому, что элемент, управляющий включением обратной связи, «пассивно ждёт», пока рабочий элемент лазера запасает в себе энергию. Затем происходит самоуправяемый процесс, ход которого зависит от свойств и размеров рабочего элемента лазера и от свойств «пассивного» управляющего элемента.

Этот элемент представляет собой кювету с раствором одного из специальных красителей. Кювета и рабочий элемент лазера расположены соосно между зеркалами обратной связи. Концентрация красителя выбрана такой, что зеркала «не видят» друг друга из-за сильного поглощения света красителем.

При включении лампы-вспышки в ионах, сообщающих лазерные свойства веществу, из которого изготовлен рабочий элемент лазера, быстро накапливаются запасы энергии. Эта энергия частично превращается в световую энергию в результате люминесценции — явления, порождающего свечение люминесцентных ламп (например, ламп дневного света), свечение циферблатов часов, свечение гнилушек, светлячков и некоторых морских организмов. Это свечение возникает в ионах рабочего элемента лазера, причём в каждом из ионов независимо — по законам случая.

Однако по мере накопления энергии в рабочем элементе всё большее количество ионов приобретает способность к люминесценции. Постепенно таких ионов становится так много, что они перестают быть независимыми. Когда способность к люминесценции приобретёт более половины ионов, содержащихся в рабочем элементе, возникнет эффект, предсказанный Эйнштейном в 1918 году, задолго до лазерной эры. Эйнштейн назвал его вынужденным испусканием. Суть его состоит в том, что фотон, испущенный одним ионом (или другой квантовой системой микромира), побуждает другие ионы того же типа испустить точно такой же фотон, причём в том же направлении. Имеется в виду, что первый из испущенных фотонов пролетает достаточно близко к ионам, получившим

дополнительную энергию (в нашем случае — получившим её от лампы-вспышки).

В результате этого число актов вынужденного испускания быстро, подобно лавине, возрастает по мере того, как первоначальный фотон порождает себе свиту близнецов. Физики называют такой процесс вынужденной люминесценцией. Она развивается особенно сильно вдоль рабочего элемента и, выходя через его торец, обращённый в сторону кюветы с красителем, поглощается в нём.

Но поглощающая способность красителя не безгранична. Поглощая фотоны, он постепенно обесцвечивается. При этом часть фотонов проникает сквозь кювету, отражается от зеркала, вторично проходит сквозь кювету и опять попадает в рабочий элемент. Там эти фотоны снова вызывают новые акты вынужденного испускания. Поток фотонов, усиленный таким образом, отражается от второго зеркала обратно в рабочий элемент.

Так начинает действовать обратная связь и возникает лазерная генерация. Теперь она развивается много быстрее, чем при применении механических средств. Импульсы излучения, возникающие в таких лазерах, обладают замечательными свойствами. Анализ показал, что они состоят из регулярной последовательности чрезвычайно коротких импульсов, длительность которых может составлять лишь доли наносекунды (наносекунда равна 10^{-9} секунды). Промежутки между сверхкороткими импульсами излучения равны времени, затрачиваемому светом для того, чтобы дважды пройти расстояние между зеркалами, осуществляющими обратную связь.

Физики научились выделять один из этого потока сверхкоротких импульсов. А недавно они разработали способы дополнительного уменьшения длительности импульсов вплоть до нескольких фемпикосекунд (фемпикосекунда равна 10^{-15} секунды). Это открыло возможность изучать кратковременные процессы, происходящие за время, в течение которого свет успевает пролететь расстояние всего в три микрона.

ПРОЧИЕ ШЕДЕВРЫ

Для некоторых технических целей нужны столь большие энергии, что их невозможно получить при помощи лазеров, описанных выше. Поиски новых возможностей привели к успеху.

Прохоров и его сотрудник Конюхов особенно преуспели в создании лазеров нового типа — газодинамических лазеров. Их действие основано на особенностях охлаждения очень горячих газов, движущихся со сверхзвуковыми скоростями в особых соплах. При таком движении в газе нарушается тепловое равновесие. Молекулы, обладающие более высокой внутренней энергией, начинают численно преобладать над теми, внутренняя энергия которых меньше.

Именно в подобных случаях вынужденное испускание фотонов, предсказанное Эйнштейном, преобладает над поглощением. Пропустив такой газовый поток между зеркалами, реализующими обратную связь, получают лазерную генерацию.

Таким образом, газодинамический лазер состоит из устройства для нагрева газа, сверхзвукового сопла, системы обратной связи — оптического резонатора — и устройства для нейтрализации отработавшего газа.

Самые мощные газодинамические лазеры работают на смеси углекислого газа с азотом и другими примесями, близкими к тем, о которых говорилось выше. Но в отличие от них генерацию в газодинамических лазерах получают в продуктах сгорания углеводородных топлив. Так можно в течение длительного времени получать непрерывную лазерную генерацию с мощностью до сотен киловатт.

Несколько слов о химических лазерах. Их получили академик Басов, член-корреспондент РАН, В. Л. Тальрозе, профессор А. Н. Ораевский и их сотрудники. Они добились больших успехов в разработке и создании химических лазеров. Энергия, необходимая для генерации, черпается в них непосредственно из химической реакции газов. Наиболее изучена и наиболее широко применяется реакция соединения фтора с водородом.

Полупроводниковые лазеры тоже прошли большой путь развития. Основной задачей исследователей было уменьшение величины электрического тока, необходимого для

получения лазерной генерации. Уменьшение силы тока позволило ограничить нежелательное тепловыделение, а значит, устранить необходимость применения специальных охлаждающих устройств. Многочисленные попытки достичь этой цели изменением конструкции полупроводниковых лазеров или созданием новых полупроводниковых материалов не привели к существенному продвижению к цели. Требовалась новая радикальная идея. Следовало отказаться от попыток улучшать известное. Путь эволюционных изменений себя исчерпал.

Радикальное предложение внёс сотрудник Ленинградского физико-технического института РАН, ныне академик, лауреат Нобелевской премии за 2002 год Жорес Иванович Алфёров. Нет ничего удивительного в том, что радикальная идея в области полупроводников возникла в ленинградском Физтехе. Ведь там существует мощная школа физиков, учеников и последователей создателя Физтеха академика А. Ф. Иоффе, первым понявшего широкие перспективы исследований и применений полупроводников. В Физтехе исследования физики полупроводников и поиск путей их технического применения велись с первых лет существования этого первого научного учреждения, созданного советским народом после победы Октябрьской революции.

К началу Великой Отечественной войны из стен Физтеха вышли и были освоены промышленностью принципиально новые полупроводниковые выпрямители электрического тока, чувствительные фотоприёмники и эффективные генераторы, питавшие партизанские радиостанции.

Алфёров установил, что основным препятствием на пути совершенствования полупроводниковых лазеров является то, что кристаллическая структура полупроводниковых элементов зависит от их состава. Но для изготовления полупроводникового лазера необходимо создать структуру, в которой объединены два неодинаковых полупроводника. Объединены так, чтобы между ними возник тонкий плоский переходный слой. Именно свойства этого переходного слоя определяют достоинства и недостатки полупроводникового лазера.

Выход, предложенный Алфёровым, состоит в том, что нужно научиться создавать тонкие слои полупроводника, обладающие различным химическим составом, различными электрическими свойствами, но одинаковой кристаллической структурой. Если кристаллическая структура приграничных слоёв двух полупроводниковых веществ одинакова и одинаково ориентирована в пространстве, то возникает оптимальное согласование их свойств.

Такой переходный слой получил название «гетеропереход». «Гетеро» — от греческого слова «другой».

Применение гетеропереходов привело к существенному улучшению свойств различных полупроводниковых приборов. Особое значение они приобрели при создании новых типов лазеров. Таким путём удалось в десятки тысяч раз уменьшить силу тока, необходимого для достижения лазерной генерации.

В результате этого полупроводниковые лазеры получили широкое применение. Главная область, где в полной мере проявляются их достоинства, — световодные системы связи. С их помощью в этих системах электрические сигналы преобразуются в оптические, которые распространяются в световодах на расстояния в сотни и тысячи километров. Полупроводниковые приёмники вновь превращают световые сигналы в электрические. После усиления эти сигналы направляют к пользователям или вновь подают на следующий полупроводниковый лазер. Порождаемые им сигналы могут быть введены в следующий участок световода. Так, длинными скачками, информация передаётся на тысячи километров.

Ещё одна важнейшая область применения полупроводниковых лазеров и полупроводниковых источников света, не снабжённых обратной связью, — создание ЭВМ последующих поколений. Пока в этой области делаются лишь первые шаги. Речь идёт о передаче оптических сигналов на малые расстояния. Но эта передача должна идти так, чтобы система оказалась нечувствительной к электромагнитным помехам. И работать она должна

со скоростями, значительно превышающими быстродействие современных ЭВМ как в части обработки сигналов, так и при записи информации и её извлечении из запоминающих устройств.

Всё, описанное в этой главе, — результат новаторских идей и создания материалов, не существующих в природе. Конечно, и для создания искусственных материалов, обладающих наперёд заданными свойствами, нужны оригинальные идеи, но нужна также интуиция, мастерство и настойчивость технологов. Ведь изготовить искусственные материалы, зачастую объединяющие в себе с трудом совместимые свойства, можно только в искусственно созданных и с большой точностью управляемых условиях. Это проблемы, без решения которых было бы невозможно продвижение в мир лазеров.

МУЖАНИЕ ЛАЗЕРОВ

Наука — это великое украшение.

И чрезвычайно полезное орудие.

Монтень

*Таковы две неразрывно связанные стороны научного знания:
одна — духовная, другая — практическая.*

Л. де Бройль

ТРИ МЕЧТЫ. КАРТИНКИ С НАТУРЫ!

Идет 1978 год. На улице Вавилова в Москве вырос новый пятиэтажный дом. Я побывала здесь вскоре после того, как этот огромный корпус был полностью передан во владение Прохорова и его сотрудников. За годы, прошедшие после стокгольмского чествования, фронт работ в области квантовой радиоэлектроники так развернулся, что пришлось построить для физиков новое здание, оборудованное самой совершенной аппаратурой. Теперь это крупный научно-исследовательский центр, в котором работают сотни людей вместо прежних десятков. Одни комнаты напоминают заводские цехи — станки, арматура, гул мощных электродвигателей. Другие похожи на химические лаборатории — из колб над горелками вьется пар, в ретортах булькает кипящая жидкость. А есть комнаты, в которых только столы и на стенах — черные доски. Здесь либо абсолютная тишина — теоретики за работой, либо яростные споры — опять же теоретики за работой: идет семинар, или летучка, или просто обсуждаются новые идеи, критикуются старые, оцениваются результаты экспериментов.

И в цехах, и в лабораториях, и в кабинетах один бог — лазер. В разговорах — лазер. Среди приборов — лазер. Этот бог имеет массу лиц. Огромный, как бочка с квасом, и крошечный, как точка. Разный в различных комнатах. Сегодня не такой, как вчера. Завтра не такой, как сегодня.

Вся деятельность ученых, воспитанных Прохоровым, сосредоточена на одном: заставить атомы и молекулы самых различных веществ — газов, жидкостей, кристаллов, природных и синтетических, — генерировать свет. Излучать острые, как игла, лучи самых различных цветов: красные, зеленые, синие, фиолетовые, наконец, невидимые глазом. Создавать световые вспышки, грозные, как пуля, нежные, как весенние солнечные лучи, хлесткие, как удар кнута, вспышки, способные испарять и резать металл, вспышки, так сжимающие атомы вещества, что они вынуждены нарушать предписанные им природой законы...

— Наша лаборатория, как видите, выросла, но дело, конечно, не в количественном росте. Главное — существенно изменилась тематика, — рассказывает Прохоров. — Прежде

для нас важнейшим был молекулярный генератор, от него пошло все мазеростроение. Мы исследовали кристаллы рубина. Создали сверхчувствительные усилители. Новый этап развития квантовой электроники — создание лазеров, исследование вещества с помощью лазера и для создания новых типов лазеров, применение лазеров в различных областях науки и техники.

Войдем же в прохоровские владения и попытаемся увидеть все своими глазами.

Сектор мощных лазеров. Здесь все крупномасштабно — и сами лазеры, и вспомогательные устройства. Лазеры установлены на массивных металлических столах, тянущихся вдоль длинных комнат. Их окружают выпрямители, блоки питания, жгуты электрических проводов, внушительные системы охлаждения. Оптические зеркала и призмы корректируют, направляют лазерный луч. В углу лаборатории вижу резиновые калоши на Гулливера — с высоким напряжением работать небезопасно. На рабочих столах — непременно защитные очки.

Многие мощные лазеры, созданные здесь, уже работают на заводах. Они сваривают металлы, которые обычным способом не свариваются, например титан и нержавеющей стали. Режут, штампуют, плавят массивные металлические детали, с искусством виртуозов обрабатывают миниатюрные часовые механизмы. Как рассказывает долгие годы заведовавший одним из секторов мощных лазеров, ректор Московского физико-технического института профессор Н. В. Карлов, лаборатория даже занималась раскроем рулонных материалов. Раскрой их лазерным лучом оказался экономически выгодным. Это делается в непрерывном потоке, по точно рассчитанной программе.

— Создание лазеров для промышленности — основная задача отдела, — говорил Карлов, — но не единственная. Александр Михайлович Прохоров поставил перед нами новую, сложную и пока никем до конца не решенную проблему. Как вы знаете, молекулы веществ колеблются. Частоты колебаний разных молекул различны. Возникла мысль: нельзя ли, раскачав молекулы лазером, разорвать в них внутренние связи и заставить осколки молекул вступить в новые, недоступные обычной химии соединения? Мы реализовали эту идею и осуществили трудную реакцию соединения бора с водородом, получили так называемые высшие бораны. Рождается новая наука — лазерная фотохимия, она поможет получать сверхчистые химические соединения, в том числе избранного изотопического состава. Например, тяжелую воду без малейшей примеси обычной воды. Это будет переворот в промышленности будущего. Задача трудная, она еще в начальной стадии созревания, но в нее вовлечены немалые силы.

Карлов за свою научную жизнь выполнил много работ, ставших основополагающими в радиоастрономии и радиоспектроскопии. В Крымской астрофизической обсерватории он занимался повышением чувствительности космических радиоприемников. Когда родились молекулярные генераторы, включился в мазерный проект.

Карлов назвал свои три мечты.

— Мне хочется иметь в своих руках лазерный импульс, — говорит он, — очень большой мощности и посмотреть эффект его взаимодействия с веществом. Это — раз! Мне хочется осуществить управляемую лазерным лучом экзотическую химическую реакцию, которая никем никогда не была осуществлена. Два! Мне хочется получить ясность в вопросе лазерного разделения изотопов. Это — три!

Три мечты, и каждая — не просто этап в планомерном развитии традиционной области исследований, а скачок в область, где действуют еще неведомые людям законы... И каждая — фактически уже не мечта, а повседневная работа. Карлов показал установку, где вместе с сотрудниками осуществил разделение изотопов редкоземельного элемента европия. Европий загружается в тугоплавкий тигель. Нагревается до тысячи градусов. Раскаленный газ поступает в стальную камеру — через стеклянное окошко видно оранжевое облачко. Это смесь атомов европия. До рождения понятия «изотоп» эти атомы считались абсолютно идентичными в своем физическом и химическом проявлениях. Но сегодня физики так уже не думают. Они знают: эта идентичность кажущаяся. На самом деле атомы европия бывают

двух сортов, двух изотопических составов, чуть-чуть различающихся атомным весом: европий-151 и европий-153.

Разделить их между собой — задача невероятной трудности. Атомы — не предметы, которые отличаются по виду или цвету. Их можно попытаться разделить каким-нибудь косвенным путем — скажем, придумать реакцию, в которой эти два вида атомов будут вести себя по-разному. Но в известных физических и химических экспериментах изотопы ведут себя одинаково. Трудноразделимы не только изотопы европия, но и других элементов, можно сказать, это свойство всех изотопов.

Многие элементы Периодической таблицы Менделеева обладают двумя, или несколькими, или даже целым «букетом» изотопов. И хоть атомы-близнецы так похожи друг на друга, что их трудно отличить, каждый изотоп обладает уникальными качествами, которыми не обладает другой.

Химически чистые изотопы сделали возможным реализацию многих ранее недоступных технологических процессов. Например, использование в атомной энергетике титана-50 намного увеличивает срок службы реакторов. Часто чистый изотоп применяется исследователями как индикатор. Например, химики осуществляют контроль за течением некоторых химических реакций в промышленных установках с помощью введения в процесс радиоактивного изотопа. Агробиологи используют изотопы, чтобы следить за тем, как растения усваивают удобрения.

Поэтому ученые ведут настойчивые поиски возможностей быстрого, дешевого, легкоосуществимого разделения изотопов. Пока методы разделения не имеют ни одного этого качества. Они трудоемки, громоздки, дороги. Дороги поэтому и сами чистые изотопы. Так, килограмм осмия-187 на мировом рынке стоит 14 миллионов долларов, кальция-46 — 88 миллионов долларов.

Совершенно сенсационными оказались опыты лазерщиков. Они обнаружили, что лазеры обладают безошибочной избирательностью по отношению к изотопам. В смеси изотопов они легко опознают атомы каждого из них.

Я спрашиваю Карлова: в чем секрет такой «наблюдательности» лазеров? Каким «методом» они пользуются?

Карлов рассказывает, что никакой неожиданности в этой ситуации вообще-то нет. Для физиков не секрет, что на атомы каждого вещества можно воздействовать квантом света определенной длины волны. И на изотоп в том числе. Просто ни один источник света, кроме лазера, не может излучать только одну постоянную длину световой волны. А лазер может. Лазер способен генерировать очень чистую световую «ноту». Вопрос в том, чтобы подобрать излучение лазера, способное вступить в резонанс с атомами изотопа.

— Мы используем для разделения изотопов европия два лазера, — уточняет Карлов. — Один настроен так, что его луч возбуждает только европий-151 и не действует на европий-153. Другой — наоборот.

Квантами света физики разделяют изотопы, словно овец в стаде! «Черных» — в одну сторону, «белых» — в другую!

— Остроумно! Но можно ли сказать, что это дешево? — спрашиваю Карлова.

— Лазерные методы, — говорит он, — могут конкурировать с прежними по количеству получаемого продукта при несравненно меньших размерах установок, затратах энергии, причем с лучшим использованием сырья. Что же касается элементов, которые сейчас во всех странах добываются граммами (например, изотопы осмия, калия, иридия, иттербия), то в этой области лазерный метод будет, несомненно, вне конкуренции. Думаю, что затраты на выборочное получение изотопов подавляющего большинства элементов Периодической таблицы Менделеева с помощью лазеров будут в сотни раз меньше по сравнению с традиционными способами...

Карлов с большим волнением говорит о чудесах, которые оказались по плечу лазерам. Но я, слушая его, испытывала волнение от другой мысли: разве не чудо то, что оказалось по плечу современному физику, ему самому, Николаю Васильевичу, и его коллегам? То, что

составляет будни их сегодняшней работы, вчера считалось темой фантастических романов.

Что еще сказать о Карлове? Его приходится причислять к «старикам» Лаборатории колебаний. Он один из тех сотрудников Прохорова, которые начинали вместе с ним с нуля, еще в домазерную эпоху. Как ветеран лаборатории, Карлов несет солидную нагрузку. Он во время нашей беседы был заведующим сектором, его неоднократно избирали секретарем партбюро Лаборатории колебаний. Он был народным депутатом, заседал в Верховном Совете СССР. Впрочем, мне придется еще не раз говорить о «старых» сотрудниках, о всех тех, кто начинал свою работу у Прохорова еще студентом и вырос вместе с лабораторией. И это отнюдь не из-за возраста. Все они — кандидаты и доктора наук, наставники молодежи, приходящей сегодня к ним.

ОБЪЕЗЖЕННЫЙ КОНЬ

В Физико-техническом учебном институте, в знаменитом Физтехе, что в Долгопрудном существует полезная традиция. Преподаватели рассказывают выпускникам о своих лабораториях, и это помогает им выбрать место работы. То же было и в год выпуска Вадима Федорова. Один из сотрудников акустической лаборатории (Физического института АН СССР) так вдохновенно рассказывал об акустике, что перед удивленным деканом легли сплошь заявления с просьбой направить их авторов в эту лабораторию. Только Федоров просился к Прохорову. Так он и работал здесь с 1968 года в паре с Федором Васильевичем Бункиным, главой теоретического сектора, первым из прохоровских сотрудников, в 1976 году избранным членом-корреспондентом АН СССР. Ф. В. Бункин кончил МГУ и был аспирантом у профессора С. М. Рытова, одного из ведущих советских физиков-теоретиков, учителя Прохорова. Бункин решил немало сложных проблем в новой науке, рожденной лазерами и мазерами, — квантовой электронике. Работа его сектора переплетается практически с тематикой всех других секторов лаборатории.

Бункина-теоретика и Федорова-экспериментатора объединял интерес к проблеме взаимодействия лазерного излучения с веществом. С одной из сторон этой задачи я познакомилась, когда Федоров демонстрировал работу мощного лазера. Звук выстрела — и в металлической мишени появляется порядочная дырка, и все затихает. Будто ничего не произошло. Приблизительно так я все себе и представляла, но заранее была подготовлена к тому, что луча этого лазера не увижу, так как он лежит в невидимой для человеческого глаза области — инфракрасной. И все же через синие очки я была ослеплена мгновенной молнией, шнуром связавшей лазер и мишень! Что это?!

— Это не лазерный луч, а ответ мишени на световую пулю, — объяснил мне Федоров. — Ведь на металл обрушивается световой импульс мощностью в несколько мегаватт на квадратный сантиметр — шквал, мощность целой электростанции! Металл вскипает, испаряется, и навстречу лазеру устремляются раскаленные до тысяч градусов пары. Явление, никогда ранее не наблюдаемое оптиками...

Казалось бы, побочное явление, стоит ли обращать на него внимание?

Но такова специфика научной работы — в ней не бывает, не должно быть ничего необъясненного, случайного. Это на заводе лазер — послушный работник. Здесь он — необъезженный конь. Но из лаборатории на завод он придет прирученным, покорным. Неожиданности достаются физикам.

Видимая молния оказалась не простым и не случайным явлением. И далеко не тем, чем можно пренебречь. Это защитная реакция мишени. Она затрудняет работу лазера. Разряд как бы экранирует мишень от попадания в нее следующей лазерной пули, бережет себя от нее. Это похоже на реактивную силу двигателя, на хвост стартующей ракеты. Профессор Бункин говорит:

— Это лишь часть общефизической проблемы взаимодействия лазерного луча с веществом. Прежняя физика этих забот не знала. Никогда еще человек не имел дело с такими интенсивными потоками света. В этой области все новость, все открытие. Лазерный луч,

ударяясь в мишень, перерождает металл, превращает его в совершенно другое вещество — диэлектрик. Как, почему это происходит? Какими методами исследовать новое вещество в момент катастрофы, как изучить процессы между мишенью и лазером?

Задача теоретиков — построить модель явления, задача экспериментаторов — диагностировать процесс. Они фотографируют, изучают спектры, измеряют температуру. И им приходится не легко: для регистрации таких высокотемпературных быстротечных процессов нет готовой аппаратуры. Ее надо создавать самим. Ждать помощи некогда — лазер нужен производству. Трудно даже сказать, кому лазер нужен больше — производству или науке...

Как рассказывал мне Прохоров, глава этого, теперь уже самостоятельного, института исследования по взаимодействию мощного лазерного излучения с веществом дают столько неожиданных эффектов, порождают столько надежд на новые практические применения лазеров, что трудно сказать, какие стороны этого явления надо изучать прежде всего и какие использовать. Конечно, важно решить технологические задачи обработки материалов, особенно сверхтвердых. Но невероятно любопытно изучить процессы в нагретых лазерным лучом жидкостях и жидких металлах. Нельзя не увлечься и перспективой, которую сулит образование плазмы лазерным излучением при пробое воздуха вблизи поверхности твердой мишени — ведь возникающие при этом импульсы давления на мишень могут быть использованы для создания лазерных реактивных двигателей!

Слушая Прохорова, я все время ощущала, как в нем переплетается трезвость исследователя с озорством безудержного мечтателя. Он говорит о том, что сейчас происходит в его институте, а думает о том, чего в нем еще нет, но что обязательно будет!

Переходим в следующий сектор. Здесь нас ожидает особенный лазер. Вы, наверно, думаете очень мощный? Да, мощный. Но главная его особенность в другом. Он, если можно так выразиться о приборе, голубых, благородных кровей. Излучает одну волну, рождает «звук» на одной «ноте».

Этот лазер — плод исключительного инженерного искусства и физического чутья доктора технических наук Александра Ивановича Барчукова, человека необычной судьбы, неожиданно и трагически ушедшего из жизни в разгар творческой деятельности. До ФИАНа был фронт, служба в полку «Нормандия — Неман», потом — только ФИАН, только служение одной, раз и навсегда выбранной цели. В Барчукове, давнем сотруднике Прохорова, сочетался недюжинный талант инженера-изобретателя и тонкого экспериментатора-физика. Чтобы сделать лазер мощным, надежным, мало указаний теории. Тут есть четкие границы движения вперед. А изобретательским ухищрениям практически нет предела. Всегда можно придумать такие ходы, которые улучшат характеристики прибора.

Вот результат особого инженерного видения Барчукова: огромный лазер длиной 100 метров (длина в данном случае способствует повышению мощности) «уложен» на «этажерке», легко уместившейся в маленькой комнате.

Такую творческую индивидуальность не создает ни один факультет, ни один институт. Она зреет в гуще коллективного творчества той лаборатории, где работает человек, имеющий особые природные данные. Но не везде и они получают развитие. Барчукову повезло. Повезло и Лаборатории колебаний ФИАНа. Барчуков был беззаветно предан своей работе. Он умер на своем рабочем месте, в лаборатории, попав под высокое напряжение.

... Луч лазера, испаряющий металл, воспламеняющий плазму, может быть нежнее человеческих рук. Он может, проникнув под кожу, не повредив ее, в нужной точке сделать целительную операцию.

— Наша лаборатория предложила использовать лазер для лечения глаукомы, — рассказывает Прохоров. — Профессор Краснов успешно провел множество операций. Мы с ним постоянно контактируем и улучшаем конструкции наших приборов. Лазер работает в импульсном режиме, короткими частыми толчками пробивает капиллярный проток вместо того, который закупорился в результате болезни. Работа Краснова получила большой

международный резонанс. Она вошла в цикл его замечательных исследований, заслуженно удостоенных Ленинской премии.

Прохоров достает несколько зарубежных газет. Там сообщается о работах советских физиков и медиков и говорится, что такие операции будут взяты на вооружение медициной всего мира.

Объекты наступления — рак кожи, волчанка, врожденные дефекты кожи. Лазер используется и просто для поверхностного облучения, результаты позволяют надеяться на терапевтическое лечение злокачественных заболеваний, заболеваний сосудов, удаление родимых пятен.

Впрочем, родимые пятна тоже сосудистое заболевание. Любопытно, что красный цвет петушиных гребешков — результат закупорки сосудов: в гребнях кровь не циркулирует. Под облучением лазера петух теряет свой победоносный вид — его гребень становится белым.

Использование лазерного луча в качестве скальпеля уже имеет свою историю. Он помог осуществить операции на печени, селезенке. Такие операции при помощи простого ножа часто бывали невозможны — так сильно кровоточили эти органы. Хирурги говорят: ткань плачет. Лазерный нож режет и одновременно заживляет — кровотечения не возникают.

Говорят, хорош тот генерал, за которым идет армия. Счастлив тот ученый, который сумел воспитать единомышленников.

Сколько людей в прохоровском институте, столько же индивидуальностей. Но в каждом — частица Прохорова, его характера, эрудиции, его мироощущения. И это естественно: для старых сотрудников он — старый испытанный товарищ (таков он, например, для заведующего механическими мастерскими Дмитрия Константиновича Бардина, рабочего паренька, который вместе с Басовым и Прохоровым делал первый молекулярный генератор. Тогда все трое были одновременно и головой и руками), для молодых Прохоров — учитель, всемирно признанный авторитет, доброжелательный опытный руководитель.

На четвертом этаже нового здания — две двери с табличкой «Кафедра взаимодействия излучения с веществом». Это базовая кафедра Московского физико-технического института, который и дает основные кадры лабораториям типа прохоровской. Заведующий кафедрой — Прохоров. Преподаватели — сотрудники института. Студенты, начиная с четвертого курса, работают здесь. Тот, кто прикипает сердцем, остается здесь и после окончания института.

Для прохоровцев лазеры — основное занятие, смысл их научной деятельности. Увлечение и работа. Но ни самого Прохорова, ни его сотрудников невозможно упрекнуть в узости интересов. Во-первых, потому, что исследования в целях создания новых типов лазеров связывают их с самыми различными областями физики и техники. Во-вторых, и в этом «повинен» сам Прохоров, однобокость, однонаправленность не совместимы с характером и научным темпераментом прохоровцев. Сам он принадлежит к когорте ученых, которых ни на минуту не оставляет первозданное любопытство ко всему необъясненному. Поэтому и его собственные интересы и интересы сотрудников выплескиваются далеко за рамки чисто лазерных проблем.

Здесь не хватило бы места, чтобы рассказать о всех, кто трудится на главном направлении института.

Но необходимо сказать несколько слов и о тех, кто «отклоняется» от него в сторону.

ПЛОДОТВОРНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Ненасытность прохоровских интересов передалась его ученикам и сотрудникам. Прохоров полностью полагается на их знания, чутье, поддерживает, помогает, выращивает в каждом то неповторимое, что питает науку новыми соками.

Это доверие помогло родиться в Лаборатории колебаний многим замечательным открытиям. Одно из них — сюрприз для... ювелиров. Да, в лаборатории, где из радиофизики

родились лазеры, где обсуждались и создавались теории и приборы, имеющие отношение к самым высоким сферам современной физики, были созданы драгоценные камни, подобные бриллиантам. Фиановские бриллианты самого различного цвета — по заказу. Этих драгоценностей природа не знает, не знал их и человек. Они родились в ФИАНе и поэтому получили название фианиты. Спрос на них велик. Они продаются в ювелирных магазинах, их экспортируют в другие страны.

Повторяю: фианиты родились там, где совершенно не думали о потребностях ювелиров, а занимались фундаментальными исследованиями. Теперь можно сказать, что фианиты совершенно закономерны как практический итог фундаментальной науки. Только глубокое изучение свойств кристаллов натолкнуло ученых на способ их получения.

Вячеслав Васильевич Осико, доктор физико-математических наук (ныне академик), не думал о дамских украшениях. Он настойчиво искал новые материалы для лазеров. Делал искусственные рубины, гранаты, более совершенные, чем лучшие из природных, стремился сочетать в своей работе самые современные методы и приемы. Прохоров с большой серьезностью и терпением относился к поискам Осико, предоставив ему и нужные средства и помещения: у Осико отдельный корпус и большой штат сотрудников. Они гордятся своими трудами, лазерными кристаллами, гораздо больше, чем сверкающими фианитами. ...Неожиданный научный выход дали работы еще одного из давних сотрудников — Виктора Георгиевича Веселаго. Он создал самую мощную в Европе магнитную установку — сооружение в три этажа, — на которой ведутся важнейшие исследования свойств вещества. Эта работа в русле тематики института. Но есть и другая — из области теории относительности. Здесь проявился романтический стиль научного мышления Веселаго. Его теория имеет пока мало сторонников. Но среди них — один из великих могикиан: французский физик Луи де Бройль, который независимо пришел к тем же выводам.

И еще одна работа доктора физико-математических наук Веселаго выделяет его как ученого с оригинальным самостоятельным мышлением: он «сочинил» необычайные вещества с невиданными свойствами и придумал ситуацию, в которой такие вещества могут существовать. Пока нельзя говорить о практическом выходе этих идей, но ведь в науке многое начинается с вопроса «почему?». Изучаются необыкновенные свойства веществ, а потом уж думают, как реализовать условия, при которых они осуществимы.

Так возникло особое звучание научной школы Прохорова. Возникла легенда и о самом Прохорове: у него необыкновенное чутье на перспективность работ, он заранее знает, какая идея пойдет, какая — пустая трата времени.

Прохоров — сторонник фундаментальных исследований. Без них, считает он, невозможен нормальный рост науки и техники. Поэтому он всегда в мобилизационной готовности. В фундаментальных исследованиях видит бездну возможностей, неожиданностей.

— Существует два вида, две категории фундаментальных исследований, — говорит он. — К первому из них относятся те, что не нацелены прямо на решение практических задач. Таковы,

например, астрофизические исследования, исследование твердого тела при сверхнизких температурах и сверхсильных магнитных полях. Второй тип исследований связан с решением конкретных задач, таких, например, как управляемый термоядерный синтез, высокотемпературная сверхпроводимость, синтез кристаллов с заданными свойствами... Оба типа фундаментальных исследований должны развиваться одинаково интенсивно, взаимно обогащаясь.

На что же нацеливает институт Прохоров: на связь с промышленностью или на разработку новых научных принципов?

— Как правило, лишь хорошо подготовленный в теоретическом плане ученый, — считает Прохоров, — может создать новые технологические процессы, новые материалы, все то, что действительно является потребностью практики. Фундаментальные исследования с неизбежностью приводят к выходу в практику, и наоборот — принципиально новые задачи

техники, например космической техники или энергетики, неизбежно приводят к постановке фундаментальных исследований в физике, математике и других областях науки.

Нормально развивающаяся физическая лаборатория должна вести работы в перспективных, поисковых областях, постоянно поддерживать контакт с промышленностью, учитывая фундаментальные направления и развитие народного хозяйства, потребности общества.

В одних случаях мы разрабатываем теорию, изучаем явление, и это неизменно приводит к практическим результатам. В других — целенаправленно ищем решение технической проблемы. Таково научное кредо нашего института.

Знакомясь с работой и жизнью прохоровского института, я подумала, что сегодня он похож на ветвистое дерево. От ствола идут ветви первого поколения — это те сотрудники Прохорова, которые составляли старую небольшую лабораторию времен рождения молекулярного генератора. Сегодня они руководят коллективами, сравнимыми по масштабам с прежней лабораторией. А от этих ветвей идут веточки следующего поколения. Т. Мандельштам, внучка основателя лаборатории, замечательного советского ученого академика Л. И. Мандельштама, Виноградов, Козлов, Щелев и Коробкин — лауреаты премии имени Ленинского комсомола, Дианов — лауреат Государственной премии СССР, ныне член-корреспондент АН СССР, Сычугов и Золотов — пионеры техники оптической связи, и многие другие.

Что же превращает этот коллектив в единый организм, единую семью? Общность интересов. Взаимопонимание и осознание общей цели. Энтузиазм. Дружба. Конечно, не та прежняя, семейная дружба, объединявшая маленький коллектив, который мог уместиться на нескольких байдарках или за одним столом. Дружба стала другой. Теперь институт в несколько сотен человек вряд ли может разом ходить в гости друг к другу. Но общность коллектива стала осознанней и целеустремленней. Появилась новая задача — сделать свой труд эффективнее, выдержать соревнование с другими коллективами и у нас в стране и за рубежом. Влиться в общее движение перестройки.

Над этим думает каждый в отдельности и все вместе.

Каковы же планы этого коллектива на ближайшие годы? Будет ли это продолжение тем, начатых сегодня, или что-то принципиально новое?

С этими вопросами я обратилась к Прохорову.

Думаю, что короткий отрывок из интервью даст понять, какими интересами живет и будет жить институт Прохорова. Вот что я услышала.

— Мы все время меняем тематику, — сказал Александр Михайлович, хотя это, может быть, и не бросается сразу в глаза. Мои сотрудники очень мобильны. Они с удовольствием расширяют диапазон исследований и сами и под моим влиянием. Большую часть изысканий займет, конечно, изучение твердого тела. Твердое тело — это орешек, который будет разгрызать еще не одно поколение физиков. Ведь от его свойств, возможностей зависит развитие и науки и техники. Изучение твердого тела влияет и на перспективу развития лазерных приборов. И оно же — твердое тело — дает новую жизнь электронно-вычислительной технике.

Я вспоминаю, что уже не раз слышала в институте Прохорова трудное словосочетание — «супермикрорелектроника твердого тела», и прошу Александра Михайловича рассказать, что оно означает.

— Это новая и весьма тонкая сфера исследований, — говорит он, — и мы ею занимаемся очень серьезно. Создавая ЭВМ, которые представляют собой не что иное, как искусственный мозг, мы все время, вольно или невольно, опираемся на свойства живого мозга. Чем отличается память человека от памяти машины? Элементарной базой. В человеческой памяти работают клетки органического происхождения, в машинной — работает неорганика. В первом поколении машин это были электронные лампы, во втором — полупроводниковые элементы, транзисторы. В последние десятилетия происходит революция в этой области: физики пытаются применять в качестве основ памяти машины

элементы из твердого вещества с подходящими свойствами. Вы, наверно, слышали об интегральных схемах? Это мозг нового поколения машин, и состоит он из сверхтонких пленок твердого тела. Преимущество в том, что объем машин уменьшен — ведь на месте одной прежней электронной лампы целая «академия наук»!

— Но разве дело только в объеме? — спрашиваю я. — Не важнее ли уловить секрет жизнедеятельности клеток, принцип их действия, чтобы нечто подобное попытаться воплотить в ЭВМ? И вообще, возможно ли это? Ведь механизм процессов памяти формируется на молекулярном уровне. И этим объясняются свойства памяти и принцип ее действия. А у лампы, полупроводника или даже пленки твердого тела — совсем иная природа, а следовательно, и иной принцип действия. Какую цель ставят поиски: добиться сходства или понять различие? И нужно ли искать сходство?

— Мы ищем сходство не в принципе действия живого и искусственного интеллекта, а в его результатах. От ЭВМ мы даже ждем большего. Большой скорости работы, большей надежности, долговечности. Все параметры искусственного мозга должны перекрыть возможности живого мозга. И мы возлагаем большие надежды на элементы твердого тела не только потому, что это сулит нам уменьшение объема ЭВМ. А главное, потому, что исследования внушили нам уверенность в большой перспективности этих элементов памяти. У нас возникла надежда, что элементная база на твердом теле сможет не только соперничать, но и превзойти возможности интеллекта, созданного природой. Пока, конечно, лидируют биологические элементы памяти. Но ручаюсь, очень скоро искусственные помогут нам создать новую машинную цивилизацию.

Утратив связь этих проблем с тематикой института, я спрашиваю Прохорова:

— А при чем тут лазеры?

Он смотрит на меня с недоумением, будто я забыла, для чего в природе Солнце.

— Лазеры? Но ведь это орудие изучения твердого тела. Они не только помогают исследовать свойства веществ, но дают часто единственную возможность изменять состояние материалов. Например, уплотнять их. Лазер может сжать вещество на четыре порядка! А уплотнение — это путь к еще более компактным элементам ЭВМ.

Вот почему в тематике института и такая сверхмодная наука, как супермикроскопическая электроника, и разделы старомодной традиционной физики — исследование твердого тела, влияние давления на плотность и другие свойства вещества. Это естественно. Всякий шаг вперед — и в жизни, и на войне, и в науке — вынуждает подтягивать тылы к переднему фронту. И надо сказать, что сегодняшний уровень физики подводит нас к одной плодотворной и решающей идее, подсказанной не только логикой развития науки, но и самой жизнью, — применению лазеров для получения термоядерной энергии.

Энергетический кризис в капиталистическом мире напомнил всем о необходимости быстрее найти пути к новым источникам энергии. Один указал академик Л. А. Арцимович. Это установки типа Токамак, применяемые и у нас и за рубежом. Но другой, лазерный, путь может оказаться более коротким. Мы идем по нему вместе с академиком Е. П. Велиховым.

Прохоров акцентирует внимание и еще на одном важнейшем направлении использования лазеров, уже нам знакомом: это управление с их помощью химическими реакциями. Лазеры открыли новые пути разделения изотопов. Они сделали возможным получение новых веществ, неизвестных в природе, недоступных традиционной химии.

— А разве менее увлекательна возможность лазерного воздействия на биологические процессы? — размышляет он вслух. — Ведь лазерный луч может воздействовать на тончайшие детали генетического механизма наследственности! Но всему свое время. Ни я, ни мои сотрудники не могут сделать всего. Да это и не нужно. В стране есть много квалифицированных научных коллективов, которые ведут интересные и важные исследования.

...Да, стиль ученого так же неповторим, как манера письма художника. Своеобразие научного почерка, острота интуиции, необычная логика мысли — вот что приводит к открытиям, что действительно меняет облик окружающего нас мира.

НАУКА И ЖЕНСКИЕ КОФТОЧКИ

Наталью Александровну Ирисову я знаю уже более срока лет. И не перестаю удивляться — она ухитряется не стареть. Набирается какой-то деятельной силы, заразной энергии. Это одна из тех редких женщин, которые идут сквозь годы, не утрачивая ни цвета лица, ни веры в счастье, ускоряя жизненный темп и поражая творческой отдачей.

Если вы увидите ее на теннисном корте, в саду с граблями, за рулем автомобиля, вы ни за что не поверите, что Ирисова, доктор физико-математических наук, работает в Физическом институте Академии наук СССР имени П. Н. Лебедева уже свыше 60 лет.

Она попала в него совершенно случайно. Это было в Казани. Шел 1941 год, первый год войны. Эвакуированная из Ленинграда студентка первого курса пыталась устроиться работать в госпиталь.

Как-то столкнулась на улице со старым знакомым, другом родителей.

— Наташа? Куда спешишь?

Рассказала. Он задумался — знал, что девушка проявляла способности к науке. Еще в Ленинграде на математическом конкурсе в Доме пионеров она, школьница младшего класса, удивляла тем, что легко решала задачи из программы старших классов. А как решала — объяснить не могла. Решала — и все. Решала «животом». Потом легко поступила в университет.

— Наташа, мне нужна лаборантка. Пойдешь?

— Нет, я хочу работать для фронта.

— Но мы тоже работаем для фронта, — обиделся он.

Это был Б. М. Вул, физик, впоследствии академик, лауреат Ленинской премии, заведующий лабораторией полупроводников ФИАН.

В те тяжелые для страны годы Советское правительство старалось сберечь научные кадры. Физический институт был эвакуирован в Казань, и ученые, не отпущенные на фронт, вели интенсивные исследования, выдвигаемые нуждами Великой Отечественной войны. Все это Вул объяснил Наташе, и она стала лаборанткой, а затем, после окончания университета и аспирантуры, научным сотрудником института. Того самого института, где работает по сей день и руководит небольшим, но весьма продуктивным и сплоченным научным коллективом.

Очень важно иметь хорошие природные данные. Но не менее важно попасть в среду, где эти способности будут развиты и укреплены, получают верное направление.

Ирисовой повезло. На последнем курсе для подготовки дипломной работы ее направили в знаменитую Лабораторию колебаний.

Здесь она и осталась работать после защиты дипломной работы. Впоследствии Ирисова подключилась к фундаментальным исследованиям — занялась изучением свойств различных твердых тел. Она просвечивала их электромагнитными волнами и, изучая поглощение волн, расшифровывала строение и свойства молекул исследуемых веществ. Это был известный способ, но... с изюминкой.

До того физики обычно работали с оптическими волнами или радиоволнами. А Ирисова повела свои наблюдения в диапазоне, расположенном между ними, — в субмиллиметровом диапазоне. Это вызвало недоумение коллег. Субмиллиметровые — это волны длиной в десятые, сотые и тысячные доли миллиметра. «Зачем нужны эти исследования нашей лаборатории?» — спрашивали одни. «Чем Ирисова собирается измерять эти волны?» — спрашивали другие. Ведь этот диапазон — ничейная земля. Радиоинженеров он не интересует. Оптики его еще не освоили. Здесь не создано никакой измерительной аппаратуры. «Наконец, какое практическое применение уготовано этим исследованиям?» — задавали вопрос третьи.

Внутренняя мотивация в творчестве — явление тонкое, чреватое открытиями,

прозрениями. Кто знает, почему нас влечет к одному делу и не привлекает другое...

В шестидесятых годах, когда начались эти исследования, бурно развивались лазеры. А эксперименты Ирисовой и ее сотрудников не только не работали на лазеры, но вообще не обещали быстрого успеха. Несколько первых лет требовалось только для создания измерительной аппаратуры. Ее просто не существовало. Еще несколько лет ушли на выработку методики измерений. Надо было исследовать и измерять, изучать десятки различных веществ, чтобы отработать и приборы, и методы их использования. Набирали, как говорится, статистику: изучали кварц, резину, пористые вещества. Это был второй этап исследований

Вначале было очень трудно. Родился сын, она разрывалась между домом и институтом, работа шла туго, и не было человека, который не спрашивал бы: почему Ирисова возится с субмиллиметрами?

Прошло некоторое время, и все пошло по-другому. Ирисова и ее молодой сотрудник Виноградов сделали первый измерительный прибор субмиллиметрового диапазона. На вид — удивительно несерьезный прибор. Он не похож ни на радиотехнический — с лампами, транзисторами, конденсаторами, ни на оптический — с линзами, призмами, зеркалами. Основной элемент его — рамки с сеточками из тончайших металлических проволочек. Они столь тонки, что рамки, на которых они натянуты, кажутся пустыми.

— Это очень цепкие сети для волн длиной в десятые и сотые доли миллиметра, — смеется Ирисова, видя, с каким скепсисом я верчу в руках это «дамское рукоделие». — При помощи комбинации таких сеточек можно измерить длину, мощность волн, которые никаким иным образом не определяются. Можно разделить эти волны на пучки, отражать их, создавать для них резонаторы.

Казалось бы, изящная лабораторная работа — и все. Работа, имеющая право на существование, но... заслуживает ли она внимания серьезного исследователя? Теперь общепризнано, что сеточки, похожие на приспособление для вышивания, оказались оригинальной находкой, новым словом в измерительной технике субмиллиметровых волн. Они стали основой созданного Ирисовой и ее сотрудниками спектроскопа субмиллиметровых волн, параметры которого существенно превосходят характеристики всех известных отечественных и зарубежных спектроскопов этого диапазона. Уже много лет как этот прибор передан в производство, и наша промышленность выпускает его серийно. На прибор получен десяток заграничных патентов. Не удивительно, что эта оригинальная работа удостоена одной из главных премий АН СССР — премии А. С. Попова.

Но к третьему этапу работы, к основной цели — исследованию свойств и строения различных материалов, — приступать было еще рано. Не хватало прибора, на экране которого можно было бы наблюдать невидимое излучение, идущее из недр исследуемого вещества. Ясно было одно: увидеть электромагнитное излучение можно только на люминесцентном экране. Поэтому Ирисова объединила силы своей лаборатории с лабораторией люминесценции ФИАНа.

— Начались поиски подходящих материалов для экрана, — рассказывает Наталья Александровна. — Попробовали один — не получилось, другой, третий — опять безрезультатно. Начали усложнять материал, делать его многослойным. Все шло как в банальном детективе, я даже принесла из дому свою шелковую кофточку: нужен был тонкий материал с хорошими теплоизоляционными свойствами. А что может быть лучше шелка? Покрыли его аквадагом (взвесью графита в сахарном сиропе) — и увидели! Правда, изображение было слабым, неясным. Попробовали слюду, лавсан. Замысел был несложен, но исполнение требовало современной технологии. И наконец, последний вариант: на синтетическую пленку лавсана в вакууме нанесли слой металла и сверху покрыли слоем люминофора.

И эту пленку натянули на бабушкины пальцы... Идея прибора — плод чисто женской логики. Да, да! Если хотите, в этой логике моя слабость, но и сила. Мне легче думать конкретно, труднее — абстрактно. Я мыслю предметно, могу мысленно «потрогать» каждый

миллиметр прибора. Впрочем, я оговорилась. Что значат старые привычки: говоря о малом, в быту говорим — миллиметр. О нашем приборе толщина каждого из слоев «сэндвича» — доли миллиметра. Слой лавсана — три тысячные миллиметра (три микрона), металла — сто ангстрем (десятитысячных долей микрона), люминофора — опять три микрона.

Если не считать трудности изготовления такого «сэндвича» из слоев неощутимой толщины, прибор очень прост. Но это не значит — примитивен. Поиски простого решения — одна из труднейших задач в науке, технике да и в искусстве. Сложное решение обычно говорит о беспомощности. Простое — о том, что все лишнее отмечено. Помните, одно из определений скульптуры: камень, с которого удалено все лишнее?

Так родился простой, но важнейший прибор. Радиовизор — назвали его ученые. И с ним сразу же произошло чудо.

Радиовизор, созданный, казалось бы, для чисто специфических целей, не имеющих ничего общего с тематикой лаборатории, вдруг стал чуть ли не самым необходимым для этой самой лаборатории. Вообще для лазерщиков.

А случилось это вот почему. Мощный лазер для резки, сварки, штамповки металла работает на волне 10 микрон. «Нежный» диспрозиевый лазер, созданный в той же лаборатории против опасной болезни глаз — глаукомы и нашедший применение для лечения злокачественных заболеваний кожи, имеет волну длиной 2,36 микрона. Излучение этих лазеров и многих других происходит как раз в том диапазоне волн, для регистрации которых и создан радиовизор. И если на экран радиовизора направить лазерный луч даже невидимого глазом инфракрасного диапазона, вскрывается вся его незримая структура. Невидимый луч становится видимым! Расходящийся он или сужающийся, сколько в нем «мод» (типов колебаний), видно воочию. Радиовизор позволяет увидеть и распределение поля субмиллиметровых и даже миллиметровых и сантиметровых радиоволн (от 1 микрона до 10 сантиметров).

На экране отчетливо видны интерференция волн, дифракция и другие эффекты классической оптики. Теперь этот прибор можно использовать не только в лаборатории исследователя, но и на школьных уроках физики для наглядной демонстрации волновых свойств электромагнитного излучения.

Конечно же, и лазерщики, и вообще физики приняли такой прибор с восторгом.

— Главное, — объясняет Ирисова, — стало возможным настраивать лазер по картинке на экране радиовизора. Как?

У лазера существуют настроечные винты. Но раньше их крутили вслепую, не зная, что при этом происходит. Теперь все изменилось.

Радиовизор сегодня выпускается нашей промышленностью, заказы на него идут из многих научно-исследовательских лабораторий. Этот прибор, чувствительный к невидимым электромагнитным волнам, оказался полезным и медикам. При его помощи можно без прикосновения измерять распределение температуры по поверхности тела больного. Раньше это было трудной задачей, так как обычные медицинские термометры не пригодны для таких измерений. Но медики знают, что участки кожи, расположенные над внутренними воспалениями, теплее других. Так возник еще один способ медицинской диагностики, а медики дали прибору второе имя — тепловизор. Иностранцы, посещающие институт, подолгу задерживаются в секторе Ирисовой. Кто бы мог подумать, что совсем недавно эту тему называли оторванной от жизни!

— А действительно, — думаю вслух, — чудо — не только сам прибор. Чудо — то, что сделан он в лаборатории, где этот прибор вовсе не планировался. Ведь никто не думал, что результат сработает на тематику. Как же удалось столько лет работать вроде бы «на сторону»?

Ирисову вопрос не удивляет.

— Так оно, в сущности, и происходило, — соглашается она. — Нашим исследованиям просто повезло. Нас поддержал Александр Михайлович Прохоров. Он умеет заглядывать вперед, считает, что в лаборатории должны быть поисковые темы, пусть не сразу дающие

выход в практику. Он уважает мнение и интуицию сотрудников. Если человек верит в свое начинание, его надо поддержать, считает он. Толк будет. Даже тогда, когда мы сами отчаивались, Александр Михайлович говорил: когда берешься за новое дело, не следует бояться мертвой полосы. Пока соберешься с мыслями, накопишь опыт, должно пройти время. Идея должна созреть. Никакой спешкой этот процесс не ускоришь. Время окупится.

И действительно, уверенность Прохорова оправдалась: разумно поставленное фундаментальное исследование всегда дает важные результаты. Этому же мнению придерживаются многие ученые, в том числе и Таунс. Он пишет: «В большинстве случаев результаты бывают ощутимыми, если превыше всего ставится интерес к идее, а не к тем выгодам, которые можно из нее извлечь. Успех может быть неизмеримо большим, если поощрять то, что делается на основе стремления к знаниям и открытиям как таковым».

Что ж, конфликт между рационализмом и бескорыстным служением идее не нов ни для науки, ни для искусства. О качестве музыки не судят по кассовой выручке. Значение научного открытия не всегда пропорционально затраченной на работу сумме денег.

Фундаментальные исследования, однако, не только дань врожденной любознательности или ее следствие. Это и расчет на то, что они повысят уровень культуры, повлияют на производительность труда и в конечном счете пополнят благосостояние общества, послужат развитию цивилизации. Не в этом ли особенность современного этапа развития науки, приметы научно-технической революции? Наука стала производительной силой.

ТЕРМОЯД

Главная забота современного человечества — поиски новых источников энергии.

Зажечь лазерным лучом земное солнце — неиссякаемый источник термоядерной энергии — эта мечта овладела учеными, когда лазер был еще немощен и мало изучен. И когда поиск путей к управлению термоядерной реакцией шел совсем по другому пути. Уже более четверти века передовые страны тратят большие средства на развитие исследований по магнитному удержанию термоядерной плазмы. Образцом для подражания служит Солнце, внутри которого скрыт практически неисчерпаемый источник энергии. Физики XX века пришли к выводу, что энергия, заставляющая светить Солнце и другие звезды, возникает в результате превращения водорода в гелий. Взрыв первой водородной бомбы подтвердил мощь этой реакции и возможность осуществления ее на Земле. Оставалось, казалось бы, немного: найти средний путь между мгновенным взрывом, происходящим в бомбе, и медленным, но огромным по масштабам и неподвластным человеку процессом, протекающим в недрах звезд. Нужно было превратить термоядерный синтез в управляемую, контролируемую реакцию и использовать ее для мира, а не для войны.

Рассмотрим вместе с учеными эту возможность.

Для того чтобы два ядра тяжелого водорода — дейтерия могли слиться друг с другом, образуя ядро гелия и высвобождая порцию энергии, они должны столкнуться между собой с огромными скоростями. Только при этом могут быть преодолены силы взаимного отталкивания одноименных зарядов ядер. Силы, защищающие ядро от ему подобных, несравненно крепче лат средневековых рыцарей. Чтобы придать ядрам дейтерия нужную скорость, следует нагреть их до температуры в несколько десятков миллионов градусов. Но одного этого недостаточно. Чтобы реакция успела развиваться в устойчивый процесс, такую температуру нужно поддерживать достаточно долго. Ведь ядра невозможно точно направить одно на другое с тем, чтобы они обязательно столкнулись между собой. Столкновение — дело случая. И чтобы такие случаи реализовались в достаточном количестве, нужно на некоторое время удержать раскаленный газ в ограниченном объеме, несмотря на огромные скорости образующих его частиц, заставляющие их рассеиваться в пространстве.

Попробуем на минуту представить себе, что происходит в глубине Солнца или солнцеподобного светила — механизм процесса при температуре в миллионы градусов. В

таком пекле атомы не могут «выжить» и сохраниться в целом виде. Огромная температура разрывает их на части, отрывает электроны от ядер. Они движутся независимо и с большими скоростями. Но сила притяжения не дает им разлететься. В недрах звезд образуется особое, удивительное, состояние вещества — раскаленная плазма, больше всего напоминающая газ, а точнее, ту плазму, которая существует внутри трубок газосветных реклам или возникает в лампах-вспышках, применяемых фотоаппаратами, но несравненно более горячую и плотную. Разница лишь в температурах и давлениях. Здесь, в земных условиях, это тысячи градусов и доли или единицы атмосфер. Там — миллионы. Здесь далеко не все атомы разрушены, не все ядра оголены, не все электроны освобождены. Там — все.

Различен и состав вещества. Здесь, в лампах, — это инертные газы или их смесь. Там — преимущественно водород. Плазма, бурлящая в недрах звезд, состоит главным образом из протонов — ядер водорода с незначительной примесью ядер легких элементов и, конечно, электронов.

Внутри звезд протекают сложные ядерные реакции, в результате которых четыре протона объединяются между собой, образуя ядро атома гелия — альфа-частицу. При этом выделяется энергия, поддерживающая сияние звезд.

В каждом таком акте слияния испускается малая порция энергии. Но размеры звезд огромны, велика и энергия, выделяющаяся в течение миллиардов лет. На Земле невозможно воспроизвести точно условия, существующие в недрах звезд. Нужно добиться слияния протонов доступным путем. Чтобы это был не взрыв, а безопасный управляемый процесс.

Получение горячей плазмы в земных условиях — цель и надежда всей будущей энергетики. Казалось бы, все ясно: надо нагреть плазму и удержать ее частицы от разлета. Но как нагреть и как удержать?

Первый обнадеживающий путь указал академик И. Е. Тамм: создать и нагреть плазму электрическим разрядом и удержать ее силой магнитных полей в особых «магнитных бутылках». По этому пути пошли многие ученые. Исследователи увлекались то одной, то другой конструкцией остроумных и, казалось, надежных устройств — как правило, это были громоздкие приборы, скованные массивными электромагнитами. Но наградой были лишь неудачи. Из этих «магнитных бутылок» плазма вытекала, словно молоко из дырявых пакетов. Рукотворное солнце не зажигалось... Этот путь дал лишь опыт, понимание трудностей задачи, но не практический результат.

Самый конструктивный способ, основанный на принципе магнитного удержания плазмы, был предложен и разработан учеными под руководством академика Л. А. Арцимовича. Они придумали «магнитную бутылку», лишенную горла. Их магнитная ловушка имеет форму пустого бублика. Бублика с двойными стенками. Первые, видимые, отделяют внутреннюю полость от внешнего воздуха. Там будет создана и нагрета плазма. Вторые, невидимые, образованы магнитными полями. Они отделяют плазму от стенок бублика, чтобы частицы раскаленной плазмы не соприкасались с ними, не охлаждались ими и не нагревали их.

Прибор, вернее, сложная и крупная установка, реализующая эту идею, получил название Токамак. Его основа — тороидальная камера, расположенная внутри тороидального магнитного поля, — позволяет нагревать плазму до гигантских температур и удерживать ее некоторое время в этом состоянии. Советские ученые показали, что это один из надежных путей к цели. Они планируют следующий шаг в ближайшее время.

Это — надежный путь покорения энергии ядра. Однако пока никто не прошел его до конца. Никто не добился возжеланной цели — не зажег рукотворное солнце.

Главная причина в том, что при помощи электрического разряда трудно осуществить достаточно быстрый нагрев. Когда температура плазмы доходит до десятков миллионов градусов, ни одна, даже самая мощная, ловушка не способна удержать плазму от расширения.

Еще не были запущены первые модели Токамаков, а экономисты уже провели расчет на эффективность. Они сравнили, сколько энергии на единицу веса топлива выделится при

термоядерном способе и при расщеплении тяжелых ядер урана или плутония в обычных атомных энергетических установках. Расчет показал, что термоядерные электростанции будут выгоднее атомных, выгоднее даже самых выгодных на сегодняшний день.

Был сделан и другой подсчет, так сказать, на «чистоту» процесса. И в этом плане термоядерный синтез оказался самым прогрессивным и гигиеничным. Он не дает тех побочных отходов, которые все-таки получаются при атомных расщеплениях (имеются в виду радиоактивный цезий, стронций и другие радиоактивные продукты, эти неизбежные спутники деления тяжелых ядер). При термояде нет и угрозы ЧП, термоядерный «Чернобыль» невозможен. Установка не расплавится, не взорвется. Если процесс выйдет из-под контроля, пойдет не по программе, то он просто заглохнет, прекратится.

Сама природа — главный пропагандист идеи термояда. Запасы тяжелого водорода, дейтерия — этого основного термоядерного топлива, — неисчерпаемы. Одного лишь дейтерия из морей достаточно для практических нужд на миллионы лет вперед.

Вот почему никакие трудности с магнитными ловушками не могли заставить физиков отказаться от намерения найти способ зажечь рукотворную звезду.

И вот — новая идея: изящная, простая и на первый взгляд легко осуществимая!

В вакуумную камеру выстреливается льдинка замороженного водорода (вернее, смеси тяжелого водорода — дейтерия и сверхтяжелого водорода — трития). Вспышка лазера встречает льдинку в центре камеры. Мощность лазерного луча столь велика, что льдинка, температура которой первоначально очень мала, превращается в крупинку солнца. Температура ее приближается к бушующей плазме в недрах звезды, а плотность очень высока. Ведь за мгновение, пока длится вспышка, частицы, уже набрав колоссальную скорость, еще не успели заметно сместиться в пространстве. Давление лучей лазера вызывает в раскаленной плазме ударную волну, сжимающую плазму в сверхплотный сгусток.

В этой адской температуре порваны все связи между ядрами и электронами. Атомов дейтерия и трития уже нет. Пылает плазма из их ядер и свободных электронов. Сталкиваясь между собой, ядра дейтерия и трития вступают в реакцию, в результате которой возникают ядра гелия. Температура при этом еще больше нарастает. Сопутствующие реакции порождают свободные нейтроны. Еще несколько мгновений — и рукотворная звездочка погаснет. Плазма, быстро остывая, разлетится по вакуумной камере...

Это — биография одной льдинки. Но если в камеру впустить череду льдинок, скажем по 2–3 в секунду, то зажжется гирлянда пылающих солнц. А дальше? Дальше тепло от нагретых стенок камеры можно утилизировать самым обычным путем. Скажем, отводить его для получения горячего пара. Пар направлять в турбины тепловой электростанции. Или использовать для других нужд.

Вот такая перспектива волновала воображение физиков, увлекшихся идеей использовать лазер для получения термоядерной энергии. Возможно, именно так человечество овладеет термоядерной энергией, сохранив уголь и нефть, торф и древесину от уничтожения в топках.

Идея лазерного зажигания термоядерной плазмы воскрешала надежды, она убивала сразу несколько зайцев, решала вопрос о получении высокой температуры, а главное, проблема длительного удержания термоядерной плазмы оказывалась обойденной.

Вот почему лазерный термояд кажется привлекательным. Он свел между собой людей различных характеров, темпераментов, научных склонностей. Для нас же, русских людей, особенно приятно то, что родина его — Советский Союз. Вот что об этом пишет журнал «Форчун» («Судьба»), выходящий в Нью-Йорке:

«Лидерами в области лазерного термоядерного синтеза стали советские ученые. Сама «гонка» за овладение лазерным термоядом началась в 1963 году — после того, как исследователи из Физического института имени Лебедева в Москве, работающие под руководством Николая Басова, сообщили об успешном использовании лазера для получения определенного количества нейтронов, что свидетельствовало о достижении, хотя и в слабой,

мигомлетной форме, реакции ядерного синтеза».

П. Крюков, молодой ученый, физик «божьей милостью», как говорят о нем друзья, создал первую установку и, сфокусировав мощный лазерный импульс, получил первые термоядерные нейтроны, те самые вестники успеха, о которых пишет журнал «Форчун».

«Известие из Физического института, — продолжает журнал, — было встречено на Западе с достаточной долей скептицизма».

Крюков именно в этих первых нейтронах видит залог всех дальнейших успехов.

— Первые нейтроны, — говорит он, — имели огромное психологическое значение. Они не просто иллюстрировали наш успех. Лазерный термояд занял свое законное место в физике плазмы среди других способов реализации термоядерного синтеза. Ведь до того мало кто в него верил. Крюков оказался прав. «Вскоре западные ученые убедились в успехе советских коллег, сумев воспроизвести этот опыт в своих лабораториях. В лабораториях Комиссии по атомной энергии США начались регулярные исследования проблемы лазерного термояда. Этот метод достижения ядерного синтеза примерно в то же время стал темой исследований во Франции, ФРГ, Англии, а затем в Японии» («Форчун»).

Пройдут десятилетия, и человечество будет вспоминать об этих экспериментах с гордой снисходительностью, как о первых шагах к великому свершению.

Физики, работающие над проблемой лазерного термояда, отлично понимают, что до полной победы еще далеко. Полезной термоядерную реакцию можно будет считать тогда, когда выделенная энергия превысит затраченную на ее создание. Пока полученная реакция энергетически убыточна. Идет наработка знаний, а не энергии. Долгая, кропотливая, изнурительная работа. Оттачивается методика эксперимента, совершенствуются установки, набирается статистика, изучается сама плазма, разрабатывается аппаратура для ее диагностики. Эта работа на десяток лет. Эта работа приносит сведения о процессе, которым нужно научиться управлять. Она определяет весь дальнейший ход исследований: подсказывает, какие лазеры создавать, чтобы их мощь стала достаточной для обжатия и нагрева ядерного топлива.

ЛОРД РЕЗЕРФОРД СМЕЕТСЯ...

А теперь сравним две публикации. Одна — из уже цитированного нами журнала:

«Благодаря относительной безопасности реакции синтеза установки лазерного термояда могут быть использованы для удовлетворения потребностей предприятий, комплексов, ликвидируя проблему высокой стоимости создания специальных зданий для энергетических блоков или линий дальней передачи энергии. Лазерные термоядерные реакторы можно будет создавать настолько «миниатюрными», что они станут «энергетическими сердцами» морских лайнеров и поездов. А несколько таких реакторов, соединенных вместе, образуют энергетическую станцию».

Обратите внимание на стиль (деловито, буднично, аргументировано), на профессию автора статьи, Лоренса Лессинга (он журналист), на дату (1974 год).

И вторая публикация — из газеты «Геральд Трибюн». Крупный заголовок: «Лорд Резерфорд смеется над теорией обуздания энергии в лабораториях!» Смеется не обыватель, смеется не журналист, а отец ядерной физики, смеется над самой мыслью об обуздании энергии ядра, смеется в 1933 году — после того, как убедился в возможности расщепления ядра...

Разрыв во времени между этими публикациями — 41 год. Не сенсационный ли темп созревания человеческого интеллекта? Всего несколько десятилетий ушло на то, чтобы от факта расщепления ядра прийти к мысли об использовании энергии этого расщепления. Теперь на очереди синтез ядер.

А ведь от первой догадки об атомной структуре материи до первого доказательства этого прошло более двадцати веков...

СВЕТОВОДЫ И ЛАЗЕРЫ

У лазерных поисков есть еще одно из главных направлений. Помимо термояда, это — обеспечение связи в будущем, средств переработки информации и передачи ее на большие расстояния. Широко известно, что наше поколение буквально захлестнуто потоками информации: это и обилие научных открытий и технических достижений, и просто расширяющийся обмен информацией между людьми. С каждым годом этот поток увеличивается все больше и больше — его нужно быстро перерабатывать, осмысливать, использовать. Естественно, вся надежда на ЭВМ. Но их быстродействия уже недостаточно. Радиоволны и электроника не удовлетворят будущие поколения. С переработкой большой массы информации смогут справиться лишь световые волны. Этим вопросом ведает новая область электроники — оптическая. На наших глазах рождается новая наука — оптоэлектроника.

Когда мы проводим себе в квартиру телефон, то не думаем, на какие расходы идет государство. Стране нужны миллионы телефонов. Нужны линии связи между городами, селами, государствами. Это тысячи тонн меди. А медь — тот металл, запасы которого кончатся прежде всего.

«Какой же выход?» — спросите вы.

Представьте себе АТС будущего: ее основные элементы — «соты», напоминающие пчелиные, только во много раз более мелкие. Это миниатюрные лазеры. Вы поднимаете трубку — включается «ваш» лазер, на его луч «нанизывается» ваш голос и бежит по одной из стеклянных нитей, скрытых в кабелях, проложенных под землей. Нити эти сравнительно дешевы — ведь двуокись кремния, из которого состоит это стекло, самый распространенный и дешевый материал.

«За чем же дело стало?» — спросит читатель, и от инженеров получит более чем странный ответ: «за прозрачными стеклянными волокнами...»

Стеклянные волокна действительно могут с успехом заменить медные провода, но чтобы они без потерь транспортировали свет на сотни километров, нужно сделать их из очень прозрачного стекла.

Вы, наверно, подумали: как оконное? Так же решила и я, слушая объяснения одного из авторов стекловолоконной линии связи.

— Что вы! — даже обиделся он. — Попробуйте сложить десяток стекол вместе — сквозь них ничего не разглядишь. Для передачи света на большие расстояния оконное стекло совсем не годится. Уже много лет физики, конструкторы, инженеры бьются над созданием таких стеклянных волокон, чтобы они были по-настоящему прозрачны для света, не искажали его, не создавали помех, то есть не вносили ошибок в передаваемую информацию.

Такие поиски ведутся у нас, в России, в США, Японии, Англии, Франции, Германии, в других странах. Листая научные журналы, можно убедиться, что ученые приближаются к цели, к тому, что станет основой стекловолоконной связи будущего.

Уже сейчас по стеклянным волокнам, заменившим медные провода в ряде систем, на многие сотни и тысячи километров бегут световые волны, рожденные лазерами и более простыми полупроводниковыми источниками света. Поэтому параллельно с созданием новых коммуникаций идет интенсивный поиск новых лазеров, которые будут направлять через стеклянные волокна все более плотно упакованную информацию.

Полупроводники оказались для квантовой электроники рогом изобилия. Они стали основой очень миниатюрных и экономичных лазеров. Одна из разновидностей — инжекционный лазер. Он не только мал по своим размерам, но обладает ценнейшим достоинством — неприхотливостью к источникам питания. Для того чтобы такой лазер начал излучать свет, его достаточно присоединить к источнику электрического тока напряжением в несколько вольт. А нанизать на его луч голос или другую информацию очень просто — для этого надо лишь менять в ритм с голосом силу электрического тока, протекающего через лазер. Лазер это почувствует и отзовется соответствующим изменением

своего мерцания.

На дальнем конце световода изменения силы света ощутит фотоприемник и превратит их в переменный электрический ток, который заставит работать телефонную трубку, или телевизор, или любой другой приемник информации, например блок памяти ЭВМ. Этот лазер — только одно из многих действующих «лиц» оптической системы связи. Как он будет работать в сочетании со всеми другими деталями? Ведь его партнеры должны уметь взаимодействовать со светом, а не с электрическим током, как это происходит в современных системах связи.

Когда я задала этот вопрос лазерщикам, они удивились. Неужели я еще не видела, как это происходит в действительности? И отвели меня в лабораторию, где системы оптической связи уже стали будничным объектом исследования.

Вот что я увидела.

К маленькой металлической коробочке величиной с пачку сигарет присоединен кабель, более тонкий, чем обычный карандаш. Он исчезает в отверстии стены. Оттуда выходит точно такой же кабель, конец которого присоединен к другой коробочке несколько больших размеров.

— Это наша световодная линия связи, — пояснил молодой ученый. — Одна маленькая коробочка содержит оптический передатчик, другая является приемником оптических сигналов. Дальние концы кабелей соединены с такими же блоками, расположенными в другом здании. Сейчас мы изучаем особенности эксплуатации световодной системы связи.

По такой линии можно передать и телефонный разговор, и программу цветного телевидения, словом, любой вид информации. Такие линии могут соединяться между собой через коммутаторы, что обеспечит связь любого количества абонентов. Самое важное то, что существуют электронные схемы, позволяющие одновременно и независимо передавать по данному световоду десятки тысяч телефонных разговоров, многие программы телевидения и огромный объем другой информации. Существенно и то, что световодные линии не боятся грозových и промышленных помех, они много компактнее и легче, чем обычные медные кабели.

Эти качества световодных кабелей открывают им путь на борт самолетов и кораблей, в системы промышленной автоматики, управления и в вычислительные комплексы. Они проникнут и в ЭВМ, соединяя между собой блоки и связывая ЭВМ с их периферийным оборудованием.

Полупроводниковые лазеры и другие полупроводниковые оптические элементы вместе со световодами, имеющими вид тончайших пленок и волокон, станут основой новых оптических ЭВМ следующих поколений. В них свет будет служить не только для передачи, но и для обработки информации.

Лазеры, почти невидимые глазом, проводящие свет прозрачные пленки и волокна толщиной в тысячные доли миллиметра, линии задержки импульсов, специальные оптические системы памяти, основанные на принципах голографии, — таковы ЭВМ будущего. Уже сегодня в лабораториях можно увидеть совершенно удивительные, невиданные прежде образцы узлов оптических ЭВМ. Образец блока ввода информации в ЭВМ на оптических деталях — это множество мельчайших лазеров, работающих в содружестве с голографическими устройствами, в которых может быть закодирована любая информация. Ею могут быть книги, кинофильмы, телефильмы. Текст одной страницы занимает площадь размером в острие иглы! На одной пластинке может быть уместен текст «Войны и мира».

Когда-нибудь все библиотеки и кинотеки будут хранить не книги, а голографические диски, в которых информация записывается и считывается при помощи миниатюрных лазеров. В небольшой комнате уместится богатство Библиотеки имени В. И. Ленина. На экранах телевизоров уже сегодня можно увидеть кинофильм, книгу, даже страницу и отдельную строчку из подобного хранилища. Такие системы уже есть.

ПОДСТУПЫ К ЗРЕЛОСТИ

Работы в области оптоэлектроники настолько перспективны и важны, что сегодня эту науку можно считать одним из китов, на которых будет построена связь и вычислительная техника будущего.

И еще одна важнейшая сфера лазерных исследований — создание новых, более совершенных, удобных и более мощных лазеров.

Первые лазеры внешне ничем не были похожи друг на друга. Общим был цвет испускаемых лучей — красный. Но эта общность, конечно, возникла случайно. Не случайным была чрезвычайно слабая расходимость лучей (много меньшая, чем расходимость лучей лучшего прожектора) и крайняя узость их спектра, не сравнимая с шириной спектра любого другого источника света. И то и другое — результаты применения пары параллельных зеркал, между которыми располагалось святающееся вещество лазера.

Дальше начинались различия. В самом первом из лазеров свет исходил из кристалла рубина, который облучался ярким белым светом ламп-вспышек. Рабочим веществом второго лазера служила смесь неона и гелия, а возбуждение свечения вызывалось электрическим током, проходящим через эту газовую смесь, — то же фактически происходит в обычных неоновых трубках газосветной рекламы. Свет первого лазера испускался редкими короткими импульсами, второй светил непрерывно.

Последующее развитие лазеров первоначально пошло по пути поиска других кристаллов и других газов, способных к лазерной генерации света. Это, конечно, был наиболее очевидный, но далеко не единственный путь. Вскоре к кристаллам и газам присоединились стекло и полупроводники, затем жидкости (наиболее эффективными оказались растворы органических красителей). Это важнейший этап в жизни лазеров, и мы посвятим ему отдельную главу.

Возникли новые режимы работы лазеров, новые методы возбуждения. Для этой цели удалось применить электронные пучки, энергию ударных волн и быстрое охлаждение горячих газов, истекающих из специальных сопел. Лазеры «научились» испускать все более короткие импульсы света. Длительность их стала меньше, чем миллиардная доля секунды.

Все результаты появились как следствие естественного развития новой области науки. Однако уже первые шаги в этом направлении открыли возможности новых практических применений лазеров. Как только это было осознано и оценено, началась планомерная разработка специализированных лазеров, отвечающих конкретным запросам науки и техники. В свою очередь, появление новых лазеров открывало все новые пути их использования. Этот замкнутый процесс еще далеко не закончен.

Проблема лазерного термояда потребовала создания целых систем огромной мощности и очень большой энергии, излучающих лазерные импульсы с большой точностью в заданные моменты времени. Иначе невозможно одновременно — со многих сторон — поразить мишень из термоядерного горючего и сжать ее. Мощность, развиваемая таким лазером, превосходит мощность самой большой гидроэлектростанции. Но, конечно, вследствие ничтожно малой длительности лазерного импульса излучаемая энергия не очень велика, хотя она и превосходит энергию среднего орудийного выстрела.

Для промышленных целей — сверления и обработки поверхности рубинов, алмазов, твердых сплавов — применяются твердотельные лазеры (обычно на стекле) или лазеры на смеси углекислого газа с азотом и гелием.

Лазеры на стекле, окрашенном ионами редкоземельного элемента неодима, работают не только в промышленности, но и в медицине, где они помогают излечивать некоторые формы рака и служат хирургам в качестве инструмента для бескровных операций. Без них не обходятся дальнометры и оптические локаторы, они позволяют обнаруживать загрязнения в атмосфере и измерять скорость ветра и течения воды.

Лазеры на углекислом газе используют для сварки и резки металлов, для раскроя материи и кожи. Они также приносят пользу медикам и химикам, технологам и физикам.

Большая часть лазеров излучает свет с вполне определенной длиной волны, изменить которую удается только в очень узких пределах. Последующее развитие лазеров пошло в двух противоположных направлениях.

Одно из них — создание сверхстабильных лазеров, длина волны которых фиксирована с огромной точностью. Она известна и остается неизменной в пределах миллионной части от миллиардной доли своей величины. Это наибольшая точность, достигнутая в науке и технике.

Второе направление — разработка лазеров, длина волны которых может по желанию оператора изменяться в широких пределах и устанавливаться в точности на заданное значение. Для этой цели обычно применяются лазеры, рабочим веществом которых служат растворы красителей. Такие лазеры незаменимы для решения сложных задач разделения изотопов и для управления химическими реакциями. Лазерный метод позволяет более экономично, чем какой-либо другой, отделять один изотоп легких элементов от его двойников. Сейчас усилия многих ученых направлены на создание эффективного метода разделения изотопов урана, этого основного горючего для атомных электростанций. Лазер помогает химикам получать новые соединения, недоступные традиционным химическим методам. Ему покорились даже инертные газы. В течение долгого времени они оправдывали свое название, не вступая в химическое соединение с другими элементами. Сравнительно недавно ученым с помощью лазера удалось заставить их при известных условиях нарушить свою инертность. Полученные соединения были взяты в качестве рабочих веществ для новых лазеров, которые обещают стать весьма эффективными.

Квантовая электроника не только открывает новые возможности другим областям науки и техники, но и активно использует их новейшие достижения. Например, полупроводниковые лазеры, в которых первоначально применялись лишь соединения индия с сурьмой, теперь работают и на более сложных соединениях трех и четырех элементов, а также на элементах из кремния и германия высшей чистоты.

После появления лазеров было реализовано и одно из поразительных изобретений — голография. Мощные газовые и твердотельные лазеры позволяют зафиксировать и воспроизвести объемные изображения движущихся предметов. Записывать и анализировать разнообразную сложную информацию. Производить измерения различных величин, таких, как скорость и смещение, изменение температуры и давления, производить анализ состава крови и расшифровку текстов, решать множество других разнообразных научных и технических задач, каждая из которых вполне заслуживает отдельного подробного описания.

Итак, перед нами раскинулась и засверкала радуга возможностей, которые таятся в новой области науки — квантовой электронике.

СЕКРЕТ УСПЕХА

Мы узнали о решительной готовности лазерщиков перевести на принципиально новые рельсы развитие целых областей промышленности и техники. Покорение энергии ядерного синтеза даст неиссякаемые энергетические ресурсы. Осуществится давняя мечта человечества напоить водой пустыни, превратить районы вечной мерзлоты в сады, преодолеть космические дали...

Создание принципиально новой техники связи, оптической связи, вызовет революционные преобразования в культурной жизни общества, в сфере образования, в общении людей между собой.

Внедрение лазерной химии откроет путь к получению материалов, неизвестных природе, к созданию веществ с заранее намеченными свойствами.

И всю эту россыпь возможностей породило одно открытие, один скромный прибор, — молекулярный генератор, рожденный одновременно и совершенно независимо в Москве в ФИАНе и в Колумбийском университете в Нью-Йорке. Потомки этого маленького прибора принесли не только огромные перемены в промышленность, науку и технику. Они

проиллюстрировали плодотворность научных исследований, возможность совершенно неожиданных открытий, таящихся в традиционных областях знания. Находки ученых пойдут на пользу следующим поколениям.

В этом смысле поучительна сама история создания молекулярных генераторов.

В нашей стране открытие Басова и Прохорова было воспринято как серьезное и требующее внимания и заботы. Молекулярный генератор сразу получил «зеленый свет» для дальнейшего совершенствования и внедрения.

В этом, конечно же, немалая заслуга прежде всего авторов открытия. Сами того не сознавая, они оказались двумя половинками одного мощного интеллекта, и их прорыв в неведомое был впечатляющим и весомым.

Солдаты Отечественной войны, возвращенные победой к любимой работе, они испытывали особый творческий подъем, жаждали созидать. Это придавало им сверхчеловеческую трудоспособность, стимулировало врожденную потребность в генерации идей. К тому же они были молоды и умели верить в чудо. Никакой боязни ошибки, только дерзкая вера в успех, в самих себя, в волшебство науки.

И главное, что способствовало успеху советских создателей квантовой электроники, — это поддержка их научной инициативы в Академии наук и в организациях, обеспечивающих развитие науки и техники, атмосфера здорового сотрудничества, царящая в среде наших ученых и инженеров, доброжелательность, объективность, понимание путей и перспектив научно-технического прогресса.

Совершенно о другом отношении к новому прогрессивному явлению красочно, но с чувством глубокой тревоги пишет один из создателей квантовой электроники Таунс: «Основа квантовой электроники — радиоспектроскопия — родилась в трех главных компаниях, разрабатывавших в США радары и другое военно-радиотехническое оборудование, и в Колумбийском университете, сотрудничавшем с ними. В промышленных лабораториях надеялись, что новая область физики даст значительные практические результаты. Американцы, практичный народ, охотно принимают то, что сулит быстрые прибыли. Я сам писал справку дирекции исследовательского отдела лаборатории «Белл Телефон» с целью убедить ее в пользе радиоспектроскопии. Однако спустя несколько лет промышленные лаборатории, первыми начавшие работу в этой области, прекратили ее, и исследования по радиоспектроскопии полностью сосредоточились в университетах. Там радиоспектроскопия привлекла значительное количество способных студентов и опытных профессоров, поскольку она открывала возможности для изучения поведения атомов и молекул».

До сих пор вызывает недоумение то обстоятельство, что большие промышленные лаборатории, интенсивно занимавшиеся проблемами электроники, не понимали в то время, что исследования по радиоспектроскопии газов имеют большое значение для их деятельности.

В компании «Дженерал Электрик» ученые, работавшие в этой области, были переключены дирекцией на другую работу, казавшуюся более перспективной в коммерческом отношении. Дирекция лаборатории «Белл Телефон» оказалась более осторожной и решила все же продолжать эти исследования. Однако, учитывая недостаточную ценность тематики для электроники и связи, продолжила ее разработку силами... одного научного сотрудника.

Положение не изменилось и после создания лазера. Даже в конце шестидесятых годов, когда Таунс вместе с Шавловым, работавшим в фирме «Белл Телефон», перенесли идею лазера в оптический диапазон, фирма отказалась запатентовать новый прибор.

Причина отказа была сформулирована таким образом: оптические волны никогда не были сколько-нибудь полезными для связи, и, следовательно, изобретение имеет слабое отношение к деятельности фирмы!

Так случилось, что пальма первенства в создании лазера досталась Т. Мейману, работавшему в другой американской компании, как видно более чутко улавливающей новые

веяния. Эта ситуация красноречиво подтвердила, что предвидение, своевременное признание нового — один из решающих моментов в развитии науки.

Таунс, размышляя о судьбе лазера и в связи с ней о судьбах всех новых идей, делает такой вывод: «Неожиданность в развитии техники является нашим неизменным спутником». И это-то затрудняет внедрение в жизнь всего нового. Расплывчатость в определении цели, которая часто сопутствует новым открытиям, затрудняет их признание, а следовательно, финансирование. То ли дадут новые идеи выход в практику, то ли нет...

«Представим себе, — предлагает Таунс, — положение человека, взявшегося тридцать лет назад планировать некоторые технические усовершенствования: более чувствительный усилитель, более точные часы, новый метод сверления, новый инструмент для глазной хирургии, более точное измерение расстояний, трехмерную фотографию и так далее. Хватило ли бы у этого планировщика дальновидности и смелости предложить широкое изучение взаимодействия волн диапазона сверхвысокой частоты с молекулами в качестве основы для разрешения любой из этих проблем?

Конечно же, нет! — отвечает себе Таунс — За более чувствительным усилителем он обратился бы к специалистам в этой области, которые, затратив значительные усилия, подняли бы чувствительность в два, но не в сто раз. Для изготовления более точных часов он, вероятно, нанял бы тех, кто имеет соответствующий опыт в вопросах хронометрии; для повышения интенсивности источников света он подобрал бы совершенно другую группу ученых или инженеров, которые едва ли могли бы надеяться на увеличение интенсивности в миллион и более раз, даваемое лазером. Чтобы повысить точность измерений или улучшить фотографию, он попытался бы усовершенствовать уже известные методы и, вполне возможно, добился бы некоторого улучшения, но не на порядок величины!»

И когда переворот во всех этих областях произвела одна-единственная наука — квантовая электроника, когда она предложила для решения всех этих проблем совершенно новые идеи, это было так неожиданно и неправдоподобно, что поддерживать, а тем более развивать их отказывались буквально все промышленные фирмы, которые предпочитают подсчитывать будущие прибыли и дивиденды, а не рисковать во имя прогресса науки.

Ясно, что недооценка потенциальных возможностей радиоспектроскопии — не случайная ошибка одной организации или отдельного лица, а довольно обычная реакция на новое, непривычное.

Сама эта ситуация — тоже вклад квантовой электроники в будущее. Предостережение, основанное на опыте становления новой науки. История создания лазеров и мазеров, их неудержимое проникновение в ту или иную область науки и техники, их спонтанное фонтанирование удивительными возможностями предостерегает нас и наших потомков от пренебрежения нежданнами открытиями, от категоричного и однозначного ответа на «проклятый» вопрос: можно ли планировать открытие, можно ли предсказать открытие, научить творчеству?

Может быть, напрямую все это и невозможно, но та подспудная напряженная работа мысли, которая происходит в творческих коллективах, работа, которой предшествует опыт учителей, опыт развития мысли, идеи, помогает оптимистично ответить на эти вопросы.

ЗВЁЗДНЫЕ ЛИВНИ

...Повесть о тайнах ещё не окончена. Мы даже не можем быть уверены в том, что она имеет окончательное завершение.

**А. Эйнштейн,
Л. Инфельд**

БЕЗЗВУЧНЫЕ ВЗРЫВЫ

Физики — это люди, которые слышат и видят то, что другим недоступно. Рёв пушек Первой мировой войны не помешал им услышать взрывы, происходящие в микромире. Нормальный полноценный атом — частица воздуха, или земли, или нашего тела — вдруг разбивается вдребезги... Непонятно по какой причине...

Начали распространяться слухи о каких-то таинственных лучах, о разрушенных атомах, якобы обнаруженных в воздухе. Это были удивительные находки. Среди полноценных атомов в воздухе попадались атомы с «ободранными» электронами!

Как обнажились атомы? Откуда в воздухе появились очаги электричества?

Тогда ещё было свежо впечатление от наделавших много шума невидимых лучей Беккереля, открытых в 1896 году. Чудесная и поучительная история этого открытия долго обсуждалась в кругах учёных.

Французский физик изучал люминесценцию ураниловых солей, которые ярко светились в темноте, если их до этого подержать на солнце. Беккерель предполагал, что солнце заставляет эти соли вместе с видимыми лучами испускать рентгеновские лучи. Ему удалось доказать на опыте, что ураниловые соли при этом засвечивают фотопластинки, защищённые непрозрачной чёрной бумагой. Это показалось Беккерелю важным открытием, и он 24 февраля 1886 года доложил о нём Парижской академии наук.

Чтобы уточнить природу вновь открытого явления, Беккерель подготовил к опыту новую партию фотопластинок и, завернув их в чёрную бумагу, положил на каждую по стеклянной пластинке, покрытой солью урана. Но природа воспротивилась намерениям учёного. Солнце скрылось, и надолго установилась пасмурная зимняя погода. Лишь в воскресенье 1 марта 1896 года выглянуло солнце.

Беккерель был опытным экспериментатором. Он не спешил. Прежде чем начать опыты, он проверил, не испортились ли фотопластинки за время долгого пребывания в столе.

Проявив некоторые из них, он с величайшим удивлением увидел, что они потемнели, хотя ураниловые соли не освещались солнцем и, следовательно, не могли люминесцировать.

Да, Беккерель был настоящим исследователем. Он не прошёл мимо странного случая, не отнёс его за счёт плохого качества фотопластинок. Учёный тщательно изучил все обстоятельства и установил, что урановая руда сама по себе испускает невидимые активные лучи, проникающие сквозь непрозрачные тела. Так сочетание случая, наблюдательности, логического мышления и экспериментального искусства привело к открытию радиоактивности.

Радиоактивность стала модой, ею пытались объяснить все непонятные явления. И когда учёные обнаружили постоянное присутствие в воздухе атомов, потерявших один или несколько электронов, в этом прежде всего обвинили радиоактивность. Тем более что небольшое количество радиоактивных веществ действительно обнаружили в почве, в воде, в воздухе.

Вот на эти-то естественные радиоактивные загрязнения и пало подозрение. Они-де испускают лучи, которые разрушают атомы воздуха и обрывают с них электроны, словно виноградины с кисти. Они и являются причиной того, что вместе с нейтральными атомами в воздухе встречаются отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные остатки разбитых атомов — ионы.

Вот почему воздух атмосферы слегка ионизирован, говорило большинство учёных мужей, многие из которых на месте Беккереля просто-напросто выбросили бы засвеченные фотопластинки в мусорный ящик.

Для них всё было ясно, никакой таинственности, ведь радиоактивность уже открыта, стоит ли этим заниматься...

И скептики с удивлением наблюдали, как немногочисленные энтузиасты оставляли свои обжитые тёплые кабинеты и отправлялись в самые немыслимые путешествия в разные места земного шара только ради того, чтобы выяснить причину заинтересовавшего их явления.

И что же? Эти чудаки возвращались торжествующими! Да, их подозрения относительно странной ионизации воздуха оказались не напрасными.

Выяснилось, что над пустынным океаном ионизация воздуха лишь немного меньше, чем над сушей, а на вершинах гор она заметно больше, чем на равнинах. Но теперь возникали новые вопросы. При чём здесь радиоактивность почвы и воды? Может быть, всё же виновата радиоактивность воздуха? Нет, измерения и расчёты неоспоримо показали, что она слишком мала и не может вызвать наблюдаемую ионизацию. Значит, твердили чудаки, нужно искать другую, неведомую ещё причину таинственного разрушения атомов воздуха.

И поиски продолжались. Но ещё долго все попытки обнаружить ионизирующий фактор или открыть механизм ионизации, действующий в горах сильнее, чем в низменностях, не приводили к успеху. Загадка казалась неразрешимой.

Вот тогда-то австрийский учёный Гесс высказал твёрдую уверенность в том, что причину ионизации атмосферы надо искать не на Земле. Причиной является излучение, приходящее из космоса. Он убедился в этом, поднимаясь со своими приборами на воздушных шарах. Чем выше он поднимался, тем большей становилась ионизация воздуха. 7 августа 1912 года он достиг высоты пять километров, где степень ионизации была уже в несколько раз выше, чем на поверхности земли. Что представляет собой излучение, вызывающее ионизацию, откуда оно исходит, из чего состоит, каков его характер, какие последствия, кроме ионизации воздуха, оно вызывает, на эти вопросы в то время (а это происходило во второе десятилетие XX века) ни Гесс, ни другие учёные ответа не находили. Да и как они могли бы ответить, если экспериментальная техника того времени была весьма несовершенной. Век электроники только начинался.

АЛЬПИНИСТЫ ПОНЕВОЛЕ

Первые опыты с неизвестным излучением Гесс и другие проводили при помощи очень примитивных приборов. В то время самым острым оружием для таких экспериментов была стеклянная, герметически закупоренная банка, в которой дышали два тоненьких, напоминающих крылья порхающей бабочки листочка фольги. Они были подвешены к металлическому стержню, проходящему сквозь пробку банки. Если банка попадала в очаг электричества, металлический стержень тотчас передавал заряд крылышкам. А те, как и положено одноимённо заряженным телам, отскакивали друг от друга. И тем сильнее, чем больше был их заряд. Так, по взмаху крылышек, учёные определяли, конечно очень приблизительно, степень ионизации среды, окружающей банку.

Захватив с собой столь несовершенных помощников, первые энтузиасты высотного излучения, как его тогда называли, пробирались поближе к вершинам гор, погружались в кристально чистые горные озёра или спускались под землю в глубокие шахты. Учёные ездили к студёному полярному морю и плавали вдоль экватора. Они даже поднимались на воздушных шарах, что требовало в то время немалого героизма, или, на худой конец, забирались на колокольню либо на пожарную каланчу. Короче говоря, они пробирались, вооружённые чуткими крылышками, туда, где, по их расчётам, не было естественных радиоактивных загрязнений, которые могли влиять на ионизацию воздуха.

Как почти в любой области знания, учёные прошли полосу ошибок и заблуждений. Удачи и ошибки вызывали всё больший интерес к новому явлению. И надо сказать, что удачи были очень скромны и малоэффектны, а потому вначале почти незаметны. Зато вокруг ошибок всегда клубились споры и дискуссии. Сколько шума, например, наделала гипотеза американца Милликена, которая затем оказалась ошибкой!

Начал Милликен с большой удачи: ему посчастливилось правильно определить мощность нового излучения, что было нелегко. Но когда он попытался понять природу явления, то поддался на приманку эффективной аналогии.

Милликен, по-своему оценив результаты опытов, пришёл к выводу, что космическое излучение подобно свету. Но отличается оно от света тем, что испускается не поверхностью

Солнца и звёзд, а рождается в их недрах. Он думал, что в недрах звёзд ядра атомов сжаты таким колоссальным давлением и накалены до столь чудовищной температуры, что полностью преобразуются в кванты мощного проникающего излучения, аналогичного гамма-лучам радия.

Но впоследствии оказалось, что Милликен не заметил в своей теории существенной ошибки. Если бы всё было так, как он предполагал, то ни Солнце, ни звёзды не могли бы существовать. Они были бы неустойчивы. Давление гипотетического излучения не могло бы быть уравновешено силами притяжения.

Со временем установили, что космические лучи вовсе не электромагнитное излучение и совсем не подобны ни свету, ни рентгеновским лучам или гамма-лучам. Этот вывод следовал из того, что интенсивность космических лучей зависела от географической широты места наблюдения. Этот «широтный эффект» можно было объяснить только влиянием магнитного поля Земли. Отсюда следовало, что космические лучи состоят из частиц, имеющих электрический заряд. Но тогда...

Началась и кончилась Первая мировая война. В России победно отгремела революция. А в области физики космических лучей всё по-прежнему было ново и неизведанно, все по-прежнему оставалось на грани догадки, смелой гипотезы. Недаром после первых шагов ещё лет десять длился спор о самом существовании космического излучения. В это время большинство учёных всего мира резко критиковало догадки Гесса или обходило их молчанием, предпочитая заниматься более насущными научными проблемами. Лишь немногие, самые упорные, старались разобраться.

Кого же из них назвать? Мысовский и Вериго в СССР, Гесс в Австрии, Кольхерстер и Регнер в Германии, да ещё несколько имён. Но уж они-то были полностью увлечены загадкой внеземного излучения. Лишь они угадывали за немногочисленными и малопонятными фактами возможность ответа на самые сокровенные загадки космоса. Им хотелось во что бы то ни стало ухватиться за неуловимую ниточку, чтобы распутать клубок космических проблем. Лишь через пятнадцать лет после открытия возрастающей с высотой ионизации было доказано внеземное происхождение космических лучей, а Нобелевская премия была присуждена Гессу только в 1936 году.

Но исследование высотного излучения было лишь, второстепенной задачей среди научных проблем первой четверти XX века. Начало столетия принесло физикам много блестящих побед. Одна за другой под напором человеческой мысли распахивались двери в неведомое, трещали и рушились стены прекрасного и, казалось, незыблемого здания классической физики... На научном небосводе вспыхнули имена Планка, Эйнштейна и других творцов современной физики, изменивших понятия человека об энергии, пространстве, времени и массе. Вместо прежних механистических взглядов на природу пришли новые глубокие идеи о прерывности электромагнитной энергии, о частицах света — фотонах, о взаимодействии вещества и энергии, о связи пространства и времени, о делимости атомов вещества на ещё более элементарные частицы... Ломались устоявшиеся представления, учёные привыкали смотреть на мир новыми глазами.

Естественно, что передовые идеи не могли не отразиться на зарождающейся области физики, не могли не скреститься под новым углом зрения, не могли не повлиять на подход к непонятному явлению и методы его анализа. Эти идеи принёс в новую область знаний молодой советский учёный, будущий академик и директор ФИАН Дмитрий Владимирович Скобельцын.

Скобельцын родился в семье профессора физики. Поэтому он вошёл в науку с запасом лучших традиций русских учёных. Он происходил из семьи, настроенной в политическом смысле революционно, поэтому не боялся и в исследованиях ломать устаревшие взгляды и допотопные методы.

Это, возможно, стало предпосылкой его замечательных достижений в зарождающейся науке о космических лучах.

ТУМАННЫЕ МИРАЖИ

Тридцатичетырёхлетний Скобельцын не избег увлечения модными в то время работами знаменитого учёного Комптона, который изучал взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. И действительно, опыты Комптона были так заманчивы, что не могли не привлечь самого острого внимания, не могли не будить воображение настоящего учёного.

Американский физик, изучая взаимодействие рентгеновских лучей с веществом, получил возможность воочию убедиться в характере отношений, царящих в микромире.

Вот фотон рентгеновских лучей подобно невидимому бильярдному шару со скоростью света налетает на электрон — второй шар — и приводит его в движение. Ударив, фотон отдаёт электрону часть своей энергии.

Но сколько фотон отдаёт и сколько оставляет себе? Было ясно, что величина переданной энергии зависит и от первоначальной энергии рентгеновского фотона, и от направления, в котором полетит электрон.

Но Компону никак не удавалось точно измерить энергию, получаемую электроном в отдельном акте взаимодействия. Ни он, ни другие учёные, бившиеся над этой задачей, не могли надёжно оценить такую малую порцию энергии. Эту цель и поставил перед собой Скобельцын, решивший во что бы то ни стало проверить теорию Комптона прямым экспериментом.

Он хотел измерить энергию отдельных фотонов и надёжно подтвердить предположение о прерывистой природе электромагнитной энергии, выдвинутое Эйнштейном. Кроме того, электроны невидимы, а учёному хотелось увидеть весь акт собственными глазами. Но как это сделать?

Скобельцын решил воспользоваться для этого одним остроумным прибором. Прибором, который умел невидимое сделать видимым. Принцип его работы звучит как парадокс: в приборе образуется туман, помогающий видеть. В современном исполнении вместе с системой автоматического управления камера Вильсона (так называют прибор по фамилии его изобретателя) напоминает заряженное ружье, готовое выстрелить при нажатии курка. Курком служит невидимая частица, несущая на себе электрический заряд. Это ружьё взводят, создавая в нём пониженное давление.

Попав в камеру Вильсона, наполненную разреженной смесью аргона с парами воды и спирта, частица разбивает на своём пути встречные молекулы, образуя ионы. И те невидимой цепочкой выстраиваются вдоль пути частицы. На этих ионах осаждаются капельки воды, прочерчивая в камере чёткий след движущейся невидимой частицы.

Так Дмитрий Владимирович решил первую часть задачи: увидел след электрона. Но сказать что-либо о взаимодействии электрона с электромагнитным полем учёный по-прежнему не мог.

Перебирая множество способов измерить силу взаимодействия таких невидимых глазу объектов, как электрон и отдельный фотон, Скобельцын, возможно, вспомнил увлекательную игру, называемую китайским бильярдом.

В наклонной доске сделаны лунки. Играющий, толкая шарик, лежащий в гнезде в нижней части доски, должен загнать его в лунку. Шарик, двигаясь по доске, описывают кривые линии. Чем медленнее начинает своё движение шарик, тем больше искривлён его путь. Если толкнуть шарик сильно, то есть сообщить ему большую начальную энергию, он покатится по более пологой кривой. Сила, искривляющая путь шарика, — это сила притяжения. Если доска китайского бильярда лежит горизонтально, то играть невозможно. Шарик будет двигаться по прямым линиям, как в обычном бильярде, и в лунки не попадут.

Но если шарик сделать из железа, а вблизи доски поместить сильный магнит, игра вновь приобретает смысл. Теперь магнитное поле, заменив поле тяжести, будет искривлять пути шариков.

Очень похожий по смыслу опыт и был задуман Скобельцыным. Он решил поместить в магнитное поле... камеру Вильсона. Вместо шариков использовать электроны, а роль

толкачей поручить фотонам гамма-лучей радия.

Так он и поступил. Взял большой и сильный магнит, поместил между его полюсами камеру Вильсона и пропустил через неё гамма-лучи радия. Лучи, встречая на своём пути атомы вещества, заполняющего прибор, выбивали из них электроны. Чем большую энергию несли с собой лучи, тем большую скорость движения приобретали электроны, тем меньше искривлялся их путь под влиянием магнитного поля.

Теперь учёный получил возможность по характеру искривления путей электронов, следы которых появлялись в приборе, и по углам их вылета из атомов судить не только об энергии электронов, но и об энергии исследуемых лучей.

Это был остроумный и точный способ измерения энергии не только электронов, но любых заряженных микрочастиц. Весть о нём быстро облетела научный мир.

Комптон направил молодому советскому учёному письмо, в котором поздравил его с изобретением нового метода и с важными для науки результатами опыта.

Новый метод широко вошёл в практику физических лабораторий. Он дал в руки учёных способ, которым по кривизне следа электрона или другой заряженной частицы можно определить не только знак заряда, но и энергию частицы. То есть можно опознать её!

Применение магнитного поля для исследования микрочастиц с тех пор стало основным в арсенале физиков. В магнитные поля помещают фотопластинки, огромные пузырьковые камеры и другие устройства, предназначенные для изучения микромира.

Впоследствии метод Скобельцына помог учёным познакомиться с целой плеядой микрочастиц. Но это пришло позже. Когда же Скобельцын впервые применил свой метод, это прежде всего помогло совершить перелом в науке о космических лучах...

...Ничто не предвещало сенсации. Шли будничные опыты. Проводя очередной опыт при помощи камеры Вильсона, Скобельцын разглядел частицу, которая летела в сотни тысяч раз быстрее, чем пуля или снаряд! Дмитрий Владимирович обнаружил след заряженной частицы, путь которой вопреки обыкновению не искривлялся магнитным полем, созданным в камере.

«Ого! — подумал учёный. — Так может вести себя только частица с очень большой энергией. Даже магнитное поле не может заметно искривить её путь! Откуда же она могла взяться?..»

Измерения показали, что ни один из известных земных радиоактивных источников не мог испустить частицу со столь высокой энергией.

Скобельцын пришёл к выводу, что наблюдаемое им явление не земного происхождения. Следы вели в космос.

Постепенно Скобельцын и учёные, продолжавшие изучать причину ионизации атмосферного воздуха, поняли, что наблюдаемые ими явления тождественны, что предполагаемые космические лучи не электромагнитное излучение неизвестного типа, но поток заряженных частиц. Так теперь их и называют: частицами космических лучей, или просто космическими частицами.

С того памятного дня, когда первая частица залетела в прибор Скобельцына, учёный перенёс свою работу в область физики космических частиц и увлёк за собой своих учеников.

Так было посеяно зерно, выросшее со временем в ветвистое дерево новой области физики.

Началось систематическое изучение космических частиц.

ДВЕ ЗВЕЗДЫ ЯНОШИ

Земной шар велик, и часто люди, увлечённые одним и тем же делом, ничего не знают друг о друге. В нашем рассказе наступил момент, когда необходимо вспомнить о замечательном учёном, любовью которого в науке тоже были космические частицы. По происхождению он венгр. Имя его Лайош Яноши. Знавшие его помнят сказанные им мудрые слова: «Чтобы творить современную науку, надо общаться, спорить, критиковать друг друга,

помогать друг другу...»

...Перед поездкой в Венгрию друзья предупреждали меня: не увлекайся кофе! Венгерский кофе так крепок, что после маленькой чашечки хочется рубиться на саблях.

Увы, даже две чашки в привокзальном буфете Будапешта не повысили мое настроение.

Спутники по вагону разошлись, а я ещё долго стояла на гудящем от ветра и неприятном в вечерних сумерках перроне в чужом городе, в чужой стране — и никто не спешил мне навстречу.

Где-то что-то не сработало. И тот, кому было поручено меня встретить, не пришёл.

Оставался выход, который я считала запасным. За какой-нибудь час до отъезда из Москвы знакомый дал мне телефон будапештского друга: «Позвоните, если будет время... Петер Варга отлично знает венгерское искусство, любит картины. Милый, тёплый человек. Кстати, он неплохо говорит по-русски».

Случайный разговор... Однако теперь Варга — единственная моя опора в чужом городе, единственный человек, который может мне сейчас помочь!

Петер Варга оказался не только милым человеком. Крупный физик, сотрудник головного института физики Венгерской академии наук, он помог мне осуществить цель моей командировки, познакомил с венгерской наукой, венгерскими учёными. И прежде всего со своим учителем, замечательным учёным, академиком Яноши.

Он же, Варга, помог мне спустя несколько лет, уже после смерти академика Яноши, познакомиться в том же институте с продолжением работ Яноши, с экспериментом, о котором тот мечтал всю жизнь. Было это уже в октябре 1988 года.

А сейчас я расскажу об академике Яноши и о его идеях, Окажись журналист, интересующийся наукой, в Англии, он будет мечтать о встрече с Полем Дираком. Во Франции — с Луи де Бройлем. В Японии — с Хидэки Юкавой. В каждой стране есть свой кумир.

В Венгрии — это Лайош Яноши.

Разумеется, это не означает, что другие учёные хуже.

В Венгрии много талантливых учёных. И Яноши выделяется не тем, что он самый главный, и не тем, что ученикам случалось видеть его в двух галстуках и непарных ботинках. Это бывало со многими... но не каждый мог создать собственную трактовку теории относительности и внести заметный и совершенно оригинальный вклад в любую из проблем, которой ему пришлось заниматься.

Яноши родился в 1912 году. Его детство совпало с Первой мировой войной. Военная сумятица, победоносные речи, культ военщины... Кто знает, как сложилась бы его судьба, родись он в семье военного. Но Лайош родился в семье учёного, а учёные в то время были оглушены событиями, происходящими не по вине враждующих армий. Если бомбы и снаряды сметали с лица Земли жилища и заводы, деревни и города, то статьи в научных журналах рушили мир, созданный наукой, трудами и воображением исследователей, мир, на протяжении веков считавшийся устойчивым и непоколебимым. Под грохот Первой мировой войны неслышно и незаметно для миллионов людей рушился Ньютонов мир! И повинен в этом был единственный человек, робкий, застенчивый, ещё очень молодой Альберт Эйнштейн. Первым залпом по мирозданию, которое век за веком, кирпич за кирпичом возводили поколения физиков, была небольшая статья в научном журнале, в которой, сам того не ведая, Эйнштейн ввёл в физику одно из главных понятий диалектического материализма об относительности таких основных свойств природы, как пространство, время, масса и энергия. Как могло это не стать сенсацией, если именно на представлении об их абсолютности покоилась вся наука от древнейших времён до опубликования Эйнштейном Специальной теории относительности в 1905 году и Общей — в 1916-м.

Учёные задыхались от неожиданности и изумления — физика перевернулась с головы на ноги!

Яноши рос не просто в семье учёного, но в семье астронома, а на плечи астрономов легла ещё большая, чем на плечи физиков, ответственность за содеянное Эйнштейном. Ведь

Эйнштейн в результате многолетних усилий построил, а в 1917 году опубликовал новую модель Вселенной, и она начисто зачёркивала все другие, с таким тщанием созданные поколениями астрономов!

К XX веку все уже привыкли к мысли, что Вселенная безгранична, что она содержит бесчисленное множество миров, подобных солнечному, и что мировое пространство обладает свойствами, объяснимыми геометрией Евклида. Как удобно было считать луч света синонимом и символом прямой линии и представлять себе, что свет от звёзд расходится во все стороны по прямым, как стрела, направлениям! Такую модель Вселенной современный человек пояснил бы так: если космический корабль отправится в путь по прямой линии, он никогда не достигнет границы мира... Впрочем, ещё древние греки придерживались этой же точки зрения, но выражали её на языке понятий своего времени: если воин будет на бегу бросать копье всё дальше и дальше, он никогда не остановится, так как у него всегда будет возможность сделать ещё шаг и ещё раз метнуть копье... Во многих научных книгах и в наши дни можно увидеть фигуру воина с копьём — неожиданный символ познания.

Астрономы, которым выпала доля первым познакомиться с моделью Вселенной Эйнштейна, в беспомощном гневе увидели, что лучи света в его космосе уже не являются прямыми линиями. Они изгибаются, забыв об Евклиде, а копье (если бы воин-гигант смог бросить его со сверхисполинской силой), описав плавную линию по искривлённой эйнштейновской Вселенной, возвращается к воину, чтобы поразить его самого.

Правда, Эйнштейн вскоре отказался от своей модели, но на основании его теории относительности были созданы многие другие. Советский математик и метеоролог Фридман, бельгийский аббат Леметр, английский астроном Эддингтон строили, рисовали, рассчитывали, лепили новый мир — воображение было разбужено, оно искало выхода.

В среде учёных бушевали страсти, составлялись планы ниспровержения Эйнштейна, у него появились яростные враги и пламенные почитатели. Но споры не разрешили сомнений. Теорию Эйнштейна можно было подтвердить или опровергнуть только одним-единственным образом — экспериментом. Первыми за дело принялись астрономы. Раз Эйнштейн утверждает, что луч света вблизи больших масс искривляется, — это надо увидеть!

Случай сам шёл в руки. Приближалось солнечное затмение. И уравнения Эйнштейна подсказали эксперимент, который должен был раз и навсегда решить, чего стоит Эйнштейн. План был прост. Когда диск Луны закроет Солнце и потушит его блеск, станут видимыми звёздочки, оказавшиеся в этот момент вблизи Солнца. Их расположение на небе было специально измерено за полгода до затмения, когда Солнце было ещё далеко от них и не могло искривить идущие от них световые лучи. Впрочем, это была излишняя добросовестность — положение звёзд на небосводе давно занесёно со скрупулёзной точностью в астрономические каталоги. И если лучи света от звёзд действительно искривляются массой Солнца, то их координаты, измеренные во время затмения, будут другими, чем зафиксированные в каталогах.

Астрономы заранее подсчитали, какие результаты будут в случае, если прав Эйнштейн, и в том случае, если он ошибается.

Экспедиция была дальней. О ней много говорили, к ней долго готовились. Возглавлял её один из восторженных почитателей Эйнштейна — Эддингтон. Он так волновался, что его коллеги сочинили анекдот. Один участник экспедиции якобы спрашивает другого:

«А что, если мы получим отклонение лучей света звёзд другое, чем предсказывает Эйнштейн?»

«Не дай бог, — отвечает тот, — Эддингтон сойдёт с ума!»

Маленькому Лайошу Яноши, сыну венгерского астронома, было семь лет, когда происходили эти удивительные события. Его воображение было взбудоражено. Его нельзя было уложить в постель, когда отец и его гости говорили о том, что было романтичнее и увлекательнее, чем любые приключения в самой волшебной сказке.

Это один из примеров влияния на творческую жизнь человека впечатлений детства. Бывает, что толчком, дающим ход воображению, мысли, вовсе не обязательно являются

столь оглушительные события. Иначе как объяснить, что другой мальчик, родившийся на столетие раньше (мальчик, ставший писателем), Эдгар По, тоже «болел» космосом? Болел без видимых оснований (тогда не было никакой острой «космической инфекции») и даже создал впоследствии теорию осциллирующей Вселенной, правда сбивчивую, но страстно изложенную в странной космологической работе под названием «Эврика».

Судьбу Эйнштейна, по его собственным словам, тоже определили два «чуда» детства: компас и евклидова геометрия, которую он прочитал в двенадцать лет...

— И мой путь был определён в детстве, — рассказывал мне академик Яноши при знакомстве. — Тогда в науку шли только по призванию. Профессия физика была тяжёлой. Правительства не очень жаловали науку. Но я рос в атмосфере постоянных размышлений о сути природы, о смысле жизни, о роли человека и учёного в обществе. И другого пути, чем в науку, выбрать не мог.

Теория относительности была первой путеводной звездой, которая повела маленького Лайоша по жизни. Можно сказать, что он воспринял новый взгляд на мир на пороге детской. Это было важное преимущество, доставшееся ему само собой, преимущество перед предшествующим поколением физиков, которым приходилось с большим трудом преодолевать традиционный подход к явлениям природы, воспитанный в них доэйнштейновской школой. И если вспомнить, что даже в 1935 году профессор Чикагского университета, известный физик Макмиллан, говорил на лекциях своим студентам, что теория относительности — печальное недоразумение, то уже без удивления воспринимаешь тот факт, что один из современников Эйнштейна насчитал лишь двенадцать человек, по-настоящему понимавших его теорию.

В 1965 году, когда Яноши уже опубликовал свой вариант теории относительности, физик Гарднер писал об эйнштейновской: «Его теория так революционна, так противоречит «здравому смыслу», что даже сегодня имеются тысячи учёных, в том числе и физиков, для которых понимание её основных положений сопряжено с такими же трудностями, с какими сталкивается ребёнок, пытаясь понять, почему люди в Южном полушарии не падают с Земли».

Разобраться в теории относительности, развить её, преодолеть трудности, с которыми последние тридцать лет жизни сражался сам Эйнштейн, пытаясь разрешить главные противоречия в проблемах мироздания, могло лишь молодое поколение физиков. Поколение, к которому и принадлежал Яноши.

Когда он впервые столкнулся с новыми веяниями в физике, с новыми взглядами на окружающий мир, ему не нужно было вытеснять ими какие-то другие, уже ставшие для него органичными представления. Он не должен был переучиваться, насиловать себя, настраиваться на чуждые ему идеи. Свежие взгляды на мир Яноши принял как естественное положение вещей. Ему ничто не мешало почувствовать себя дома в мире относительности — странном для поколения его отца.

Но для того чтобы Яноши мог представить на суд своих современников труд под многозначительным названием «Теория относительности, основанная на физической реальности», должно было пройти немало лет. Прежде чем стать одним из самых авторитетных учёных наших дней, ему предстояло учиться — и он отправился в Германию, где Гитлер ещё не произвёл трагическую ревизию немецкой науки и в немецких университетах можно было слушать лекции таких замечательных учёных, как Шрёдингер, Блеккет, Кольхерстер; Яноши предстояло стать начинающим физиком — и он стал ассистентом Кольхерстера.

И тут для него взошла вторая путеводная звезда.

Родилась физика космических лучей. Она увлекла многих учёных — не только тем, что могла помочь изучить космос, макромир. Главное, она открывала дорогу в микрокосмос, в царство атома, населённое ещё не ведомыми людям планетами — элементарными частицами. Как мы знаем, огромный вклад в эту область физики внёс русский физик, молодой тогда Дмитрий Скобельцын, основоположник советской школы космиков. Он

проводил виртуозные эксперименты в камере Вильсона, он первым наблюдал пролёт через камеру космической частицы, он предложил и методику наблюдений. Повторяя его эксперимент, учёные всего мира учились работать с космическими частицами.

Космическая частица раскалывала атом, как щипцы орех; оставалось посмотреть, из чего состоит этот орешек. Никаким другим способом в те времена расколоть ядро атома не представлялось возможным. На Земле не умели получать снаряды такой мощности, как космическая частица. Даже речи не возникало о строительстве ускорителей. И никаких элементарных частиц, кроме электрона и протона, учёные не знали. Космическая частица могла стать первым проводником в микромир.

По этой дороге и пошёл Лайош Яноши после окончания университета. Его захватили трудности, которые возникли с первых же шагов этой увлекательнейшей области физики. Все понимали, что цель исследований — наблюдение и изучение взрыва от встречи космической и земной частиц материи. Но никто не знал, где произойдёт этот взрыв! Напрашивались три линии поведения: исследователю предоставлялась возможность либо гоняться за своеобразной «бабочкой» с сачком по всему земному шару. Либо сидеть и ждать, когда она пролетит под носом у исследователя. Либо — это и захватило Яноши — надо было организовать нужный эксперимент самому, поймать космическую частицу в нужном месте и в нужный момент, заставить её полностью проявить себя. В общем, надо было придумать, как разыграть «спектакль» по заранее намеченной программе.

Постепенно становилось ясно, что уникальный пролёт через прибор космической частицы можно перевести в разряд более простых: ловить не первичную космическую частицу, а тот ливень частиц, который она вызывает в атмосфере. Физики начали придумывать для этого самые различные способы, строили сложные приборы, целые системы счётчиков, часто разнесённых на огромные расстояния друг от друга, снова отправлялись в дальние путешествия и даже поднимались на воздушных шарах.

Яноши, ставший ассистентом Кольхерстера, начинает работать над созданием особых систем счётчиков космических частиц со свинцовыми фильтрами. Изменяя толщину этих фильтров, ему удаётся проследить цепную реакцию рождения элементарных частиц во всей её полноте. Яноши многое прояснил в процессе распада атомного ядра, определил мощность исходного излучения, законы распространения космических ливней. Он становится одним из ведущих учёных в области физики космических лучей. Его эксперименты создают ему репутацию виртуоза сложных физических измерений. Его называют критиком эксперимента. Когда наблюдения не поддаются однозначному толкованию, к нему идут за диагнозом. Он готовит две книги по теории и практике работы с космическими частицами, книги, которые станут настольными для всех изучающих эту область. Их особая ценность — в тесном слиянии искусного эксперимента и глубокой теории. Они демонстрируют, что в такой области исследований, как физика космических лучей, мало быть опытным, находчивым, изобретательным экспериментатором. Надо уметь подтвердить увиденное расчётом, то есть овладеть самым современным математическим аппаратом. И чтобы разобраться в законах микромира, нужно безупречно пользоваться методами теории относительности Эйнштейна.

Так слились воедино два потрясения юности — впечатление от парадоксальности теории относительности и мечта раскрыть тайну космического излучения. Слились, переплелись, стали основой научной деятельности Яноши.

К пятидесятым годам Яноши, ставший уже профессором в знаменитом Дублинском университете в Ирландии, приобрёл международный авторитет.

СИНУС ЕСТЬ СИНУС?

И тут его налаженная, устроенная жизнь резко меняется. Он уезжает в разорённую, опустошённую долгой фашистской диктатурой страну, родную Венгрию. Уезжает на пустое место. Уезжает начинать всё сизнова.

Бросить кафедру в солидном университете? Начинать всё сначала на пороге зрелости?

Как может позволить себе это солидный человек, обременённый семьёй? Мало кто из коллег понимал поступок венгерского учёного. Но Яноши возвратился на родину. Он не мог не откликнуться на зов народного правительства Венгрии, призвавшего находящихся в эмиграции учёных помочь возродить национальную науку.

На родине Яноши обрёл зрелость, его индивидуальность окрепла. Он смог приступить к осуществлению главного дела жизни — к созданию своей концепции строения мира. Эта работа требовала особого мужества. Она была необычной не только из-за сложности самой проблемы, но из-за атмосферы, которая её окружала.

Яноши разбирает те же вопросы, которым посвящена теория относительности Эйнштейна. Вокруг многих великих творений человеческого духа часто возникают как бы две противоборствующие стихии. Одни стараются сохранить эти творения в неприкосновенности, в первозданном виде, другие рассматривают их как трамплин для нового скачка.

То же произошло и всё ещё происходит с теорией относительности.

Если вначале многим она казалась бредом, а наиболее непримиримые даже требовали «отменить» Эйнштейна, то после её признания произошёл крен в другую сторону: к каждому её положению стали относиться как к святыне — с благоговением, боясь что-то изменить или нарушить. И действительно, после создания теории относительности в неё не были внесены какие-либо существенные изменения. И хотя появились новые экспериментальные данные, новое отношение к некоторым проблемам, новые космологические модели, каждого, кто пытался что-то додумать по-своему или изменить в теории относительности, считали чуть ли не еретиком.

Многие и меня считают еретиком, — говорит без улыбки Яноши, — но это результат неполной информации о моих научных взглядах. Ничего еретического я не утверждаю. Просто некоторые воображают, что мир ведёт себя так, как вытекает из придуманных людьми законов. В действительности ему дела нет до наших фантазий! Верны лишь те законы, которые подтверждаются реальностью. Как это проверить? Надо контролировать теорию экспериментом. Без этого физика — сплошной идеализм. Ничего в наших трактовках окружающего мира не должно опираться на домыслы — только на опыт. Пример — теория относительности Эйнштейна. Она родилась из фактов. А потом начались кривотолки, словесный туман. Мы, его последователи, далеко не единодушны в своём понимании структуры мира...

Посмотрите первые два тома собрания сочинений Эйнштейна, изданных в Советском Союзе. К слову сказать, прерывает свою мысль Яноши, — столь полно труды Эйнштейна изданы только в вашей стране. Так вот, — продолжает он, — Эйнштейн, физик уникальной прозорливости, создал не догмы, а лишь формализмы, которые должны сочетаться с экспериментом. Но он не боялся фантазировать о вещах, ещё не обнаруженных опытом. Он и после создания Общей теории относительности не боялся говорить об эфире как о носителе всех событий в мире. Да, эфир никогда никем не был обнаружен. Да, эфир много раз отменялся, и его не называют иначе как пресловутый. Но многие учёные использовали его в своих моделях мира как строительный материал, как «известь», что ли. Даже обойдясь в теории относительности без эфира, Эйнштейн не исключал его окончательно из картины мира. Это помогало ему проводить качественный и количественный анализ событий. Конечно же, он жаждал ясности, определённости, истинного эксперимента и шёл на умозрительные предположения только из-за бессилия современного эксперимента. А его учёние возвели в догму, которую якобы нельзя развивать. Это ошибка!

Теория относительности Эйнштейна, этот удивительный продукт человеческого разума, неиссякаемый источник творчества!

— Вы думаете, она будет развиваться? — спрашиваю я.

— Не может не развиваться, — сердится Яноши. — Во-первых, потому, что не все явления, обнаруженные возросшей мощью экспериментальной науки наших дней, объясняются с её помощью, а более зрелой космологической теории всё ещё нет. Во-вторых,

ни теперь, ни тем более при её возникновении не было и нет единого толкования многих её положений. Вокруг них всё ещё клубятся яростные споры. И в-третьих, в ней потенциально заложено больше возможностей, чем мог предположить и использовать сам автор...

У Яноши своя точка зрения на окружающий мир. От него можно услышать не о кажущемся, а о действительном изменении масштаба времени, об абсолютном пространстве и мировом эфире, заполняющем Вселенную... Одно в науке ещё не утвердилось, другое, казалось бы, давно из неё ушло.

Если нечто подобное выскажет на экзамене студент — двойка ему обеспечена. Но когда об этом говорил физик масштаба Яноши — в яростный спор вовлекались самые серьёзные умы современности: Тамм, Скобельцын, Блохинцев и многие-многие другие.

Яноши высказывал мысль о возможности реального существования эфира, что не противоречит математическому аппарату теории Эйнштейна, в которой тот ещё в 1924 году анализировал проблему эфира. Яноши верил, что электромагнитные явления и другие процессы, распространяющиеся в вакууме, обладают носителем, который может быть назван эфиром.

Впрочем, прочитав указанные Яноши статьи Эйнштейна о проблеме эфира, а также эйнштейновские статьи 1930 года и другие его работы, легко убедиться в том, что Эйнштейн недвусмысленно объясняет, как само пространство (пустое пространство, а не какая-то «среда») приняло на себя все функции эфира. Яноши с этим не согласен. Ему кажется, что он идёт дальше Эйнштейна. Большинство физиков считает, что он идёт назад.

Почти за тридцать лет, прошедших после опубликования статьи Яноши и замечаний Тамма, теперь накопилось множество опытных подтверждений верности предсказаний теории относительности. И не было ни одного случая, опровергающего её выводы. Вспомним открытие реликтового излучения, сохранившегося почти с эпохи Большого взрыва. Существование во Вселенной этого излучения было предсказано на основе теории относительности за пятнадцать лет до его обнаружения. Вспомним о чёрных дырах и других удивительных явлениях, понять которые без теории относительности невозможно, хотя и можно придумать различные специальные гипотезы, чтобы объяснить их без этой теории.

Не литератору решать, кто прав в этом научном споре, да и специалисту нелегко разобраться во всех его тонкостях — всё балансирует на нюансах, оттенках, акцентах. Несомненно одно — для развития науки необходимы люди неординарного склада мышления, учёные, в которых природа заронила дар особого видения. Такие всегда оставляют заметный след в истории. Если не открытиями, то ошибками. Их дерзость будоражит воображение, воспитывает в молодых умах способность анализировать, критиковать, искать...

Яноши был погружён в глубокие и всё ещё таинственные дебри науки о природе. Круг тем не новый — над ними ломало головы не одно поколение учёных: что такое время, пространство, какие субстанции ответственны за передачу сил тяготения от одного небесного тела к другому? Старые определения — «абсолютное пространство», «эфир»... Как часто после Ньютона эти понятия претерпевали изменения, их отбрасывали, снова возвращались к ним, возвращались, делая виток по спирали познания — всегда чуть выше, чуть ближе к истине. Но эти вопросы по-прежнему оставались «проклятыми» вопросами, вечными вопросами.

Ньютон сделал великое дело: нашёл количественную меру влияния одних небесных тел на другие — вывел закон тяготения.

Но как, с помощью каких процессов осуществляется передача сил тяготения на колоссальные, космические расстояния? Перед этим Ньютон отступил.

В обиход науки вошло одно из самых загадочных понятий — эфир, который якобы передаёт силы притяжения одного небесного тела к другому, особая материя с противоречивыми свойствами. Разные умы придали эфиру различные оттенки. Он по желанию учёных менял свой облик, словно глина в руках скульптора.

Бессилие перед тайной тяготения сломало могучий разум Ньютона. От кредо «гипотез

я не измышляю» он ушёл в теологию, на старости лет уверовал в Бога.

Сколько усилий, сколько интеллектуальной энергии было отдано разгадке тайны тяготения! Лишь Эйнштейну удалось создать наиболее полную картину строения мира.

Но последние десятилетия жизни Эйнштейн тщетно пытался совладать с силами, властвующими над Вселенной, объединить их в единую теорию. «Тогда, — писал он, — была бы достойно завершена эпоха теоретической физики...»

Ему не удалось осуществить эту задачу. Решить этот вечный вопрос.

Не это ли породило скептицизм Яноши в отношении теории относительности? Да и не его одного. Наверно, споры вокруг некоторых положений теории относительности не стихнут никогда. Яноши прав: как и другие великие творения человеческого духа, она является неиссякаемым источником вдохновения и творчества. Каждое поколение будет познавать с её помощью новые грани окружающей нас действительности, как будет находить новые оттенки мыслей и чувств в творениях Гомера, Шекспира, Бетховена, Пушкина.

Возможности теории относительности не исчерпали ни сам Эйнштейн, ни его последователи и оппоненты. Её «читают» и будут «перечитывать» поколения физиков, изумляясь неисчерпаемости её смысла и прозорливости автора. Он определил закономерность развития мира, уловил гармонию Вселенной и выразил эту гармонию с помощью математических символов подобно тому, как композитор передаёт гармонию звуков с помощью нотных знаков. Как всякое музыкальное произведение, она таит в себе возможности интерпретации. С одной стороны, символы — и математические и музыкальные — однозначны: «до» есть «до», а «синус» есть «синус». С другой стороны, в их переплетении большой музыкант, как и большой учёный, всегда обнаружит новые оттенки, которых не замечал до него никто. И дело даже не в безграничности процесса интерпретации.

Произведения научного творчества — теории мира, модели мира — развиваются вместе с наукой. А наука не стоит на месте. Не завершено и не может быть полностью закончено развитие науки, и в том числе изучение окружающего нас физического мира. Поэтому и теория относительности — не застывшая в своей неподвижности груда формул, она не только глубокий источник, обещающий ещё множество непредвиденных следствий, вариантов интерпретаций, но и живое древо познания, на котором ещё будет немало плодов.

Беседуя с академиком Яноши, одним из самых незаурядных естествоиспытателей и философов, я ещё и ещё раз убеждалась, что теория относительности Эйнштейна обладает магической силой притяжения. И действительно, целый ряд космологических, физических работ, появившихся в последние десятилетия, подтверждает, что система, построенная Эйнштейном, является источником всё новых и новых размышлений, отправной точкой для создания новых теорий, расширяющих и дополняющих теорию относительности, раздвигающих рамки её применения.

Жизнь мчится вперёд. Возможности экспериментальной науки растут. Человек сталкивается со всё более неожиданными проявлениями жизни Вселенной, где происходят невероятные катастрофы, взрывы звёзд и целых галактик, где существуют непонятные квазары, где фантастические чёрные дыры высасывают из Вселенной массу и энергию. Все эти проблемы не только обсуждаются на симпозиумах, в научной печати, но и через прессу, телевидение, радио, захватывают рядового человека.

В какие потусторонние миры перекачивается вещество из нашего мира? Какова природа колоссально щедрых источников, которые необъяснимо мощно исторгают в просторы космоса такие количества вещества и энергии, словно взорвались миллиарды солнц? И читатель вовлечён в обсуждение нерешённых проблем, он задумывается над тем, кто возьмёт на себя дерзость ответить на эти вопросы? И он понимает, что теория отстаёт от эксперимента, требует омоложения...

Новые открытия в традиционной физике... новые наблюдения в астрофизике... необъяснимые ситуации в физике элементарных частиц... Ответят ли новые теории на вновь

возникшие вопросы? Создаются ли они уже? Кто их авторы? В круг этих проблем вовлечены не только профессионалы, но и молодые и немолодые читатели научно-популярных книг и журналов. Это — одна из новых примет нашего времени. Это — дыхание ветра научно-технической революции, формирующего интеллектуальную погоду на нашей планете.

...Сегодняшняя физика набухает новыми моделями мира, свежими идеями, переоценкой старых истин. Поток докладов, статей, книг по вопросам, затронутым теорией относительности Эйнштейна, растёт и ширится. Современная научная литература по мирозданию — настоящее интеллектуальное пиршество. Но даже на нём среди удивительных и сенсационных научных «блюд» объёмистый труд под лаконично-привычным названием «Теория относительности, основанная на физической реальности» — незаурядное явление, которое привлекло внимание самых авторитетных учёных современности. Они не могли не задуматься о том, что же нового привнёс его автор, венгерский мыслитель, в науку грядущего?

— Каков ваш критерий истины? — спросила я академика Яноши.

— Чтобы найти общий язык в такой сложной области, как философия, надо спорить, доказывать, критиковать, — ответил он. — Ведь только в споре рождается истина, в столкновении мнений, в столкновении теории и эксперимента, в проверке одного другим...

Последний разговор с Яноши состоялся незадолго до его кончины. Тогда он сказал мне:

— Я с нетерпением жду, когда книга о теории относительности, главный мой труд, отнявший у меня десять лет жизни, будет переведена на русский язык. Мне очень важно знать мнение советских коллег, серьёзных оппонентов, о моей системе мира. Я рад, что в СССР хорошо приняты мои прежние книги: «Космические лучи» и «Теория и практика обработки результатов измерений». Каждая из них тоже явилась итогом десятилетней работы. Но последняя книга — моя лебединая песнь. И её мне особенно хотелось обсудить с советскими физиками, которых я уважаю и мнением которых дорожу. Ведь советская школа физиков — одна из сильнейших в мире.

...Среднего роста, с усталым бледным лицом человека, мало бывающего на свежем воздухе, Яноши был, пожалуй, незаметен в толпе. Незаметен до тех пор, пока вы не обращали внимание на его глаза. Они смотрели за пределы близко лежащих вещей. Помню, я подумала, когда впервые познакомилась с ним: может быть, он разглядит, куда попадёт копьё греческого воина, брошенное в космос с исполинской силой? Решит проблемы, поставленные ещё древними греками и не решённые до сих пор?

Ему не суждено было сделать этого до конца. Но наука сильна своей преемственностью. Учёные умирают, а мысли, воплощённые в теории, в гипотезы, остаются их ученикам. Додумываются преемниками, единомышленниками.

Октябрь 1988 года. Я вновь в Будапеште, в лаборатории, которую основал академик Яноши. И вновь с его учеником, доктором наук Петером Варгой, мы обсуждаем проблемы, которые поставил Яноши. Перед нами, тихо шурша, работают компьютеры, они автоматически ведут запись эксперимента — его Варга проводит на основании завещанных учителем идей. Эксперимент ещё не завершён, поэтому говорить о нём рано.

А теперь вернёмся в область науки о космических лучах, в которую Яноши и Скобельцын внесли решающий вклад и которая продолжает набираться сил и информации.

УДИВИТЕЛЬНЫЕ ЛИВНИ

Наблюдая в камере Вильсона сотни, тысячи быстрых частиц, изучая форму их следов, определяя массу, энергию, заряд и другие характеристики, учёные узнали, что большинство космических частиц — это ядра водорода, протоны, меньшинство — ядра других элементов.

Учёные убедились, что космические частицы не такая уж редкость. Но прежде чем они достигнут поверхности Земли, в атмосфере происходят миллиарды столкновений между ними и атомами воздуха. При этом завязываются и разрываются невидимые связи между космическими частицами и электромагнитными полями атомов.

Ведь только нам, жителям большого мира, кажется, что воздух прозрачен и бесплотен. Для космических частиц, обитательниц микромира, воздух густ, как самый дремучий лес, полон препятствий, насыщен силами притяжения и отталкивания.

Космическая частица, попав в земную атмосферу, испытывает каскад удивительных превращений. Например, столкнувшись с ядром азота или кислорода воздуха, она может разбить его и породить новые частицы, передав им свою энергию. Те в свою очередь тоже могут разбить ряд ядер. Так, по мере приближения к поверхности Земли, постепенно увеличивается число частиц. Лавина растёт, охваченная порывом этой своеобразной цепной реакции.

Наиболее прозорливые учёные поняли, что в разгадке свойств космических частиц содержится ответ не только на космические проблемы, но и на чисто земные вопросы. И в частности, в них таится возможность подхода к тайнам строения атомного ядра. Эти учёные решили использовать космические частицы как орудие для разрушения атомных ядер.

Очень хорошо, рассуждали они, что космос позаботился доставить нам частицы колоссальных энергий. Ведь мы ещё не умеем у себя на Земле фабриковать такие снаряды. Используем же их в качестве своеобразного молотка, разбивающего атомы, или в качестве микроскопической бомбы, взрывающей ядра атомов, и посмотрим, что у них внутри!

Ведь при попадании первичной космической частицы в атмосферу рождаются массы разнообразных частиц, и среди них могут быть ещё неизвестные! Кроме того, космические частицы обладают такой колоссальной энергией, что, влетев в земную атмосферу, не только «сдирают» электроны с попавшихся по пути атомов, но и вдребезги разбивают ядра некоторых из них. Если сумеет проанализировать процессы ядерных и электромагнитных взаимодействий при таких высоких энергиях, можно, наконец, пролить свет на структуру материи, её элементарных частиц!

Но чтобы «взвесить» все эти вновь рождённые частицы, определить их массу, энергию, скорость, учёным приходилось быть не менее изобретательными, чем их коллегам, которые решали задачу о взвешивании Земли и других планет.

Однако техника эксперимента совершенствовалась. В помощь камере Вильсона появились и другие приборы: автоматические установки с ионизационными камерами, в которых космические частицы вызвали электрический разряд разной величины; фотоэмульсии, в которых благодаря почернению зёрен серебра можно было выследить почти всех участников микроскопической катастрофы; счётчики Черенкова и различные комбинации этих приборов с радиотехническими схемами; конструкции Яноши.

Постепенно учёным удалось не только «увидеть» космическую частицу, не только измерить её массу, скорость и энергию. Настал день, когда учёные увидели, как, разбив встречный атом, космическая частица родила позитрон — ещё никем не виденную частицу.

КАКАЯ-ТО ЧЕРТОВЩИНА...

Было ли это очередным открытием? Или очень интересным открытием? Или даже чрезвычайно важным открытием? Нет, это был смерч в без того бурном океане науки. С крошечным позитроном в мир привычных образов ворвался мир античастиц. Загадочный антимир.

Молодой английский физик Поль Дирак, к имени которого теперь недаром прибавляют «гениальный», весьма интересовался электроном. Он не рассматривал его в камере Вильсона, не пытался подстеречь его встречу с фотонами гамма-лучей. И не потому, что камеры Вильсона тогда не было. И не потому, что он не был знаком с работами Скобельцына. Нет, они жили и работали в одно время. Просто Дирак был «чистым»

теоретиком. И все опыты с электроном он проводил в уме или на бумаге.

В то время учёные очень мало знали об отношениях между электроном и электромагнитным полем и совсем ничего не знали о его внутреннем строении. Они не могли и до сих пор не могут точно сказать, что представляет собой электрон. То ли это частица, то ли более сложный объект, обладающий определёнными размерами. Об электроне учёные разговаривали только в вопросительной форме. Например, почему электрон не разрывается из-за отталкивания отдельных частей его заряда? Ведь одноимённо заряженные тела должны отталкиваться — этот закон классической физики ещё не терпел поражения. Какие же неведомые силы не дают электрону распасться?

Непонятными для физиков оставались законы движения электрона как в атоме вещества, так и в свободном пространстве.

Ещё в течение второго десятилетия XX века всё казалось ясным. Строение атома легко воспринималось как подобие Солнечной системы: вокруг центрального ядра, как планеты вокруг Солнца, по эллиптическим орбитам движутся электроны. Но не успела начаться вторая четверть века, как от этой ясности не осталось и следа. Орбиты, придуманные Бором, оказались фикциями, и, хотя эти слова ещё применялись, физики знали, что это только жаргон, условное наименование, означающее часть окрестности ядра, в которой находится электрон.

Представим себе, что мы фотографируем быстро движущийся электрон. Даже самый быстрый затвор не даст моментальной фотографии. Если такой опыт можно было бы выполнить, на пластинке оказалось бы туманное облако, окружающее ядро. Электрон побывал в каждой точке этого облака, но в какой момент и как долго он был в данной точке, с какой скоростью он летел, определить нельзя. Электрон ускользал из самых хитроумных математических построений, и невозможно было точно определить, где и с какой скоростью он движется в данный момент, даже если он свободно летит в пустом пространстве.

Это была какая-то чертовщина. Если бы речь шла о движении обычного камня, можно было бы написать целую поэму в формулах. А электрон не уживался ни в одном уравнении. Он всё время вступал в противоречие с окружающей средой.

Дирак упорно пытался найти истинный закон поведения электрона, написать хотя бы уравнение его движения в свободном пространстве.

И такое уравнение он наконец написал, объединив при этом принципы квантовой механики с идеями теории относительности. Это было в 1928 году. Но, как ни странно, на первых порах ни он сам, ни другие учёные не обрадовались этой находке.

Уравнение Дирака повело себя как непокорный джинн, неосторожно выпущенный из бутылки. То, что прочли учёные в этом уравнении, показалось им, мягко выражаясь, недоразумением. Более крепким словом они не хотели обидеть автора. Наравне с реально существующим отрицательно заряженным электроном в нём занял равноправное место положительный электрон! «Не парадокс ли это?» — думал невольный виновник этого странного открытия. Дирак вовсе не искал эту частицу. Он даже не подозревал о её существовании.

Таких частиц в природе вообще никто не встречал. Если обычный электрон отталкивался от отрицательно заряженного тела, новый, дираковский, электрон должен им притягиваться. Если в магнитном поле «старый» электрон побежал бы в одну сторону, «новый» свернул бы в другую. Из уравнения смотрел невиданный удивительный положительный электрон.

Когда учёный создавал формулу ещё не познанного явления, у него в мыслях даже намёка не было на столь странную частицу. Неудивительно, что прошло несколько лет, а учёный всё ещё ничего не мог объяснить коллегам. Как сказал один физик: «В течение нескольких лет существовал заговор молчания относительно этих неприятных решений релятивистского уравнения Дирака». Первоначально Дирак и не думал о том, что уравнения описывают новую частицу. Слишком крепка была в то время всеобщая уверенность в том, что существуют только две элементарные частицы — электрон и протон. Ему казалось более

лёгким представить себе, что весь мир полностью заполнен электронами, а «новые» частицы — это «дырки», незаполненные места в этом «электронном море». Такие «дырки» обладали бы всеми свойствами положительных электронов. Эта точка зрения господствовала несколько лет. Но Дирак и остальные физики не считали её окончательной.

Наконец Дирак решился. «Дырки» не нужны: в природе существует третья элементарная частица — положительный электрон.

Более того, учёный оgorошил своих коллег предположением, что все частицы в природе существуют парами, что каждой заряженной частице соответствует своя античастица с такой же массой, но с зарядом противоположного знака. Дирак справедливо решил, что если существует пара для электрона — позитрон (так назвали антиэлектрон), то должна существовать и пара для протона. Если существуют атомы водорода, должны существовать и атомы антиводорода. То есть в природе наравне с веществом должно равноправно существовать и антивещество.

Так Дирак ввёл в науку важнейшую идею о существовании в природе новой симметрии — сопряжённости частиц и античастиц. Это явилось первым результатом объединения квантовой теории и теории относительности. Объединились уравнения квантовой теории и преобразования Лоренца. Выявилась возможность превращения кинетической энергии сталкивающихся частиц в массу покоя новых частиц и обратно. В нерелятивистской физике считалось само собой разумеющимся постоянство количества частиц. Оно казалось эквивалентом закону сохранения вещества. Первоначальная квантовая теория считала число частиц одним из квантовых чисел. В релятивистской квантовой физике число частиц перестало быть постоянной величиной, а значит, оно перестало быть квантовым числом.

Итак, как сказал знаменитый швейцарский физик Паули, «тонкое природное чутьё физика помогло Дираку начать свои рассуждения, не зная, что они приведут к теории, которая обладает точной симметрией по отношению к знаку заряда, в которой энергия всегда положительна и в которой предсказывается рождение и аннигиляция пар».

Уравнение Дирака толкало учёных на путь удивительных открытий.

И действительно, ещё свежо было впечатление от феноменального открытия Дирака, ещё памятливы были годы молчания, которым деликатно обходили физики дираковское уравнение, когда американский учёный Андерсон впервые увидел след положительно заряженного электрона, рождённого в камере Вильсона при прохождении через неё космической частицы. Его путь искривлялся магнитным полем в направлении, противоположном пути обычного электрона. Все остальные признаки совпадали. Несомненно, то был позитрон, существование которого гениально предсказал Дирак.

Это произошло в 1932 году. Появление позитрона стало мировой сенсацией, гвоздём четвёртого десятилетия XX века. Двери в антимир были открыты. Физики ринулись «открывать новые земли». Они с упоением отделились поискам других частиц и античастиц.

Камера Вильсона решила, видно, сыграть роль рога изобилия. И вслед за первой сенсацией породила вторую, потом третью, четвёртую... целый каскад новых элементарных частиц и античастиц.

Охотники за космическими частицами ещё ниже склонились над своими установками. Они стали ещё пристальнее рассматривать фотографии, испещрённые толстыми и тонкими, еле видными и отчётливыми линиями — следами промелькнувших космических частиц и осколков разбитых атомов. Физики проявляли чудеса наблюдательности, копаясь в путанице ничего и никому, кроме них, не говорящих следов. И наконец, — это было в 1936 году — Андерсон и Неддермайер разглядели ещё одну, никем из людей не виденную частицу. Она двигалась проворнее протона, но солиднее электрона. Она была легче первого, но тяжелее второго. Так её и назвали — «мезон», что значит по-гречески «промежуточный».

ГЕНИЙ ЮКАВЫ

Судьба этой частицы очень напоминает судьбу дираковского позитрона. Мезон тоже

введён в науку пером физика теоретика. Японский учёный Юкава в 1935 году при разработке теории ядра был вынужден ввести особое поле ядерных сил, квантами которых, по его расчёту, должны являться особые частицы. Их масса составляет около 200 масс электрона, то есть примерно в десять раз меньше массы протона. Для выполнения этой работы потребовалось пять лет.

В 1932 году, вскоре после экспериментального наблюдения позитрона, Дж. Чэдвик открыл нейтрон. Открытие возникло не на пустом месте. За два года до того А. Боте и Г. Беккер при бомбардировке ядер бора и бериллия альфа-частицами обнаружили излучение, обладающее очень большой проникающей способностью. Они сочли, что это известные ранее гамма-лучи. Вскоре Ирэн и Фредерик Жолио-Кюри установили, что новое излучение способно выбивать быстрые протоны из веществ, содержащих водород. Открытие совершенно неожиданное и необъяснимое. Для того чтобы это было возможным, соответствующие гамма-лучи должны были бы иметь энергию, во много раз превосходящую энергию гамма-лучей, порождаемых другими источниками.

Чэдвик повторил опыты с бериллием, а затем проделал аналогичные опыты с гелием и углеродом. Измеряя энергию отдачи ядер, бомбардируемых гипотетическими гамма-частицами, Чэдвик убедился, что гипотеза о гамма-лучах как причине выбивания протонов противоречит законам сохранения энергии и импульса. Тогда он заключил, что излучение, порождаемое бомбардировкой альфа-частицами изученных им ядер, освобождает из них нейтральные частицы с массой, равной массе протона. Только тогда учёные вспомнили, что ещё в 1920 году Резерфорд высказал гипотезу о том, что подобная нейтральная частица могла бы существовать. И сам Чэдвик говорил, что он в своих исследованиях руководствовался этой гипотезой, основанной на прозорливости Резерфорда.

Чэдвик считал, что нейтрон представляет собой образование из тесно связанных протона и электрона. «Конечно, — писал он в своей статье «Существование нейтрона», — можно было бы предположить, что нейтрон является элементарной частицей. Однако нет достаточных оснований для того, чтобы принять эту точку зрения, за исключением возможности объяснения статистики таких ядер, как азот-14».

Но требования статистики почти сразу одержали верх над удобной электрон-протонной моделью нейтрона. Спин такого «нейтрона» должен быть равен нулю. При этом невозможно объяснить, каким образом ядро азота, имеющее заряд, равный семи, подчиняется статистике Бозе, справедливой для частиц, обладающих спином, равным $1/2$.

Загадка спина ядра азота в то время была возведена в ранг «азотной катастрофы», ибо она могла разрушить основы новой квантовой физики. Вскоре Д. Д. Иваненко (статья поступила в редакцию 26 апреля 1932 года) и Чэдвик (статья поступила 10 мая 1932 года) устранили «азотную катастрофу», предположив, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, а не из протонов и электронов, как считалось в то время. При этом нейтрон выступал как первая нейтральная частица с массой покоя, отличной от нуля.

Значение этого открытия не меньше, чем значение открытия позитрона. В науку вошла первая из частиц, обладающая массой покоя, но лишённая электрического заряда. (Ранее элементарными считались фотон, не имеющий заряда, но не имеющий и массы покоя, электрон и протон, имеющие и то и другое.)

Поразительно, что один из создателей квантовой механики, В. Гейзенберг, менее чем через три месяца (7 июля 1932 года) рассмотрел возможность того, что протон и нейтрон являются двумя модификациями одной и той же частицы, которая, входя в состав ядер, находится в них в двух квантовых состояниях. Сейчас это предположение считается истиной. Частицу, которая при наличии заряда (положительного) выступает как протон, а при отсутствии заряда выступает как нейтрон, называют нуклоном, простейшим кирпичиком, из которых состоят ядра всех атомов. Через три года Чэдвик и Гольдхабер установили, что масса нейтрона превышает (хотя и мало, всего на 0,9 процента) массу протона. Это послужило для них достаточной основой для того, чтобы поставить вопрос о стабильности, или иначе, о радиоактивности нейтрона. Это значит, что нейтрон, находясь

внутри ядра в устойчивом состоянии, должен распадаться вне ядра. Долгое время казалось, что наблюдать такой распад невозможно. Лишь после создания ядерных реакторов, из которых можно извлечь множество нейтронов, удалось зафиксировать распад нейтрона. Свободный нейтрон распадается на протон и электрон в среднем за 15 минут. Это не значит, что в нейтроне содержится тесно связанная пара протон и электрон, как это некоторое время думал Чэдвик. Нейтрон был первой частицей, исследование которой показало, что представление о том, что микрочастица «состоит из» или «разделима на», имеет лишь ограниченное применение.

Теперь мы знаем, что лишь в определённых случаях законно спрашивать, из «чего» состоит данная частица. Этот вопрос можно задавать только тогда, когда для разделения частицы на части достаточно лишь малого количества энергии, малого по сравнению с массой покоя хотя бы одной из частиц, получаемых при разрушении первоначальной частицы. Во всех остальных случаях эти вопросы теряют смысл. В этих случаях принято говорить «распад порождает». Первый пример этого показал нейтрон, который распадаясь порождает протон и электрон под воздействием очень слабых сил, обусловленных слабыми взаимодействиями.

Изучение свойств нейтрона продолжается и в наши дни, спустя более полувека после его открытия. Это связано с уникальными свойствами нейтрона. Он может считаться элементарным, но участвует во всех известных взаимодействиях — сильных, электромагнитных, слабых и гравитационных. Он нейтрален, но имеет спин и магнитный момент. Он достаточно стабилен в свободном состоянии (живёт около 15 минут), и, наконец, чисто экономический фактор: затраты, требуемые для получения одного свободного нейтрона, меньше, чем для любых других частиц, за исключением электронов и протонов.

Но возвратимся к мезону и работе Юкавы. После того как, устранив «азотную катастрофу», Иваненко, Чэдвик и Гейзенберг изгнали электроны из ядер атомов и заменили их нейтронами, сразу возник вопрос: как же положительный заряд протонов не разрушает ядра? Ведь положительные заряды взаимно отталкиваются. Что же удерживает протоны и нейтроны внутри ядер?

И Юкава ответил на этот вопрос просто и гениально. Он сказал... Впрочем, представьте себе такую картину: вдоль дороги идут двое. Не останавливаясь, они всё время перебрасывают друг другу мяч. Из-за этого они не могут отойти друг от друга дальше некоторого определённого расстояния. Если издали смотреть на этих людей, то мяча не видно и можно подумать, что эти двое просто дружески беседуют, по-приятельски идут рядом и что их удерживают друг около друга некие силы притяжения.

— Подобные силы притяжения испытывают протоны и нейтроны в атомном ядре, — сказал Юкава. — Они могут без отдыха миллиарды веков «играть в мяч», перебрасываясь мезонами, пока какой-нибудь снаряд вроде космической частицы не нарушит это приятное занятие. Тогда, выронив «мяч», протон и нейтрон вылетят из ядра. При этом можно обнаружить и мезоны.

Эту драматическую ситуацию учёным удалось подстроить и подстеречь в своих приборах. Они стали свидетелями представления, разыграншегося за кулисами микромира, и смогли увидеть её актёров без масок.

Так они познакомились с мезоном.

ТРИ ЛИКА

Объективность беспощадна: мезоны Андерсона и Неддермайера, масса которых равна 207 электронным массам, оказались вовсе не мезонами Юкавы. Это были другие частицы. Было установлено, что они слабо взаимодействуют с протонами и нейтронами и поэтому не участвуют в образовании ядра, а по поведению скорее напоминают электроны. Но в отличие от электронов эти мезоны (теперь их называют мюонами) неустойчивы. Через миллионную долю секунды после своего рождения они распадаются на электрон и два нейтрино,

уносящие с собой энергию, соответствующую примерно 200 массам электрона. Открытие мюона не повлекло изменения основных физических законов, подобных тем, что явились следствием открытия позитрона, вызвавшего на свет антивещество. Но теперь стало ясно, что частицы сгруппированы в два семейства: лёгкие (электрон и мюон), их называли лептонами, и тяжёлые (протон и нейтрон), их называли адронами. Вопрос о взаимоотношении этих семейств — лептонов и адронов — волновал физиков всё последующее время. Он всё ещё окончательно не решён.

Здесь уместно напомнить о том, что наука тесно связана не только с экономикой, но и с политикой, и иногда такая связь проявляется очень явственно.

Известно, что теория относительности подвергалась в гитлеровской Германии гонениям как неарийская и даже коммунистическая теория. Её автор был первым из живых учёных, занесённых в список врагов нацистского государства, и остался жив только потому, что приход нацистов к власти застало его за пределами Германии.

Вот что очень мягко пишет об этом Гейзенберг, один из немногих крупных физиков, не покинувших в эти годы Германию. «Здесь, в Германии, перед самой войной (с первых дней захвата власти Гитлером. — И. Р.) правительство не одобряло (преследовало. — И. Р.) теорию относительности, в особенности релятивистское замедление времени в движущихся телах, о котором было сказано, что это абсурдная, чисто теоретическая спекуляция. Дело дошло даже до судебных разбирательств по поводу допустимости преподавания теории относительности в университетах (оно было запрещено. — И. Р.). При одном из таких разбирательств я имел возможность высказаться о том, что время распада мюона должно зависеть от его скорости: мюоны, которые движутся почти со скоростью света, должны распадаться медленнее тех мюонов, которые движутся с меньшими скоростями — согласно предсказанию теории относительности. Экспериментальные результаты подтвердили такое предсказание: замедление времени могло наблюдаться на опыте непосредственно, и этот факт открыл двери для теории относительности в Германии. Поэтому я всегда чувствую признательность мюонам».

Увы, в конце этого отрывка Гейзенберг грешит против истины. Лишь крупные физики, причём тайно, применяли теорию относительности в своей работе. Такие реакционеры, как физик Ленард, стремились объяснить факт замедления времени, не обращаясь к теории относительности, старались свести замедление времени к чисто вычислительной математической процедуре. И в таком виде зависимость времени жизни мюонов от их скорости преподавалась немецким студентам.

А что же мезон Юкавы? Ошибка, заблуждение учёного? Или, как позитрон Дирака, он явился слишком рано, опередив возможности эксперимента? Да, мезон, найденный Юкавой на бумаге, был открыт в действительности лишь через 10 лет английским учёным Пауэлом, который применил новую экспериментальную методику.

Новым окном в природу был толстый слой фотографической эмульсии, внутри которой после проявления возникали следы пролетевших сквозь неё космических частиц и тех частиц, которые они выбивали из ядер атомов, входящих в фотоэмульсию. Частицы, открытые таким образом в 1947 году, имели массу, близкую к вычисленной Юкавой.

Оказалось, что этот мезон, его называли пи-мезоном, существует в трёх разновидностях: два из них — заряженные (положительный и отрицательный), они в 273 раза тяжелее электрона, и третий — нейтральный, масса его составляет 264 электронных масс. Они действительно участвуют в образовании связей между ядерными частицами — протонами и нейтронами.

Теперь эти частицы называют пионами. Они ещё более неустойчивы, чем мюоны. Заряженные мюоны живут лишь одну стомиллионную долю секунды, распадаясь на электрон и нейтрино. Нейтральный пион живёт ещё в 100 миллионов раз меньше. Именно поэтому пион — ядерный мезон Юкавы — был открыт позже мюона, на некоторое время сбившего учёных на ошибочный путь. Как оказалось позднее, пион, вместе с протоном и нейтроном, принадлежит к семейству адронов. Он самый лёгкий представитель этого

семейства.

Но, как говорят, лиха беда — начало. За первым мезоном, действительно как из рога изобилия, посыпались другие элементарные частицы. Стала популярной шутка академика Вавилова: «Каждый сезон приносит новый мезон». И это верно отражало положение дел.

Так учёные при помощи космических лучей нашли новый путь изучения строения атомного ядра.

Прежде чем идти дальше, нужно ещё раз возвратиться в 1932 год, когда Гейзенберг предположил, что протон и нейтрон выступают в ядре как два состояния одной частицы, различающиеся только значением квантового числа, которое он назвал изоспином.

Эксперименты с космическими частицами, в которых наблюдалось рождение пионов, показали, что изоспин представляет неведомый ранее закон симметрии, никогда не нарушаемый ядерными силами, открытыми Юкавой. Теперь такие взаимодействия называют ядерными взаимодействиями. Так оказалось, что ядерные взаимодействия не выявляют никакого различия между нейтроном и протоном. Рождение протона при распаде нейтрона, свободно летящего в пространстве, сопровождающееся рождением электрона и антинейтрино, происходит в результате слабых взаимодействий. Именно слабые взаимодействия приводят к отклонению от симметрии изоспина, давая толчок процессу, который ведёт к «самопроизвольному» распаду свободного нейтрона, к одновременному рождению трёх частиц: двух заряженных (положительной тяжёлой частицы — протона, отрицательной лёгкой частицы — электрона) и нейтрального антинейтрино.

Только недавно, после того как выяснилось родство слабых взаимодействий с электромагнитными взаимодействиями, стало понятно, почему слабые взаимодействия ведут к рождению заряженных частиц. Внутри адронов слабые взаимодействия сильнее электромагнитных. Если расстояние между взаимодействующими частицами превосходит радиус адрона, электромагнитные взаимодействия становятся сильнее слабых.

Вскоре после открытия пиона в космических лучах были открыты другие частицы. Они были массивнее пиона и вели себя весьма странно. По измерению их следов в камере Вильсона и в фотоэмульсиях оказывалось, что они живут 10–10 секунд (десятую долю от миллиардной части секунды), то есть много дольше, чем живут нейтральные пионы. Физики, говоря об этих частицах, называли их странными. Со временем это название утвердилось, так в науке появились странные частицы.

Объяснить длительное, по сравнению с пионами, существование странных частиц на основе ранее установленных законов симметрии и соответствующих квантовых чисел не удалось. Лишь в 1952 году Прайс решил ввести для этого странного свойства новое квантовое число. Он придумал для него соответствующее название «странность». Квантовое число — странность — характеризовало новое свойство микрочастиц, новый тип симметрии в микромире.

В космических лучах постепенно открывали новые частицы. Многие из них оказались принадлежащими к семейству странных частиц.

КАПКАН ДЛЯ ЧАСТИЦ

Перед учёными развернулись новые, трудные, увлекательные и спорные страницы жизни микромира. То, что касалось их поведения в атмосфере, было уже наполовину открытой книгой. И учёные читали её успешно. Было ясно, что космические частицы обладают огромной энергией: их удары по атомам воздуха своей силой могут в масштабах микромира сравниться с атомной бомбардировкой. От одной космической частицы иногда возникают целые ливни частиц, которые в свою очередь обладают большими разрушительными свойствами.

Но о себе космические частицы рассказывали очень неохотно. Физики никак не могли получить сведения о самых первичных частицах, тех, которые вызывают цепную реакцию в ливнях.

Казалось, что может быть проще: оценив общую энергию частиц ливня — учёные уже умели это делать (мы знаем о результативных работах Яноши), — судить об энергии первичной частицы, породившей такой фейерверк. Но... тут на пути исследователей стала неожиданная трудность. Ведь на уровне моря число вторичных частиц достигает миллионов, и ловить их пришлось бы на площади в несколько километров. Ясно, что этот путь ведёт в тупик. Строить счётчики такого размера технически нецелесообразно. Даже на вершинах гор, где «цепная реакция» ливня ещё не развилась в полной мере, число частиц, входящих в один ливень, составляет сотни тысяч.

Как же с ними справиться? Какими приборами их уловить? Может быть, поймать самое первое столкновение?

Но для того чтобы поймать самое первое столкновение на пороге земной атмосферы, исследователи должны были бы поднять свои приборы на аэростатах или ракетах как можно выше, и при этом они столкнулись бы с новой трудностью. Оказывается, количество первичных космических частиц очень невелико. Поэтому на больших высотах, где ливень развился ещё недостаточно, поймать космическую частицу почти невозможно. Здесь, работая с установками малых размеров, пришлось бы ждать частицу... сто лет. Или нужны были бы установки размерами в километры, чтобы за короткое время уловить хотя бы одну первичную частицу.

Значит, надо было создавать более сложную аппаратуру, поднимать её как можно выше и оставлять на высоте как можно дольше.

Интересно, что сама мысль о том, что космические частицы надо изучать в верхних слоях атмосферы и ещё выше, что частицы, падающие на Землю, лишь потомки настоящих первичных космических лучей, возникла гораздо раньше, чем её можно было доказать. Техника воздухоплавания долго тормозила развитие физики космических лучей.

Ещё совсем недавно, даже в тридцатых годах, высота набиралась очень медленно. Пионер исследования космических лучей в стратосфере, бельгийский профессор Пикар, поднялся всего на 16,5 километра. Советский стратостат «СССР-1» обогнал его на 2,5 километра. С трудом был поднят потолок полётов до 20 километров. Страны и учёные соревновались в преодолении высоты, в увеличении веса аппаратуры, времени пребывания на высоте.

Но преодоление высоты ещё не обеспечивало разрешения задач, поставленных перед собой учёными. По-прежнему состав первичного излучения оставался неизвестным. Исследования оказывались слишком кратковременными. Аппаратура была недостаточно совершенна, так как на высоту нельзя было поднять большой груз. Никому из побывавших в стратосфере не удалось «поймать» первичную космическую частицу. Не помогли и шары-зонды, поднимавшие приборы без человека. Часто аппаратура вместе с шарами-зондами пропадала бесследно, оставив в тайне результаты, зафиксированные в полёте. Новое начало в исследовании космических частиц положил советский учёный, будущий академик Сергей Николаевич Вернов, который разработал дистанционную связь с приборами, помещёнными на шарах-зондах, и научился поднимать в стратосферу сложную аппаратуру весом до 12 килограммов. Для середины тридцатых годов это была огромная победа.

Сведения, переданные автоматами Вернова из стратосферы, содержали известие в том, что почти все первичные космические частицы — это ядра атомов водорода (протоны) и лишь немногие из них — ядра других элементов.

Но каких? Отражает ли состав космических лучей химическое строение каких-то особых небесных тел — родителей космических частиц, или содержание в них ядер различных элементов характерно для строения всей Вселенной?

Ещё в 1948 году, когда удалось поднять на высоту до 27 километров, а затем и до 30–33 километров стопку фотопластинок и изучить следы частиц, проникших в эмульсию, было установлено, что в составе космических частиц, кроме протонов — ядер атомов водорода, имеются многозарядные частицы. Они фактически представляли собой не что иное, как атомные ядра различных химических элементов. Какие же это элементы и каково их

соотношение в космических лучах?

Проблема химического состава космических лучей ещё долго оставалась недоступной.

Всё, о чём мы говорили ранее, можно отнести к романтическому периоду исследования космических лучей. Работа с камерами Вильсона и огромными «телескопами», образованными множеством счётчиков заряженных частиц, влекла физиков высоко в горы, где они могли заниматься альпинизмом и лыжным спортом в перерывах, когда установленные приборы «набирали» статистику. Работа с шарами-зондами тоже требовала путешествий к экватору или в полярные зоны для исследований «широтного эффекта» изменения свойств космических лучей под влиянием магнитного поля Земли.

Но наступление космической эры изменило ситуацию. В 1957 году в истории космических частиц начинаются героические страницы. Искусственные спутники Земли и геофизические ракеты позволили проводить эксперименты и на высоте в тысячу километров, и на расстоянии, превышающем миллионы километров от Земли. Теперь длительность опыта могла достигать многих месяцев. Какой огромный материал можно было собрать!

В космос были посланы черенковские счётчики, которым надлежало пролить свет на химическую структуру космических лучей.

В обработке материала, который собрали приборы в космосе, участвовала одна из молодых учениц академика Скобельцына, Лидия Васильевна Курносова.

ЛИДИЯ ВАСИЛЬЕВНА

Лидия Васильевна ещё до того посвятила себя созданию приборов, изучающих космические лучи прямо в космосе. Это было в 1954 году, в «докосмическую эру», когда многие и не помышляли о том, что люди так скоро преодолеют земное тяготение.

Приблизительно в это время мне посчастливилось познакомиться с Лидией Васильевной. Встретила я её в одном из крупнейших научно-исследовательских институтов нашей страны — Физическом институте Академии наук СССР имени П. Н. Лебедева.

Мне запомнилась небольшая комната, очень похожая на мастерскую, где чинят радиоприёмники и телевизоры. На столах и даже на полу стояли всевозможные, наполовину разобранные или не до конца смонтированные приборы.

За одним из столов примостилась темноволосая женщина. У неё такое выражение лица, словно она разгадывала кроссворд. Ещё одна-две буквы, последнее недостающее звено, — и слово наконец будет найдено!

Лидия Васильевна и вправду решала кроссворд, один из тех, которые загадывает человеку природа.

Мы познакомились. Лидия Васильевна протянула мне листок бумаги. Случайно он сохранился у меня. Чуть помятый, но ещё не успевший пожелтеть от времени, он сейчас перед моими глазами. На листе нарисован кружок. Наш земной шар. А вокруг — точки, точки, точки. Словно снег, который пошёл сразу и на севере, и на юге, и даже в тропиках. Рядом — снова шар и ещё кружок, побольше.

— Это — Солнце, — с улыбкой сказала тогда Лидия Васильевна. — С одной стороны оно вспучилось, и к Земле потянулось несколько зловещих щупалец.

Весь листок сверху донизу исписан формулами, уравнениями, цифрами.

Предупреждая мой вопрос, Лидия Васильевна сказала:

— У каждого учёного есть своя заветная мечта. У меня — создать такие приборы, которые работали бы в совершенно необычных условиях. Не на Земле, а в космосе. Приборы, которые могли бы увидеть и рассказать о том, что пока нам, людям, недоступно. Ну хотя бы о том, почему «плюётся» Солнце... Слышали об этом? Загадочное и до сих пор до конца не понятое явление.

— Иногда над Землёй вдруг проносятся удивительные магнитные шквалы, — рассказывала Лидия Васильевна. — Они охватывают весь земной шар, нарушают радиосвязь, сбивают с курса корабли и самолёты. Причина их возникновения долго

ускользала от внимания учёных. Но вот, наблюдая Солнце в специальный прибор, астрономы заметили странное явление, которое, как оказалось, было тесно связано с загадочными магнитными бурями. Приблизительно за восемь минут до возникновения бури Солнце вспучивается и со страшной силой «выплёвывает» стусток частиц. Это их я изобразила на рисунке в виде щупалец, протянутых от Солнца к Земле. С колоссальной скоростью эти частицы несутся к нашей планете, вызывая магнитные бури, сполохи северных сияний, наполняя наши радиоприёмники свистами и шорохами, заставляя ошибаться навигационные приборы.

Какие они, эти частицы? Определить это, оставаясь на Земле, невозможно. Частицы застревают в паутине магнитных полей нашей планеты и до Земли не долетают. Тут нас могут выручить только приборы, вынесенные за пределы земной атмосферы. Они же помогут совершить и глубокую разведку космоса.

— Создать такие приборы — не лёгкая задача, — продолжала Лидия Васильевна. — Но путь уже известен. Сергей Николаевич Вернов и его сотрудники успешно преодолели основные трудности. Они разработали принцип устройства лёгких автоматических приборов и систему, передающую их показания на Землю.

Да, это единственный правильный путь, — задумчиво добавила она. — Лёгкие надёжные автоматы и надёжная телеметрия. Приборы должны проложить путь человеку.

Такой она запомнилась мне — вдохновенный учёный, размышляющий над глобальными проблемами Вселенной; труженик, неутомимо копающийся в сплетениях проводов, радиоламп, миниатюрных разноцветных деталей, наполняющих таинственные приборы.

Я ушла, подавленная тем, что в области физики космических частиц даже перед учёными ещё так много неясного. Тогда я ничего не написала об этой встрече.

Прошло несколько лет. Человечество вступило в космическую эру. Сперва в космос были посланы приборы, потом животные. И наконец, советский человек первым вышел в космические просторы.

Мы снова встретились с Лидией Васильевной.

И для неё эти годы не прошли незаметно.

На счету у Лидии Васильевны большая общественная работа (одно время в качестве секретаря партийной организации института), многие экспедиции на Памир. Запуск в стратосферу шаров-зондов и шаров-автоматов для изучения состава космических лучей подготовили Лидию Васильевну к ответственному и зрелому этапу жизни. Она стала одним из организаторов и участников изучения космоса при помощи искусственных спутников Земли.

Дни и ночи проходили в напряжённых, бесчисленных проверках идей, схем, расчётов. Малейшая небрежность, допущенная в сложнейшем приборе, собранном с точностью часового механизма, может привести к неточным результатам опыта. Вместе с этим погибнут тысячи часов напряжённого труда рабочих, инженеров, учёных, бессмысленно уйдут колоссальные средства.

Лидия Васильевна бурно переживала каждую неудачу.

Вплоть до седых волос, говорит она. Но внимание и поддержка всей страны, удовлетворение полученными результатами сделали её жизнь такой насыщенной и радостной, что она не поменяла бы её ни на какую другую.

— Теперь приборы, о которых мы говорили в прошлый раз, созданы, — с гордостью сообщила она.

Побывав в космосе, они внесли в науку чрезвычайно ценные сведения, о которых знает сегодня весь мир. Уже существенно уточнён состав космических частиц. Так, учёные убедились в том, что они представляют собой в основном ядра атомов водорода. Как мы теперь знаем, в космических лучах их оказалось абсолютное большинство — девяносто процентов. Девять процентов — это ядра атомов гелия. Оставшийся процент составляют ядра атомов более тяжёлых элементов — углерода, кислорода, азота, железа.

Так, благодаря приборам, летающим на советских космических ракетах и спутниках, физики убедились, что в составе космических лучей встречаются ядра атомов тех же элементов, которые имеются и на Земле, и на Солнце, и в звёздах.

Теперь мы представляем себе, из чего состоят далёкие миры, чем «плюётся» Солнце и звёзды, каковы законы движения космических странниц, таких невинных на первый взгляд, но чрезвычайно коварных. И, зная, как распределены в космосе эти невидимые, но опасные частицы, конструкторы звёздных кораблей так рассчитывают траектории полета ракет, чтобы избавить космонавтов от вредного облучения.

Исследования космических лучей с помощью приборов, установленных на советских искусственных спутниках и ракетах, стали популярны во всём мире. Популярным стало и имя Лидии Васильевны Курносовой.

...Мадрид. Лидию Васильевну Курносову, советского делегата, приветствует Всемирный конгресс астронавтов. Тут ей вручают «паспорт-билет» на Луну — эту игрушку для взрослых, которую придумали учредители съезда, предвосхищая события.

...Париж. Французы организуют конференцию в память своей соотечественницы Ирэн Кюри, заглянувшей в глубь материи. Они бурно рукоплещут делегату России Курносовой, отдавая дань уважения советской женщине — физику.

...Брюссель. Люди, съехавшиеся на Всемирную выставку, с напряжённым вниманием слушают объяснения Лидии Васильевны об устройстве советских искусственных спутников Земли.

Каждый новый спутник, каждая новая космическая ракета наряду с другими сведениями сообщают и новые данные о космических частицах. Учёные успешно создают карту мира космических частиц.

И теперь, когда передаются новые сообщения о достижениях учёных в исследовании космических частиц, я всегда вспоминаю Лидию Васильевну Курносову, её прелестное лицо, седые пряди в чёрных волосах. Я уверена — впереди у неё важные планы, идеи, ведь в области изучения космоса самое интересное только начинается.

СНОВА О ВОЗРАСТЕ ВСЕЛЕННОЙ

...Изучая космические лучи, физики не раз задавали себе вопрос: сколько времени прошло с тех пор, как космические частицы отправились в своё путешествие?

На первый взгляд этот вопрос кажется праздным. Посудите сами, как может ответить на него человек, оставаясь на Земле или даже побывав в ближайших окрестностях Земли? И тем не менее этот вопрос возникает снова и снова.

Дело в том, что ответ должен прояснить совершенно неожиданную проблему. Он бросил бы свет на возраст Вселенной! Ведь в зависимости от того, как долго космические частицы блуждают в мировом пространстве, меняется и их состав. Частицы сталкиваются между собой: более тяжёлые ядра преобразуются в более лёгкие. А так как состав космических лучей отражает обычное соотношение различных веществ в природе, то по изменению состава космических лучей, дошедших до Земли, по обилию в них лёгких элементов учёные могли бы судить и о времени блуждания частиц в мировом пространстве. А следовательно, могли бы попытаться ответить на древний вопрос о возрасте Вселенной. Астрономические наблюдения на вопрос о возрасте звёзд и галактик дают ещё очень неопределённый ответ, порядка от десяти до двадцати миллиардов лет. Это, конечно, слишком приблизительно. Будем ждать более точного ответа.

Исследования, проведённые на искусственных спутниках и космических ракетах, помогли узнать и географию мира космических частиц, помогли установить, где и в каком количестве находятся эти частицы вокруг Земли.

С. Н. Вернов, член-корреспондент РАН А. Е. Чудаков и американский учёный ван Аллен сделали открытие, которое во многом изменило прежние взгляды на закономерности изменения состава космических лучей с высотой. Прежде всего выяснилось, что магнитное

поле Земли образовало вокруг нашей планеты гигантскую двухъярусную ловушку для космических частиц, которая спутала все карты исследователей. Оказалось, что большое количество электронов и протонов колеблется внутри этих ловушек вдоль силовых линий земного магнитного поля, не имея возможности ни достичь поверхности Земли, ни удалиться в межзвёздное пространство.

Как же они попали в эту ловушку? Ведь в отличие от мышеловки эта ловушка не только не выпускает своих пленников, но и не даёт им возможности проникнуть внутрь. Учёные дали неожиданное решение этой загадки: частицы, обнаруженные приборами, установленными на спутниках и ракетах, не могли войти внутрь нижнего пояса ловушки и не входили в неё — они родились в её пределах! Под действием первичных космических лучей атмосфера Земли становится источником нейтронов, а им магнитное поле не помеха. Не имея электрического заряда, нейтроны свободно проникают внутрь магнитной ловушки. Часть из них распадается внутри этой ловушки, причём из нейтронов возникают протоны и электроны, которые почти не имеют шансов вырваться наружу.

Во внутреннем поясе преобладают протоны. Во внешнем поясе ловушки находятся главным образом электроны. Предполагается, что они проникают в неё во время периодов повышенной активности Солнца, когда магнитное поле Земли изменяется под влиянием потоков заряженных частиц, летящих от Солнца. При этом вход в ловушку как бы приоткрывается, и частицы могут проникать сквозь ослабевший заслон магнитных сил. После уменьшения активности Солнца магнитное поле Земли возвращается к обычному состоянию, и частицы, проникшие в ловушку, оказываются запертыми в ней.

Затем советскому учёному профессору К. И. Грингаузу удалось обнаружить и третий пояс радиации, ещё более удалённый от Земли. Космическая техника всё более расширяет возможности физиков. Их приборы стоят на спутниках типа «Протон», на близнецах типа «Электрон». Для исследования космического пространства потрудились более сотни спутников серии «Космос». В просторы Солнечной системы ушли станции типа «Зонд».

Космические лаборатории «Венера» и «Марс» и летавшая по окололунной орбите «Луна-10» значительно расширили наши знания о космических частицах и их распределении в пространстве.

Теперь учёные располагают исчерпывающими данными и о распределении, и о мощности этих поясов космических частиц, окружающих Землю. Оказалось, что наибольшая интенсивность внешнего поля проявляется на высоте в 20 тысяч километров от поверхности Земли. Причём мощность слоёв достигает наибольшей величины в области земного экватора и оказывается наименьшей в полярных областях. Ракета или спутник, которые пересекают внутренний пояс радиации, подвергаются бомбардировке частицами, создающими внутри космического корабля опасное для жизни излучение. Теперь конструкторы обитаемых космических аппаратов знают, что им надо позаботиться о защите космонавтов от этого излучения и выбрать траекторию так, чтобы она проходила по наименее опасному пути.

...Учёные продолжают рисовать карту мира космических лучей. Каждый новый запуск искусственного спутника Земли, ещё более тяжёлого, несущего на своем борту ещё более совершенную аппаратуру, каждая бороздящая просторы космоса ракета вписывают новую страницу в историю космических частиц.

СВЕРХЛИВНИ

Рождение гамма-астрономии, то есть наблюдение гамма-лучей приборами, расположенными на искусственных спутниках Земли и межпланетных аппаратах, позволило определить долю протонов и ядер в космических лучах. При этом используют известный механизм, который ведёт к рождению нейтральных пионов при столкновениях быстрых протонов и ядер между собой и с медленными протонами и ядрами, блуждающими в космическом пространстве. Известно, что пионы распадаются и при этом рождаются гамма-лучи. Если их интенсивность измерена, то остальное — дело математики.

Минувшее десятилетие породило ещё одно направление в физике космических лучей — нейтринную астрономию. Нейтрино, рождённое интуицией Паули как частица, необходимая для спасения законов сохранения энергии импульса при бета-распаде, так редко взаимодействует с веществом, что может беспрепятственно проходить через толщу Земли и выходить из недр Солнца — никакие взаимодействия с другими частицами не задержат её на этом пути.

В 1946 году итальянец, действительный член Академии наук СССР Б. М. Понтекорво, принимал участие в создании ядерного реактора в Канаде и искал способ экспериментально подтвердить теорию, предсказывающую выделение нейтрино при ядерных реакциях.

Он решил использовать реакцию нейтрино с ядром изотопа хлор-37, которое превращается в ядро изотопа аргон-37. Это ядро распадается, выделяя фотон рентгеновских лучей и электрон. Экспериментируя с ядрами аргона-37, Понтекорво, как он пишет, случайно установил неизвестную ранее возможность обнаруживать рождение электронов с чувствительностью, в миллион раз превышающую чувствительность известных тогда методов. Хлор-аргонный метод не только позволил изучать нейтрино, порождаемые в ядерных реакторах, и определить, что там рождаются не сами нейтрино, а их античастицы — антинейтрино, но и привёл к рождению нейтринной астрономии.

Нейтринной астрономией называют исследование нейтрино, приходящих к Земле в составе космических лучей.

Первый эксперимент с космическими нейтрино чуть не подорвал доверие к общепризнанной теории происхождения энергии Солнца и большинства звёзд.

Гипотеза о том, что солнечная энергия образуется в результате термоядерных реакций, была выдвинута в 1920 году А. Эддингтоном. В конце тридцатых годов Г. Бете детально проанализировал ход соответствующей реакции, в которой в результате ряда промежуточных шагов осуществляется объединение четырёх протонов в ядра гелия. При этом два положительных заряда выделяются в виде двух позитронов, что сопровождается выделением двух антинейтрино и большой (в масштабах ядерной реакции) порции энергии. Часть её превращается в кинетическую энергию и таким образом нагревает Солнце, остальная часть выделяется в виде фотонов, которые, теряя по пути часть своей энергии, доходят до поверхности Солнца и выявляются в форме солнечного света. Не вдаваясь в подробности, нужно сказать, что цепная реакция, рассмотренная Бете, состоит из ряда звеньев, в которых участвуют ядра углерода, азота и кислорода.

Здесь не место для подробного описания деталей этой реакции. Достаточно сказать, что измерения температуры и яркости поверхности Солнца показывают, что поток испускаемых им антинейтрино должен быть огромным. Но из-за большого расстояния плотность этого потока на поверхности Земли должна была быть несравненно ниже; «только» по сто миллиардов нейтрино на каждый квадратный сантиметр земной поверхности за каждую секунду.

Рождение нейтринной астрономии началось в 1964 году, когда В. Дэвис и Дж. Бакал предложили создать огромную ловушку для поиска солнечных антинейтрино, основанную на хлор-аргонной реакции Понтекорво. Расчёты показали, что объём ловушки должен быть равен по крайней мере 378 500 литрам. (Дэвис исходил из круглой цифры

— 100 000 американских галлонов.) Потребовалось около четырёх лет для того, чтобы изготовить и собрать такую ловушку в скальной пещере на глубине более 1,5 километра и заполнить её четырёххлористым углеродом.

Первые результаты, опубликованные группой Дэвиса, удивили астрофизиков. Уровень обнаруженного потока нейтрино был (по крайней мере в 12 раз) ниже предсказанного общепризнанной теорией. Уверенность в точности и надёжности хлор-аргонного метода породила сомнение в том, что предложенная Бете схема ядерных реакций с участием ядер углерода, азота и кислорода, приводящих к превращению протонов в ядра гелия, правильно описывает процессы, ответственные за выделение энергии в глубинах Солнца. Следует иметь в виду, что нейтрино, порождаемые при вспышках сверхновых звёзд, могут лишь

увеличить «сигнал» в ловушке Дэвиса, то есть лишь усилить сомнение учёных.

Оказавшись перед фактом значительного расхождения результатов эксперимента с общепризнанной теорией, учёные вспомнили, что в конце тридцатых годов Бете рассмотрел второй возможный вариант цепной термоядерной реакции, могущей быть источником энергии Солнца. В этом варианте цепочка реакций должна начинаться с объединения двух протонов в ядро дейтерия. Далее реакция может идти тремя путями с участием лёгкого изотопа гелия-3 или с участием изотопов лития, бериллия и бора. Наиболее вероятный вариант этой реакции должен был дать вдвое больше нейтрино, чем обнаружила ловушка Дэвиса. Десятилетние исследования группы Дэвиса не изменили, а лишь увеличили достоверность данных эксперимента.

Было предложено несколько объяснений расхождения между теорией и опытом.

Наиболее радикальная гипотеза была высказана Понтекорво в 1957–1958 годах, задолго до опытов Дэвиса. Суть этой гипотезы состояла в признании того, что нейтрино могут существовать в двух состояниях, при этом они постоянно переходят из одного состояния в другое и обратно. Такие осцилляции (колебания) возможны только в том случае, если масса покоя нейтрино отлична от нуля.

Понтекорво возвратился к этой гипотезе в середине шестидесятых годов, когда уже было известно о том, что, кроме электронных нейтрино, рождающихся вместе с электроном или позитроном, существуют другие нейтрино, рождающиеся при реакциях рождения мюонов. Учёные уже знали, что эти два типа нейтрино различны, и называли их «электронными нейтрино» и «мюонными нейтрино». В 1967 году Понтекорво, развивая свою гипотезу, предположил, что возможны превращения электронных нейтрино в мюонные и обратно. Он уверенно говорил о важности экспериментальной проверки существования осцилляции нейтрино в опытах с электронными нейтрино, рождающимися в атомных реакторах и в будущих опытах с солнечными нейтрино. Понтекорво предсказал, что осцилляция нейтрино может привести к уменьшению вдвое количества нейтрино, фиксируемых будущими опытами Дэвиса.

В следующем году гипотезой Понтекорво заинтересовался В. М. Грибов, член-корреспондент Академии наук СССР. Они вместе разработали количественную теорию взаимных превращений двух типов нейтрино. Теперь, когда количество известных типов нейтрино увеличилось до трёх, ожидаемый результат опытов Дэвиса следует уменьшить в шесть раз. Поэтому «загадка солнечных нейтрино» ещё не потеряла свою остроту. Её разрешение требует проведения новых исследований в области нейтринной астрономии. Для этой цели в Баксанском ущелье на Кавказе создана специальная нейтринная лаборатория, расположенная в туннеле, пробитом глубоко в скальные породы.

Понтекорво обращает внимание на то, что теория осцилляции нейтрино тесно связана с решением вопроса о массе нейтрино. Большинство современных физиков считает, что масса покоя нейтрино мала, но отлична от нуля. В этом случае осцилляции нейтрино являются реальными и могут быть обнаружены не только в космических лучах (солнечные нейтрино), но и в лабораториях, обладающих атомными реакторами. Исследование осцилляции солнечных нейтрино может внести существенный вклад в две важные проблемы: проблему массы нейтрино и в уточнение наших знаний о процессах, приводящих к выделению энергии в недрах Солнца.

Таким образом, несмотря на введение в строй всё более мощных ускорителей, значение исследований космических лучей не только не уменьшилось, но благодаря применению космической техники возросло.

ИЗ ГЛУБИН КОСМОСА

В период Тай-Хэ, в четвёртый год, во вторую луну, была видна необыкновенная звезда...

Из древних китайских хроник

ПОДСКАЗКА ДРЕВНИХ ХРОНИК

Девятьсот пятьдесят лет назад в созвездии Тельца вспыхнула новая звезда. Её яркость была столь велика, что звезду видели даже днём. Старинные китайские и японские летописи подробно описывают это необыкновенное явление. Они отмечают, что звезда-гостья была в три раза ярче Венеры. Примерно через полгода звезда начала гаснуть и исчезла.

Замечательное явление должно было быть видно во всём мире. Любопытно, что уже в наши дни на стене одного из пещерных жилищ древних обитателей Америки нашли примитивный, но знаменательный рисунок. На нём изображена звезда вблизи Луны так, как была видна эта сверхновая в момент вспышки.

Всё это происходило в 1054 году. В этом же году в Киеве умер Ярослав Мудрый. Собранное им государство стало ареной междоусобной войны. Летописцы подробно зафиксировали бурные события того времени, но ни в одной русской летописи не упоминается о небесном знамении — новой звезде. Занятые земными делами, наши предки не смотрели на небо.

4 октября 1957 года советские люди открыли космическую эру, запустив в небо первый искусственный спутник Земли. Началось планомерное наступление на тайны космоса. Стали падать последние покровы таинственности с давней загадки, которую разрешила невидимая частичка, случайно залетевшая в прибор Дмитрия Владимировича Скобельцына.

Эта частичка и ей подобные принесли людям важнейшие сведения о ещё не хоженных дорогах космических просторов, об истории рождения и гибели других миров, об исполинских силах, скрытых в ядре атомов материи. Они поведали и печальную повесть древней звезды, которая, внезапно вспыхнув, исчезла, не оставив, казалось, и следа... Мы подходим к самому фантастическому этапу исследований космических частиц. История изучения нового мира космических лучей делает ошеломляющий, удивительный, прекрасный скачок в мир абстракций, в мир чистой догадки, фантазии, блестяще предвосхищающих действительность...

Подготовили его два советских учёных: физик-теоретик академик В. Л. Гинзбург, ставший в возрасте 86 лет в 2003 году Нобелевским лауреатом, и астрофизик, член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский, создавшие признанную во всём мире теорию происхождения космических частиц.

Как ни кропотливы, как ни ювелирны были исследования ливней космических частиц, но это были явления, происходившие если и не рядом с людьми, то, во всяком случае, недалеко. Учёные при помощи приборов видели, чувствовали предмет своих исследований. И пока физики изучали космические лучи в пределах их досягаемости, они стояли на реальной почве эксперимента. Если они и не могли тотчас проверить свою теорию опытом, то, во всяком случае, надеялись сделать это рано или поздно.

Когда же дело дошло до проблемы происхождения космических частиц, учёным пришлось углубиться в мир, недоступный непосредственному вмешательству.

Но оказывается, как мы убедимся дальше, полёт фантазии, карандаш и бумага могут сказать человеческому разуму не меньше, чем плоть эксперимента.

И вот Гинзбург, блестящий «теорфизик», известный замечательными по глубине и прозорливости теоретическими разработками в области строения ядра и радиоастрономии, забыв на время о других задачах, засел за теорию происхождения космических частиц.

А Шкловский, иногда неожиданно для коллег увлекающийся гипотезами, которые кажутся необычными (кто не спорил, например, о его гипотезе искусственного происхождения спутников Марса!), заинтересовался тайной древней звезды.

Чутьём глубокого учёного Шкловский понял, что вспышка древней звезды не просто след дыхания космоса, но ключ к совершенно новому кругу явлений. Недаром он роется в древних китайских и японских летописях, ища в намёках неведомых астрономов, в их

красочном, но наивном описании грандиозных космических катастроф подтверждения мучившей его мысли. Он перечитывает историю русской науки (а во времена вспышки легендарной звезды эта наука отличалась от современной как жёлудь от векового дуба) и ищет впечатления жителей Киевской Руси, которые бросили бы свет на его догадку.

А догадка заключалась в том, что звезда, исчезнувшая из поля зрения древних астрономов, должна иметь непосредственное отношение к происхождению космических лучей, тайне, давно волнующей умы исследователей. Теоретические соображения и расчёт подсказали учёному, что если на месте древней погасшей звезды произошла катастрофа, если звезда, разгоревшись вдруг ярким пламенем, взорвалась, то она должна была превратиться в газовую туманность, опутанную паутиной магнитных полей. Вещество её разлетелось во все стороны с большой скоростью. Электроны были не в состоянии вырваться из плена магнитных полей туманности и остались блуждать в них, излучая радиоволны и свет. Протоны же преодолели силу магнитных полей туманности и стали космическими странниками. Они и должны составлять большинство частиц, которые мы называем первичными частицами космических лучей.

Получив такой ответ теории, учёные взглянули на небо. Действительно, как раз в районе, указанном древними хрониками, мерцала еле видимая туманность, по форме напоминающая краба. Вот почему Шкловский жадно перелистывал пожелтевшие страницы, желая отождествить Крабовидную туманность с древней звездой и... боясь ошибиться! Если теория верна, если действительно в глубине веков произошло то, что подсказало ему воображение, Крабовидная туманность должна быть источником мощного радиоизлучения.

В это время быстро входила в силу новая наука — радиоастрономия. Она обещала разгадку многих тайн Вселенной тому, кто овладеет шифром радиоволн, приходящих на Землю из разных уголков космоса. И на загадку древней звезды ответила радиоастрономия.

Шкловский рассказывал:

— Мысль о том, что Крабовидная туманность может быть сильным источником радиоизлучения, возникла у меня ещё в 1948 году. В 1949 году в Крыму по моей просьбе была сделана попытка обнаружить радиоизлучение от неё. Увы!.. На имевшемся в то время в обсерватории радиотелескопе наблюдения можно было проводить только тогда, когда источник радиоизлучения восходит над морем. По невезению, место восхода туманности было закрыто горами, не хватало нескольких градусов по азимуту.

В том же, 1948 году австралийцы обнаружили очень сильное радиоизлучение Крабовидной туманности, обнаружили случайно. Излучение оказалось неожиданно мощным.

Изучив наблюдения радиоастрономов, учёные окончательно уяснили судьбу древней звезды. Действительно, много лет назад в небе произошла гигантская катастрофа. Невидимая глазу звёздочка внезапно разгорелась ярким пламенем и взорвалась, превратившись в слабую туманность, хорошо видимую в обычные телескопы. Около пяти тысяч лет шёл свет от места катастрофы до Земли и, достигнув её в 1054 году, рассказал эту историю. Но в то время люди не были подготовлены к пониманию рассказа светового луча.

К счастью, кроме света, продукты взрыва звезды излучают радиоволны, которые были недоступны нашим предкам, но теперь расшифрованы учёными. Эти радиоволны и поведали нам повесть о погибшем светиле.

Не все поверили в эту теорию астрофизиков. Ведь астрофизики, как шутят «земные» физики, часто ошибаются, но никогда не сомневаются. Неясными были некоторые тонкости явления, которые полностью разъяснились в 1954 году благодаря работам советских радиоастрономов. А затем, через два года, их подтвердили и американские учёные, проверив наблюдения на самом большом оптическом телескопе.

Но неужели только эта бывшая звезда — источник космических частиц? — задали себе вопрос исследователи. Чтобы проверить это, Гинзбург провёл расчёт. Оценив мощность радиоизлучения от Крабовидной туманности, он подсчитал количество электронов, блуждающих в плену мощной магнитной ловушки этой туманности. А так как при взрыве должно родиться приблизительно одинаковое количество электронов и протонов, то

нетрудно было сравнить их число с числом космических частиц, обнаруженных в космосе. Оказалось, что результаты расчёта не совпадают с данными экспериментов.

Почему? — взволновались учёные. Ответ был один: значит, не только эта древняя звезда — поставщик космических частиц. Должны быть и другие.

И Шкловский снова ищет на страницах истории упоминания о вспышках новых и сверхновых звёзд — так названы звёзды, рождающие космические частицы. И находит то, что ищет! Находит описание вспышки звезды.

«В период Тай-Хэ, в четвёртый год, во вторую луну, была видна необыкновенная звезда возле западной стены Синего дворца. В седьмую луну она исчезла». Так написано в древних китайских хрониках.

Вот какой неточный адрес оставили древние наблюдатели! Но учёные нашли место катастрофы.

Астрономы внимательно взглянули через самые крупные телескопы на указанное место. Они увидели в этой точке неба маленькое туманное волокно. При наблюдении сквозь синий светофильтр оно по форме напоминало арку. В красных лучах обнаружили и другие клочья и обрывки туманности. Это был очень слабый источник света — известная астрономам туманность Кассиопеи.

Радиоастрономам же открылась совсем иная картина. В радиолучах туманность Кассиопеи предстала ослепительно яркой. Именно здесь когда-то давно произошла вспышка сверхновой. И случилось это не более не менее как 1635 лет назад, в 369 году нашей эры, в четвёртый год периода ТайХэ по китайской хронологии.

Так началось отождествление ныне видимых туманностей с некогда вспыхнувшими и погасшими звёздами.

Увлечённый почти детективной задачей разгадывания многовековых загадок, Шкловский говорил:

— Успехи новейшей науки — радиоастрономии, опирающиеся на сверхсовременные достижения радиопизики, электроники, теоретической физики и астрофизики, оказываются тесно связанными с текстами хроник, написанных древними астрономами Китая! Труд этих людей спустя тысячелетия ожил и как драгоценное сокровище вошёл в фонд науки середины XX века!

СМЕРТЬ ИЛИ РОЖДЕНИЕ?

Но и сверхновые оказались не единственными поставщиками космических частиц. Нашёлся ещё один вид небесных источников, рождающих космические частицы, — радиогалактики.

К ним учёные отнесли чрезвычайно интересный объект — туманность, видимую в созвездии Лебедя, расположенную далеко за пределами нашей Галактики. Этот объект оказался мощнейшим источником радиоволн. «Яркость» источника Лебедь-А в радиолучах раз в 500 больше яркости «спокойного» Солнца! Мощность его радиоизлучения во столько же раз превышает мощность крупнейшей из созданных трудом человека радиостанций, во сколько раз вся энергия, излучаемая Солнцем, превосходит энергию, излучаемую свечой, да ещё ослабленную в 10 тысяч раз по сравнению с обыкновенными свечами.

Но учтите, ведь созвездие Лебедя расположено на чудовищном расстоянии от Земли. Свет от него идёт к Земле 650 миллионов лет! А поток радиоизлучения его сильнее, чем радиоизлучение Солнца, отстоящего от нас «всего» на расстоянии в 8 световых минут.

Внимательно изучая созвездие Лебедя, учёные, к своему удивлению, обнаружили в нём две очень слабые карликовые галактики, как бы прилепившиеся друг к другу. Этот объект оказался настолько любопытным и загадочным, что вызвал горячие споры среди учёных.

Открыв этот сверхмощный источник радиоволн, физики, конечно, задумались над причиной такого мощного излучения. Им, естественно, захотелось узнать механизм рождения в нём радиоволн. В сверхновых звёздах радиоволны являлись результатом взрыва. А в радиогалактике Лебедя?

Бааде, американский учёный, который первым наблюдал этот объект, опубликовал

удивительное предположение. Это была настолько оригинальная, неожиданная гипотеза, что она захватила многих учёных и долгое время считалась общепризнанной. «Это, несомненно, две столкнувшиеся галактики!» — утверждал он. Хотя в космосе с его бесконечными просторами столкновение двух галактик так же мало вероятно, как столкновение двух птиц в воздухе, однако это именно такой случай. Радиоволны же, по мнению Бааде, родились в результате катастрофы.

Это была очень эффектная гипотеза, сразу нашедшая многочисленных сторонников.

Усомнился в ней только крупнейший советский астрофизик академик В. А. Амбарцумян. По ряду соображений он пришёл к выводу, что два ядра в туманности Лебедя — это отнюдь не результат столкновения галактик. Наоборот, решил он, здесь мы видим редкий случай деления галактик — распад огромной звёздной системы на две части.

— Бааде был очень талантливым учёным, — рассказывал Амбарцумян, — редким по своей страсти к науке. И азартным спорщиком. Чтобы убедить других и ещё больше убедиться самому в справедливости своей новой теории, мысли, предположении, он, встретив коллегу, молниеносно вовлек его в спор.

Так было и на одной из международных научных конференций, где Бааде встретился с Амбарцумяном. Обоим занимала проблема двойственности галактик.

— Скорость одного ядра отличается от скорости другого, — отстаивал свою точку зрения Бааде. В разности скоростей он видел след двух разных столкнувшихся махин.

— Скорость одного ядра отличается от скорости другого, — пользовался тем же аргументом Амбарцумян для утверждения своей, противоположной, точки зрения.

Так каждый аргумент Бааде, отразившись от Амбарцумяна, поражал американца, и оба понимали, что нужно искать новые факты, допускающие только одно толкование.

Говорят, что в споре рождается истина. Особенно это относится к научной дискуссии, из горнила которой выходят и безупречные формулировки законов природы и предсказания ещё не виданных явлений.

Но не всякий спор плодотворен. Если дискуссия не основана на фактах, не подкреплена результатами безупречных наблюдений, она не даёт ничего нового. Так домна, лишённая руды, наполненная пустой породой, не даёт металла. Из неё вытечет только шлак.

Короче говоря, каждому из спорящих надо было найти такое доказательство, которое бы начисто отметало точку зрения противника и однозначно подтверждало его собственную.

Вскоре Амбарцумян нашёл такие доказательства. Какова вероятность, рассуждал он, столкновения двух галактик таких размеров, как оба ядра туманности Лебедь-А? Эта туманность — очень маленький в астрономическом смысле объект, весьма малая галактика. Во Вселенной имеются гиганты, намного превышающие по числу содержащихся в них звёзд и по размерам обе части той галактики, которую мы видим в созвездии Лебедя.

Но учёные никогда не наблюдали столкновения таких гигантов, хотя столкновение больших объектов гораздо вероятнее, чем встреча двух маленьких. Это значит, что столкновение малых галактик практически невероятно.

Второе доказательство вытекало из тончайших наблюдений астрономов Бюраканской обсерватории Академии наук Армянской ССР, руководимой Амбарцумяном. Они обратили внимание, что в некоторых случаях из центра гигантской галактики исходит струя, которая заканчивается карликовой галактикой голубого цвета в отличие от обычного для «старых» галактик жёлтого и красного цвета. Но голубой цвет — признак молодости космических объектов. Это был очевидный пример выброса молодой галактики-малютки из большой, материнской. Как видно, соединяющая струя — «пуповина» должна со временем исчезнуть, дав возможность «малютке» начать самостоятельную жизнь. Такие галактики-крошки были обнаружены возле многих гигантов.

Почему же Лебедь-А должна быть исключением? Несомненно, что два ядра — это признак её деления, признак активного процесса звездообразования.

А чем объяснить радиоизлучение, мощным потоком возникающее при этом процессе?

Дело в том, что время от времени старые галактики как бы набухают, проявляют

тенденцию к делению и выбрасывают мощные облака газа, содержащего в себе свободные электроны. Они-то и являются причиной радиоизлучения. А где есть электроны, там естественны и космические частицы — быстрые протоны.

Эти замечательные работы группы армянских астрономов не только утвердили новую точку зрения на образование звёзд, не только опровергли старую теорию, которая укоренилась ещё в XIX веке и утверждала, что эволюция идёт от разрежения к уплотнению, от менее плотных тел к более плотным. Эти новые наблюдения не только подтвердили, что местами рождения галактик иногда становятся центры старых. Они опровергли теорию сталкивающихся галактик и послужили вкладом в современную теорию эволюции Вселенной.

Для учёных, занимающихся проблемой происхождения космических частиц, из этих работ стало ясно, что процессами, рождающими космические частицы, являются не только взрывы сверхновых, но и деление радиогалактик, что космические частицы порождает не только смерть звёздных миров, но и их рождение.

КОСМИЧЕСКИЕ ВУЛКАНЫ

Природа очень щедра на космические частицы. Нужно упомянуть ещё по крайней мере об одном источнике космических частиц в нашей Солнечной системе. Правда, он был обнаружен раньше, чем появилась гипотеза о вспышках сверхновых. Этот источник — наше Солнце. В период повышенной активности, когда поверхность светила бороздят и колышут огнедышащие протуберанцы, Солнце выбрасывает большое количество космических частиц. Во время Международного геофизического года удалось установить, что случается это в среднем один раз в месяц.

В это время на Солнце возникают взрывные процессы. Выброшенные из его недр частицы ускоряются магнитными полями и выплескиваются далеко за пределы окосолнечного пространства. Иногда вся Солнечная система становится гигантской ловушкой космических частиц. А эти скопления не так уж безобидны, как кажется на первый взгляд.

Только искусственные спутники Земли и космические ракеты помогли установить степень опасности для будущих космонавтов этого интенсивного потока частиц и разработать защитные меры.

Источники радиоизлучения и, следовательно, источники космических частиц были найдены даже в ядре нашей Галактики и во многих других звёздных скоплениях.

— Мы обнаружили столько источников космических частиц, — говорит Гинзбург, — что уже надо гадать, где они не рождаются.

Но всё-таки основными поставщиками кирпичиков материи для Вселенной оказались сверхновые звёзды, эти космические вулканы.

Чтобы убедиться в этом, Гинзбургу пришлось решить такую непростую задачу. В 1961 году в составе первичных космических лучей далеко за пределами земной атмосферы были зафиксированы электроны. Естественно, возник вопрос об их происхождении. Предлагалось несколько правдоподобных гипотез, и ни одна из них не могла быть отвергнута, для этого не было достаточно оснований. В 1965 году было открыто реликтовое радиоизлучение, оставшееся в мировом пространстве от ранних бурных процессов, последовавших вслед за Большим взрывом. Вскоре удалось точно определить температуру этого излучения (2,7К, то есть 2,7 градуса Кельвина). Энергия этого излучения составляет около четырёх сотых от миллиардной доли эрга на каждый кубический сантиметр. Но расстояния во Вселенной столь велики, что взаимодействие электронов с фотонами реликтового излучения полностью исключает предположение о том, что электроны доходят к нам от ближайших галактик.

Значит, они рождаются внутри нашей Галактики. Теперь учёные считают, что их источниками являются взрывы сверхновых звёзд в нашей Галактике. Учитывая, как часто вспыхивают в Галактике сверхновые звёзды, и зная, сколько частиц при этом рождается (как

мы уже говорили, это можно выяснить исходя из величины потока радиоизлучения), Гинзбург рассчитал, сколько космических частиц родилось в результате вспышек сверхновых звёзд за 400 миллионов лет — средний век космической частицы. Результат подсчётов убедил: за это время должно было образоваться примерно столько космических частиц, сколько и наблюдается в действительности. Несомненно: вспышки сверхновых звёзд способны обеспечить компенсацию гибнущих от старости космических частиц, а значит, эти вспышки — основной источник космических частиц во Вселенной. Все остальные источники — звёзды, молодые галактики и другие, — вместе взятые, вносят лишь малый вклад в вечный круговорот космических странниц.

Так Амбарцумян, Гинзбург и Шкловский набросали картину событий, которые разворачивались в течение многих столетий на расстоянии в сотни тысяч световых лет от нас.

Теперь наблюдения радиоастрономов позволили надёжно подтвердить эту теорию.

...1054 и 1954 годы. Кто бы мог подумать, что события этих лет, между которыми пролегли века, имеют такое близкое отношение друг к другу, так тесно переплетутся на дорогах научного поиска. Наши далёкие предки не обратили внимания на такое грандиозное и загадочное явление природы, как вспышка звезды, происшедшая в 1054 году. Лишь наши современники, вооружённые всей мощью сегодняшней науки, смогли сопоставить эти явления и разрешить одну из сложнейших загадок природы.

Да, это были фантастические страницы истории космических лучей. Но ради чего же вписали их учёные? Может быть, их влекло только естественное стремление к знанию? Ведь понять тайну происхождения космических лучей — это значит познать процессы, происходящие при рождении и смерти звёздных миров!

Не нужно говорить, как это интересно и важно. Но эта задача имеет и другие стороны, ещё более актуальные.

Представив себе процессы, которые должны происходить при взрывах звёзд, учёные вдруг ясно поняли: да ведь именно при вспышках сверхновых варятся все химические элементы тяжелее железа! И медь, и свинец, все тяжёлые элементы таблицы Менделеева. Почти все вещества, из которых состоит и наша Земля, и вся Вселенная.

Стало ясно, что, если бы не эти редкие космические взрывы, мир состоял бы преимущественно из атомов лёгких элементов.

А совсем недавно многие придерживались совершенно другой точки зрения. Ещё в 1957 году некоторые думали иначе. И один из видных специалистов по космическим частицам писал: «После обнаружения в космических лучах тяжёлых ядер мало кому придёт в голову обращаться к представлениям о взрывном характере происхождения космических лучей во Вселенной: уж очень странно было бы, если бы при этих процессах тяжёлые ядра сохранились как нечто целое, получая вдобавок колоссальные энергии».

Вот как в наши дни, при бурном развитии науки, быстро меняются взгляды, как быстро сменяются неверные представления.

Понимание процессов, происходящих при формировании небесных тел и галактик, даёт ключ к разгадке многих проблем строения материи. Эти процессы часто с трудом поддаются объяснению на основе известных законов теоретической физики. Академик Амбарцумян говорит, что это, вероятней всего, связано с тем, что в таких процессах доминирующую роль играют многие глубокие свойства вещества, которые не проявляют себя в физических опытах, производимых в земных лабораториях. Поэтому можно быть уверенным, что тщательное изучение физических явлений, протекающих в отдалённых областях космоса, поможет ещё глубже развить наши знания об основных физических свойствах вещества и о закономерностях развития материи.

Так, раздумывая о тайне рождения космических частиц, учёные поневоле затрагивают проблемы рождения Вселенной, всего окружающего нас мира.

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ И МОЛЕКУЛЫ

Существование атомов и молекул в мировом пространстве казалось само собой разумеющимся после того, как Галлей в 1682 году доказал, что открытая им комета, а значит, и другие кометы — это материальные тела, появляющиеся из областей пространства, лежащих далеко за пределами Солнечной системы, если считать её границей орбиту наиболее удалённой планеты.

С тех пор известно, что многие из комет движутся по вытянутым орбитам, периодически приближаясь к Солнцу и вновь удаляясь от него, чтобы через определённое время возвратиться вновь. Галлей вычислил, что комета, носящая теперь его имя, проходит свою орбиту за 76 лет. Её появление в 1986 году было «запланировано». Учёные загодя готовились к её появлению во всеоружии не только традиционных телескопов. В наши дни на помощь астрономам пришла мощная космическая техника. Советские учёные вместе с учёными других стран направили навстречу гостье две космические лаборатории по проекту «Вега.» Название проекта указывает, что приборы космических лабораторий должны исследовать не только комету Галлея, но и планету Венера.

Но возвратимся к самому Галлею. Он объяснил, что кометы представляют собой сравнительно малые небесные тела, невидимые, пока они находятся вдали от Солнца, но становящиеся зримыми по мере приближения к Солнцу. При этом из ядра кометы выделяются пылевидные частицы и отдельные молекулы, образующие хвост кометы, они ярко светятся в лучах Солнца.

Астрономы изучали состав кометных хвостов, рассматривая спектры излучаемого ими света при помощи специальных приборов — спектроскопов, присоединяемых к обычным телескопам.

В 1937 году удалось выяснить, что в космосе имеются многие двухатомные молекулы. Первыми были обнаружены молекулы, состоящие из атомов углерода и водорода и из атомов углерода и азота. Одновременно были обнаружены и молекулы, состоящие из углерода и водорода, потерявшие по одному электрону. Их называют радикалами: обладая положительным электрическим зарядом (в результате потери электрона), они способны весьма активно участвовать в различных химических реакциях. Это вызвало большой интерес: какие ещё молекулы можно встретить в космосе? Но в течение последующих двадцати пяти лет там не удалось обнаружить других молекул. Это представлялось весьма удивительным. И. С. Шкловский в 1957 году подсказал учёным, участвующим в развитии радиоастрономии и в строительстве радиотелескопов, поискать в сантиметровом диапазоне радиоволн спектральные линии радикала, состоящего из атома кислорода и атома водорода (этот радикал, играющий большую роль в химии, называют гидроксилем). Шкловский и другие астрофизики называли ещё ряд нейтральных молекул и радикалов, спектры которых можно наблюдать при помощи радиотелескопов.

Прошло около одиннадцати лет до того, как радиоастрономы зафиксировали спектральную линию гидроксила. В семидесятых годах удалось обнаружить различные молекулы и в других галактиках. Пожалуй, наибольшим сюрпризом в начальный период было обнаружение в космосе сложных многоатомных молекул, среди которых первыми были молекулы воды и аммиака, а за ними молекулы окиси углерода и формальдегида, органического соединения, состоящего из четырёх атомов: по одному атому углерода и кислорода и по два атома водорода.

Теперь доказано, что в межзвёздном пространстве существуют более сотни различных типов молекул, среди которых многие десятки принадлежат к классу органических молекул, таких, как этиловый спирт, диметиловый эфир и многие аминокислоты, входящие в состав живых организмов. Обнаружено ещё много различных радикалов, в том числе и таких, которые не удавалось получить в газообразной форме в земных лабораториях.

КОСМИЧЕСКИЕ МАЗЕРЫ

Естественно, возник вопрос и о том, как образуются молекулы, существующие в космическом пространстве. В отличие от атомов они не могут быть образованы в недрах звёзд или при взрывах сверхновых. Это было ясно. Ведь молекулы неизбежно распадутся на атомы при температурах, намного более низких, чем существующие на поверхности звёзд, а тем более в их недрах или при катастрофических процессах рождения сверхновых.

Оставалось предположить, что молекулы образуются в результате соединения атомов, сталкивающихся в межзвёздном пространстве. Простейшие двухатомные молекулы могут возникать в результате случайных парных столкновений в окрестностях звёзд, где плотность межзвёздного газа сравнительно велика. Однако возникновение таким путём более сложных молекул мало вероятно. Более вероятно, что сложные молекулы возникают на поверхности частиц космической пыли. Здесь вероятность распада молекул меньше, чем в свободном пространстве, где молекула может быть разрушена ударом космической частицы или фотона, обладающего подходящей для этого энергией.

Точность спектральных измерений, обеспечиваемая радиотелескопами, столь велика, что удалось зафиксировать молекулы, отличающиеся между собой тем, что в их составе присутствуют различные изотопы одних и тех же элементов.

Исследования показали, что в большинстве случаев соотношение между количествами изотопов данного химического элемента в космосе близко к измеренному на Земле. Но обнаружены и значительные отклонения. Например, содержание изотопа углерода C-13 по отношению к изотопу C-12 может оказаться вдвое меньшим и вдвое большим, чем на Земле. Причина такого различия ещё не установлена.

Радиоастрономия преподнесла учёным много сюрпризов, но одним из наиболее загадочных было обнаружение странного излучения, идущего от туманности Ориона на волне 18 сантиметров. Оно было столь интенсивным, что, исходя от нагретого тела, температура излучающей поверхности должна была бы равняться десяти тысячам миллиардов градусов. Такая температура не может существовать даже в недрах звёзд.

Возможность обнаружения радиоизлучения, идущего из космоса на волне 18 сантиметров, не была сама по себе неожиданной. На этой волне, точнее, на частоте 1,667 МГц (МГц — миллион Герц), к тому времени уже было обнаружено поглощение радиоволн. Оно возникало, когда радиоизлучение удалённого источника встречало по пути к Земле облако межзвёздного газа, содержащее молекулы гидроксидов. Аналогичное поглощение легко наблюдать в лаборатории при помощи радиоспектроскопа.

Учёные допустили, что такое облако, освещаемое мощным инфракрасным излучением близкой звезды, может испускать радиоволны на той же самой частоте. Объектами, в которых радиоастрономы ожидали обнаружить излучение молекул гидроксидов на частоте 1,667 МГц, были облака межзвёздного газа, богатые атомами водорода. Предполагалось, что, если в водородном облаке находятся и атомы кислорода, некоторые из них соединятся с атомами водорода, образуя молекулы гидроксидов. Ни в одном из таких облаков не удалось зафиксировать ожидаемое излучение.

Но, наблюдая радиоизлучение туманности Ориона, представляющей собой обширную область ионизированного атомарного водорода, радиоастрономы неожиданно наткнулись на излучение, имеющее непредвиденное значение частоты: 1,665 МГц. Спектральная линия с такой частотой была известна по лабораторным исследованиям. Она также принадлежала молекуле гидроксидов, но всегда сопровождалась вдвое более интенсивной линией на частоте 1,667 МГц. Казалось невероятным, что более интенсивная спектральная линия, бывшая объектом поисков, отсутствовала, а более слабая не только присутствовала, но и оказалась невероятно интенсивной.

Слово «невероятно» применено здесь не для того, чтобы придать рассказу характер сенсации. Сенсационной была величина интенсивности. Повторяем — такой интенсивности можно ожидать от излучения гидроксидов только в том случае, если его молекулы нагреты до десяти тысяч миллиардов градусов. Но такой температуры в наше время не существует нигде, даже в недрах самых ярких звёзд.

Столкнувшись с парадоксальной ситуацией, астрофизики не могли найти ей никакого объяснения. При обсуждениях природы обнаруженного излучения астрофизики называли неизвестный излучающий газ мистериумом (таинственным).

К счастью, эта история произошла в 1965 году, после создания мазеров — квантовых генераторов радиоволн Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым в СССР и Ч. Таунсом с сотрудниками в США. Мазеры (в отличие от обычных генераторов радиоволн) излучают радиоволны сантиметрового диапазона так, что спектральные линии их излучения очень узки, а их интенсивность очень высока. Если бы такие электромагнитные волны излучал не мазер, а обычное вещество, оно должно быть раскалённым до таких же и даже до более высоких температур, чем нужно для излучения облаку мистериума.

Учёным не оставалось ничего иного, как предположить источником таинственного излучения космический мазер, созданный самой природой. Это была самая настоящая неожиданная сенсация.

СЮРПРИЗ КРАСНЫХ ГИГАНТОВ

Расчёты показали, что радиоастрономы действительно обнаружили природный мазер. Оказалось, что в облаке, содержащем молекулы гидроксила, при его освещении интенсивным инфракрасным излучением близких звёзд действительно возникают условия для возникновения мазерного излучения. Причём это происходит на частоте 1,665 МГц, а не на частоте 1,667 МГц, соответствующей излучению облака гидроксила, нагретого до температуры «всего» в несколько тысяч градусов.

Не будем говорить о механизме, приводящем к возникновению мазерного излучения, он подробно обсуждался выше. Достаточно сказать, что в облаках межзвёздного газа уже обнаружено мазерное излучение ряда других молекул. И число обнаруженных межзвёздных мазеров постепенно увеличивается. Следующий сюрприз ожидал радиоастрономов в 1968 году. Привыкшие к тому, что космическое мазерное излучение исходит от обширных облаков межзвёздного газа, они внезапно обнаружили точечные мазерные источники. Их излучение удаётся наблюдать, только если антенна радиотелескопа направлена на вполне определённые точки небесной сферы. Направив туда оптические телескопы, астрономы неизменно встречали звёзды, принадлежащие к вполне определённому классу красных переменных звёзд. Их называют красными гигантами. Пришлось признать, что и эти звёзды являются космическими звёздными мазерами. Но как же они становятся мазерами?

Красные переменные звёзды являются гигантами потому, что в них уже иссякают запасы водорода, необходимые для протекания термоядерных реакций, поддерживающих высокую температуру и большое давление внутри звезды. При этом гравитационные силы стягивают вещество звезды по направлению к её центру. В результате возникают ударные волны, приводящие к временному перегреву внешних слоёв и вызывающие периодические выбросы вещества в межзвёздное пространство. Мы наблюдаем при этом периодическое увеличение и уменьшение яркости звезды.

Первая изученная в 1957 году красная переменная звезда расположена в созвездии Кита и носит наименование Мирра. В каталогах она значится как Мирра Кита. Затем были обнаружены другие аналогичные звёзды, периоды изменения яркости которых лежат в пределах от 200 до 500 дней. От них отличаются другие красные переменные, имеющие ещё большую массу, сверхгиганты. Они обладают и большей светимостью, а период колебаний их яркости менее регулярен и лежит в пределах от 500 до 1000 дней.

Общим для этих двух подклассов является сравнительно низкая температура — около 2000 К (напоминаю: К означает «градусов Кельвина»). Температура светящейся поверхности Солнца составляет 6000 К, поэтому Солнце излучает наиболее интенсивно на волне 0,5 мкм в жёлто-зелёной области спектра. Красные гиганты и сверхгиганты излучают наиболее интенсивно на волне 1,5 мкм в невидимом инфракрасном участке спектра, причём на этой волне излучается значительно большая доля энергии, чем это было для наблюдаемой

средней температуры 2000 К. Обнаружение такого избытка поставило учёных на некоторое время в тупик. Но излучение различных математических моделей атмосферы красных гигантов показало, что в ней находится значительное количество газов, выброшенных из её нижних слоёв ударными волнами, а затем остывших и образовавших молекулы и пылевидные частицы, имеющие температуру в несколько сотен градусов Кельвина.

В этих условиях вследствие интенсивного возбуждения инфракрасным излучением звезды молекулы гидроксидов становятся активной средой мазера, излучающего ярче всего на частоте 1,612 МГц. Этот звёздный мазер излучает также на частоте 1,665 МГц, характерной для мазеров в межзвёздных облаках и на частоте 1,667 МГц.

В 1969 году в созвездии Большого Пса, видимом в Южном полушарии, была обнаружена звезда, являющаяся звездным мазером на частоте 22,235 МГц (волна 1,35 сантиметра), характерной для молекул воды. Затем были обнаружены ещё много звёздных мазеров, в которых излучают молекулы гидроксидов, воды и некоторые другие. Общее их количество уже измеряется сотнями.

Наиболее сенсационным открытием в этой области было обнаружение ряда переменных звёзд, обладающих мазерным излучением в миллиметровом диапазоне. Это излучение было первоначально отождествлено с молекулой монооксида кремния, одной из наименее распространённых в космосе. Мнения учёных разделились. Одни соглашались с тем, что это звёздный мазер, но утверждали, что молекулы монооксида кремния ни при чём. Другие считали, что излучение обусловлено монооксидом кремния, но не является мазерным. Потребовалось проведение тщательных наблюдений, расчётов и сопоставлений, чтобы доказать правильность первоначального предположения: это звёздный мазер, в котором излучают молекулы монооксида кремния, находящейся при температуре свыше 1000 К.

Открытие звёздных мазеров дало астрофизикам новый источник информации. Линии излучения гидроксильных звёздных мазеров почти всегда разделяются на две группы, частоты которых слегка сдвинуты между собой. Одна группа — в сторону более высоких, а другая — в сторону более низких частот, совсем как это бывает со звуком гудка приближающегося и удаляющегося паровоза. Это несомненно эффект Доплера, а сдвиг мазерных линий обусловлен тем, что при расширении светящейся оболочки звезды её часть, обращённая к наблюдателю, приближается к нам, а часть, расположенная позади звезды, удаляется от наблюдателя. Величина сдвига излучаемых частот изменяется с тем же периодом, что и яркость видимого свечения звезды. Расчёты показывают, что для короткопериодических гигантов типа Мирры Кита скорости расширения атмосфер, содержащих гидроксильные мазеры, достигают 10 км/с, а для сверхгигантов даже 40 км/с.

Предположение о том, что доплеровский сдвиг вызван вращением звёзд, отпадает потому, что скорость вращения таких гигантов не может изменяться со столь малыми периодами, как сотни дней.

Звёздные мазеры позволили уточнить наши знания о красных гигантах. Диаметр самой звезды в несколько сот раз превышает диаметр Солнца, а окружающая газопылевая атмосфера в 15 раз превышает размеры Солнечной системы. Давление излучения, исходящего от звезды, ускоряет газ и пыль. Процесс идёт сначала медленно, затем быстрее, а во внешних областях опять медленно. Давление излучения, а следовательно, и скорости молекул и пылинок периодически изменяются вместе с яркостью свечения звезды. При этом в атмосфере пробегают расширяющиеся ударные волны. Таким образом, в красных гигантах происходят бурные процессы, по интенсивности уступающие только процессам в новых и сверхновых звёздах.

О межзвёздных мазерах, возникающих в газопылевых облаках, известно меньше. Однако данные наблюдений с определённой точностью указывают на то, что в облаках, обладающих мазерным излучением, вероятно, скрываются слабо нагретые протозвёзды, находящиеся на первых этапах звёздной эволюции. Это подтверждается как тем, что в этих облаках не видно горячих звёзд, так и тем, что в этих облаках ещё не удалось наблюдать межзвёздных мазеров на монооксида кремния, для существования которых необходимы температуры порядка 1000

К.

х х х

В этой книге рассказано лишь несколько историй, они разные, в них разные действующие лица, разные области физики, но всё это истории о том, как учёные пытаются ответить на вечные вопросы. Познаваем ли мир? Может ли разум понять устройство природы? Можно ли предчувствовать истину? И что есть истина?

Прочитав книгу, читатель вправе продолжить перечень вопросов, а задумавшись над ними, попытаться ответить на некоторые из них по-своему. Ведь не все же найденные ответы правильные, не все решения единственные, не все варианты ответов перебраны.

Так и только так — усомнившись в истинности существующих ответов — поступали все те, о ком рассказано в этой книге.

Дальнейший рассказ — за Вами, мой читатель!