

Ирина Радунская

ПРЕВРАЩЕНИЯ
ГИПЕРБОЛОИДА
ИНЖЕНЕРА
ГАРИНА

ПРЕДЧУВСТВИЕ

КОГДА ФИЗИКИ В ЦЕНЕ

Четверо пассажиров приземлились в аэропорту Стокгольма на два часа раньше, чем предполагалось. Их никто не встречал. Никто! Хотя предшественники предсказывали им торжественную, даже бурную встречу.

Прибывшие не огорчились – путешественник всегда подвластен воле случая. Особенно если, экономя время, он прибегает к услугам авиации.

Стюардесса проводила их в небольшую уединенную комнату и, забрав паспорта, предложила располагаться и отдыхать.

Минут через пятнадцать дверь резко отворилась, в комнату ворвался задыхающийся мужчина и со словами: «Я первый!» – свалился в кресло.

Несколько секунд он тяжело дышал, не произнося ни слова, потом встал, поздоровался и вынул репортерскую карточку.

– Разрешите задать вам два вопроса, – сказал он. – Во-первых, бывали ли вы раньше в Швеции? Во-вторых, на что вы потратите деньги?

Приезжие переглянулись. Один из них ответил:

– В Швеции мы не бывали. Что же касается денег, это не проблема. Ведь с нами жены.

Второй кивнул головой в знак согласия.

Репортер быстро записал ответы, щелкнул несколько раз фотоаппаратом, поблагодарил и исчез.

Вскоре возвратилась стюардесса, торжественно неся четыре паспорта и букет цветов.

– Все в порядке, – сказала она с очаровательной улыбкой, – вы можете ехать в Гранд-отель.

Получение багажа заняло немного времени. Приезжие сели в такси и покинули аэропорт. Пожалуй, они были даже довольны, что их никто не встречал. Торжественные встречи всегда утомительны.

Города имеют нечто общее с людьми. Каждый, кроме, может быть, маленьких американских городов, отмечен своими индивидуальными чертами. Это, конечно, не исключает и сходства. Стокгольм расположен на островах и обоих берегах пролива, соединяющего озеро Меларен с заливом Сальтшен. Это сообщает ему некоторое сходство с Ленинградом и Венецией. Скорее с Ленинградом, решили приезжие, с Ленинградом его роднит Балтийское море и северное небо. Правда, скалистые берега придают суровое своеобразие облику этого города и отличают его от расположенного на низменных островах Ленинграда.

Дорога промелькнула быстро, и вот перед ними выросло величественное старинное здание. Гранд-отель! В холле их уже ждало несколько представительного вида господ. Последовали приветствия, вопросы и, наконец, пожелания спокойного отдыха.

Но отдохнуть не пришлось. Телефонный звонок, и уже через полчаса на них обрушилась первая пресс-конференция.

– Дамы и господа, – представил приезжих посол, – перед вами прибывшие в Стокгольм для получения Нобелевской премии советские ученые, члены-корреспонденты Академии наук Советского Союза профессор Александр Михайлович Прохоров (Прохоров слегка наклонил голову – очень высокий, худощавый, – осветил зал веселой, немного озорной улыбкой), профессор Николай Геннадиевич Басов (тот тоже был не малого роста, но более массивного сложения, над стеклами очков поднимался высокий лоб, он радушно улыбнулся, как будто перед ним была не толпа репортеров, а несколько пришедших в гости друзей). С ними их жены – Галина Алексеевна Прохорова и Ксения Тихоновна Басова. Они готовы ответить на ваши вопросы.

От традиционных: «Бывали ли вы раньше в Швеции? Как вам понравился Стокгольм?» – перешли к вопросам о научных планах новых лауреатов, о том, как они оценивают перспективы квантовой электроники. Но репортеров это не удовлетворило.

Они искали «изюминку». И кто-то из них обратился к Басовой: понимает ли она что-нибудь в работе мужа?

Молодая темноволосая женщина с высокой прической, медленно поднимаясь, казалось, старалась выиграть время. Но в следующее мгновение она обвела присутствующих живыми блестящими глазами и, слегка усмехнувшись, сказала:

– Это нелегкий вопрос. Дело в том, что мой муж шел по моим стопам.

Зал замер. Затихли даже кинокамеры.

– Я физик. Будучи студенткой, в своей дипломной работе я изучала молекулярные пучки. И вот мой муж вместе с профессором Прохоровым создал квантовый генератор, в котором основную роль играет молекулярный пучок.

Все дружно рассмеялись и зааплодировали. Видавшие виды журналисты оценили ее находчивость.

– А потом? – раздались голоса.

– Затем я приступила к исследованию полупроводников. И что же? Мой муж предложил использовать полупроводники для создания лазеров и вскоре построил различные типы полупроводниковых лазеров. Судите сами!

– Значит, часть Нобелевской премии по праву принадлежит вам! – в тон ей заметил кто-то из зала.

Репортеры были в восторге. Они получили свою порцию «изюма». Но Прохорову это не избавило от такого вопроса. Галина Алексеевна призналась, что ее бедняге мужу оставалось рассчитывать только на свои силы; она, увы, географ и не могла оказать ему столь существенной поддержки. Зато их сын Кирилл догоняет отца во всех отношениях – он такого же роста и изучает физику в Московском университете.

Вечер закончился в теплом кругу сотрудников советского посольства и их семей. Гости рассказывали последние московские новости. Хозяева познакомили их с предстоящей церемонией.

Здесь было с чем знакомить. Ритуал вручения Нобелевских премий, имеющий более чем 60-летнюю историю, оброс бахромой деталей, которыми пренебречь невозможно. Вручение происходит ежегодно 10 декабря, в день смерти Альфреда Нобеля, шведского ученого-химика и предпринимателя, известного тем, что он изобрел динамит, провел детство в России, владел русским языком так же хорошо, как шведским, немецким, французским и английским. Но широкую популярность Нобель приобрел только посмертно. Он завещал 31 миллион крон на выдачу премий за лучшие работы в области физики, химии, физиологии, медицины и литературы, и теперь миллионы людей обсуждают очередное вручение его премий. Церемония с годами превратилась в десятидневный праздник, веселый, остроумный, но движимый жесткими традициями и строгой режиссурой. В нем принимают участие Академия наук и королевский двор, студенты и вся столица. Заранее заготовленное расписание не оставляет нобелевским лауреатам ни секунды свободной. Их время, одежда, место за столами бесконечных банкетов – все рассчитано заранее до миллиметра, до крапинки на галстук. Тут не допускается ни грана импровизации и самодеятельности.

Для приезжих многое в этом ритуале не имеет значения и выглядит как чудачество гостеприимных хозяев, однако для шведских участников торжеств все исполнено важного и многозначительного смысла. Как близко к королю и королеве их посадят в этом году, кто будет их соседями по столу и партнерами в танцах, – это для стокгольмского общества слишком существенно, чтобы превратиться в шутку.

Первой задачей лауреатов, и задачей, как оказалось, нелегкой, учитывая рост Прохорова, было достать напрокат фраки. Профессор Таунс, американец, разделивший с Басовым и Прохоровым премию и хлопоты по обзаведению фраками, как человек, более натренированный по части

светских условностей, взял напрокат даже цилиндр, надев его единственный раз – по пути от гостиницы до автомобиля и от автомобиля до Концерт-хауза, в котором происходило вручение премий. Меланхоличный и чопорный на вид, но остроумный и непосредственный по натуре, Таунс в этом преувеличении традиций дал выход своему юмору.

И вот наступило 10 декабря 1964 года.

В переполненный зал роскошного Концерт-хауза под звуки фанфар входит высокий, статный старик – король Швеции. Затем фанфары приветствуют лауреатов. Их торжественно сопровождают выдающиеся шведские ученые. Басов, Прохоров и Таунс идут тем же путем, которым шли здесь Макс Планк, Альберт Эйнштейн, Нильс Бор и другие замечательные физики нашего времени. Пожалуй, список нобелевских лауреатов может служить неплохим пособием для изучения истории физики нашего века!

Наконец все успокаиваются. Дамы перестают шуршать своими вечерними туалетами. Перестают шептаться даже жемчуга и бриллианты в первых рядах партера. Председатель Нобелевского комитета, сам нобелевский лауреат, профессор Арне Тиселиус, поднимается на трибуну.

– Комитету по Нобелевским премиям, – начинает он свою речь, – часто приходится получать письма от неизвестных в мире науки лиц, как из Швеции, так из-за рубежа. Многими из подобных посланий, конечно, можно пренебречь. Некоторые из них исходят от людей, попросту не совсем нормальных. Одни пишут с целью рекомендовать на Нобелевскую премию самих себя, другие – своих друзей. Мне вспоминается случай, когда автор одного из писем просил присудить ему Нобелевскую премию в связи с открытым им лекарством против рака. Однако никаких подробных данных о лекарстве и его действии он сообщить не пожелал. Ни в коем случае до получения премии! В других письмах среди прочих достоинств кандидата рекомендующие особо подчеркивают его человеческие добродетели. «Вы бы только взглянули, какая трогательная картина, когда он и его внуки играют в

саду!» – добродетель, которую Комитет по Нобелевским премиям никак не может принять во внимание.

Увы, эта шутка была единственным, что мог усвоить каждый присутствующий из всех произнесенных в этот вечер речей. Важные ученые, выступившие вслед за председателем, всю пользовались правом говорить о своей науке непонятно.

Лауреаты, сидевшие лицом к залу, видели, как с достоинством скучала старая королева, на которую уже наложила печать неизлечимая болезнь; как томились ее фрейлины, для которых доклад, произнесенный на родном шведском языке, был не более понятен, чем средневековая латынь; как переглядывались чуть ли не полтора десятка родственников, прихваченных с собой англичанкой Дороти Ходжкин, третьей женщиной, получившей после Мари и Ирэн Кюри Нобелевскую премию.

Когда кончились речи, все вздохнули с облегчением и три лауреата-физика один за другим подошли к Адольфу VI.

Король обратился к Басову, Прохорову и Таунсу с кратким приветствием и с доброй улыбкой вручил им диплом и медаль лауреатов Нобелевской премии. Интересно, понимал ли он, за что все-таки вручал эти 50 000 долларов? Может быть, и понимал, ведь это необыкновенный король, король-профессор, совмещающий свои королевские обязанности с научной работой (каждый год он берет трехмесячный отпуск для участия в археологических раскопках!).

Пожалуй, профессор Эдлен, который докладывал об открытии Басова, Прохорова и Таунса, допустил ошибку, произнеся сугубо научную речь. Наверно, лучше было бы дать присутствующим почитать фантастический роман Алексея Толстого «Гиперболоид инженера Гарина», но разъяснить при этом, что действительность превзошла фантазию – мощный световой луч не только получен, но, вместо того чтобы разрушать заводы и дома, убивать и калечить, он лечит людей, помогает в тончайших операциях, обрабатывает детали, отсчитывает самое точное время, исследует планеты, управляет

космическими кораблями. Что лучи смерти по-прежнему и навсегда останутся мифом. Это обещают физики, которые держат их в своих руках. Они дарят людям созидающие лучи.

Но ученые остаются учеными, и речь профессора Эдлена оказалась понятной лишь немногим его коллегам. А почему бы ему в нарушение традиций не рассказать о том, как возникло творческое содружество Басова и Прохорова, что они за люди? Вместо всяких мудреных терминов вроде «микровайв эмплификэйшн бай стимулейтед эммишен оф рэдиэйшен», что частично описывает суть изобретения лауреатов Нобелевской премии, он мог бы начать свою речь, скажем, так:

– Ваше величество, ваши королевские высочества, уважаемые дамы и господа!

Физики ныне в цене. Цена на них подскочила сразу после войны. В Москве распределение выпускников-физиков в те годы напоминало нечто среднее между тетеревиным током и рыцарским турниром. Соперники – представители исследовательских институтов и конструкторских бюро – сражались за каждого выпускника. Говорят, что однажды и Прохоров томился в коридоре МИФИ (Московского инженерно-физического института), у дверей, за которыми решалась судьба его дипломника Басова, и соображал, как бы заполучить его на работу к себе в лабораторию. Прошу прощения, я слышу вопрос: «Почему томился Прохоров? Почему ему так хотелось взять Басова к себе на работу?» Ну, во-первых, они подружились, разница в возрасте дипломника и руководителя была невелика, во-вторых, у них уже возникли общие идеи и, в-третьих, их объединяло и фронтовое прошлое. Прохоров прошел войну разведчиком (хотя я и не понимаю, как ему это удалось при его росте!), а когда вернулся и защитил кандидатскую диссертацию, начал работать на ускорителе заряженных частиц – синхротроне, незадолго до этого изобретенном академиком Векслером и построенном в Физическом институте АН СССР, или попросту ФИАНе.

Тут к нему и присоединился студент-фронтовик Басов. Кстати, Басов на фронте был фельдшером, так что, друзья, он одновременно доктор физики и фельдшер медицины. После войны он поступил в МИФИ и свою дипломную работу выполнял у Прохорова в ФИАНе на уже известном вам синхротроне.

И вот, когда Прохоров нервно разрабатывал один план боевой операции за другим, ему пришла в голову гениальная идея. Говорят, и я думаю, этому можно верить, он додумался обменять Басова на синхротрон! Решил подарить МИФИ синхротрон, надеясь, что МИФИ подарит ему Басова.

Милая фрейлина в четвертом ряду, не падайте в обморок, мистер Прохоров не разорился. Ему даже не пришлось тратить деньги на этот подарок. Просто он уговорил дирекцию ФИАНа отдать синхротрон. Пускай владеют им студенты. Конечно, может быть, это легенда, но факт остается фактом: Басов остался работать в ФИАНе, синхротрон переехал, правда, не в МИФИ, а в МГУ. И если перефразировать известное изречение «Париж стоит мессы», то Басов стоил синхротрона. В результате учитель и ученик сделали величайшее открытие, а ФИАН получил сразу двух лауреатов Нобелевской премии. Кстати, ФИАН ухитряется поставлять лауреатов пачками, вспомните Тамма, Франка и Черенкова, которых мы также недавно здесь приветствовали...

Ничего подобного уважаемый профессор, конечно, не говорил. Мне это просто почудилось, когда Александр Михайлович и Николай Геннадиевич рассказывали мне по приезде из Стокгольма о нобелевских торжествах, о юбилейных речах, произнесенных там. И я подумала: что же может извлечь из этих речей простой смертный, что узнает он о действительно замечательном открытии, о приборах, которые мы называем странными именами – лазеры и мазеры? И поняла, что шведская столица, чувствуя от всей души советских физиков Басова и Прохорова, право же, не

узнала, с какими замечательными людьми она познакомилась. Не больше, по-видимому, узнали шведы и о личности Таунса.

А ведь что может быть увлекательнее, чем судьбы выдающихся людей и незаурядных идей, чем история замысла и созревания мысли, предчувствие открытия? На какой почве укрепились корни открытия, корни таланта его авторов, и, наконец, что же такое сами мазеры-лазеры, чем обогатили они человечество, чем привлекли такое острое внимание (не такое оно падкое на сенсации в двадцатый век, человечество!)?

Тогда-то у меня и возникло решение написать книгу о том, что узнала я о вновь рожденной науке от Александра Михайловича и Николая Геннадиевича, услышала от их сотрудников и друзей, что увидела в их лабораториях. Я знаю, это будет нелегкое чтение – это не роман о любви, не рассказ о путешествиях. А впрочем, может, и о путешествиях... «Наше проникновение в мир атомов, до сих пор скрытый от глаз человека, несомненно, является смелым предприятием, которое можно сравнить с великими, полными открытий кругосветными путешествиями и дерзкими исследованиями астрономов, проникших в глубины мирового пространства», – сказал выдающийся физик Нильс Бор.

Мы с вами предпримем путешествие к ничем пока не оправдавшим себя гипотезам и совершенным, как окружности, теориям, в глубь овеществленных идей – в сердце «живых» приборов с их прозой (с точки зрения одних) и с их поэзией (в чем убеждены другие).

Мы не будем долго задерживаться на описаниях характера ученых, их внешности, обстоятельствах жизни. В истории открытий, думается, они не играют решающей роли. Правда, французский ученый Блез Паскаль утверждал, что «будь нос Клеопатры короче, переменился бы весь облик Земли». Вряд ли. Мне кажется, самое главное – это ход мысли ученого. Стил ь его разума так же неповторим, как манера письма художника, как особенность воображения композитора. Своеобразие почерка, острота

интуиции, необычная логика мысли – вот что приводит к открытиям, что действительно меняет облик окружающего нас мира.

КОРНИ

Представьте себе диаграмму, изображающую прогресс человечества. Она начинается в неведомые доисторические времена с изготовления примитивных орудий, освоения огня, приручения животных, земледелия. Каждый из этих важнейших этапов развития человека отмечен на диаграмме маленькой ступенькой. Кривая, составленная из ступеней и пологих участков, изображающих те периоды в истории, когда не происходило ничего существенного, медленно поднимается вверх.

С изобретением письменности и календаря пять– шесть тысяч лет назад прогресс заметно ускорился. Крутой подъем античного периода сменяется унылым равнинным прочерком средневековья, а за ним новым взлетом – эпоха Возрождения. Кривая идет вверх все круче и круче, и, глядя на нее, невольно вспоминаешь Ильфа и Петрова. Помните? У них, правда, по другому поводу, сказано:

«... нарастание... напоминало рукопись композитора Франца Листа, где на первой странице указано играть «быстро», на второй – «очень быстро», на третьей – «гораздо быстрее», на четвертой – «быстро, как только возможно» и все-таки на пятой – «еще быстрее!»».

Разница состоит лишь в том, что прогресс человечества не может, как Рапсодия Листа, иметь конца и, если не наступит какой-либо катастрофы, на каждой следующей странице будет указано: «Еще, еще, еще быстрее!» И для того чтобы диаграмма была доступна обозрению, ее придется изображать, как говорят ученые, в логарифмическом масштабе, который сжимает изображение по мере того, как растет оригинал. И если теперь кривая покажется нам гладкой, то в этом виноват масштаб. Подойдем ближе, и мы

увидим, что она по-прежнему состоит из отдельных ступеней, соединенных более пологими участками. И каждая ступенька соответствует отдельному крупному открытию или изобретению.

Но если взглянуть на диаграмму сквозь увеличительное стекло, то и пологие участки окажутся испещренными многочисленными маленькими пиками, ибо в наше время каждый день отмечен сотнями изобретений и законченных научных работ.

Законченная работа! Как много стоит за этими двумя словами! Кто может передать все напряжение, в котором находились ее авторы? Как определить, что послужило первым толчком к ее началу? Почему за нее взялся именно этот человек или эти люди?

Как далеко можно проследить цепь причин? Какая доля заслуг принадлежит предшественникам, учителям, наконец, родителям? Да и следует ли пробовать разобраться в родословном древе отдельного открытия, в котором величественная крона последствий столь же интересна, как и незримое переплетение корней?

Я думаю, следует. Хотя пути успеха и тупики неудач каждой отдельной работы обычно индивидуальны, из них, особенно из неудач, можно извлечь много поучительного.

Начнем нашу историю с 1939 года, когда в Физическом институте Академии наук СССР, который помещался в то время на Третьей Миусской улице Москвы, появился выпускник Ленинградского университета Саша Прохоров. Он хотел заниматься радиофизикой и включился в исследования распространения радиоволн, которые проводились под руководством ученых-друзей – Леонида Исааковича Мандельштама и Николая Дмитриевича Папалекси.

Мандельштам и Папалекси – это целая эпоха в науке. Это и замечательная школа. А в науке имя учителя, время и место рождения зачастую оказывают на судьбу таланта не меньшее влияние, чем в искусстве. Вряд ли из городка, где никто не играет в шахматы, выйдет шахматный

гроссмейстер. Пианисты школы Игумнова, скрипачи школы Столярского – это пароль для музыкантов во всем мире. Когда Ойстрах еще не был Ойстрахом, он уже был учеником Столярского. Вы слышите: «Он – ученик Нейгауза», или: «Он – ученик Ямпольского»; и, узнав, из какого гнезда вылетел птенец, вы понимаете, чего можно от него ждать, каков стиль его игры, насколько глубоко его искусство, сколь совершенна его техника.

В той же мере это относится к научным школам. Физик из Геттингена, Кембриджа или из Копенгагена – такая рекомендация в первой четверти нашего века открывала ученым двери любой лаборатории мира. И вероятно, надо с особой скрупулезкостью искать, чтобы обнаружить случай, когда такая рекомендация себя не оправдала. Этого почти не бывает. Люди большого интеллекта имеют особый дар, помогающий им развить в учениках все редкие качества ума и таланта, и особый «нюх» на одаренность, незаурядность, яркую индивидуальность. Это будет цениться во все времена и во всех странах, пока живут здравый смысл и благородство человечества.

И Ландау не нужно было писать длинные рецензии на работы своих учеников. Ему достаточно было начертать: «Одобрю. Ландау» – и все понимали, что к чему.

Ученики Тамма, ученики Иоффе, нужно ли к этому что-либо прибавлять, если каждый, кто читает газеты, кто слушает радио, почти ежедневно слышит об открытиях, сделанных советскими учеными, принадлежащими к этим школам. О них пишутся и будут писаться книги. И каждая расскажет о целой плеяде физиков с особым почерком и хваткой, о целой охапке проблем, которые удалось решить с только им присущим блеском и остроумием.

Но сегодня мы начали разговор о школе Мандельштама и Папалекси, той школе советских физиков, к которой имеет счастье причислить себя один из героев нашей книги – Прохоров.

Ученик Мандельштама и Папалекси – это уже давно звучит так же громко, как в будущем, мы надеемся, будет звучать звание «ученик

Прохорова». Во всяком случае, Басов – блестящее тому начало. Но рассказ о нем еще впереди.

Вернемся, однако, к началу нашего века, или, вернее, к самому концу прошлого.

Леониду Мандельштаму исполнилось 16 лет, когда весь мир облетела сенсационная новость об удивительных опытах русского ученого Александра Степановича Попова. Подросток решил стать ученым. И, окончив гимназию, Мандельштам поступает на физико-математический факультет Новороссийского университета.

Он был горячим, увлекающимся юношей. И конечно, принял самое активное участие в студенческом революционном движении. И был исключен без права поступления. Пришлось доучиваться за границей. Он поступил в Страсбургский университет. Здесь неизгладимое впечатление от изобретения Попова подкрепилось тем увлечением, с которым его учитель профессор Браун занимался усовершенствованием радиотелеграфии.

Не удивительно, что Леонид Исаакович полностью погрузился в эту новую область науки и после окончания университета посвятил себя теоретическим исследованиям радиоприемных и радиопередающих устройств. Он участвовал в первых опытах по передаче радиоволн на большие расстояния на Балтике, а тогда рекордным расстоянием было 150 километров!

Вскоре он делает свое первое изобретение в области радио – то была так называемая «слабая связь» (особая связь антенны с приемником), которая и теперь широко применяется в радиотехнике. Это изобретение ознаменовало собой целый этап в истории развития радиосвязи и сделало имя Мандельштама широко известным среди радиоспециалистов.

А затем- Леонид Исаакович в самое короткое время выполняет целый ряд сложных исследований в области электромагнитных колебаний применительно к радиотехническим устройствам и в 1902 году, в возрасте 23

лет, защищает диссертацию и получает степень доктора натуральной философии Страсбургского университета.

Постепенно от электромагнитных колебаний и волн в свободном пространстве Мандельштам переходит к изучению взаимодействий между полями и веществом, к исследованию прохождения света через различные среды, что через четверть века привело его и академика Г. С. Ландсберга к величайшему открытию, открытию комбинационного рассеяния света. Можно представить, какого экспериментального искусства они достигли и сколь глубока была их интуиция, если им удалось заметить, конечно, не глазом, а удивительно тонко сконструированными приборами, что вещество ухитряется поставить свое «клеймо» на проходящий сквозь него луч света.

И оказалось, что у каждого вещества своя метка, свой росчерк пера! Мандельштам и Ландсберг создали целую науку, позволяющую расшифровывать эти письма, и дали промышленности способ тонкого анализа самых сложных смесей, который теперь применяется на заводах и в лабораториях всего мира.

В этой работе четко проявился почерк Мандельштама – идти от глубокой теории к промышленному прибору, и эту черту он прививал своим ученикам, а его ученики своим, и только на такой почве смогли появиться впоследствии удивительные приборы – лазеры и мазеры, рожденные из синтеза сложнейшей теории и искуснейшего эксперимента.

Возможно, именно эта особенность Мандельштама и стала залогом дружбы с другим ученым такого же диапазона, Николаем Дмитриевичем Папалекси. Они были ровесниками (Мандельштам родился в 1879 году, Папалекси – в 1880 году). Оба увлекались радиотехникой. Подружились еще на студенческой скамье в Страсбурге. И их жизнь и работа так переплелись, что посмертное собрание сочинений Мандельштама в существенной части состояло из совместных работ с Папалекси. Зато впоследствии составители собрания трудов Николая Дмитриевича были в затруднении. Им нужно было либо почти полностью повторить уже сделанную работу, либо том

самостоятельных работ Папалекси считать продолжением пяти совместных. Эти замечательные люди дружили и работали вместе 30 лет и, начав с элементарных опытов по передаче радиоволн, прошли с наукой о колебаниях до современной радиофизики. Это один из редких примеров того, как судьба ученых и созданная ими наука переплелись и корнями и ветвями.

Замечательные человеческие качества Мандельштама и Папалекси были примером их ученикам.

Николай Дмитриевич, зная, как трудно Мандельштаму отрываться от захватившей его идеи, от теоретических исследований, брал на себя всю тяжесть внедрения их совместных работ в жизнь. И дело было не в особой склонности Николая Дмитриевича к практическим делам. Просто он видел, рассказывает их ученик Сергей Михайлович Рытов, что эта часть деятельности непосильна для Мандельштама. И из чувства глубокой привязанности к другу он старался разгружать Мандельштама от дел, которые были тому в тягость.

– Папалекси органически не мог оставлять работу незаконченной и чувствовал себя обязанным довести ее до завершения, – вспоминает Рытов. – Ощущение же завершенности возникало у него лишь тогда, когда плодом теории и эксперимента являлось не только выяснение вопроса, но и практическое применение открытия, непосредственный выход в технику. И безусловно, благодаря этой черте Папалекси, их научное сотрудничество с Мандельштамом привело к таким выдающимся практическим результатам.

Конечно, все это отрывало Николая Дмитриевича от лабораторной работы и требовало много сил. Особенно тяжелым был период, когда оба в самом начале первой мировой войны вернулись на родину и на почти пустом месте создавали отечественную радиопромышленность. Необходимо было организовать радиосвязь с союзниками. Но без радиоаппаратуры сделать это было невозможно, а электронных ламп в России еще не было. Папалекси дневал и ночевал на заводе, и вскоре появились «лампы Папалекси», предвестники отечественной радиоэлектроники. На этих первых лампах

были смонтированы усилители и генераторы, а из них созданы пленгаторные установки и связные радиостанции. А потом под руководством Папалекси были разработаны первые радиоприемники для армейской и морской авиации, для подводного флота. Николай Дмитриевич сам проводил испытания на подводных лодках и летал с аппаратурой на самолетах. Много дней и ночей на заводах, месяцами в дальних экспедициях и вместе с тем – чтение лекций и большая теоретическая и экспериментальная работа.

И дело было совсем не в таком уж железном здоровье. Сила и выносливость отнюдь не достались ему от рождения. Наоборот, в детстве здоровье его было слабым, он часто болел, и лечение не приводило к радикальному улучшению, пока, наконец, он сам не взялся за это дело. Он начал систематически заниматься спортом и однажды даже принял участие в происходящих в Харькове велосипедных гонках.

Но непомерная нагрузка и трудности первых лет революции снова подорвали здоровье Николая Дмитриевича. В двадцатых годах врач, лечивший его от последствий недоедания и от туберкулеза желез, предсказал ему лишь месяц жизни. Но он выжил и снова воспитал в себе замечательную выносливость, поражавшую во время экспедиций и испытаний его более молодых сотрудников.

– Папалекси был прекрасным спортсменом, – рассказывает Рытов, – альпинистом, конькобежцем, велосипедистом, любителем лыж.

Все это помогало Папалекси нести на своих плечах почти все бремя практических завершений совместных работ. Но была и еще одна причина, из-за которой Николай Дмитриевич старался освободить для Мандельштама больше времени. Леонид Исаакович обладал одним незаурядным талантом. Он был превосходным учителем. Он умел учить мыслить. А что может быть более ценным, чем этот дар? Счастлив тот, кому удастся встретить в жизни настоящего учителя – в школе, в университете, просто на жизненном пути.

– Преподавание было для Леонида Исааковича существенной и неотъемлемой частью его научного творчества, – вспоминал Папалекси. – У него не было границы между исследованием и преподаванием. Хотя со свойственной ему скромностью он никогда не ставил целью излагать в лекциях содержание собственных работ, его преподавание было насыщено теми идеями и вопросами, которые лежали в основе его исследований. Лекции Леонида Исааковича были яркой и откровенной демонстрацией глубокого процесса физического мышления. В них было видно, как физик спотыкается о трудности, как на его пути накапливаются парадоксы и противоречия и как ему удается – иногда ценой умственного подвига, отказа от самых укоренившихся в человеческом мышлении привычек – высвободиться из противоречий и подняться на недостижимую ранее высоту, откуда открываются новые горизонты.

Ни одна деталь в лекциях Мандельштама не была пресной, безжизненной, в каждом вопросе он умел находить и показать аудитории его особую остроту и прелесть. Он не только принуждал посредством безупречной логики соглашаться со своими утверждениями, но старался найти общий язык со слушателями, убедить их «изнутри», устранить те трудно формулируемые психологические протесты, которые в физике так часто мешают пониманию. Все это вместе взятое создавало какую-то необыкновенную эмоциональную насыщенность, благодаря которой все услышанное от Леонида Исааковича доходило до самых глубин сознания.

Прослушав однажды доклад Мандельштама о радиоинтерферометрии, доклад на сугубо специальную тему, восхищенный академик А.Е. Ферсман передал свои впечатления одним словом: поэма!

Вот какую школу прошли ученики и сотрудники Мандельштама и Папалекси, сами ставшие со временем академиками: А. А. Андронов, Г. С. Ландсберг, М. А. Леонтович, И. Е. Тамм и многие другие выдающиеся физики. Вот в какую замечательную школу попал в 1939 году выпускник Ленинградского университета, худой и долговязый юноша Саша Прохоров,

придя в лабораторию колебаний, возглавляемую Мандельштамом и Папалекси. В лабораторию, которой он в свое время будет руководить.

Здесь 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 с единой точки зрения изучать работу лампового генератора радиоволн и работу человеческого сердца, распространение радиоволн и распространение звука, таинственный Люксембургско-Горьковский эффект и прохождение света через кристаллы. Всего не перечесать.

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 ее техническим воплощением. Словом, Прохоров попал в одну из самых передовых школ современной физики, и он пришелся здесь ко двору. Теория перемежалась 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. Вместе с ним ушли и другие. Многие не вернулись. Советский народ дорого заплатил за свою великую победу.

Прохоров возвратился. Тяжелое ранение надолго приковало его к госпитальной койке. Глубокие шрамы, эта грустная память о войне, остались на всю жизнь. Но Прохоров вернулся в строй. Он возвратился к научной работе. Первое время он 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 дело

победы, работая над повышением точности радиолокационных и радионавигационных систем.

Он стал аспирантом профессора Сергея Михайловича Рытова, глубокого и интересного ученого, и через три года трудных теоретических и экспериментальных исследований защитил кандидатскую диссертацию.

СПАСЕНИЕ УТОПАЮЩИХ...

Шел 1946 год. В то время радиофизики бились над освоением сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн. Сверхвысокие частоты – «эс-вэ-че» – это звучало во многих лабораториях мира и напоминало боевой клич. Задача овладеть все более короткими волнами была вызвана самой жизнью. А такие требования звучат для ученого как приказ.

В первые годы второй мировой войны радиолокаторы работали на метровых волнах. Но уравнения давно твердили, что чем короче волна, которую посылает радиолокатор в поисках вражеского самолета, тем точнее она находит его. А значит, тем легче его сбить, уничтожить!

И еще одно преимущество коротких волн было очевидно – они делали аппаратуру менее громоздкой, а это тоже было очень соблазнительно. Радиолампы становились крошками, радиопередатчики, приемники и антенны существенно «худели». Еще во время войны ученые и инженеры сумели перейти к дециметровым волнам, а затем овладели и сантиметровыми. Это были СВЧ. Но вскоре конструкторы поняли, что лобовой путь миниатюризации аппаратуры завел их в тупик. Радиолампы, генерирующие волны миллиметрового диапазона, превратились в подобие ювелирных изделий. И дело было даже не в том, что их стало трудно изготавливать. В процессе работы эти крошки так разогревались от бушующих в их недрах электромагнитных волн, а поверхность их стала

столь малой, что ее уже не удавалось охладить, и лампы одна за другой гибли от перегрева.

Что делать? Возвращаться к более длинным волнам? Но кто же уступит отвоеванные позиции? Нет, СВЧ были уже закреплены за радиолокацией, надо было просто придумать другие способы их получения. Требовалось создать такие радиолампы, в которых укорочение длины волны не было бы связано с уменьшением размеров лампы. А все известные принципы генерации основаны на этой связи. Оставалось искать новые пути, позволяющие обойти тупик.

Многие ломали себе над этим голову, и Прохоров тоже. И однажды он придумал. Но что это был за диковинный способ!

В это время в ФИАНе происходили бурные события. Владимир Иосифович Векслер, тогда еще не бывший академиком, изобрел удивительный прибор – синхротрон, ускоритель заряженных частиц.

Это было изобретение по заказу. По собственному заказу самого Векслера и всех его коллег, изучавших атомное ядро. В то время они были вооружены много лучше, чем Резерфорд, бомбардировавший атомные ядра альфа- и бета-частицами, возникавшими при радиоактивном распаде. Во многих странах работали линейные ускорители и циклотроны, в которых получались быстрые электроны и протоны. Но энергии, достижимые при помощи таких ускорителей, не велики. Это ограничивало возможность физиков.

И Векслер понял: есть доля истины в крылатом изречении: «Спасение утопающих – дело рук самих утопающих». Отказавшись на время от исследования атомного ядра, он начал сооружать «спасательный круг». Мысль об окружности возникла перед ним, когда он анализировал причины, ограничивающие энергию, достигнутую в циклотроне. В этом приборе ускоренные частицы движутся по спиральям в зазоре между полюсами большого магнита. Двигутся, подгоняемые при каждом обороте спирали энергией электромагнитного поля, возбуждаемого мощным генератором

радиоволн. С каждым оборотом растет энергия ускоряемых частиц, увеличивается их масса, они становятся неповоротливыми, возрастает время, затрачиваемое частицами на один оборот. И именно это ставит предел ускорению. Возникает противоречие – период электрического поля, ускоряющего частицы, постоянен, а период их движения постепенно увеличивается. Начинается сбой, порции энергии, получаемые частицами, становятся все меньше и меньше, ускорение прекращается.

Итак, заключил Векслер, причина, ограничивающая энергию, достижимую в циклотроне, в том, что период вращения частиц непостоянен. Значит, нужно сделать его постоянным. Необходимо, чтобы вращение частиц в ускорителе происходило в такт с ускоряющим полем, было синхронным с ним.

Следующий шаг кажется теперь очень простым. Векслер знал, что период вращения заряженных частиц в магнитном поле зависит не только от их энергии, но и от величины магнитного поля. Расчет показал ему, что, запитав электромагнит переменным током и придав его полюсам специальную форму, можно заставить ускоряемые частицы некоторое время вращаться не по спирали, а по узкому кольцу. При этом вращение частиц окажется строго согласованным с ускоряющим полем. Так, пока еще на бумаге, родился синхротрон, первый из семейства современных ускорителей.

Теперь нужно было воплотить его в металл и... пустоту. Да, в пустоту. Ведь ускорение частиц может без помехи происходить только в пустом пространстве, из которого тщательно удален воздух. В новом ускорителе частицы должны были двигаться по круговым путям. Поэтому вакуумной камере следовало придать форму, больше всего напоминающую спасательный круг или большую баранку.

Когда синхротрон был построен и начал работать, он оправдал возлагавшиеся на него надежды. Он легко превзошел энергию, оказавшуюся предельной для циклотрона и других известных тогда ускорителей. Конечно, синхротрон не мог придать частицам безгранично большую энергию. Одно

из существенных ограничений возникало в результате того, что пучок ускоряемых частиц при движении по орбите излучал электромагнитные волны. И чем большую энергию придавал частицам ускоритель, тем большая часть ее уходила на излучение электромагнитных волн. Так же как трансформатор превращает часть электрической энергии в тепло, ускоритель превращал часть энергии ускоряющего электрического поля в нежелательное электромагнитное излучение.

Нежелательное? Если оно нежелательно для тех, кто стремится лишь к получению быстрых частиц, то нельзя ли сделать его полезным для других целей? Нельзя ли, подумал Прохоров, использовать принцип синхротрона для создания новых генераторов сантиметровых и миллиметровых радиоволн?

Но для того чтобы создать генератор нового типа, нужно было сперва подробно изучить синхротрон.

Следовало во всех деталях исследовать механизм излучения электромагнитных волн пучком частиц, движущихся в круговой камере синхротрона. А синхротроны, построенные Векслером и его сотрудниками, уже с полной нагрузкой выполняли свою главную задачу. Они помогали физикам в штурме атомного ядра. Каждая минута машины была расписана на много месяцев вперед.

Конечно, можно было доказать важность новой работы и стать в хвост необозримой очереди. Но это претило темпераменту Прохорова. Он выбрал другой путь, не связанный с пассивным ожиданием. Ему удалось получить магнит от небольшого, простейшего ускорителя и в течение короткого времени с помощью немногих сотрудников превратить его в синхротрон.

В это время в лаборатории появился студент-практикант Николай Басов. Война оставила свой мрачный след и в его жизни. Как и другие юноши, окончившие школу в 1941 году, он, наверно, хотел стать летчиком, танкистом или пограничником. Но, призванный в армию, он успел окончить два курса Куйбышевской военно-медицинской академии, потом ее

расформировали, а слушателей, почти врачей, определили в фельдшерскую школу.

И вот один из товарищей Басова по школе, теперь писатель, Марк Поповский, вспоминает, что, хотя Николай учился отлично, медициной он все-таки не увлекался. Этот длинный очкастый парень в короткой и тесной гимнастерке и обмотках приставал ко всем с физическими задачками, а в свободное время читал книги по математике и технике.

Шла война. Фронту требовался медперсонал, и фельдшерская школа партию за партией посылала своих питомцев на передовую. Так Басов попал на фронт. После победы участвовал в демонтаже заводов, на которых гитлеровцы изготавливали отравляющие вещества. При этом перенес сильное отравление, долго болел.

После демобилизации Басов, не колеблясь, выбрал Московский инженерно-физический институт. Физика казалась ему неотделимой от техники. Он правильно понял дух нашего века. Постепенно его начала все сильнее привлекать к себе теоретическая физика, ее покоряющая мощь, ее гигантские успехи, ее захватывающие тайны. Может быть, это произошло потому, что кафедрой теоретической физики в институте руководил академик Игорь Евгеньевич 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 эту работу 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.

Досрочное окончание института – редчайший случай. Так впервые и в полной мере проявился научный стиль Басова – работать быстро, не щадя сил и времени, гармонически сочетать теорию и эксперимент, искать и находить новое. Это были как раз те качества, которые особенно ценились в этой лаборатории.

Но с синхротроном, надо сказать, у них все же ничего не получилось – пришлось убедиться, что из синхротрона хорошей радиолампы не получишь. Однако это не обескуражило молодых ученых – отрицательный опыт, во всяком случае, лучше отсутствия всякого опыта.

КАКАЯ-ТО ЧЕРТОВЩИНА

Эта неудача, конечно, не отразилась на судьбах радиолокации. Над созданием новых генераторов работали не только в лаборатории ФИАН, но и в других учреждениях. Радиолокация вскоре получила отличные лампы и антенны, приемники и передатчики. Наша артиллерия, снабженная точнейшими станциями наведения на цель, прекрасно справлялась со своей задачей.

Радиолокация развивалась бурно. Можно сказать без преувеличения, что в послевоенные годы не было более популярной области техники, чем радиолокация. Я помню, когда в Московском авиационном институте открылся радиотехнический факультет, на него устремились студенты со всех других отделений. И на тех, кого взяли, смотрели, как на счастливых. Нет, молодежь увлекал не только ореол победительницы, какой показала себя радиолокация во время Отечественной войны. Не только ее боевой аспект. Особенно привлекала таинственность, загадочная суть новой области техники. Посудите сами: что-то невидимое и неслышимое мчится сквозь пургу и дождь, ночь и туман и находит за тысячи километров самолет-точку в облаках и корабль за горизонтом! И нас, студентов-локационныхщиков, учили строить мощные передатчики и антенны, посылающие невидимые лучиискатели возможно дальше, чуткие приемники, способные уловить среди миллионов шумов, оглушающих Землю, еле-еле живое эхо, которое могло бы рассказать о местонахождении самолета или корабля, грозы или шторма.

Нас, радиоинженеров, интересовала аппаратура. Нашей задачей было сделать ее более мощной, удобной, выносливой. Нас занимали передача радиосигналов и их прием. Что делалось с ними на пути от передатчика к цели и обратно, оставалось вне нашей компетенции и внимания. Но физиков волновала как раз эта часть проблемы. Что случается с радиоволнами в воздухе, каковы их взаимоотношения со встречными атомами и молекулами? Это только нам, жителям большого мира, кажется, что воздух бесплотен. Для радиоволн воздух так же труднопроходим, как для человека джунгли. Радиоволны сталкиваются с атомами воздуха, огибают их, лавируют между ними. И физиков как раз и занимал вопрос о том, что происходит с ними в пути. И тут было над чем задуматься, потому что не всегда радиоволны доходили до цели. Иногда они рассеивались «как дым, как утренний туман», и операторы локационных станций напрасно ждали от них сведений. Особенно памятен один трагический военный эпизод.

7 декабря 1941 года эскадрилья японских торпедоносцев и бомбардировщиков совершенно беспрепятственно подошла к американской военно-морской базе Пирл-Харбор на Гавайских островах, атаковала ее и нанесла тяжелые потери тихоокеанскому флоту США. Спрашивается, как такое могло случиться – ведь база тщательно охранялась радиолокаторами? Правда, тогда многие писали, что в оплошности был виноват не радиолокатор, а оператор – он-де видел на экране локатора сигналы, но свои это или чужие, разобрать не смог.

Так или иначе, но тот эпизод послужил уроком, и ученые всерьез занялись изучением характера радиоволн. Тем более что были и другие непонятные случаи.

Еще во время войны специалисты, занимавшиеся созданием радиолокаторов на более короткие волны, встретились с загадочным явлением, которое долго не находило объяснения. Пучок радиоволн длиной в 1,3 сантиметра, посланный радиолокатором в поисках цели, «растворялся» в пространстве. Казалось, что кто-то невидимый ставил на пути лучей ловушку

и большая часть радиоволн захлопывалась в ней. Причина этого явления была неясна. Было лишь очевидно, что из-за сильного поглощения применять радиоволны длиной 1,3 сантиметра для радиолокации невозможно.

Странное явление очень заинтересовало ученых. Начались поиски разгадки. Пропуская радиоволны через разреженные газы, ученые убедились в том, что многие из них сильно поглощают короткие радиоволны. Азот и кислород, например, пропускают без изменения радиоволны длиной в 1,3 сантиметра, а водяные пары поглощают их. Различные газы поглощают не все проходящие через них радиоволны, а лишь те, которые имеют определенную длину. Остальные они пропускают, не задерживая.

Создавалось впечатление, что молекулы как-то настроены на эти волны и поэтому поглощают только их. Этим свойством молекулы напоминают радиоприемники. Ведь радиоприемники обладают способностью отделять сигналы одной радиостанции от сигналов остальных. И молекулы, подобно радиоприемникам, принимают лишь те волны, на которые они «настроены».

Короче говоря, стало ясно, что газы способны избирательно поглощать радиоволны. Волны определенной длины поглощались атмосферой много сильнее, чем остальные. Правда, еще в начале тридцатых годов на основе исследования оптического спектра молекулы аммиака было предсказано, что эта молекула должна сильно поглощать радиоволны длиной около 1,25 сантиметра. Более того, уже в 1934 году Клитон и Вильяме обнаружили такое поглощение. Но это не было таким уж сенсационным открытием, и радиолокаторщики не связали с ним свое удивительное наблюдение.

Вся эта чертовщина особенно взволновала физиков из лаборатории колебаний ФИАН. Они уловили в этой ситуации какие-то очень знакомые нотки. Нет, это было не то же самое, но явление в чем-то перекликалось с явлением комбинационного рассеяния света, открытого их учителем Мандельштамом! Только там речь шла о свете, а здесь – о радиоволнах. Но это было не принципиальное различие, ведь и то и другое – электромагнитные волны. Физиков не смущало, что картина во многом

носила противоположный характер. Мандельштам заметил, что вещество, сквозь которое проходит свет, кое-что добавляет к нему (лишние частоты – комбинационные, как назвал их Мандельштам), а у радиоволн отнимает. Если вещество облучать радиоволнами различных частот, то в зависимости от его состава оно поглотит кое-какие из этих волн. Чем не новый способ анализа неизвестных смесей? Конечно же, ученые не могли пройти мимо внезапно открывшейся возможности.

Поглощение газами радиоволн определенной длины было тем явлением, которое натолкнуло ученых на использование радиоволн в совершенно новых целях. Для радиоспектроскопии, как назвали новую область исследования, рожденной из союза радио и спектроскопии – науки очень молодой и очень старой, – наступило хорошее время. Кончилась война, и физикам досталась масса радиоламп и всякой другой аппаратуры, приспособленной для работы в диапазоне сантиметровых радиоволн. Они применили все это для исследования спектров атомов и главным образом молекул и убедились, что во многих отношениях радиоспектроскопия превосходит оптическую спектроскопию. Прежде всего по точности и чувствительности, а в некоторых случаях и по скорости исследования. Оказалось, с радиоволнами легче иметь дело, чем со светом.

Но радиоспектроскопия была не только применением радио к физике. В ней заключалась и встречная возможность: физика для радио. Радиоспектроскопия подсказала, как сделать более стабильной частоту радиопередатчиков. К этому стремились во многих лабораториях. В лаборатории колебаний ФИАНа аспирантка Наташа Ирисова и молодой кандидат физико-математических наук Марк Жаботинский в это время сумели применить спектральную линию аммиака для стабилизации своего генератора.

Закончив исследование излучения радиоволн электронами, мчащимися в синхротроне, Прохоров и Басов тоже увлеклись радиоспектроскопией. Басов в это время уже стал аспирантом. Его руководителями были Леонтович

– глубокий теоретик, представитель старшего поколения учеников Мандельштама, и Прохоров, предпочитающий экспериментальную работу, но умеющий теорию уподобить танку, пробивающему путь эксперименту – этому пехотинцу науки, закрепляющему победу.

Прохоров и Басов начали просвечивать различные газы радиоволнами и, изучая поглощение волн, расшифровывали строение и свойства молекул.

Это увлекательная, но кропотливая работа, рассказывают они. Ее можно сравнить с разгадкой хорошего кроссворда. Вначале не знаешь, как подступить, а потом не можешь оторваться.

Все шло очень хорошо. Ученые выясняли способность атомов и молекул поглощать радиоволны, впереди была масса интереснейших проблем, но вскоре сотрудники узнали, что Басов и Прохоров, оказывается, вовсе не оставили мысли о новых генераторах СВЧ! Только теперь они, к ужасу окружающих, ударились в другую крайность: если недавно они хотели приспособить для этой цели машину – синхротрон, то теперь решили использовать нечто совсем невидимое и неосязаемое – атомы и молекулы!

А мысль-то была логичной. Если атомы и молекулы поглощают радиоволны, значит они способны и излучать? Почему бы нет?

Только подумать! Атом – своеобразный естественный генератор радиоволн! К этой мысли надо было привыкнуть. Ведь с понятием радиотехнического прибора связаны громоздкие ящики, набитые электронными лампами, катушками индуктивности, трубочками сопротивлений, конденсаторами, источниками электропитания.

А тут – невидимая крупица материи. Но с какими необыкновенными свойствами! Электронные лампы и детали изнашиваются, портятся. Атом же вечен. Он не старится, не срабатывается. Если его изолировать от внешних воздействий, он никогда не изменит длину излучаемой волны. Этот генератор, созданный природой, – самый устойчивый и неизменный в своей работе прибор. А сколько труда стоят попытки сконструировать неизменные, или, как говорят инженеры, стабильные, генераторы радиоволн!

Да, атом в роли радиопередатчика – идея заманчивая.

Это было как раз то, что принесло впоследствии Басову и Прохорову всемирную славу, Ленинскую и Нобелевскую премии. Но в те дни они меньше всего думали о славе. Перед ними, еще туманно, вырисовывалась заманчивая цель. К ней вели три долгие и трудные пути-дороги. Одну проложили Мандельштам и Папалекси, и она шла из мира радио. Другую проложил Ньютон еще триста лет назад. А третью протоптали Планк, Эйнштейн и Бор. И перед Басовым и Прохоровым возникла задача, но не та, что встречается в сказках и былинах, – выбрать одну дорогу из трех, а реальная, трудная и привлекательная – пройти все три дороги. Ибо ни одна из них не вела непосредственно к цели. Они не были прямыми и хорошо укатанными дорогами. Они петляли, переплетались, скрещивались. То шли рядышком, то завязывались в узел, то сливались воедино, так что не разберешь, где какая. И где-то на скрещении этих дорог была заветная цель.

ГДЕ СИДИТ ФАЗАН

Дорога Ньютона была не только самой старой, но и очень красивой. Она сияла всеми цветами радуги. Этот великий кудесник подставил солнечному лучу обыкновенную стеклянную призму, и луч, споткнувшись, рассыпался в красный, оранжевый, желтый... (Помните ли вы дальше? Мы в школе, для того чтобы запомнить последовательность цветов солнечного спектра, зазубривали магическую чепуховину: «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан».) Красный, оранжевый, желтый (здесь переводят дыхание – и дальше)... зеленый, голубой, синий, фиолетовый!

Зрелище великолепного веера, которым раскрывался обыкновенный белый свет в нехитром спектро스코пе Ньютона, увлекало не одно поколение физиков. Они наводили спектроскоп на Солнце, на пламя свечи. И спектроскопы показывали картинки одну ярче Другой.

Особенно любопытно было наблюдать окрашенное пламя. Ведь давно было известно, что раскаленный медный паяльник окрашивает пламя в голубовато-зеленый цвет. А если посыпать на него поваренной соли, пламя станет желтым. Недаром бенгальские огни удивляют разнообразием и яркостью своих свечений.

Но должно было пройти около полутора веков после открытия Ньютона, прежде чем появился спектроскоп, позволивший выделять отдельные детали спектра. Направив щель такого спектроскопа на Солнце, его создатель Воластон заметил, что солнечный спектр пересекают многочисленные темные линии. Ни он, ни другие ученые не могли понять причины возникновения этих линий. Не удивительно, что об этом открытии вскоре забыли. Один из многих печальных случаев в истории науки.

Ничего не знал о нем и пятнадцатилетний сын немецкого стекольщика Иозеф Фраунгофер. В это время он работал учеником в зеркальной и стекольной мастерской, где никто и понятия не имел о спектрах. Через четыре года он перешел в крупную оптическую мастерскую, которая выпускала не только зеркала и люстры, но и бинокли, подзорные трубы и другие оптические приборы. Постепенно он стал лучшим мастером, а со временем и руководителем этого предприятия.

Задумав увеличить яркость изображения при наблюдении спектров, Фраунгофер соединил воедино зрительную трубу со щелевым спектроскопом Воластона и направил в свой прибор солнечные лучи. Прекрасный яркий спектр пересекали четкие темные линии... Фраунгофер убедился в том, что это не дефект прибора, а свойство солнечного света. Он подробно изучил расположение темных линий и затем использовал их для контроля качества своих спектроскопов. Однако механизм возникновения этих линий стал понятен лишь после изобретения спектрального анализа.

Прекрасные спектроскопы Фраунгофера завоевывали все большую популярность. Многие любовались чарующей симфонией света. Но

«смотреть» не означает «видеть». По своему смыслу «видеть» гораздо ближе к «понимать».

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

Только физик Кирхгоф и химик Бунзен поняли, что это не простое совпадение. Они увидели, что скрывается за яркими спектральными линиями.

Кирхгоф и Бунзен после длительных опытов и раздумий пришли к твердому выводу: каждый химический элемент характеризуется вполне определенным 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.

Теперь изучение спектров светящихся газов составляет лишь часть обширной области, известной под названием «спектральный анализ». Уже Кирхгоф расширил ее, используя для анализа темные фраунгоферовы линии. Кирхгоф понял, что непрерывный спектр, излучаемый раскаленной поверхностью Солнца, частично поглощается более холодными газами солнечной атмосферы. Он сумел воспроизвести этот процесс в лаборатории. Этот поразительный по остроумию опыт заманил своей простотой и доступностью. Его может повторить каждый при помощи обычной стеклянной призмы. Кирхгоф направил спектроскоп на пламя газовой горелки и ввел в это пламя крупинку поваренной соли. В спектроскопе сразу

появились яркие желтые линии, характерные для атомов натрия. Достаточно убрать из пламени поваренную соль, и эти линии исчезают.

Затем Кирхгоф направил спектроскоп на ослепительный кратер вольтовой дуги. В спектроскопе возник яркий непрерывный спектр, чрезвычайно похожий на спектр Солнца, но без характерных фраунгоферовых линий. После этого Кирхгоф поместил между вольтовой дугой и спектроскопом газовую горелку – так, чтобы свет дуги перед тем, как попасть в спектроскоп, проходил через пламя. Вид спектра не изменился.

Теперь наступил решающий этап опыта. Кирхгоф вновь ввел в пламя горелки крупинку поваренной соли. Пламя окрасилось в ярко-желтый цвет. Что же при этом показал спектроскоп?

Не спешите сказать, что там появились яркие линии натрия. Ничего подобного. В тех местах, где они

должны были появиться, яркий спектр вольтовой дуги пересекали темные линии. Это были впервые полученные в лаборатории спектральные линии поглощения – искусственные фраунгоферовы линии. Пары натрия, испаренного пламенем горелки, более холодным, чем кратер вольтовой дуги, поглощали часть света вольтовой дуги. Стоило погасить дугу, и эти темные линии превратились в яркие линии натрия. Как только Кирхгоф вновь зажег дугу, яркие натриевые линии снова стали темными провалами на фоне яркого спектра дуги.

Что же здесь происходит?

Голубое пламя газовой горелки имеет температуру около двух тысяч градусов, но входящие в него атомы водорода, углерода, азота и кислорода при этой температуре светятся очень слабо. Поэтому пламя горелки плохо видно и невооруженным глазом и в спектроскоп.

Поваренная соль в пламени частично распадается на атомы хлора и натрия. Атомы натрия при этой температуре светятся довольно ярко, испуская характерный желтый свет.

Однако если пары натрия, нагретые до двух тысяч градусов, оказываются на пути света, исходящего из кратера вольтовой дуги, температура которого превосходит четыре тысячи градусов, они поглощают больше желтого света, чем испускают, и желтые линии натрия, казавшиеся яркими на темном фоне, выглядят темными на ярком фоне спектра вольтовой дуги.

Так Кирхгоф не только бесспорно объяснил происхождение фраунгоферовых линий, но и показал, что при их помощи можно определить состав солнечной атмосферы. Он сам обнаружил на Солнце многие химические элементы, спектры которых уже были изучены им на Земле. А впоследствии изучение фраунгоферовых линий привело к открытию неизвестного химического элемента – гелия. Гелий был таким образом сначала обнаружен на Солнце и лишь впоследствии найден на Земле. С тех пор спектры поглощения изучают главным образом астрономы, наблюдая фраунгоферовы линии в спектрах Солнца, звезд и туманностей. Но они популярны и в лабораториях. Особенно при исследовании жидкостей. Ведь жидкости нельзя нагреть так сильно, чтобы они начали испускать свет. При этом они испарятся и перестанут быть жидкостями.

КОНФЕТКА, А НЕ МОЛЕКУЛА

Прежде чем вернуться в лабораторию Басова и Прохорова, несколько слов о том, как ученые наблюдают спектры.

Со времен Ньютона спектры исследовались, как говорят, визуально, то есть попросту рассматривались глазами. Но хотя глаз обладает превосходной чувствительностью, этот способ очень неточен. Многое зависит от искусства и опыта наблюдателя. Кроме того, на исследование уходит много времени.

С развитием фотографии ученые предпочли фотографировать спектры. Это сразу дает точный научный документ, который затем можно многократно подвергать различной обработке.

Но, конечно, самым удобным оказался фотоэлемент, преобразующий освещенность различных участков спектра в электрический ток.

Если мы теперь заглянем в лабораторию Басова и Прохорова и подойдем к их радиоспектроскопу, мы увидим много похожего и много не похожего на то, с чем работают оптики. Здесь нет никаких призм, фотоэлементов, ничего от оптики. И это понятно. Усвоив всю культуру оптической спектроскопии, радиоспектроскописты должны были перевести ее на язык радио. Хотя радиоспектры и оптические спектры отличаются только диапазоном волн, или, что то же самое, частот, методы их наблюдения требовали совсем иных технических воплощений. Во-первых, в радиодиапазоне нет источников, которые, как Солнце или электрическая лампочка, интенсивно излучают энергию в широком непрерывном диапазоне волн. Каждый генератор радиоволн порождает электромагнитные колебания, очень близкие к тем, которые оптики называют монохроматическими, то есть одноцветными.

Во-вторых, сам радиоспектроскоп – это не стеклянная призма, а металлическая труба – волновод. Концы волновода герметически закрыты тонкими слюдяными пластинками, пропускающими радиоволны. К концу волновода присоединен генератор радиоволн, к другому – детектор-приемник. Сигнал от детектора после усиления подается на экран осциллографа. Физики заставили электронный луч рисовать радиоспектр на экране осциллографа и наблюдают его так же, как мы смотрим передачи по телевизору.

Работая с радиоволнами, Басов и Прохоров измеряли их частоту гораздо точнее, чем это делали ученые, исследующие оптические спектры. Поэтому они могли более точно определять интересующие их характеристики молекул и даже ядер атомов, входящих в эти молекулы.

Звучит это сухо и буднично – не правда ли? Да, точно определяли, да, изучали атомы и даже их ядра. Но ведь это чудо! Чудо из чудес!

Однажды я сидела в лаборатории рядом с одним из физиков и смотрела на экран осциллографа. В волноводе радиоспектроскопа был аммиак. Аммиак облучался радиоволнами каких-то там частот, какие-то из них он «пожирал», и это тотчас регистрировал электронный зайчик. Он рисовал на экране осциллографа петельку. Физик смотрел на нее, ухмылялся, иногда вздыхал, раз сокрушенно покачал головой и все время что-то писал, вычерчивал.

– Ну, вы видите? – он вдруг обратил свое благосклонное внимание и на меня.

– Да, конечно, – охотно согласилась я, – здорово. Спектральная линия. Прелесть.

Он посмотрел на меня как-то слишком внимательно.

– Молекулу видите? – почему-то с сожалением в голосе переспросил он.

– Молекулу? Нет. Она же в волноводе...

Физик вздохнул на этот раз особенно тяжело. И протянул мне листок бумаги.

– Это конфетка, а не молекула, – убежденно сказал он.

И я увидела... Представьте себе маленькую трехгранную пирамидку. В трех вершинах ее основания расположено по атому водорода, а в четвертой помещается атом азота. Так построена молекула аммиака. Атом азота и три атома водорода. Вот и все. Проста и изящна.

Расстояние между атомом азота и каждым из атомов водорода равно примерно одной десятиллионной доле миллиметра (точнее $1,014$ этой доли). Угол при вершине пирамиды тоже хорошо известен – он равен 106 градусам и 47 минутам.

Не правда ли, сухие цифры, и при чтении их хочется пропустить? Но ведь того, что так точно измерено, никогда не касалась рука человека, не видел глаз!

Физик смотрел на тот же экран, что и я, и видел то же, что и я. И рисовал простым карандашом. И делал вычисления с помощью обычной логарифмической линейки. Но за всеми этими будничными вещами он видел никому не ведомое, угадывал крепко спрятанное. Меня это поразило сильнее, чем эпизод во время выступления Вольфа Мессинга, который долго не давал мне покоя. Помню, он вдруг остановился и обратился к женщине во втором ряду.

– Простите, – сказал он, – вы спешите? Вы только что подумали, что, если это долго продлится, вам придется уйти.

Женщина смутилась, покраснела и встала.

– Извините, – сказала она, – я действительно подумала об этом. Я рано ушла из дому, и у меня разболелась голова. Если это долго протянется, я не выдержу и, хотя здесь очень интересно, мне придется уйти.

Тайна чтения мыслей на расстоянии до сих пор не раскрыта. И это кажется чудом. Но разве не чудо, что ученые с помощью, в сущности, обыкновенных вещей – комбинаций каких-то коробок с радиолампами – проникли в глубь материи и узнали многие атомы и молекулы так хорошо, как будто они не только видели, но измеряли их линейкой и циркулем!

Физики не только определили форму молекулы аммиака и измерили величину этой мельчайшей пирамиды, но и установили, что она не может считаться чем-то подобным твердому телу.

Атом азота и три атома водорода, входящие в нее, удерживаются на своих местах силами электрического взаимодействия. Когда эти атомы объединяются в молекулы, они делятся своим «имуществом». Электроны, ранее принадлежавшие атомам водорода, обобществляются. Они одновременно принадлежат и атомам водорода и атому азота.

В молекуле не утихает борьба двух противоположных сил. Электрические силы, которыми электроны стягивают ядра атомов, встречаются с противодействием других невидимых сил. Положительные заряды ядер отталкиваются друг от друга и не дают ядрам сблизиться вплотную. Можно представить себе, что между ядрами натянуты невидимые пружинки, так что атомы оказываются как бы закрепленными между набором сжимающих и расталкивающих их пружин.

Но тела, скрепленные пружинами, не закреплены намертво. Они могут колебаться около той точки, в которой они закреплены. Так же обстоит дело и с атомами, входящими в молекулу. Они тоже могут колебаться вокруг своих положений равновесия. Далеко разойтись они не могут, так как их стягивают между собой электроны. Сблизиться вплотную они тоже не могут, так как их расталкивают одноименные заряды ядер.

Скрепленные таким образом ядра в большей или меньшей степени колеблются вокруг своего положения равновесия.

И если бы мы могли увидеть молекулу аммиака, то атомы представились нам туманными пятнышками, размеры которых зависят от размаха их колебаний. Присмотревшись внимательнее, мы заметили бы, что размеры туманных пятнышек внезапно меняются. Они то увеличиваются, то уменьшаются. Это значит – колебательное движение становится то сильнее, то слабее.

Но это еще не самое удивительное. Молекула внезапно меняет свой вид. Она вдруг выворачивается наизнанку, как перчатка! Атом азота неожиданно оказывается лежащим не над треугольником атомов водорода, а под ним. Затем столь же внезапно все возвращается в исходное положение, атом азота водворяется на первоначальное место. Мы как бы видим молекулу и ее зеркальное изображение.

Это повторяется неоднократно. Странность заключается в том, что такое перемещение отнюдь не результат поворота молекулы. Все происходит так, как если бы атом азота проскакивал между атомами водорода. Но так как

атом азота в четыре с лишним раза тяжелее, чем три атома водорода, вместе взятые, то правильнее было бы сказать, что треугольник с атомами водорода в его вершинах оказывается то с одной, то с другой стороны атома азота.

Инверсия – так называли ученые это явление. И вот оказывается, такой инверсионный переход возможен только в молекулах. Ни в одном из тел крупных размеров он невозможен.

Когда кто-нибудь высказывал сомнения по этому поводу, Прохоров легко рассеивал их, предлагая посмотреть на модель молекулы аммиака. Ее можно, говорил он, изготовить из трех маленьких и одного большого шариков, связанных пружинками так, чтобы они образовали пирамиду. Продавить один шарик между тремя остальными можно, только приложив силу. Сжать пружины не так-то легко. Если же это удастся, шарик займет новое положение равновесия и отнюдь не будет стремиться возвратиться обратно. Для его возвращения необходимо проделать всю работу сначала. В молекуле же инверсионные переходы осуществляются сравнительно часто и без всякой видимой причины, самопроизвольно, без воздействия со стороны.

И все это физики разузнали, никогда и в глаза не видя эту молекулу. Теперь она исследована очень подробно. И почти все новые идеи в радиоспектроскопии проверяются с помощью молекул аммиака. Для радиоспектроскопии аммиак стал так же важен, как рычаг для механики. А в судьбе Басова и Прохорова молекула аммиака сыграла особую роль.

Басов и Прохоров с головой ушли в эту работу. Она увлекала их все больше и больше. Но постепенно у них стало складываться убеждение, что они выжимают из своего прибора не все, что можно. Чувствительность его была не такой, какой могла быть. И не потому, что прибор плохо изготовлен или они его плохо наладили. Нет. Причина крылась где-то глубже.

Было такое ощущение, что молекулы, запертые в волноводе, либо не поглощают всю положенную им порцию радиоволн, либо что-то там, в волноводе, излучает радиоволны той же частоты, что и молекулы, и это

частично компенсирует поглощение и притупляет чувствительность прибора. Что все это могло значить? Как в этом разобраться?

Ответ на эти вопросы прятался на дороге квантов.

ПРОКЛЯТЫЙ ВОПРОС

Девятнадцатый век кончился в обстановке относительного благодушия и благополучия. Давно отгремели залпы революций. Французская республика не многим отличалась от окружавших ее монархий.

В области науки тоже воцарилось удивительное спокойствие. После недавних великих открытий и изобретений наука и техника переживали гармонический прогресс. Паровая машина перестала зависеть от интуиции одиночек. Развитие термодинамики позволило инженерам строить паровые машины так же уверенно, как рычаги и полиспасты.

На смену Фарадею, этому гениальному экспериментатору, пришел поклонявшийся уравнениям Максвелл. Правда, в течение многих лет его почти никто не понимал. Он долго оставался генералом без армии. Но постепенно под его знамена пришли люди следующего поколения, и дотоле мертвая конструкция электродинамики внезапно обрела жизнь. Герц открыл предсказанные Максвеллом электромагнитные волны. Попов применил их для связи. Лорентц объяснил, как магнитное поле влияет на спектральные линии атомов. Менделеев, приведя в порядок первозданный хаос химических элементов, при помощи простых вычислений исправлял не укладывавшиеся в его таблицу атомные веса, предсказывал существование новых неведомых элементов. И его предсказания, как в сказке, сбывались одно за другим. Казалось, наука овладела последними тайнами природы. И знаменитый Джи Джи Томсон говаривал своим ученикам, что заниматься физикой уже не стоит, что она настолько завершена, что ее нужно лишь изучать и применять.

Но, к счастью, и среди ученых были неудовлетворенные, замечающие трещины и изъяны не только в сияющих башнях, но и в самом фундаменте науки. Они предчувствовали порывы ветра, грозящие поколебать здание, воздвигнутое трудами поколений.

Над одним из проклятых вопросов бился Макс Планк, педантичный и немного чопорный профессор Берлинского университета. Планка, как и многих других, беспокоило, что электродинамика, предсказавшая существование электромагнитных волн, открытых затем Герцем, показавшая, что свет есть одна из разновидностей этих волн, и добившаяся ряда других выдающихся успехов, оказалась бессильной в решении, казалось бы, простой задачи: все попытки применить электродинамику для описания взаимодействия электромагнитного излучения с веществом приводили к абсурду. Расчеты не совпадали с опытными фактами. Некоторые ученые поговаривали о том, что виновата электродинамика с ее непривычными абстракциями: что-то неладно в самых ее основах.

Планк не сомневался в том, что электродинамика Максвелла и близкая его сердцу наука о теплоте – термодинамика – безупречны. Он вновь и вновь пытался с их помощью помирить теорию с тем, что показывал опыт.

Как-то он обсуждал свои работы с одним из крупнейших физиков, Людвигом Больцманом, и тот сказал, что, по его мнению, нельзя построить вполне правильную теорию процессов излучения без привлечения в нее какого-то еще неизвестного элемента дискретности.

Планк глубоко уважал Больцмана, и это указание наложило отпечаток на дальнейшие исследования. И действительно, пытаясь примирить теорию и эксперимент, Планк пришел к формуле, в которой вместе с привычными для физиков непрерывными функциями стояли прерывные величины, изменявшиеся малыми скачками. Эта поразительная формула в точности изображала ту кривую, которая получалась из опыта.

Шел 1900 год. Новый век зарождался не только в календаре, но и в науке. В этом году Планк опубликовал формулу, описывающую

распределение энергии в спектре электромагнитного излучения нагретых тел. Она была основана на предположении о том, что процесс испускания электромагнитной энергии не непрерывен, а дискретен, что электромагнитная энергия испускается и поглощается малыми порциями – квантами. Прекрасное совпадение этой формулы с опытом показало, что процесс испускания света подобен не истечению струи воды, а течению песка, которое кажется непрерывным только издали, когда не заметны отдельные песчинки.

Но XX век далеко не сразу стал веком квантов. Работа Планка не только не встретила признания, но вызвала сомнения и возражения. Дискретность противоречила всему духу физики, и ученые никак не могли с ней примириться.

Нужно сказать, что Планк сам относился к своей формуле с осторожностью. Он говорил, что она может быть ошибочной, но может быть и верной, и в этом случае по своему значению окажется сравнимой с законом Ньютона. Будучи человеком консервативных взглядов, Планк долго медлил с опубликованием своего открытия. Только когда известный экспериментатор Рубенс показал Планку результаты своих новейших измерений, полностью совпавших с формулой Планка, ученый сообщил миру о своей теории.

В то время в университетах и академиях господствовал идеализм. Лишь немногие крупные естествоиспытатели были материалистами. Планк принадлежал к физикам-материалистам. Однако и ему было трудно осознать, что его открытие требует коренной ломки основ науки. Для того чтобы дать толчок революции, понадобился темперамент другого склада. И он нашелся.

В 1905 году, когда в России прокатилась первая революционная волна, в далекой, тихой, идиллической Швейцарии жил и работал в скромной должности эксперта патентного ведомства начинающий физик Альберт Эйнштейн. Его тоже привлекали неразрешенные задачи природы. В 1905 году он опубликовал сразу пять статей. По крайней мере две из них дали решающие толчки, потрясшие здание классической физики. В одной из них

содержалась теория относительности, описание которой требует отдельной книги. В другой было показано, что квантовые свойства не возникают при взаимодействии света с веществом, как думал Планк, а являются неотъемлемой характеристикой света, присущей ему и в пустом пространстве.

Это никак не лишает света его волновых качеств. Просто в одном случае он проявляет себя как квант-частица, в другом – как волна.

Сейчас бесспорно, что эта двойственность является одним из основных свойств материи и проявляется не только в оптических явлениях, но и в свойствах электронов, протонов и всех других микрочастиц. В большинстве случаев они ведут себя как настоящие частицы, но при подходящих условиях они выявляют заложенные в них волновые свойства.

Но то, что представляется бесспорным сейчас, многие годы казалось большинству ученых весьма подозрительным. Даже творец квантов Макс Планк не признал квантовую теорию света. Через семь лет, представляя для избрания в Прусскую академию наук ставшего уже знаменитым благодаря теории относительности Эйнштейна, Планк и другие крупнейшие ученые писали, что ему не следует ставить в упрек гипотезу световых квантов!

Однако изгнать из физики мысль о том, что энергия в микромире существует в виде малых порций, было уже невозможно. Вскоре она еще раз доказала свою плодотворность.

Примерно в это же время, в 1911 году, Резерфорд, обстреливая атомы альфа-частицами, возникавшими при радиоактивном распаде, бесспорно доказал, что каждый атом состоит из тяжелого ядра, в котором сосредоточена почти вся его масса, и окружающих это ядро электронов. При этом ядро всегда несет на себе положительный электрический заряд, а электроны, имеющие отрицательный заряд, входят в атом как раз в таком количестве, чтобы обеспечить его электрическую нейтральность.

Физики теперь начали представлять себе атом как некое подобие солнечной системы – ядро играет роль Солнца, электроны – роль планет, а

электрические силы притяжения положительного и отрицательного зарядов – роль силы всемирного тяготения. Но эта простая модель таила в себе неразрешимое противоречие. Уже раньше считалось твердо установленным, что всякое заряженное тело (а следовательно, и электрон) при движении по искривленному пути должно излучать энергию в виде электромагнитных волн. Но, теряя энергию при движении по орбите вокруг ядра, электрон должен постепенно приближаться к ядру и, наконец, упасть на него. Это значило, что атом должен рано или поздно погибнуть. А этого никогда не случалось. Атомы, по всем данным, являются устойчивыми, «вечными» образованиями.

Классическая физика, таким образом, вступила в противоречие с самим фактом существования атомов. Примирение здесь было невозможным. Нужна была новая радикальная идея.

И такая идея появилась. Нильс Бор предположил, что по каким-то непонятным причинам электроны, движущиеся по своим орбитам внутри атомов, не излучают энергию. Для каждого атома существует вполне определенный набор допустимых орбит. Ни по каким из других мыслимых орбит электроны в нем двигаться не могут. Если это так, если, вращаясь по своим орбитам, электроны не теряют энергии, то они могут перемещаться по своим орбитам вечно, как планеты вокруг Солнца.

Наука не признает гипотез, придуманных специально для объяснения одного непонятного факта. Если бы Бор ограничился этой гипотезой, она не вошла бы в золотой фонд науки и была бы забыта. Однако Бор выдвинул еще одну гипотезу. Он предположил, что электроны могут (каким-то неведомым образом, он не пытался описать этого в подробностях) переходить с одной орбиты на другую. При этом электроны теряют или приобретают извне квант энергии. Теряют, если переходят с удаленной орбиты на более близкую к ядру, и приобретают, переходя с нижней орбиты на верхнюю. Далее Бор предположил, что при этом закон сохранения энергии не нарушается. Энергия не исчезает и не рождается из ничего. Просто, теряемая электроном,

она превращается в квант света – фотон и излучается в окружающее пространство. А при переходе электрона с нижней орбиты на верхнюю атом поглощает энергию фотона из окружающего пространства.

Если наука не признает нарочитых гипотез, то что можно выиграть, предложив не одну, а сразу три гипотезы? Но в том и проявился гений Бора, что эти три гипотезы, известные теперь как постулаты Бора, не только непринужденно объяснили факт существования атомов, но объединили между собой множество различных фактов, казавшихся до того таинственными и совершенно независимыми.

Прежде всего, и это произвело на ученых потрясающее впечатление, постулаты Бора выявили связь между строением атомов и их оптическими спектрами. Ключ к прочтению спектрограмм был найден!

Более полувека спектральные закономерности оставались книгой за семью печатями. Ученые собирали все больше и больше сведений о спектрах. Сводили их в толстые многотомные атласы и справочники. Все более совершенствовали спектрометры и методы спектрального анализа. Но никто не мог сказать, почему спектр одного элемента отличается от спектра другого, как возникают эти спектры и что из них можно узнать, помимо самого факта наличия или отсутствия какого-либо элемента.

И вот выяснилось, что расстояние между орбитами, между которыми может прыгать электрон, определяет «цвет» кванта так же точно, как положение музыкальных нот на нотных линейках определяет высоту звука. То есть в том и в другом случае расстояние между уровнями определяет частоту излученной энергии (правда, в одном случае электромагнитной, в другом – звуковой). И теперь, зная строение атома данного элемента, можно заранее сказать, какие линии увидишь в его спектре излучения.

Бор при помощи своих постулатов рассчитал закономерности спектра водорода, и его вычисления удивительно точно совпали с опытом. Для более сложных атомов вычисления становились очень громоздкими, но ни у кого не было сомнения в том, что эти трудности будут преодолены.

Постулаты Бора позволили понять, сделали совсем наглядной картину строения атомов. Вот атом с простейшим, наиболее легким ядром. Вокруг него обращается один электрон. Это атом водорода. Рядом с ним более тяжелый атом, ядро которого удерживает два электрона. Это гелий. Перемещаясь вдоль таблицы Менделеева, мы встречаем все более тяжелые атомы, содержащие все большее число электронов.

Менделеев, создавая свою систему, опирался на периодическое повторение химических свойств, сопутствующее возрастанию атомных весов. При этом ему в нескольких случаях пришлось отдать предпочтение периодичности и поставить более тяжелые атомы перед более легкими. Теория, построенная на постулатах Бора, показала, что Менделеев сделал правильный выбор. Химические свойства атома определяются не его весом, а строением его электронной оболочки, количеством электронов, окружающих ядро, в конечном итоге электрическим зарядом ядра.

Стала ясной и связь между химическими свойствами атомов и их спектрами. В химических реакциях и в образовании оптических спектров участвуют только самые внешние электроны атома.

Бор, естественно, начал с самого простого атома, атома водорода. Применив к нему свои постулаты, Бор увидел, что единственный электрон этого атома может вращаться по различным орбитам. Чем больше орбита, тем больше и энергия движения электрона. При переходе электрона с удаленной орбиты на более близкую избыточная энергия излучается в виде фотона вполне определенной частоты. Для того чтобы перейти с внутренней орбиты на внешнюю, электрон должен получить добавочную энергию. Эту энергию он может получить, поглотив подходящий фотон из окружающего поля. Подходящий в том смысле, что энергия поглощенного фотона должна быть в точности равна той энергии, которая нужна электрону для перехода с орбиты на орбиту.

Если энергия фотона будет больше или меньше необходимой, фотон не будет поглощен. Не претендуя на точность, можно сказать, что, пытаясь

поглотить такой нерезонансный фотон, электрон «не допрыгнет» до нужной орбиты или «перескочит» через нее и будет вынужден вернуться в исходное состояние, предоставив фотону лететь своим путем.

ЕЩЕ ОДНА ДРАМА

По мере развития квантовой теории физикам пришлось отказаться от наглядного представления орбит электронов в атомах. Но суть, заключающаяся в существовании определенного набора допустимых значений энергии, осталась. Теперь мы говорим об этих значениях энергии, как об энергетических уровнях и о переходах между уровнями.

Энергетические уровни присущи не только электронам внутри атомов. Колебания атомов в молекулах и вращение молекул тоже могут происходить только с вполне определенными частотами, а следовательно, и энергиями.

Поглощение и излучение изменяют внутреннюю энергию атома или целого коллектива атомов подобно тому, как приход и расход влияют на сумму денег, лежащую в кассе.

Поглощение и излучение входят во все рассуждения вполне равноправно. Между тем в каждом конкретном случае один из этих процессов преобладает.

Это звучит парадоксально. Как же может преобладать один из равновероятных процессов?

Здесь имеется небольшая хитрость. Природа такова, что равноправность соблюдается лишь для отдельного атома. Обладая избыточной энергией, он отдает ее так же охотно, как приобретает, если у него этого избытка нет.

Если бы удалось создать газ, все атомы которого обладают избытком энергии, они должны были бы дружно излучать ее.

Но во всех случаях, с которыми имели дело люди, в газах всегда преобладают атомы, стремящиеся поглотить энергию, атомы-приемники.

Поэтому газы всегда поглощают свет и радиоволны.

Соотношение между числом атомов-приемников и атомов-передатчиков, стремящихся избавиться от избыточной энергии, управляется законом, открытым в прошлом веке Больцманом. Этот закон чрезвычайно универсален. Вот простой пример его действия.

Уже давно определено, что давление воздуха над поверхностью Земли зависит от высоты. Причина этого выяснилась, лишь когда Больцман догадался связать изменение давления с энергией, необходимой для преодоления земного тяготения. Ведь молекулы воздуха движутся с различными скоростями. Быстрые, обладающие большими запасами энергии, могут забраться выше. Но таких молекул мало. Подавляющее большинство из них принуждено почти все время проводить внизу. Конечно, сталкиваясь между собой, молекулы постоянно обмениваются своими запасами энергии, и поэтому каждая из них имеет шанс подняться на большую высоту. Но барометр реагирует не на состояние отдельной молекулы. Давление – это результат действия огромной массы молекул.

Распределение молекул по их энергии в поле тяжести – самая наглядная иллюстрация закона Больцмана. Он применим не только к молекулам, но и к любым коллективам из большого числа частиц, в том числе и к коллективам, подчиняющимся квантовым закономерностям.

Конечно, как большинство законов, закон распределения 'Больцмана применим не всегда. Он неприменим, например, если вещество подвергается нагреванию или охлаждению. Но стоит подождать, пока установится тепловое равновесие, и в соответствии с этим законом частиц с большой энергией будет меньше, чем таких же частиц с малой энергией.

Вопрос о взаимодействии электромагнитного поля с веществом, который и привел Планка к открытию принципа квантования, таил в себе одну, казалось, непреодолимую трудность. Трудность, неразрешимую не

только в рамках классической физики, но и с привлечением боровской теории строения атома.

Тупик возникал при попытке понять взаимодействие электромагнитного поля с атомами, если частота поля совпадала с частотой спектральной линии атомов.

За дело – вскоре после первой мировой войны – взялся Эйнштейн. Со свойственным ему стремлением отдавать предпочтение глубокому физическому анализу, а не сложной математике, он начал с осмысливания опытных фактов.

Оптикам и до Эйнштейна было известно, что самопроизвольное излучение атомов не зависит от внешних условий, а определяется только свойствами атомов. Напротив, поглощение растет вместе с интенсивностью падающего света. Но никто до него не обратил внимания на то, что эти твердо установленные факты приходят в противоречие с законами термодинамики.

Это был решающий шаг. Второй требовал интуиции и решимости. Вскрыв корень трудностей, нужно было найти выход. Эйнштейн предположил, что в природе существует третий, еще неизвестный процесс, обеспечивающий выполнение законов термодинамики, в справедливости которых убеждал весь опыт человечества. Этот процесс должен был приводить к излучению света, причем оно должно расти при освещении атомов внешним источником.

Очень простые вычисления показали Эйнштейну, что его догадка верна. Оказалось, что внешнее резонансное поле заставляет атомы испускать свет, совершенно неотличимый от падающего света, причем тем сильнее, чем сильнее падающий свет.

Это был чисто теоретический вывод. Вынужденное излучение не поддавалось наблюдению потому, что его маскировало более сильное поглощение. И это не удивительно. Ведь в обычных условиях атомов-приемников всегда больше, чем атомов-передатчиков. А из вычислений

Эйнштейна следовало, что действие каждого атома-приемника способно скомпенсировать действие одного атома-передатчика. Значит, в избытке всегда остаются атомы-приемники и их поглощающее действие должно преобладать.

Несмотря на то, что и после работы Эйнштейна никому не удалось наблюдать вынужденного излучения, оно время от времени привлекало внимание ученых. Сам Эйнштейн вместе с М. Эренфестом в 1923 году вернулись к удивительному свойству вынужденного излучения увеличиваться вместе с падающим светом. Заинтересовался им и один из создателей квантовой физики, П. Дирак. Он подробно излагает все это в своем замечательном учебнике квантовой механики, особенно подчеркивая, что фотоны, рождающиеся при вынужденном излучении, неотличимы от потока падающих фотонов. Они вливаются в этот поток и усиливают его.

В 1939 году молодой в то время Валентин Александрович Фабрикант в докторской диссертации, которую он -защищал перед ученым советом ФИАНа, посвятил специальный раздел вопросу о возможности наблюдения вынужденного излучения в лабораторных условиях. Он сказал, что это, по его мнению, вполне возможно, и даже указал, что для этого надо сделать. Достаточно добиться того, чтобы атомов, обладающих минимальной энергией, было меньше, а атомов с большей энергией стало больше, чем при равновесии.

Если равновесие будет нарушено так сильно, что атомов с максимальной энергией станет больше, чем атомов с меньшей энергией, утверждал он, то вместо поглощения света такая среда будет усиливать свет. Да, именно усиливать. Это следует из старой формулы Эйнштейна. Световая волна, попав в такую среду, встретит на своем пути больше атомов-передатчиков, способных испустить фотон, чем атомов-приемников, стремящихся его поглотить. Поэтому по мере продвижения волны в этой среде число фотонов будет возрастать, а энергия волны будет увеличиваться.

К сожалению, в то время ни сам Фабрикант, ни члены ученого совета не поняли, какие огромные возможности таит в себе небольшой раздел его докторской диссертации.

Таких случаев история науки знает немало.

Не раз формулы и уравнения, написанные и созданные учеными, оставались ими же непонятыми. «Невозможно избавиться от ощущения, что эти математические формулы существуют независимо от нас и живут собственной разумной жизнью, что они умнее нас и умнее даже их создателей», – сказал как-то Генрих Герц, который открыл те самые радиоволны, предсказанные теоретически Максвеллом, в которые сам долго не верил и в которые не верили другие ученые несколько десятков лет после гениального предсказания Максвелла. «Мы извлекаем из этих формул больше того, что было в них заложено», – добавляет он. А иногда и меньше, добавляем мы, потому что история науки дает нам десятки тому примеров.

Так было с Дираком в 1928 году, когда созданное им уравнение подкинуло ему первую античастицу

и он не узнал ее. Дирак не искал ее, у него не было намерения искать антимир, его подарила ему написанная им формула. И он настолько не был к этому подготовлен, что долго не мог ничего сообщить своим коллегам, требующим от него объяснения по поводу столь неожиданного поведения его уравнения. В течение нескольких лет существовал заговор молчания вокруг находки Дирака, пока он сам не понял поразительного факта: наряду с веществом в мире существует и антивещество. И это так же верно, как то, что он, Дирак, сделал гениальное открытие.

Ведь так было и с Максом Планком – с его квантом. Квант энергии долго оставался каким-то пугалом, непонятным ни Планку, ни другим ученым. Некоторые из них, как известно, даже грозились отречься от физики, если возмутительная теория Планка не будет опровергнута.

Именно так и случилось с предсказанием Эйнштейна и Дирака относительно вынужденного излучения веществ. Эти формулы тоже не были

прочтены учеными. Они не были прочтены и в диссертации Фабриканта! И самому ее автору, как видно, не показались настолько важными, чтобы бросить все дела и заняться только этим вопросом. А может быть, виной была начавшаяся вскоре война, которая перевернула многие жизни и судьбы и вытеснила собою все другие дела.

Теперь можно лишь гадать и строить предположения. А они у разных людей различны. Некоторые физики даже говорят, что в диссертации Фабриканта все сказано в такой завуалированной форме, что не мудрено было и не заметить самого главного. А другие считают, что иначе в то время быть не могло. Выразись Фабрикант более определенно, его могли обвинить в пренебрежении вторым законом термодинамики.

Эта подспудная часть предыстории лазеров и мазеров достаточно трагична, чтобы давать пищу для размышлений еще не одному поколению физиков. Это действительно драма, драма идей, как выразился однажды Эйнштейн.

А ЕСЛИ... НАОБОРОТ?

Шагнем теперь через десять лет, прошедших после полузабытого заседания ученого совета, и вернемся в Физический институт, где Басов и Прохоров при помощи радиоспектроскопии изучали строение молекул и свойства атомных ядер.

Для этого они, помните, помещали исследуемые вещества в волновод – прямоугольную металлическую трубу, по форме напоминающую внешнюю часть длинного спичечного коробка, – и пропускали через этот волновод сантиметровые радиоволны. Изменяя длину посылаемой волны, они наблюдали, как изменяется поглощение этой волны в газе, заполняющем волновод. Таким образом они получали спектр исследуемого вещества.

Обрабатывая полученные данные при помощи квантовой теории, добывали новые данные о молекулах и атомных ядрах.

Мы оставили их в тот период, когда они реально ощутили, как вынужденное испускание части молекул притупляет чувствительность радиоспектроскопа. Это испускание приводило к тому, что в образовании изображения спектральной линии принимала участие только очень малая часть молекул, находящихся в радиоспектроскопе.

Басов и Прохоров знали, что спектральные линии, лежащие в сантиметровом диапазоне, возникают в результате переходов между очень близкими энергетическими уровнями. При комнатных температурах на этих уровнях находится почти одинаковое количество молекул. Точнее, число молекул на нижнем из этих уровней лишь на тысячную долю (или даже еще меньше) превосходит число молекул на верхнем из них.

Но, как доказал Эйнштейн, каждая молекула, находящаяся на верхнем уровне, должна под воздействием резонансной электромагнитной волны перейти на нижний уровень и излучить фотон с точно такой же вероятностью, с какой молекула, находящаяся на нижнем уровне, поглотит фотон из этой волны и перейдет на верхний уровень. Если из каждой тысячи молекул, находящихся на нижнем уровне, только одна не имеет пары, находящейся на верхнем уровне, то фактически поглощать электромагнитную энергию будет только она одна. Та энергия, которая поглощается остальными, будет полностью компенсироваться за счет вынужденного излучения. Молекулы-передатчики – вот кто мешал им наблюдать свойства молекул-приемников!

Басов и Прохоров, как и другие ученые, занимавшиеся радиоспектроскопией, знали, что, понизив температуру газа, они увеличат поглощение. Потому что молекул-передатчиков станет меньше. При понижении температуры они в буквальном смысле слова вымораживаются! Но, к сожалению, этим путем нельзя достичь многого. Дело в том, что давление большинства газов очень быстро падает при уменьшении

температуры. А при температурах в 100–200 градусов ниже нуля большинство их превращается в жидкости. Поэтому чрезмерное понижение температуры вновь ухудшает работу радиоспектроскопа.

Нужно было искать другой путь увеличения чувствительности.

Многие спрашивают: почему молекулярный генератор был изобретен именно радиофизиками? Ведь и Басов, и Прохоров, и Таунс начали свой путь в науке как радиофизики. Почему молекулярный генератор не был изобретен Фабрикантом, который еще в 1939 году знал о принципиальной возможности лабораторного получения вынужденного испускания? Знали о ней и десятки других физиков, присутствовавших на защите его диссертации и читавших ее в трудах Всесоюзного электротехнического института, вышедших годом позже.

Более того, Фабрикант и его сотрудники в 1951 году подали заявку на изобретение способа усиления электромагнитных волн при помощи вынужденного излучения. К сожалению, публикация заявки состоялась только в 1959 году, когда молекулярный генератор уже работал. Впрочем, об этом немного позже. Все объяснится само собой.

Ничего не зная об открытии Фабриканта, Басов и Прохоров пришли к заключению о том, что наиболее радикальный путь увеличения чувствительности радиоспектроскопов состоит в создании условий, при которых молекул-передатчиков останется совсем мало и своим излучением они не будут компенсировать поглощение. Тогда поглощение увеличится. Увеличится и чувствительность прибора.

Но Басов и Прохоров были радиофизиками и, сделав первый шаг в рассуждениях, они должны были сделать и сделали второй. Поглощение и излучение – две стороны одного процесса, рассуждали они. Если поступить наоборот и оставить молекул-передатчиков больше, чем приемников, тогда преобладающим процессом будет излучение, а не поглощение. Тогда такое вещество будет усиливать подходящую волну, а не ослаблять! Добавляя к ее энергии свою, атомы сыграют роль усилителя.

Так мог рассуждать каждый спектроскопист. И спектроскопист предложил бы сделать спектроскоп, в котором можно наблюдать не спектры поглощения, а спектры вынужденного излучения. Трудно сказать, почему ни один спектроскопист этого все же не сделал.

По-видимому, так же рассуждал и Фабрикант. Он подошел к проблеме глубже, чем это сделал бы воображаемый спектроскопист, и предложил использовать такую среду для усиления электромагнитных волн.

Занимаясь радиоспектроскопией, Басов и Прохоров проделали весь путь этих умозаключений, но культура общей теории нелинейных колебаний, присущая школе академиков Мандельштама и Папалекси, не дала им остановиться. Они знали, что в новой неведомой области действуют те же общие законы, которые управляют обычной радиотехникой. А эти законы говорят: если у тебя есть усилитель, то, введя обратную связь, то есть подав усиленный сигнал обратно на вход усилителя, ты получишь генератор.

Как сделать усилитель, они уже знали (хотя только в принципе). Для этого нужно создать среду, в которой молекул-передатчиков будет больше, чем молекул-приемников. Осталось придумать, каким образом осуществить обратную связь.

Это показалось им нетрудным делом. Для этого достаточно поместить усиливающую среду в резонатор. Тогда электромагнитная волна, проходя через нее и отражаясь от стенок резонатора, будет усиливаться все сильнее и сильнее. При этом, конечно, нужно все время поддерживать среду в состоянии, при котором большинство молекул стремится излучать и лишь меньшинство из них способно поглощать радиоволны.

Законы теории колебаний далее гласили: если среда усиливает так сильно, что усиление превосходит все потери энергии в резонаторе, то система станет генератором. Это значит, что даже в отсутствие внешнего электромагнитного поля в ней возникает и быстро нарастает до определенной величины электромагнитное поле.

Так Басов и Прохоров пришли к мысли о возможности применения молекул и атомов не только для усиления, но и для генерации радиоволн. Будучи радиофизиками, они поняли, что радиоволны, полученные таким способом, должны обладать необычайно высокой, несравненно более высокой, чем где бы то ни было, стабильностью частоты. И если возможность применения молекул для усиления не показалась им в то время достаточно важной (как это было и с Фабрикантом), то возможность генерации сверхстабильных колебаний заставила их приняться за работу.

Прежде всего нужно было научиться создавать среду с преобладанием молекул-передатчиков. Такую среду они называли активной – ведь она должна была усиливать, а при подходящих условиях и генерировать радиоволны. Неравновесное состояние, в котором должна находиться активная среда, они называли инверсным (обращенным) состоянием, потому что распределение молекул при этом, грубо говоря, «обратно» обычному их распределению в природе.

Научиться создавать активную среду. Как буднично это звучит! Но им предстояло создать вещество, стремящееся избавиться от скрытой в нем избыточной энергии.

Вспомнив о порохе и атомной бомбе, читатель может улыбнуться. Ведь известно множество веществ, способных выделять огромные запасы внутренней энергии. Но такие вещества не подходили нашим ученым. Ведь при выделении энергии они разрушаются, превращаются в другие вещества. А Басову и Прохорову нужно было создать вещество, которое могло отдавать энергию, оставаясь самим собой, как остается сама собой расправляющаяся пружина.

Правда, незадолго до того, в 1951 году, Пэрселл и Паунд сумели на короткий миг получать активное вещество. Они быстро переворачивали кусок кристалла фтористого лития в магнитном поле. При этом буквально переворачивались и энергетические уровни ядер лития и фтора. А так как в начале опыта все было в равновесии и большинство частиц располагалось на

нижнем уровне, то после переворота большинство оказывалось «наверху». И кристалл приходил в равновесие, испуская немного радиоволн.

Да, это было близко к тому, что им было нужно, но и очень далеко. Пэрселл и Паунд действительно воспроизвели своеобразную расправляющуюся пружину. Но ведь ее нужно снова сжимать (вновь и вновь переворачивать кристаллы). А Басов и Прохоров нуждались в постоянно самообновляющейся активной среде. Они должны были создать механизм, автоматически поддерживающий среду в активном состоянии, или придумать процесс, при помощи которого можно подавать в прибор только молекулы-передатчики. Причем каждый отработавший передатчик нужно немедленно автоматически выбрасывать вон и заменять новым. Или надо было научить прибор замечать момент, когда молекула-передатчик испустит фотон, и, не дав ей долго просуществовать в состоянии приемника, вновь впрыснуть в нее избыточную энергию.

Вы заметили? Физики рассуждают об атомах и молекулах так, словно это стулья или столы, которые можно двигать, переставлять с места на место и вообще делать с ними, что хочешь! Они совершенно спокойно раздумывают о том, что молекул-передатчиков надо иметь в веществе больше, чем молекул-приемников, что слабых надо как-то отделить от сильных, чтобы они не мешали друг другу! Но как это сделать?! Как осуществить?! Разделить можно яблоки: по цвету, величине, по спелости. Собак – по масти, росту; монеты – по стоимости. Разделить можно почти любые видимые предметы. Но как это сделать с невидимыми, абсолютно похожими друг на друга молекулами? Как в одну сторону отделить слабейших, в другую – сильных? Когда думаешь об этом, задача кажется просто фантастической, невыполнимой – как, чем здесь орудовать?!

И тем не менее Басов и Прохоров придумали много способов получения активной среды. Расчеты показали им, что часть из этих способов можно реализовать в лабораторных условиях. С некоторыми из них мы еще

встретимся в этой книге. Но начинать надо было с самого надежного, самого эффективного и простого.

ДУХ ИЗГНАНЬЯ

Они решили начать с метода, история которого восходит к знаменитым опытам О. Штерна и В. Герлаха, впервые доказавшим, что нейтральный атом может обладать магнитными свойствами наподобие маленького магнетика. Стремясь сохранить свою ориентацию в пространстве, он ведет себя как крошечный волчок-гироскоп.

В своем опыте, произведенном в 1924 году, Штерн и Герлах пропускали пучок атомов серебра вдоль полюсов сильного магнита. Пучок получался испарением капельки серебра в вакууме. Испарившиеся атомы вылетали через небольшое отверстие в камеру, где помещался магнит. Там, конечно, тоже поддерживался вакуум, чтобы атомы летели, не испытывая никакой помехи. Если бы полюсы магнита были плоскими, а атомы действительно вели себя как магнетики, то они летели бы по прямым путям. Но Штерн и Герлах сделали полюсы своего магнита не плоскими, а придали им форму клиньев, направленных остриями один к другому. Силовые линии магнитного поля между такими полюсами очень искривляются, а само магнитное поле сильно изменяется по величине. Пролетая вдоль таких полюсов, атомы-магнетики летят не по прямым, а по криволинейным путям.

В конце своей установки Штерн и Герлах поместили стеклянную пластинку. Если магнит в камере отсутствовал, то на пластинке постепенно осаждалось небольшое пятнышко серебра. Но вот магнит установлен и опыт начался. Он должен определить, подчиняются ли атомы серебра законам классической физики или к ним применима теория Бора.

Классическая физика говорит, что отклонение атомов должно зависеть только от того, как направлена в пространстве их магнитная ось. С точки

зрения классической физики ни одно направление не может быть предпочтительным. Значит, и отклонения у различных атомов могут быть любыми. Таким образом, руководствуясь законами классической физики, можно было ожидать, что атомы серебра, прилетев к пластинке, осядут на ней не пятнышком, а длинной полоской.

Основываясь же на квантовой теории Бора, Штерн и Герлах ожидали иного. По догадке Бора атомы-магнетики могут принимать в магнитном поле три положения. В этом случае ученые ожидали увидеть на пластинке не множество точек, образующих полоску, а только три точки.

Каково же было их удивление, когда они обнаружили на стеклянной пластинке вместо трех лишь две серебряные точки! Все оказалось гораздо сложнее. Опыт показал, что атомы серебра могут принимать в магнитном поле только два положения: вдоль поля и навстречу ему. Было ясно, что первоначальная квантовая механика Бора недостаточна для описания микромира. Нужно было построить более точную теорию. Впоследствии детали поведения микрочастиц во внешних полях были поняты и объяснены новой квантовой теорией, созданной Гейзенбергом, Шредингером и де Бройлем.

Этот опыт, впервые доказавший, что направление осей атомов в пространстве подчиняется законам квантовой механики, с первого взгляда не имеет отношения к нашей истории. Басов и Прохоров, изучив этот опыт и вооружившись новой теорией, вернулись к нему, чтобы использовать в своих целях. Они обратили внимание на то, что энергия атомов серебра в поле магнита в обоих пучках была различной. Штерн и Герлах просто об этом не думали. Цель у них была другой. Басов же и Прохоров обратили внимание на этот опыт именно потому, что он скрывал как раз то, что они искали. Разделив пучки при помощи простой диафрагмы, можно было получить готовый пучок активных атомов серебра!

Умение видеть скрытую суть явлений – одна из черт настоящего ученого. Басов и Прохоров рассмотрели в опыте Штерна – Герлаха то, о чем,

несомненно, знали и другие. Знали, но оставляли без внимания. Ведь атомы, разделявшиеся на два пучка, отличались не только направлением своих осей, но и своей энергией в поле магнита. В одном летели атомы-передатчики, в другом – атомы-приемники.

Казалось, пути решения задачи ясны. Достаточно воспроизвести установку Штерна и Герлаха, дополнить ее диафрагмой, пропустить пучок атомов-передатчиков через подходящий резонатор, и атомы серебра начнут генерировать электромагнитные волны.

Но расчеты показали, что это не так. Таким простым путем невозможно получить настолько интенсивный пучок активных атомов, чтобы он не только компенсировал потери лучшего из резонаторов, но и излучил энергию в пространство.

К счастью, Басов и Прохоров были уже достаточно опытными исследователями, чтобы понимать, что простое повторение редко ведет к цели. Они знали, что избранное направление правильно, но надо искать дальше.

Теория подсказывала, что электрические поля в микромире действуют много сильнее, чем магнитные. Но, к сожалению, атомы не обладают электрическими свойствами, напоминающими свойства магнита. Значит, нужно было отказаться от применения атомов. Они перешли к молекулам. Почему? А потому, что многие молекулы оказываются электрическими двойниками магнитов. Молекулы в обычном состоянии электрически нейтральны, то есть у них положительные и отрицательные заряды равны. Но у многих из них центры, соответствующие расположению положительных и отрицательных зарядов, не совпадают. В результате в молекуле возникают «положительный конец» и «отрицательный конец», в какой-ТО мере похожие на северный и южный концы магнитной стрелки. Такие молекулы ведут себя в поле электрического конденсатора так же, как наэлектризованные палочки из бузины, которые обычно показывают в школе при опытах по электростатике. В электрическом поле плоского конденсатора

они поворачиваются, как стрелка компаса в поле магнита. Неоднородные электрические поля отклоняют их так же, как неоднородные магнитные поля отклоняют атомы серебра.

Задолго до работ Басова и Прохорова ученики и последователи Штерна, к счастью, хорошо разработали установки для опытов с пучками различных молекул. В частности, были созданы конденсаторы специальной формы, которые способны фокусировать молекулы примерно так же, как стеклянные линзы фокусируют свет. Очень много в этой области сделали харьковские физики Корсунский и Фогель.

Осталось подобрать подходящую молекулу. Но и здесь им на помощь пришел коллективный опыт ученых.

Наиболее изученной радиоспектроскопистами в то время, а может быть и сейчас, была молекула аммиака. Именно у этой молекулы Клитон и Вильяме еще в 1934 году обнаружили спектральные линии в сантиметровом диапазоне радиоволн. Уже в сороковых годах ее структура и электрические свойства были хорошо изучены. Естественно было проверить, не подойдет ли аммиак для новой работы?

Расчеты показали, что, пролетая вдоль оси конденсатора, состоящего из четырех стержней, попеременно заряженных положительным и отрицательным зарядом, более энергичные молекулы аммиака соберутся к оси конденсатора, а слабенькие уйдут в стороны.

Когда впервые был поставлен этот опыт, зрители могли воочию наблюдать картину борьбы между молекулами и силовым полем конденсатора. Водоворот поля захлестывал их, как прибой пловцов. Сильные пловцы обычно выбираются на берег, а слабых втягивает в пучину. Так и стихия электрических сил по-своему расправлялась с молекулами. Более слабые из них втягивались в область сильного поля к стержням конденсатора, другие, более сильные, пролетали мимо этой области, приближаясь к его оси. Поле сортировало молекулы. Оно оказалось

своеобразным стрелочником, направляющим по различным путям Молекулы, отличающиеся запасом энергии.

А затем, поставив за конденсатором резонатор с отверстием, совпадающим с осью конденсатора, можно было заставить активные молекулы проходить сквозь резонатор, не пуская в него молекулы, стремящиеся к поглощению.

При взгляде на квадрупольный конденсатор невольно вспоминается знаменитый «печальный демон, дух изгнания». Максвелл призвал его, чтобы убедить сомневающихся в том, что без затраты энергии невозможно отобрать из сосуда с газом молекулы, энергия которых превосходит среднюю. Максвелл выпустил на сцену своего демона, чтобы доказать, что подобная работа не может быть выполнена никаким механизмом. Это запрещено одним из наиболее общих законов природы – вторым началом термодинамики. И нарушить его может только «нечистая сила». Многие пытались сразиться с демоном Максвелла. Это были не только изобретатели вечного двигателя, особого теплового вечного двигателя, который соблазнял людей возможностью получать работу без передачи тепла от нагретого тела к холодильнику. То есть без затраты топлива или без затраты энергии на работу холодильника. С демоном Максвелла сражались и ученые, которым казалось, что второе начало термодинамики не имеет всеобщей силы и его можно обойти. Все такие попытки терпели поражение. Демон брал верх.

Но, применяя молекулярные пучки и электрические поля, ученым в полном согласии с коварным вторым началом термодинамики удалось найти способ отбирать молекулы, обладающие избыточной внутренней энергией, отсеивая те из них, которые имеют малую внутреннюю энергию. В полном согласии потому, что «платой» за отбор является энергия, затраченная на создание упорядоченного молекулярного пучка. Именно изолированность молекул в пучке, где они как бы выстраиваются в очередь перед конденсатором, чтобы он опознал, какие из них сильные, а какие слабые, позволила посрамить дьявола. Хотя затраты энергии на создание пучка и

больше энергии радиоволн, которые Басов и Прохоров надеялись получить от пучка, но радиоволны эти должны были обладать недостижимой ранее стабильностью частоты.

Схема небывалого генератора приобретала конкретный вид. Нужно было взять большой сосуд. Откачать из него воздух. Впустить в него тонкий пучок молекул аммиака. Поставить на пути пучка конденсатор, а потом резонатор. Подать на конденсатор высокое напряжение. При этом в резонатор будут влетать только активные молекулы. И если таких молекул окажется достаточно много, генератор заработает.

Может быть, перед тем, как пойти дальше, следует попытаться ответить на вопрос, поставленный в начале этой главы. Почему же это сделали радисты?

Конечно, бесспорного ответа на этот вопрос не существует. Но, несомненно, важную роль сыграло то, что только радиофизики удачно сочетают знание квантовой теории и спектральных закономерностей с владением теорией колебаний и пониманием роли обратной связи. Важно и то, что радиофизики, как никто, понимали практическое и научное значение возможности получения сверхстабильных колебаний. Ученые, работающие в других областях физики, например оптики, хорошо знающие и квантовую теорию и спектры, равнодушны к проблеме стабильности; да и задача усиления света казалась им в то время интересной, но не очень важной для науки и техники.

Для радиофизика сверхстабильный генератор – это сверхточное измерение времени и расстояний, это новые навигационные системы, увеличение точности географических карт, новые возможности исследования космоса и многое другое.

Ради этого стоило потрудиться!

Итак, расчеты показали Басову и Прохорову, что прибор, в котором молекулы будут излучать радиоволны – молекулярный генератор, осуществим. Принципиальная схема генератора была им ясна. Можно приступать к работе. Но даже ученых, имеющих большой опыт в области радиоспектроскопии, здесь на каждом шагу встречали неприятные сюрпризы.

Схема задуманного ими прибора только в основных чертах напоминала схему обычного генератора. При ближайшем рассмотрении на первый план выступали различия.

Прежде всего источник энергии. Обычные радиосхемы питаются от батарей или аккумуляторов или же от электрической сети через специальные выпрямители. Здесь источником энергии будут служить молекулы. Миллиарды миллиардов молекул аммиака должны каждую секунду превращать часть своей внутренней энергии в энергию радиоволн. Эту массу молекул необходимо направить в генератор, и не как-нибудь, а в виде упорядоченного пучка, в котором они летели бы почти параллельно одна другой, не сталкиваясь ни между собой, ни с молекулами воздуха.

Создать такой пучок можно только в вакууме. Иными словами, все детали молекулярного генератора должны находиться в сосуде, из которого воздух откачан специальными насосами так сильно, что давление в нем составляет примерно миллиардную часть нормального атмосферного давления.

Достигнуть такого разрежения в замкнутом сосуде не очень сложно. Современные вакуумные установки способны обеспечить и много более сильное разрежение. Но ведь во время работы генератора в него необходимо непрерывно впускать полчища молекул аммиака. Для того чтобы и при этом поддерживать в нем необходимый вакуум, пришлось бы прибегнуть к слишком мощным насосам.

Басов и Прохоров предпочли отказаться от решения задачи в лоб. Они задумали воспользоваться тем, что при температуре в $-77,7$ градуса Цельсия аммиак уже затвердевает. Конечно, эта температура еще недостаточна для обеспечения нужного вакуума, но экспериментаторы решили применить для вымораживания аммиака жидкий азот, температура которого еще на 123 градуса ниже. Попад на поверхность, охлажденную жидким азотом, почти каждая молекула аммиака крепко-накрепко примерзнет к ней. Как прилипает муха к липкой бумаге, при помощи которой заботливый повар «откачивает» мух из своей кухни. По отношению к аммиаку холодная поверхность действует как хороший насос. Задумали, испробовали и убедились в том, что избранный способ «откачки» аммиака работал безупречно! При этом для удаления остатков воздуха потребовался совсем небольшой насос.

Далее. Пучок молекул аммиака направлялся из источника в сортирующую систему, в которой сильное электрическое поле отбрасывало в стороны ненужные, слабенькие молекулы, а молекулы, которые могли участвовать в генерации радиоволн, собирались к оси сортирующей системы и направлялись в резонатор. Казалось бы, что особенного? Резонатор – одна из привычных частей любого радиоприемника или передатчика. Но при работе на длинных или коротких волнах резонатор состоит из конденсатора и катушки индуктивности – это всем известный простейший резонансный контур. В диапазоне же сантиметровых волн обычные конденсаторы, и катушки неприменимы. Их место занимают металлические полости, которым обычно придается форма цилиндров или прямоугольника – объемные резонаторы. Корпуса скрипок и других струнных инструментов, специальные отсеки в радиоприемниках высшего качества, органные трубы – это ведь тоже не что иное как резонаторы, только акустические. Их задача – выделять и подчеркивать колебания тех частот, на которые они настроены. Металлические полости делают это по отношению к радиоволнам.

Басов и Прохоров должны были подобрать для своего генератора резонатор такой формы, чтобы он обеспечил как можно большую

стабильность частоты колебаний. Электрическое поле в нем они решили направить так, чтобы пучок молекул летел вдоль электрических силовых линий. Соответствующим образом надо было проделать и отверстия в резонаторе. Только когда молекулы будут лететь вдоль гребней волн электрического напряжения, тогда наверняка влияние резонатора на частоту колебаний будет минимально. Вот какую трудную работу задали они механикам. И пока те изготавливали экспериментальный прибор, Басов и Прохоров еще и еще раз просчитывали и проверяли теорию «го работы. Вот что говорили им формулы.

Если напряжение, подводимое к сортирующей системе, достигнет 25 тысяч вольт, то практически все молекулы-приемники будут отброшены к поверхности, охлаждаемой жидким азотом, и накрепко к ней примерзнут. В резонатор попадет «чистый» пучок молекул-передатчиков. Они будут пролетать сквозь резонатор вдоль его оси, излучая в нем кванты электромагнитной энергии.

Далее формулы предсказывали, что если резонатор удастся сделать достаточно хорошим, то электромагнитные волны, рожденные молекулами, будут неоднократно пробегать от оси резонатора к его стенкам и, отразившись от них, обратно к оси и снова к стенкам. Таким образом, волна, испущенная одними молекулами, будет заставлять излучать все остальные. И излучать не беспорядочно, а в такт с вынуждающей волной. Так резонатор осуществляет связь между молекулами, уже испустившими фотоны, и теми, которым еще только предстоит это сделать. Осуществляет то, что радисты называют обратной связью.

Наконец, предупреждали формулы, если молекулы достаточно активны и щедры, резонатор быстро, как ведро под весенним ливнем, начнет наполняться излученной ими энергией. И если снабдить резонатор антенной, энергия будет переливаться из «переполненного ведра» в окружающее пространство. Начнется трансляция своеобразной радиопередачи. Наполнение резонатора прекратится только тогда, когда электромагнитное

поле внутри него станет столь сильным, что заставит молекулярный пучок излучать всю энергию, на которую он способен. Формулы даже определяли смысл этого расплывчатого выражения – «на которую он способен».

С первого взгляда может показаться, что лавинообразно возрастающее электромагнитное поле принудит к вынужденному испусканию каждую молекулу, пролетающую резонатор, и поэтому все они отдадут ему свою энергию. Но, увы... Это действительно было бы так, если бы не полная равноправность между процессами излучения и поглощения. Она приводит к тому, что, излучив полагающуюся им порцию энергии, часть молекул-передатчиков превращается в приемники. И переходит на иждивение к тем товаркам, которые не успели еще излучить. И начинает отбирать у них эту неизлученную энергию. И те, вместо того чтобы отдать энергию резонатору, отдают ее ослабевшим молекулам. В результате пучок активных молекул отдает резонатору не больше чем половину запасенной ими энергии.

Но это не было неожиданностью. Это, конечно, снижает КПД прибора, но с этим можно было мириться. Главное, чтобы прибор задышал. А формулы, сколь они ни верны, сколь оптимистические прогнозы из них ни вытекают, не могут обеспечить работы прибора. На пути к успеху нужны помощь механиков и радиотехников и филигранный эксперимент физиков.

В научной работе, как на любом фронте, действительность редко совпадает с планами. Многие стратеги убеждались в том, что планирование на бумаге по методу «первая колонна марширует, вторая колонна марширует» в действительности зачастую оборачивается пробками на дорогах.

Так случилось и с нашими друзьями. Через положенное время, которое казалось им непомерно долгим, в лабораторию принесли блистающий новизной металлический корпус генератора. К нему присоединили вакуумный насос. Теперь началась длительная и кропотливая работа, которую во всех лабораториях мира называют вакуумной тренировкой.

Корпус оказался безупречным. Нужный вакуум получался неожиданно быстро. Можно было приступать к опробованию системы подачи аммиака.

И тут началось. Оказалось, что дозаторы, при помощи которых регулировалась подача исследуемых веществ в радиоспектроскопы, для аммиака не подходят. Они становятся жертвой коррозии. Пришлось срочно придумывать замену. В это же время принесли сортирующую систему. Электроды, отполированные до зеркального блеска, были промыты по всем правилам вакуумной гигиены. При испытании система выдержала заданное напряжение с большим запасом. Но через короткое время после пуска пучка молекул аммиака начались пробои. До этого никто не совмещал в условиях вакуума химическое действие аммиака с высоким напряжением. По-видимому, при этом из ничтожных загрязнений, оставшихся на поверхности электродов, начинали выделяться какие-то газы, что приводило к пробоям. Пришлось подбирать новую технологию очистки электродов.

Много хлопот доставили и объемный резонатор с его системой точной настройки и приемник радиоволн. Этот приемник, рассчитанный на волну около 1,26 сантиметра, должен был работать и в режиме радиоспектроскопа, что необходимо в период наладки, и в режиме обычного приема. Причем в режиме приема нужно было обеспечить чувствительность намного большую, чем необходимо для приема расчетной мощности молекулярного генератора. Ведь никто не ждал, что расчетная мощность будет достигнута сразу. Для наладки нужны были и точная система измерения частоты и много других вспомогательных систем и устройств.

Нужно ли говорить, что в такие периоды ученые, которые и без того не знают, что такое нормированный рабочий день, засиживались в лаборатории до поздней ночи?

И вот наступил Этот День.

СВЕРШЕНИЕ

ПОБЕДА

Два молодых человека не отрываясь смотрели на экран осциллографа. Они видели светящуюся линию, середина которой плавно уходила вниз и вновь вздымалась к прежнему уровню. Кривая больше всего напоминала парящую птицу. Так изображают птиц дети. Так рисовали их на своих картинах и старые японские мастера.

Один из физиков медленно вращал ручку прибора, и изгиб кривой постепенно уменьшался, пока она не превращалась в прямую линию. Затем на месте провала возникал плавный подъем. Действуя очень осторожно, можно было заставить кривую вознестись вверх так же, как она только что изгибалась вниз. Потом кривая опять выпрямлялась, и, наконец, на ней снова возникал провал.

Еще несколько дней назад это казалось очень интересным и важным. Но теперь изящная кривая вызывала досаду и отвращение. Ведь не для этого же, в самом деле, разбирали они прибор, полировали его детали, вновь и вновь откачивали из него воздух!

– Рискнем? – спросил Прохоров. Басов только кивнул. Движение руки. Стрелка вольтметра подскочила еще на несколько тысяч вольт. Вчера при этом неизбежно возникал пробой. Но теперь все было спокойно.

В который раз медленно вращается ручка прибора. И опять кривая превращается в прямую и начинает изгибаться вверх. Вдруг на ее вершине возникает узкая полоска.

Они переглянулись. Неужели?!

Все так же методично движется рука, вращающая рукоять прибора. Медленно увеличивается и расширяется полоска. И вот в ее середине отчетливо виден поясok.

– Типичный бантик, – сказал один.

– Работает, – отозвался второй.

Так в лаборатории колебаний Физического института Академии наук СССР родился молекулярный генератор, поразительный прибор, сердцем которого был не мотор, не шестерни, не какие-нибудь другие детали. Главную роль в нем играли невидимые глазу молекулы аммиака. Они делали здесь то, чего никто никогда от них не ждал. Они излучали радиоволны.

Именно бантик на капризной кривой и возвестил ученым о долгожданной минуте.

Американскому ученому Франклину приписывают такие слова: «К чему новорожденный ребенок?»

Действительно, кто знает, что из него получится, что внесет он в жизнь.

Молекулярный генератор, как всякий новорожденный ребенок, обещал многое или ничего: все зависело от того, как пойдет дело дальше, чему его научат родители.

Никто не знает, как распространяются слухи. Физики убеждены, что они летят быстрее, чем свет. А это значит, что они не материальны. И на сей раз слух непостижимо проник через стены, полы и потолки. И распахнулась дверь, и в комнату начали входить научные работники, лаборанты, механики. Каждый хотел взглянуть на бантик, поздравить, а если позволят, и покрутить ручку. Конечно, такой чести удостоиваются далеко не все. Для этого нужно пользоваться большим уважением или принять хоть малое участие в работе, когда она еще безнадежно далека от завершения. И первым по праву положил руку на рукоять прибора В. В. Никитин, монтировавший и налаживавший радиосхемы, – в ФИАН он пришел радиотехником, потом стал студентом-заочником, а затем инженером, а позже научным сотрудником и кандидатом наук. Никитина сменил Д. К. Бардин, талантливый механик, сделавший, как говорят физики, «все железо». А «все железо» – это и точнейший резонатор из специального сплава – суперинвара,

и корпус из нержавеющей стали, и конденсатор, и многое другое. И только потом к прибору прорвался маститый теоретик и неожиданно для всех закрыл вентиль баллона, из которого поступал аммиак. Бантик исчез и, к всеобщему восторгу, возник вновь, как только был открыт вентиль.

– Наука торжествует, – изрек теоретик и отошел в сторону.

Так физики празднуют победу. И при этом говорят только о том, что надо проверить, и измерить, и переделать. И праздник переходит в трудовые будни. И по-прежнему по утрам уборщица, выметая обрезки проводов и капли олова, вздыхает: «Кванты, кванты...» – и толкует своим подругам, работающим на других этажах:

– А мы запустили молекулярный генератор... Генератор. Что такое генератор? Генератор – это

источник. Генераторы электрического тока достигли в наши дни огромных мощностей – в 300 и даже 500 тысяч киловатт.

Какова же мощность молекулярного генератора? Около одной миллиардной доли ватта. Жужжание комара куда мощнее.

Так что же привлекло к этому немоющему прибору помыслы молодых ученых? Они стремились не к мощности, – а к точности. В их детище не было радиоламп, привычных конденсаторов и сопротивлений, всех этих деталей, порча которых терзает нервы владельцев радиоприемников и телевизоров. Нерукотворные молекулы, дружно-излучавшие радиоволны в новом приборе, сообщали ему свои качества – неизменность, постоянство, свойственное творениям природы. Расчеты показывали, что при помощи нового прибора можно измерять время так точно, как это никогда не удавалось людям. Часы, в которых функции маятника исполняет молекулярный генератор, и за 1000 лет не ошибутся ни на секунду. Конечно, в обыденной жизни такие часы ни к чему. Они необходимы для управления космическими ракетами, штурманам кораблей и самолетов, для решения многих технических задач.

Научные открытия зачастую рождаются близнецами. В это же время в США заработал прибор, которому его создатель Таунс и его сотрудники Гордон и Цайгер дали странное имя «мазер», составленное из первых букв фразы, описывающей на английском языке принцип действия прибора. После первых сообщений всем стало ясно, что в Физическом институте в Москве и в Колумбийском университете в Нью-Йорке независимо проводилась работа с одинаковым результатом.

Вскоре молекулярный генератор появился и в Институте радиотехники и электроники Академии наук, и в Метрологическом институте в Харькове, и во многих других местах. А затем в работу включилась и промышленность. Басов и Прохоров были вдохновителями всех основных работ в новой области науки, развившейся из их исследований.

...Приходилось ли вам следить за эстафетным бегом? Спортсмены, сменяя друг друга, несут палочку от старта до заветного финиша. И плох тот бегун, который, переминаясь с ноги на ногу, дожидается в начале своего участка, пока товарищ протянет ему эстафету. Такого никто не возьмет в команду. По его вине будут потеряны драгоценные мгновения. Хороший спортсмен начинает бег рядом с товарищем заранее, до того как тот окончит свою дистанцию, и палочка передается на полной скорости. Нелегко овладеть этим искусством.

Еще сложнее научная эстафета. Ее участники зачастую не видят друг друга и передают свою эстафету через редакции различных журналов. Реже им представляется возможность кинуть палочку в зал конференции или симпозиума. Поднимай, кто хочет, и неси дальше. И так, помогая друг другу и соревнуясь между собой, ученые несут светоч науки вперед и выше, к сияющим вершинам знания.

Вскоре после того, как приборы-близнецы заработали в Москве и Нью-Йорке, Прохоров и Таунс встретились на заседании Фарадеевского общества в Лондоне. Английские коллеги пригласили их, чтобы услышать о приборах, которые ознаменовали собой рождение новой области науки.

Прохоров прочитал подготовленный вместе с Басовым доклад, в котором излагалась созданная ими теория работы молекулярного генератора. В ней квантовая механика впервые объединялась с теорией колебаний. Этот союз позволил предвычислить условия, при которых генератор начинает работать, рассчитать даваемую им энергию, частоту его колебаний и определить влияние на эту частоту различных внешних воздействий. Такая теория очень напоминала теорию работы радиопередатчика, но молекулярный пучок заменял в ней и колебательный контур и источник питания обычного генератора.

Измерения, проведенные Басовым и Прохоровым в течение первых месяцев работы молекулярного генератора, подтвердили правильность их теории.

Таунс тоже рассказал о своих работах, но его теория оказалась более примитивной, а некоторые элементы конструкции делали американский прибор менее надежным. Дело в том, что, понимая необходимость вымораживания аммиака, Таунс и его сотрудники решили охлаждать жидким азотом непосредственно электроды сортирующей системы. В результате на электроды постепенно намораживался в виде белого инея твердый аммиак. Через некоторое время в сортирующей системе возникали пробои, и прибор приходилось выключать для размораживания и откачки аммиака. С этим, конечно, можно было бы примириться, но нарастание слоя аммиака еще задолго до наступления пробоев влияло на эффективность сортирующей системы. В результате постепенно менялась интенсивность пучка активных молекул, а это сильно воздействовало на частоту генерации. Не очень удачен был и выбор резонатора.

Но каковы бы ни были отдельные особенности обоих молекулярных генераторов, это, по существу, приборы-близнецы, сходства между ними много больше, чем различий.

Различия касались деталей. Общность охватывала основные принципы – получение энергичных молекул методом сортировки в электрическом поле и введение обратной связи при помощи резонатора.

Главную трудность в каждом деле представляет правильное определение цели работы и первый шаг в новом неизведанном направлении. Какие бы трудности ни возникали дальше, сколько остроумия и труда ни потребуется для их преодоления, они будут преодолены, если генеральный курс проложен верно. Весь прогресс человечества обеспечивается сочетанием бесстрашных прорывов в неизвестное, совершаемых одиночками, и титанического труда по освоению целины и уборке урожая, остающегося на долю большинства.

К чести Басова, Прохорова и Таунса, они не застыли на постаменте, подняв в будущее указующие персты, они не отошли от дальнейшей работы. Более, того, как мы увидим дальше, они не ограничились и разработкой найденной ими жилы. Все трое, как истинные новаторы, и в дальнейшем с успехом прокладывали новые тропы в незнаемое, с неутомимостью истинных тружеников прорубали широкие просеки в неведомую страну квантовой электроники.

Басов и Прохоров заботились и о расширении фронта исследований. Они размножили чертежи своего первого молекулярного генератора и щедро раздавали их всем желающим идти их путем.

Лаборатория колебания ФИАНа стала местом паломничества, в которое непрерывным потоком шли посетители, унося с собой не только чертежи, но и советы и, пусть небольшой, опыт обращения с новорожденным прибором. Теперь каждый желающий работать в области квантовой электроники мог погрузиться в ее истоки, покрутить ручки молекулярного генератора, наблюдая при этом за кривыми на экране осциллографа.

Первый младший брат молекулярного генератора заработал в Институте радиотехники и электроники АН СССР, или попросту ИРЭ, если следовать принципу бытующих у нас сокращений.

И это произошло совсем не случайно. При организации ИРЭ в 1954 году в него из лаборатории колебаний ФИАНа перешла группа под руководством М. Е. Жаботинского. Он принадлежал к младшему поколению школы Мандельштама – Папалекси. Еще студентом он посещал семинары Л. И. Мандельштама, а дипломную работу выполнил под руководством М. А. Леонтовича. В ней развивалась теория рамочной антенны, работающей под землей, и теория распространения электромагнитных волн в трубах (в то время, в 1940 году, еще не было придумано слово «волновод»). В армии он, как и Прохоров, попал в разведку, но бес изобретательства не оставил его и на фронте. Войну он кончал в лаборатории, прерывая научную и конструкторскую работу для участия во фронтовых испытаниях. После войны под руководством С. М. Рытова прошел аспирантуру ФИАНа, защитив диссертацию через год после Прохорова. Помогал Прохорову в работе с синхротроном, а затем занялся применением спектральных линий для стабилизации частоты.

Еще в старом ФИАНе на Миусах Жаботинский вместе с аспиранткой Наташей Ирисовой и дипломником Виктором Веселаго создал систему, позволяющую управлять частотой клистрона (генератора сантиметровых волн) с помощью спектральной линии аммиака. Они научились сверять убегающую частоту клистрона с неизменно точной частотой молекул аммиака, как сверяем мы время от времени свои наручные часы по часам Спасской башни Кремля. Это была хитрая задача. Чтобы поставить наручные часы на точное время, нам нужно просто подвинуть стрелки. И все. Чтобы сверить частоту излучения радиогенератора с «позывными» такой крошечной радиостанции, как молекула, нужны особая изобретательность, своеобразная ловкость и обширные знания. Системы сравнения – это сплав

физики и радио. Это узел, в котором завязаны фотоны и молекулы, волноводы и провода. Наука о квантовых стандартах частоты – это особая наука, без которой двадцатый век в электронике, возможно, не стал бы двадцатым.

На первых порах молодых ученых постигла неудача. Спектральная линия аммиака, получавшаяся в радиоспектроскопе и игравшая роль своеобразной стрелки, была слишком широкой и не позволяла добиться нужной им точности. Разве можно было бы прочесть точное время на циферблате, если бы часовая стрелка была толщиной в час или даже в минуту?

Тогда они обратились к другим «часам» – атомы цезия в установке, разработанной американским физиком Рэмси, обещали более узкие линии. Такие спектральные линии могли блестяще сыграть роль частотомера. С их помощью можно было очень точно мерить частоту колебаний генератора радиоволн и управлять его частотой.

Однако, узнав о рождении молекулярного генератора, они, естественно, решили применить его в своих работах. Не удивительно, что, опираясь на дружескую помощь Басова и Прохорова, они смогли сделать это сравнительно быстро.

Главное внимание в ИРЭ было обращено на создание специальных радиосхем, позволяющих использовать выдающуюся стабильность молекулярного генератора для проверки других приборов, работающих в радиодиапазоне. Без этого он оставался бы в какой-то мере «вещью в себе». Прежде всего они создали установку, позволяющую за несколько секунд калибровать кварцевые генераторы по сигналу молекулярного генератора. И делали это с фантастической точностью. Ошибка при этом не превышала двадцатой части от миллиардной доли измеряемой величины. Такая точность была достигнута впервые.

Работая в тесном контакте с. Басовым и Прохоровым, они занялись усовершенствованием молекулярного генератора. Прежде всего они

подумали о том, что не везде есть жидкий азот и не всегда под рукой' мощные вакуумные установки.

Как обойтись без них, не снижая выдающихся качеств молекулярного генератора?

Начались эксперименты. Ученые отыскивали наилучшие режимы работы генератора, видоизменяли его детали, подбирали более удачные источники, мудрили с откачкой.

Наконец, изменив устройство источника пучка молекул аммиака, им удалось сделать пучок гораздо более узким. Теперь большинство молекул попадало в отверстие резонатора. Для нормальной работы генератора в него достаточно было впускать в сотни раз меньше молекул аммиака, чем в старых малонаправленных источниках.

Это, казалось незначительное, достижение не замедлило дать плоды. Теперь можно было обойтись без вымораживания аммиака. С откачкой могли справиться сравнительно небольшие вакуумные насосы. Так ученым удалось создать молекулярные генераторы, способные работать в условиях, при которых обеспечение жидким азотом связано с большими трудностями.

Но жизнь многообразна. Встречаются и такие случаи, когда жидкий азот имеется в изобилии, но применению молекулярного генератора мешают вакуумные насосы. Они громоздки, требуют большого расхода энергии. Некоторые из них вызывают вибрацию и шум.

Новый экономичный источник молекулярного пучка помог решить и эту задачу. На его основе был создан молекулярный генератор, работающий без обычных вакуумных насосов. Их роли с успехом выполнял древесный уголь, охлаждаемый жидким азотом. Еще замечательный химик Зелинский, изобретатель противогаса, использовал в нем способность древесного угля жадно поглощать различные газы. При охлаждении эта жадность чрезвычайно возрастала. Древесный уголь превращался в своеобразный вакуумный насос. Конечно, он не был ненасытным. Но в сочетании с новым экономичным источником молекулярного пучка очень небольшое

количество угля не насыщалось в течение нескольких суток. А во многих случаях это вполне достаточный срок.

Наряду с такими чисто техническими усовершенствованиями в ИРЭ велись настойчивые поиски путей повышения точности генерации.

В некоторых случаях радистам недостаточно иметь одну стабильную частоту. Недаром говорят, что требования практики – одна из сил, движущих науку. Пока не возник этот заказ, никто не догадался спросить уравнения – не слишком ли много хотят от первенца новой науки? Но когда вопрос был поставлен, уравнения ответили – это возможно, и даже подсказали, как зажечь свечу с двух концов.

В этой работе принимала активное участие молодая сотрудница ИРЭ Галя Васнёва, окончившая тот же МИФИ, в котором в свое время учился Басов. Еще дипломницей она пришла в ФИАН и, включившись в работы по стабилизации частоты, продолжила эти исследования в новом институте. Когда я с ней познакомилась, это была тоненькая застенчивая девушка; защитного цвета блуза с погончиками, какие были модны в послевоенные годы, особенно подчеркивала ее женственность и юность. Как-то не верилось, что Галя может стать серьезным и деловым ученым. Однако уже через пару лет я увидела ее портрет в одной из московских газет. То, над чем она работала, привлекло внимание. Это была важная и серьезная работа даже для зрелого физика.

Она начала с того, что позади резонатора, в котором молекулы генерировали радиоволны, поставила второй резонатор, настроенный на другую частоту. На что она рассчитывала? Зачем пошла на усложнение?

Проследим за нитью ее рассуждений. Она обратила внимание на то, что не все молекулы, отбираемые сортирующей системой, обладают одинаковой энергией. Оказывается, пучок содержит несколько «сортов» активных молекул. Каждый из этих сортов немного отличается от других и поэтому способен излучать радиоволны, чуть-чуть различающиеся по частоте.

Галя знала: для того чтобы молекулярный генератор заработал, резонатор должен быть точно настроен на частоту определенного «сорта» молекул. Но при этом работает только одна часть пучка активных молекул. Остальные пролетают резонатор без всякой пользы. Перестроить резонатор на частоту, соответствующую другому «сорт» молекул? Но тогда они начнут генерировать новую частоту, а генерация прежней частоты прекратится. Как же использовать пропадающие зря молекулы? Что... если поставить один за другим два резонатора и каждый настроить на свой «сорт» молекул? И Галя заставила прибор излучать сразу две стабильные частоты. Это было неожиданно и ново. Как это скажется на качестве работы молекулярного генератора?

Галя не успела довести проверку до конца, как стало известно, что за океаном ученые тоже построили молекулярный генератор с двумя резонаторами. Это были А. Джаван и Т. Ванг, сотрудники Таунса, и работавший независимо от них В. Хига. Однако они настраивали оба резонатора на одну и ту же частоту. Трудно сказать, какую цель они преследовали. Ведь в соответствии с существовавшей в то время теорией пучок активных молекул должен был уже в первом резонаторе излучить всю энергию, которую он мог отдать. Может быть, именно это и думали проверить ученые? Впрочем, Хига хотел испытать двухрезонаторный прибор и в качестве усилителя. Он добивался таких условий, когда генерация в первом резонаторе еще не наступала, и тут вводил в него извне слабый сигнал. Слабую радиоволну, которую хотел усилить. И действительно, этот сигнал действовал на переполненные до краев энергией молекулы, как хлыст, и они отдавали радиоволне все свои энергетические избытки – волна за их счет усиливалась.

Этот опыт открыл новые детали в поведении двухрезонаторного генератора. Когда внешнего сигнала не было, никаких колебаний ни в первом, ни во втором резонаторах не возникало. Это, однако, ни в коей мере не могло удивить ученых. Поразительным оказалось другое.

Заставив пучок генерировать в первом резонаторе, обе группы ученых обнаружили во втором колебания на той же частоте и почти столь же сильные, как в первом! Но второй-то был настроен на другую, хотя и близкую частоту... В чем же дело? Теория не только не могла этого объяснить, но полностью противоречила такой возможности. На этом сюрпризы не кончились.

В обычном однорезонаторном генераторе частота колебаний, хотя и слабо, зависела от настройки резонатора. В двухрезонаторном приборе от настройки первого резонатора зависела не только частота генерации в нем самом, но и частота колебаний во втором резонаторе! Вскоре обнаружился еще более невероятный факт. Частота колебаний во втором резонаторе совсем не зависела от его собственной настройки – к всеобщему изумлению, она в точности следила за настройкой первого. Это уж никак не согласовывалось с формулами. Созданные в соответствии со строгой теорией приборы начинали жить своей собственной жизнью, озадачивая ученых все новыми и новыми сюрпризами.

В дополнение ко всем неожиданностям, в момент, когда первый резонатор оказывался расстроенным так сильно, что колебания в нем прекращались, колебания во втором продолжались как ни в чем не бывало. Они лишь скачком меняли свою частоту, подлаживаясь теперь уже под настройку не первого, а своего собственного резонатора. Как бы потеряв одного хозяина, они прислушивались к другому.

Можно только удивляться, почему столь неожиданные наблюдения не вызвали большого интереса и лавины исследований. Лишь через год В. Велс попытался объяснить, как это все происходит, а еще через два года Ф. Редер и С. Бикарт повторили эти опыты, допустив, впрочем, некоторые ошибки в своих наблюдениях.

Прошло еще около двух лет, и загадкой двухрезонаторного генератора увлеклись Басов и его сотрудники. Задачу атаковали сразу с двух сторон. Теорию разрабатывал А. Н. Ораевский, бывший дипломник, а в то время

аспирант Басова. Наблюдения проводил опытный экспериментатор, в то время кандидат, а потом доктор физико-математических наук Г. М. Страховский со своими аспирантами.

Страховский принадлежит к старшему поколению. Он, пожалуй, ровесник Прохорова. И не уступает ему в росте. Статная фигура спортсмена. Твердая рука. Острый взгляд следопыта, следопыта науки.

Увидев Ораевского впервые и еще не зная, с кем имею дело, я сразу подумала: о, это теоретик! Спокойное, задумчивое выражение лица. Глубокие глаза. Скупые, почти ленивые движения. У доски он преображается. Пишет и орудует тряпкой очень быстро, хотя говорит медленно, четко произнося каждое слово. Кажется, он хочет вбить его в вашу память. Так было, когда к доске выходил дипломник, таков и доктор физико-математических наук.

Он слывет среди физиков глубоким теоретиком. Я думала, что он кончил Московский университет. Там готовят хороших теоретиков. Оказывается, он из Физтеха, как коротко называют Физико-технический институт в Долгопрудной, где физики получают самую серьезную и разностороннюю подготовку. И Ораевский кончал вовсе не как теоретик. В дипломе у него значится «инженер-физик». Только в лаборатории Басова он специализировался в теории, сделал диссертацию по квантовым генераторам, много красивых расчетов по стандартам частоты, по лазерам. Ораевский всегда в центре интересов лаборатории. И вообще особенность теоретиков, работающих с Басовым, в том, что они всегда в лаборатории. Везде теоретики трудятся дома – так, я знаю, принято и у математиков Боголюбова и у учеников Ландау. Басовцы на своих местах с девяти до девяти. Они все время в гуще событий. Экспериментаторы просят что-то рассчитать, дать рецепт технологам, подсчитать примеси, температурные режимы, прикинуть напряжения и токи в схемах. Теоретики здесь нарасхват.

Дружный натиск дал свои плоды. И надо сказать, плоды неожиданные. Читая статьи того времени, я освоилась с мыслью, что пучок активных

молекул способен отдать первому резонатору не больше и не меньше, чем половину энергии, запасенной молекулами того «сорта», на частоту которых настроен резонатор. Но когда Басов читал это место в рукописи, он подумал, а потом загадочно сказал:

– Может, и больше...

Значит ли это, что прежний расчет его не удовлетворяет? Сомнение положило начало новым раздумьям, которые прояснили непонятное поведение молекул. Более подробное исследование дало неожиданный результат. Оказывается, под действием электромагнитного поля первого резонатора молекулы начинают вести себя совсем по-новому – они образуют своеобразный коллектив. И этот коллектив бдительно контролирует все акты испускания и поглощения фотона отдельной молекулой. Причем коллектив отдает предпочтение или, можно даже сказать, поощряет акты испускания фотонов и как бы подавляет акты поглощения!

Кстати, возможность такого коллективного состояния молекул еще раньше, без всякой связи с молекулярным генератором, предсказал американский ученый Р. Дики. Он назвал это состояние сверхизлучающим, так как стремление к излучению при этом зависит не от числа молекул, а от квадрата их числа, то есть растет очень быстро.

Молекулы, находящиеся в сверхизлучающем состоянии, могут излучать до тех пор, пока пучок не излучит всей запасенной в нем энергии! Такое излучение может наблюдаться и при полете молекул в свободном пространстве, только при этом оно будет происходить медленно. Если же пучок молекул, приведенный в сверхизлучающее состояние в первом резонаторе, попадет во второй резонатор, настроенный на подходящую частоту, то сверхизлучение произойдет очень интенсивно. При этом пучок коллективизировавшихся молекул снова излучит ровно столько же, сколько он уже излучил в первом резонаторе, то есть вторую половину первоначально запасенной в нем энергии.

После этих работ стало ясно, что двухрезонаторный молекулярный генератор обладает преимуществом перед обычным молекулярным генератором.

Ведь несмотря на то, что свойства самих молекул чрезвычайно неизменны, частота колебаний молекулярного генератора была далеко не так стабильна, как этого ожидали его создатели. Оказалось, что она определяется не только свойствами молекул, но и настройкой резонатора. А настройка резонатора, к сожалению, не остается постоянной.

Если зимой в лаборатории открывают окна, одним из первых замечает это резонатор и расстраивается. Конечно, его можно держать в теплице, как огуречную рассаду зимой. Для этого существуют термостаты. Но это уже лишние заботы. Можно поступить и иначе. Соорудить резонатор из особого материала, инвара, который слабо реагирует на изменение температуры. Так конструкторы и поступают. И все же полностью изолировать резонатор от внешнего мира нельзя. Ведь молекулярный генератор и создан для того, чтобы транслировать свою «радиопередачу» во внешний мир. И хочешь не хочешь, а через тот же волновод, по которому энергия молекулярного генератора передается потребителю, внешний мир влияет на него, на настройку его резонатора, генерируемую частоту.

Инженеры, естественно, стараются уменьшить этот вредный эффект, ставят специальные развязки, через которые электромагнитная волна способна проходить только в одну сторону и не может пройти в обратную. Однако такие развязки не идеальны. Они уменьшают влияние внешнего мира на резонатор молекулярного генератора, но не изолируют его полностью.

Конечно, читателю уже давно стало ясно, как двухрезонаторный молекулярный генератор помогает справляться с этой трудностью. Ведь в таком генераторе частота зависит только от первого резонатора, а сигнал берется от второго, никак не влияющего на частоту. При этом к первому резонатору не присоединяется никакой волновод. Он в электрическом отношении совершенно изолирован от внешнего мира. Это особенно важно

для генераторов, подверженных тряске, вызывающей неизбежные деформации волноводов. Исследования двухрезонаторного молекулярного генератора, проведенные в Физическом институте АН СССР, были вскоре подтверждены работой английских физиков. Но это было лишь одно из направлений развития новой области науки. Впрочем, было бы удивительно, если бы все ограничилось одним направлением!

Вскоре после работ Басова и Прохорова молекулярные генераторы заработали в Харьковском институте мер и измерительных приборов, где их применили для периодической проверки кварцевых часов, в Горьковском университете и в других местах Советского Союза.

В СТРАНЕ СЫРА И ЧАСОВ

Молекулярные генераторы и за рубежом переходили из лаборатории в лабораторию. И ученые продолжали находить новые особенности и новые неожиданности, которые в результате упорного труда превращались в новые победы. Один из учеников Таунса, своеобразный и талантливый, К. Шимода, ставший профессором Токийского университета и продолжающий свои исследования в Токио, еще работая с Таунсом, сделал одно тонкое наблюдение. Шимода заметил, что пучок молекул, пролетая сквозь резонатор, излучает энергию не равномерно. Излучение может быть более сильным вначале или же в конце полета и меняться в зависимости от интенсивности пучка и от других причин. Это вызывает сильный неконтролируемый уход частоты. В статье, написанной Шимодой и Таунсом вместе с Вангом, содержалось не только описание неприятного открытия, но и рецепт борьбы с его действием. Они предложили пускать в резонатор одновременно два одинаковых встречных пучка молекул. Конечно, для этого надо было иметь два одинаковых источника и две сортирующие системы,

отбирающие из этих пучков активные молекулы. Если все наладить достаточно хорошо, стабильность генератора увеличилась бы в 10–15 раз!

Это было так заманчиво, что в исследования включились ученые из других стран: Швейцарии, Франции, Англии, Канады, Австралии, Чехословакии, ФРГ. Особенно плодотворны они были в Швейцарии.

Швейцария не только страна гор и сыра, но и страна часовщиков. Города и деревни Швейцарии ютятся в горных долинах, зажатых между скалистыми хребтами и снежными вершинами. Поэтому в Швейцарии нет ни очень крупных городов, ни больших заводов. Заводы и заводишки, расположенные в мелких городах и в сельской местности, разбросаны по всей стране.

Исторически сложилось так, что часовым ремеслом занялись преимущественно мастера, живущие вокруг Невшательского озера. В этих же краях постепенно возникла и часовая промышленность. Со временем Невшатель стал столицей швейцарских часовщиков.

В предгорьях над городом располагается Невшательская обсерватория, одной из задач которой издавна стало определение точного времени по наблюдениям небесных светил. Эта столь важная для часовой промышленности работа была одной из обязанностей молодого астронома доктора Бонаноми. Бонаноми одним из первых понял значение молекулярного генератора для тех, кто занимается определением точного времени. Он увлекся этой идеей. Но астрономическая обсерватория неподходящее место для работ, связанных с созданием новых сложных приборов. Для этого нужны сотрудники, станки, деньги.

Горы амфитеатром спускаются к Невшательскому озеру. Внизу, недалеко от берега, расположен Невшательский университет. Казалось, что для новой сложной работы доктор Бонаноми изберет университет. Но университет университету рознь, а Невшательский университет уделял очень мало внимания физике. Не больше, чем это требовалось для общего образования филологов, медиков и богословов.

К счастью, вблизи от университета швейцарские часовые фирмы создали на коллективных началах (редчайший в капиталистическом мире случай) исследовательский институт. Институт изучал все, что относится к теории, конструкции и технологии часового производства. Здесь интересовались всем, что относится к измерению времени.

Естественно, что доктор Бонаноми, смяутившись с астрономических высот, предпочел полуподвальные помещения в правом крыле часового института. Правда, в этом институте и директор и другие сотрудники почитали механику, кинематику механизмов и технологию металлов. Но они понимали, что в давно устоявшуюся страну часовщиков непреодолимо вторгаются кванты.

Вскоре к Бонаноми присоединились И. де Принс и П. Карташоф, отец которого давно переселился в Швейцарию из царской России. Эта группа наглядно доказала, что знаменитое суворовское «не числом, а умением» относится и к области науки. Здесь проводили тонкие исследования спектра молекул аммиака и изучали стабильность частоты молекулярного генератора, предлагали и проверяли различные способы увеличения его точности.

Радиоинженеры давно знали, что для неискаженного приема сложных телевизионных или радиолокационных сигналов полезно заменять обычные резонансные контуры системой двух или даже трех связанных контуров. Бонаноми и его сотрудники решили применить этот опыт в молекулярном генераторе. Они присоединили к резонатору молекулярного генератора второй такой же резонатор. Он располагался рядом с первым, но пучок молекул в него не попадал. И тем не менее он не был лишним. Задачей второго резонатора было пассивное воздействие на первый с тем, чтобы, как говорят ученые, их общая резонансная характеристика стала более пологой и меньше влияла на частоту генератора. Несмотря на простоту, это небольшое усовершенствование дало заметный эффект.

В борьбе за точное время каждая крупинка качества была на вес золота. И ученые ухитрялись добывать их из интимных различий родственных

частиц. Например, протона и нейтрона. Они давно досадуют на то, что спектр излучения молекул аммиака очень сложен. И винят в этом ядро азота, входящего в аммиак. Это ядро состоит из семи протонов и семи нейтронов. Вот если бы там было их не семь, а восемь, говорят физики, все было бы иначе. Спектр был бы куда проще, и возни с молекулярным генератором было бы меньше.

И в этом действительно есть резон.

Возьмите для сравнения электронные оболочки атомов. Во внешних электронных оболочках атомов так называемых инертных газов всегда содержится по 8 электронов. Для атомов это идеал, большего им не нужно. Так возникает химическая инертность этих газов. Они не стремятся к соединению с другими элементами, довольные тем, что имеют. Если же во внешней электронной оболочке атома содержится только 7 электронов, атом стремится прихватить недостающий электрон у других элементов, что влечет за собой его большую химическую активность. Отсюда «жадность» галогенов, особенно фтора и хлора.

Как видно, нечто подобное присуще и атомным ядрам. Например, ядро кислорода, содержащее 8 протонов и 8 нейтронов, имеет очень упорядоченную структуру, отчасти напоминая этим симметричную электронную оболочку инертных газов. А вот ядро обычного азота, содержащее на один протон и один нейтрон меньше, чем кислород, уже в высшей степени несимметрично. Подобно электронной оболочке галогенов. Причина явно кроется в седьмых протонах и нейтронах, не имеющих пары внутри ядра. Ядро изотопного азота, содержащего наряду с семью протонами уже восемь нейтронов, гораздо симметричней, чем ядро обычного азота с его семью нейтронами. Ядро изотопного азота более похоже на симметричное ядро кислорода, чем на ядро обычного азота. Поэтому и спектр излучения молекул аммиака, содержащего не обычный, а изотопный азот, более прост, чем спектр аммиака, в который входит обычный азот.

И что самое поразительное – тонкие исследования вполне четко уловили разницу в работе молекулярного генератора, использующего простой аммиак или его изотоп. Они показали, что в результате даже столь ничтожного различия ядер молекулы аммиака, содержащие обычный азот или его изотоп, по-разному ведут себя в электрическом поле квадрупольного конденсатора. И это заметно сказывается на работе прибора. Так, ничтожные колебания напряжения, приложенного к сортирующему молекулы конденсатору, влияют на интенсивность пучка активных молекул обычного аммиака гораздо сильнее, чем в случае изотопного аммиака. Тот реагирует меньше. По-разному это сказывается и на частоте колебаний. Молекулярный генератор, работающий не на обычном, а на изотопном аммиаке, оказывается в 10–15 раз стабильнее. В 10 раз!

И эту десятку физики получили за счет одного лишнего нейтрона в ядре атома азота! Нейтрон – и десятикратное улучшение результатов. Никто, кроме физиков, даже химики, не может и мечтать отличить изотопный азот от обычного или аммиак с изотопным азотом от простого аммиака. Как глубоко должны были ученые проникнуть в глубины материи, чтобы чувствовать себя хозяином в атомном ядре!

Это все очень тонкие вещи, скрытые в ядрах атомов, но, поскольку ученые используют атомы как детали в своих новых приборах, необходимо во всех тонкостях знать строение и свойства этих деталей. Когда не работает большой прибор, его зачастую приходится разбирать до винтика. Атомные приборы приходится разбирать до нейтронов и протонов. Да еще делать это мысленно! Зато такие мысленные операции объясняют с первого взгляда непонятные капризы уникальных приборов. Так случилось и на этот раз.

И все-таки изотопный аммиак не решил всех проблем. Он очень дорог. Конечно, его можно применять в отдельных случаях, но для широкого распространения молекулярного генератора надо было найти другой метод увеличения его стабильности. К счастью, физики уже достаточно много знали о характере и склонностях объекта своего внимания, поэтому им

пришлось искать недолго. Одна из множества спектральных линий обычного аммиака – та, которая имеет индекс (3, 2), – случайно обладает такой же простотой, что и спектральные линии дорогого изотопного аммиака. Ученые немедленно воспользовались этой находкой. Они изготовили резонатор, настроенный на частоту этой спектральной линии, и генератор заработал. Правда, при этом мощность генератора заметно уменьшилась, но стабильность частоты все же существенно возросла.

Физики здесь уподобились селекционерам, выводящим новый сорт. Те всегда взвешивают, что важнее – морозостойкость, продуктивность, вкус?

Физики стремились к большей стабильности. Они получили ее. А мощность в данном случае играет второстепенную роль. Молекулярные генераторы никогда и не претендовали на пьедестал сильнейшего. Борьба идет за точность работы, за точность отсчета времени, и началась она тогда, когда молекулярных генераторов не было и в помине.

ЛЮСТРА И АТОМ

Великий Галилей во время церковной службы обратил внимание на то, что одна из больших люстр собора качается, причем качается очень регулярно. Сравнив ритм ее колебаний с биением своего сердца, он убедился в том, что период движения люстры не зависит от ее размахов. Это побудило Галилея заняться изучением законов качания маятников. Он установил, что период маятника зависит от его длины. Из этих наблюдений родились маятниковые часы.

Вскоре Британское адмиралтейство объявило конкурс на часы, способные указывать точное время на борту корабля в условиях качки, – задача, недоступная маятниковым часам.

Премию получил Гюйгенс, более известный как создатель волновой теории света. Он изобрел вращающийся маятник с пружинкой – балансир, который тикает в миллионах хронометров, карманных и наручных часах.

Поколения часовщиков улучшали конструкцию часов, повышали их точность. Современные карманные и наручные часы лучших марок ошибаются не больше, чем на секунду в сутки. Морские хронометры отсчитывают время с погрешностью не более нескольких секунд в месяц. Специальные астрономические часы теперь снабжаются электрическим приводом, а их маятник качается в герметическом футляре, из которого откачан воздух. Ошибка таких часов не превышает одной секунды за год.

Это пока предел возможностей механических часов. Даже призвав на помощь электричество, механики не смогли продвинуться дальше в борьбе за точность отсчета времени.

Следующий шаг сделали радиоспециалисты. Это были А. Шайбе в Германии и Л. Эссен в Англии. Они создали кварцевые часы. Далеко не все здесь было новым. И до них радиоинженеры умели увеличивать стабильность частоты ламповых генераторов радиоволн, заменяя в них один из колебательных контуров пластинкой кварца. Но Шайбе не только научился делать очень хорошие кварцевые пластины, но соединил свой генератор со специальными радиосхемами, игравшими роль зубчатых передач в механических часах. Эти схемы преобразовывали высокую частоту колебаний кварцевого генератора в низкую частоту, пригодную для вращения маленького синхронного моторчика. Моторчик двигал стрелки, подобные стрелкам обычных часов. Кварцевые часы Эссена отличались, пожалуй, только тем, что он применял вместо кварцевых пластин – кольца, особым образом вырезанные из кристаллов кварца.

Кварцевые часы сразу превзошли лучшие маятниковые часы. Они работали так точно, что с их помощью удалось обнаружить неравномерность суточного вращения Земли. Это привело ученых ни больше ни меньше как к пересмотру представлений о роли часов!

Со времен Ньютона, знаменитые законы которого объединили астрономию с механикой, время стало таким же элементом науки, как пространство. Ученые исследовали движение небесных тел, работу механизмов – словом, все, с чем они имели дело в пространстве и во времени. Мир размещался в едином беспредельном пространстве, в котором подобно огромной реке текло единое время.

Три века в науке существовал строгий порядок, и почти три века люди не могли обнаружить ни малейшего отступления от этого порядка. Но в конце прошлого века Максвелл внес в учение об электричестве и магнетизме такую же ясность, как это сделал Ньютон для механики. Максвелл объединил учение о свете и учение об электричестве. Из его теории следовала необходимость существования электромагнитных волн, длина которых в миллионы раз больше длины световых волн. Из его теории вытекало также существование эфирного ветра. Теория говорила, что эфир должен увлекать за собой электромагнитные волны так же, как воздушные потоки уносят с собой звук. Никто не думал тогда, что эфирный ветер унесет навсегда ньютоновское абсолютное время.

Теория предсказывает, а эксперимент... Что же сказал эксперимент?

Эксперимент, выполненный Герцем, действительно привел к открытию электромагнитных волн длиной в несколько десятков сантиметров (длина волны света измеряется десятymi долями микрона – десятитысячными долями сантиметра). Вскоре Попов применил герцевские волны для связи. Родилось радио, а электромагнитные волны длиной от миллиметров до километров получили название радиоволн. Так эксперимент подтвердил одно из предсказаний теории Максвелла.

Осталось подтвердить второе. Но эксперимент, выполненный блестящим американским физиком Майкельсоном, не обнаружил предсказанного эфирного ветра. Может показаться, что в этом нет ничего особенного. Нужно только поставить более точный опыт – и теория будет подтверждена полностью. Однако все было не так-то просто.

Отрицательный опыт Майкельсона стал первым ударом колокола, возвестившим о кризисе старой физики и предстоящем рождении новой. Дело в том, что Майкельсон был первоклассным экспериментатором и достигал выдающейся точности. Его филигранный опыт обнаружил, что теория Максвелла, считавшаяся непогрешимой, не соответствует реальному миру.

Опыт – высший судья науки. Конечно, ни один судья не гарантирован от ошибок. Но не в этом случае. Здесь ошибка не превышала одной миллионной.

И Майкельсон и другие ученые многократно повторяли этот опыт в различных вариантах и лишь увеличивали точность, с которой установлен факт расхождения теории и эксперимента. Они не могли обнаружить ни малейшего дуновения эфирного ветра. И нет-нет, а у кого-нибудь из них да появлялось крамольное сомнение: полноте, существует ли вообще это порождение фантазии Максвелла? Не выдумка ли это? А выдумка, надо сказать, была красивой и соблазнительной. В науке не часто рождаются такие вот «летучие голландцы», которые пригрезятся вдруг гению и будоражат потом не одно поколение ученых-мечтателей, пока трезвый опыт или расчет не изгонит его со страниц истории.

Эфирный ветер! Эфир физиков не имел ничего общего с тем эфиром, который применяется при хирургических операциях или в химчистке для вывода жирных пятен. Эфир физиков – это эфир поэтов, эфир древних мыслителей, нечто нематериальное, неуловимое – символ пустого пространства. Эфир физиков – это гипотетическая среда, в которой распространяются свет и радиоволны, – словом, все электромагнитные волны, предсказанные теорией Максвелла. Ничем другим этот эфир и не должен был проявлять себя. Этим он ставил себя вне опыта и даже вне здравого смысла.

Воздух, в котором распространяются звуковые волны, ведет себя иначе. Все живое, кроме некоторых бактерий, дышит им. Мы можем

откачать воздух из сосуда, тогда внутри сосуда исчезнут и всякие звуки. Мы можем охладить воздух и превратить его в жидкость. Мы можем изменить его состав, сжигая в нем горючие вещества. При этом одна часть воздуха – кислород – исчезает. То есть воздух можно «пощупать», взвесить, уничтожить, создать. Ничего подобного сделать с эфиром (даже теоретически!) было нельзя. Словом, воздух материален, а эфир нет. Это нечто такое, с чем наука никогда раньше не имела дела. Впрочем, разве только теплород? И надо сказать, сходство оказалось роковым, эфир разделил судьбу теплорода. Они оба оказались просто курьезом.

Но прежде чем ученые убедились в этом, они делали все возможное, чтобы поймать эфирный ветер. И казалось, сделать это нетрудно. Ведь стоя на Земле, несущейся по своей орбите сквозь эфир, мы должны заметить ее движение так же, как слепой человек может определить движение парохода с палубы или поезда с платформы открытого вагона. И так же, как обыкновенный ветер несет с собою пыль - и песок, эфирный несет с собой световые волны. И, заметив, как меняется их скорость, можно таким, правда косвенным, способом доказать существование самого эфирного ветра. Вот на что рассчитывали экспериментаторы.

Сейчас трудно найти человека, который не знал бы, к чему привел опыт Майкельсона. В 1905 году Эйнштейн, исходя из того, что опыт Майкельсона доказал отсутствие эфирного ветра и обнаружил новое свойство природы – независимость скорости света от движения источника, создал теорию относительности. Оказалось, что течение времени в движущихся телах зависит от их скорости и именно это делает невозможным обнаружение эфирного ветра. Впрочем, теория относительности сделала ненужным для науки само понятие эфира. Эфир полностью перешел во владение поэтов. А фантасты получили в подарок вполне реальную, хотя пока технически не реализуемую, возможность «омоложения» при дальних космических полетах.

Прошло еще около десяти лет, и Эйнштейн сделал следующий шаг. Скорее это был огромный скачок. Он создал новую теорию, ее называют теперь теорией тяготения. Из этой теории следовало, что время зависит не только от скорости движения, но и от близости больших тел. Например, вблизи Солнца время течет медленнее, чем вдали от него. Великий и неизменный поток ньютоновского абсолютного времени был заменен живой рекой, задерживающей свой бег у массивных звезд и спокойно струящейся в пустом пространстве.

Сколь ни значительны изменения в представлении о времени, вытекающие из работ Эйнштейна, они не коснулись способов измерения времени. Как и миллионы лет назад, люди измеряли время по Солнцу и звездам, а Эйнштейн лишь научил их, как пересчитывать время, измеренное на Земле, ко времени, текущему на других планетах и звездах. При этом часы, как и в старину, нужны только для того, чтобы делить сутки на все более и более мелкие части. И сегодня мы, так же как египтяне в древности, делим день и ночь на двенадцать частей, посвящая каждую не богам, как делали они, а своим современным заботам.

Хотя все живое соразмеряется с видимым движением Солнца, измерять время по Солнцу неудобно. Оно слишком велико и светит слишком ярко. Наблюдать за такой «стрелкой» трудно. И астрономы решили: лучше выбрать за стрелку небесных часов какую-нибудь звезду и отсчитывать время по ее видимому движению. Например, считать за сутки время между двумя высшими положениями этой звезды на небосводе.

Точность при этом увеличилась, но возникла новая трудность – часы, отрегулированные по звездам, идут иначе, чем сверенные по Солнцу. Солнечные часы идут медленнее, чем звездные. И разница составляет 4 минуты в сутки. Так что, вздумай мы жить по звездным часам, нам пришлось бы со временем спать днем и бодрствовать ночью. (Это происходит из-за вращения Земли по ее орбите вокруг Солнца, приводящего к видимому движению Солнца по небосводу.)

Но законы Ньютона, а затем и теория Эйнштейна увязали время, измеряемое по вращению Земли вокруг оси (звездное время), с солнечным временем, учитывающим также движение Земли по орбите. Длительные наблюдения позволили определить отношение средних солнечных суток к звездным суткам. Получилось очень неудобное число – 1,0027378118868. Но очень надежное. Неточна здесь только четырнадцатая цифра. Это число учитывает даже такие «детали», как изменение скорости Земли на различных участках ее орбиты.

Но недаром Майкельсон говорил, что в наш век открытия лежат за шестым знаком точности. Как только точность кварцевых часов перевалила за восьмой знак, оказалось, что вращение Земли вокруг ее оси, которое считалось воплощением равномерного течения времени, непостоянно! Великолепная четырнадцатизначная точность, о которой мы только что говорили, получена не только усреднением солнечных суток, но и усреднением звездных, которые до того казались идеально постоянными.

Впрочем, обнаружив неравномерность вращения Земли, астрономы вспомнили, что их предшественники еще в прошлом веке замечали неувязки между вычисленными положениями Луны и планет и их видимым положением. Чтобы объяснить расхождения, они предлагали различные весьма сложные теории; причем для каждого вновь открываемого расхождения приходилось создавать новую, не связанную с прежними гипотезу. Правда, какие-то намеки на закономерность в этих беспорядках наводили ученых на мысль о том, что они вызваны общей причиной. Но никому в голову не приходило искать эту причину в нерегулярности вращения Земли. Это казалось слишком дерзким.

Теперь, когда неравномерность суточного вращения стала бесспорным фактом, все затруднения, о которых мы говорили, разом исчезли, а многочисленные гипотезы стали ненужными.

При помощи кварцевых часов удалось заметить много новых фактов. Оказалось, что, помимо давно известного замедления скорости вращения

Земли из-за приливного трения (это замедление очень равномерно и составляет 0,001 секунды за 100 лет и уже давно учитывается астрономами), существуют периодические и даже беспорядочные вариации длительности суток. Ученые установили, что периодические вариации вызваны тем, что сила приливов зависит от сочетания положения Луны и Солнца. Это вызывает изменение длительности суток с периодом от полумесяца и месяца до 9 и 18 лет. Беспорядочные, но заметные при помощи кварцевых часов нарушения равномерности суточного вращения Земли вызываются и мощными движениями атмосферы, и влиянием вспышек солнечного излучения на движение заряженных частиц, окружающих Землю, и сложными движениями земной коры, а может, и более глубоких ее слоев, и какими-то еще. неведомыми причинами.

Во всяком случае, ученые убедились: суточное вращение Земли, измеряемое по видимому положению звезд, не может быть основой счисления времени.

Астрономы попытались выйти из положения, приняв за основу измерения времени годичное движение Земли вокруг Солнца. Они вычисляют его с огромной точностью, основываясь попросту на законах Ньютона и его абсолютном времени. Тут оно не подводит. Теория относительности привела лишь к очень малым поправкам, доступным наблюдению только для планеты Меркурий. Движение Земли по ее орбите очень стабильный процесс, и он уже некоторое время служит основой секунды. Правда, за увеличение стабильности пришлось заплатить уменьшением точности измерений. Мы оказались сидящими на стрелке этих новых астрономических часов, и определить точное положение стрелки, затрачивающей на обход циферблата целый год, дело нелегкое.

Ученые решили облегчить свой труд и увеличить точность измерения, избрав для определения времени самую быструю стрелку на циферблате неба – Луну. Законы небесной механики связывают между собой движение Луны и движение Земли по их орбитам точнее, чем зубчатые колеса часов

связывают движение минутной и часовой стрелок. Измеряя движение Луны вокруг Земли, можно вычислить секунду, определяемую формально из движения Земли вокруг Солнца. Ведь в законы движения обоих светил – дневного и ночного – входит одно и то же время, время из уравнений Ньютона. Но и Луна оказалась ненадежным помощником. Хотя она и обращается по своей орбите лишь за 28 суток, «лунная секунда» не была точнее «звездной». Чтобы сделать ее надежней, надо вести наблюдения и вычисления по крайней мере лет пять! Пять лет регулярных наблюдений (прерываемых только ненастными ночами), во всеоружии новейших астрономических приборов, сложных фотографических процессов, быстродействующих электронных вычислительных машин.

В соревновании за точное время победили не гордые и величественные светила, а скромные молекулы и атомы. Атомные часы оказались гораздо более точными. Молекулы и атомы в квантовых генераторах излучают радиоволны с такой постоянной частотой, что ни один другой процесс не может соревноваться с ними по четкой периодичности. С периодом их колебаний, с этой «атомной секундой» и решили ученые сверить другие часы. Но это удалось не сразу.

Первые сообщения об атомных часах появились в 1952 году, когда Г. Лайон в США сверил кварцевые часы, правда, не с периодом колебаний молекул аммиака в молекулярном генераторе, а с их спектральной линией поглощения в радиоспектроскопе.

Но он потерпел неудачу. Атомные часы еще не «созрели». Спектральные линии аммиака, наблюдаемые в радиоспектроскопе, были очень широкими, и новые «атомные» часы шли менее точно, чем хорошие кварцевые часы. Мы взяли здесь слово «атомные» в кавычки не только потому, что новый прибор оказался недостаточно хорошим, а из-за того, что его правильнее называть молекулярными часами. Ведь в нем наблюдался не спектр какого-либо атома, а спектр молекул аммиака. Но, как видно, прилагательное «атомный» было в то время слишком притягательным.

Настоящие молекулярные часы, которые по точности превосходили кварцевые, были впервые запущены в Физическом институте АН СССР. Басов и его сотрудники избрали при этом простую, но надежную схему импульсного регулирования. Идея была такова. Хорошие кварцевые часы при помощи специальных радиосхем сравниваются с молекулярным генератором. Как только ошибка кварцевых часов превзойдет заранее выбранную малую величину, в них автоматически вводится нужная поправка.

В Институте радиотехники и электроники АН СССР были разработаны более совершенные системы. Одна из них основана на непрерывной подстройке хода кварцевых часов по сигналу молекулярного генератора, причем подстройка производится, как говорят специалисты, с точностью до фазы. Это значит, что частоты колебаний обеих частей устройства – кварцевых часов и молекулярного генератора – всегда полностью совпадают. Вторая система, разработанная в этом институте, имеет то преимущество, что она совершенно исключает внешнее воздействие на сердце кварцевых часов – кварцевый резонатор. Схема автоматически, по сигналу молекулярного генератора, вычисляет ошибку кварцевых часов и так же автоматически вычитает из их показаний эту ошибку, выдавая время, полностью определяемое молекулярным генератором.

Может возникнуть вопрос: зачем же нужны такие ухищрения, почему нельзя управлять ходом часов непосредственно при помощи молекулярного генератора, не привлекая на помощь кварцевые часы?

Как и во многих других случаях, здесь прямой путь не является наилучшим. Ведь мощность молекулярного генератора не превышает миллиардной доли ватта. Этим не повернешь никакой стрелки. Между молекулярным генератором и часами нужно включить подходящий усилитель. Кроме того, необходимо преобразовать период его колебаний поближе к периоду часов. Ведь период вращения секундной стрелки равен минуте, а период колебаний молекулярного генератора составляет лишь одну

двадцать четвертую от миллиардной части секунды. Учтите, что и усиление мощности и преобразование периода нужно осуществить без потери точности. Именно поэтому оказалось удобным строить молекулярные часы, используя в них в качестве составной части стабильные кварцевые генераторы.

Пока ученые мудрили, приспособливая молекулярный генератор для подстройки часов, у него появился опасный конкурент. Он сразу же захватил поле боя. Родились удивительные часы: не просто точные, а претендующие на звание эталона времени. Они тоже вели свое начало от радиоспектроскопа, но не от известного нам радиоспектроскопа Басова и Прохорова, а от совсем другого, родившегося еще в 1937 году. Вы вправе удивиться и спросить: позвольте, радиоспектроскопия появилась в сорок пятом, а автор говорит о тридцать седьмом годе – не ошибся ли он? Нет, не ошибся. Это один из курьезов науки, если угодно – результат бега по пересеченной местности, когда спортсмен не всегда видит тех, кто впереди и позади него.

ТЫ ЗАДАВАЛ ПРАВИЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ?

В 1927 году в лаборатории Штерна появился американец Исидор Раби. Для физика, только что окончившего университет, он был не молод. Вскоре ему должно было исполниться тридцать. Но Раби быстро доказал коллегам, что он недаром прожил свои годы. Он родился в Австрии, но с двух лет жил в Истсайде, в районе нью-йоркской бедноты. Поступив в городскую школу, мальчик стал первым учеником. Он до сих пор вспоминает, как мать встречала его по возвращении из школы: «Задавал ли ты сегодня дельные вопросы учителю?» Пожалуй, только физик может оценить ее мудрость, потому что он знает, как важно научиться задавать правильный вопрос природе. В этом залог правильного ответа.

Окончив школу, Раби получил стипендию и поступил на химический факультет. Физика в США в то время была не в почете. Она не делала денег. Иное дело – химия. Шла первая мировая война, и страна остро нуждалась во взрывчатых веществах, красителях и других продуктах химии.

Проработав после окончания курса химиком-лаборантом всего один год, Раби вдруг поступил в частную банковскую фирму. Но два года служения золотому тельцу убедили его в том, что это не для него. Он вернулся в Корнельский университет, чтобы пройти дополнительный курс и стать доктором химических наук. Однако вскоре Раби понял, что в химии ему больше всего нравится физика, и он перешел в Колумбийский университет, единственное место в Нью-Йорке, где можно было стать физиком. В 1927 году, защитив докторскую диссертацию, он почувствовал, что настоящим физиком так и не стал. В те годы этого можно было достичь только в Европе. Получив осенью стипендию для научной работы, он пересек океан и под руководством Штерна освоил технику экспериментов с атомными пучками. Вернувшись в Нью-Йорк, Раби собрал вокруг себя группу молодых ученых, ставших ядром одной из первых в США школ экспериментальной физики.

Десять лет спустя Раби значительно усовершенствовал исследования атомных пучков. В отличие от Штерна, который применял в своих экспериментах только сильные неоднородные магнитные поля, он дополнительно ввел в свой прибор еще и радиоволну.

Если помните, пучок атомов серебра в приборе Штерна и Герлаха распадался под влиянием магнитного поля на две части (в зависимости от их энергии). И атомы оседали на стеклянной пластинке в виде двух серебряных пятнышек. Раби же поставил на пути атомов второе магнитное поле, противоположное по своему действию и, не дав атомам осесть в двух точках, снова свел их в одну. И стал наблюдать, сколько атомов пройдет через это двойное испытание. Зачем ему это понадобилось? И для чего он использовал еще радиоволну? Минутку терпения.

Раби обладал смелостью, необходимой каждому первопроходцу. В формулах квантовой механики скрывалась возможность взаимодействия между микрочастицами и радиоволнами. Взаимодействия, ничем не отличающегося от того, которое уже давно наблюдалось между этими частицами и светом. Но кванты света в миллионы раз энергичнее квантов радиоволн. И нужно было сочетать решимость с тонким искусством, чтобы поставить своей целью наблюдение столь слабых эффектов. Ведь все работавшие с атомными пучками знали, что непосредственное введение радиоволн в прибор Штерна ровно ничего не дает. Просто некоторое число частиц перейдет из правого пятнышка в левое, и столько же перекинется слева направо. Задача состояла в том, чтобы надежно отделить частицы, взаимодействовавшие с радиоволной, от тех, которые этого не совершили.

Установка Раби состояла как бы из двух приборов Штерна, установленных один за другим. Влияние второй установки полностью уничтожало действие первой. Атомы, выходящие из источника, сперва, как у Штерна, распадались на два пучка, затем снова собирались вместе, опять расходились, но в противоположных направлениях и, наконец, сходились в одну точку. Но это не было переливанием из пустого в порожнее. Раби здесь поступил как хороший аптекарь – перед точным взвешиванием уравнивающий чаши своих весов. Теперь они почувствуют ничтожную крупинку лекарства.

В середине установки Раби поместил катушку, через которую проходили токи высокой частоты от генератора радиоволн. Радиоволна ударяла по атомам. Пока ее частота была далека от той, на которую настроены сами атомы, они не обращали на нее никакого внимания. Они летели в строгом порядке, послушные одной силе – магнитному полю. Но вот ученый начинает вращать ручку настройки радиогенератора и менять его частоту. Постепенно он подбирается к частоте, на которую настроены атомы. Он нащупывает их резонансную волну, как нащупываем мы нужную нам радиостанцию на шкале обычного радиоприемника. И чем ближе настройка

радиогенератора к настройке самих атомов, тем большее «волнение» их охватывает. И вот – резонанс! Радиоволна и атомы получили возможность разговаривать на одном языке, на одной частоте. Одни атомы излучают избыток своей энергии, отдают ее радиоволне. Другие, слабенькие, пользуются случаем и занимают у нее часть энергии. Идет интенсивное взаимодействие. Магниты забыты. Атомы не слушают их. Они уже не попадают в одну точку, а разбредаются кто куда!

Что же делает в это время Раби? Раби внимательно следит за стрелкой гальванометра, который он поставил на выходе своего прибора и заставил следить за теми атомами, которые прошли через оба магнита. Пока не было резонанса и все атомы попадали в одну точку, гальванометр «молчал», стоял на нуле. В момент резонанса стрелка вздрагивала и начинала ползти вправо. Чем больше отклонение, тем точнее резонанс. Штерну приходилось томительно ждать, пока на стеклянной пластинке заблестят серебряные пятнышки. Раби получал результат мгновенно.

Он использовал резонанс для изучения поведения атомов в радиочастотном поле. Оно было своеобразным скальпелем, обнажавшим сокровенные свойства и характер атомов.

В дальнейшем, когда прибор Раби был значительно усовершенствован, физики додумались использовать атомы в момент резонанса как камертон для подстройки частоты радиогенераторов. Ведь в момент наивысшего взаимопонимания между атомами и радиоволной, излучаемой генератором, их частоты одинаковы. Точно зная частоту атомов, а ученые ее знали, можно с уверенностью назвать частоту генератора. Так атомы стали играть роль часов Спасской башни, по которым сверяются тысячи часов.

Итак, еще в 1937 году Раби смог наблюдать спектральные линии атомов в радиодиапазоне. Его прибор был, по существу, радиоспектроскопом. Радиоспектроскопом, родившимся раньше, чем радиоспектроскопия. Это не игра слов, ведь общепризнано, что радиоспектроскопия возникла лишь в 1945 году, когда ученые начали

систематически исследовать спектры газов в диапазоне сантиметровых радиоволн.

Вспомните героя Мольера, удивившегося, узнав, что он говорит прозой.

Раби не удивился, когда после второй мировой войны родилось слово «радиоспектроскопия». Просто в лаборатории рядом с атомнолучевыми радиоспектроскопами коротковолнового диапазона появились газовые радиоспектроскопы сантиметрового диапазона. Приборы Раби были предисторией. Обычный случай в истории науки.

И все-таки они, строго говоря, были не только предисторией, оборванной и незавершенной. Нет, они имели свою собственную историю, которая продолжается и в наши дни. Радиоспектроскоп Раби положил начало еще более точным атомным часам и даже не часам, а целой ветви новых стандартов времени.

Но прежде чем прибор Раби можно было применить для калибровки частоты радиопередатчика, для управления его частотой, наконец, для создания стандартов частоты и атомных часов, его необходимо было «причесать».

Казалось бы, в приборе Раби радиоволна и атомы общаются на одной волне. Причем на волне строго определенной. На языке науки это значит, что спектральная линия атомов должна быть идеально узкой. Но увы! Ее портили какие-то добавки, как хрипотца иногда портит голос певца. К основной резонансной частоте атомов добавлялись ненужные, лишние частоты. Спектральная линия уширялась.

Это не устраивало ученых. Они должны были по возможности удалить лишний «вес» линии. Но прежде надо понять причину, отдаляющую их от идеала. Может быть, атомы сталкиваются и мешают друг другу? С этим явлением физики уже встречались в радиоспектроскопии газов. Нет, здесь это было невозможно. В атомных пучках таких столкновений не бывает. Атомы не сталкиваются ни друг с другом, ни со стенками установки. Летя

целым коллективом, они тем не менее ведут себя как совершенно изолированные.

Причина была не такой простой. Оказалось, что спектральные линии в атомных пучках уширяются главным образом потому, что сама установка имеет ограниченные размеры. Не то что малые, а именно ограниченные. Атомы общаются с радиоволной слишком короткое время, только в те мгновения, когда они пролетают через область, занятую электромагнитным полем, – объемный резонатор в случае сантиметровых волн, катушка или конденсатор при более длинных волнах. И это занимает всего тысячные доли секунды! Конечно, за такое короткое время атомы, попросту говоря, не успевают разобраться, какая волна резонансная, какая нет, на какую им положено реагировать, на какую нет. И излучают в ответ на требование соседних волн! Атом в данном случае ведет себя так же, как обычный волномер – прибор, измеряющий длину волны. Он тоже не может быстро различить две радиоволны, частоты которых очень близки. И он должен взаимодействовать с измеряемой волной в течение вполне определенного времени. В период измерения в волномере должны установиться устойчивые колебания. Если это условие не выполнено, точный отсчет частоты невозможен. И у атомов должно быть время, чтобы они могли опознать окружающее их электромагнитное поле.

Здесь проявляется один из чрезвычайно мощных законов природы. Он гласит: точность измерения энергии пропорциональна времени, затраченному на измерение. Но энергия и частота излучения атомов так тесно связаны, что этот закон распространяется и на частоту.

Это хорошо понял и начал борьбу с этим явлением Норман Рэмси. Уже в 1949 году он добился существенного увеличения точности измерения частоты в атомных пучках. Еще в конце тридцатых годов Рэмси овладел техникой атомных пучков и вместе с Раби и другими его сотрудниками провел этим методом ряд тонких исследований. Понимая, что простым увеличением размеров установки многого достичь нельзя, Рэмси начал

искать другие пути. Он решил сделать так, чтобы атомы взаимодействовали с одной и той же радиоволной не в один прием, а дважды, в двух небольших, удаленных одна от другой областях. Если они не успели среагировать на волну в первый раз, дореагируют во второй. В результате на широкой спектральной линии, определяемой временем взаимодействия атомов с каждой частью волны, возникает узкая пика, ширина которой связана со временем их пролета в промежутке между обоими полями. Метод разделенных полей – так Рэмси назвал свой способ. Этот метод получил широкое признание. Он позволяет наблюдать спектральные линии, ширина которых составляет около 20 миллиардных долей от частоты! Это наиболее узкие спектральные линии, полученные до сих пор в атомных пучках, причем в будущем, говорят физики, можно рассчитывать на наблюдение еще более узких линий.

Освоив наблюдение узких спектральных линий атомов цезия, лежащих в хорошо освоенном диапазоне трехсантиметровых радиоволн, ученые приступили к созданию атомных часов. Это была очень заманчивая перспектива, и такие работы почти одновременно начались и в СССР, и в США, и в Англии.

ОТ РАБИ ДО ЭССЕНА

Раньше всего успех пришел к английскому ученому Люису Эссену.

Эссен давно известен своими выдающимися радиофизическими исследованиями. Он в течение многих лет работает в Национальной физической лаборатории, расположенной в небольшом городке Теддингтоне графства Мидлсекс вблизи Лондона.

Мы уже встречали его как одного из создателей кварцевых часов. Кварцевые кольца Эссена, разработанные в конце двадцатых годов, сделали его имя широко известным среди радиоспециалистов. Впоследствии он

завоевал признание систематическими и плодотворными исследованиями вращения Земли, точнейшими измерениями скорости света и многими другими тонкими исследованиями.

Оригинальные черты Эссена-исследователя, пожалуй, рельефнее всего проявились именно в работе над измерением скорости света. Для того чтобы увидеть всю оригинальность его метода, стоит немного остановиться на работах предшественников.

Первым около 300 лет назад за это взялся астроном Олаф Рёмер. Для измерений скорости света нужно иметь очень точные часы и работать с большими расстояниями, на преодоление которых свет затрачивает заметное время. В качестве часов Ремер использовал вращение спутников Юпитера, а стрелкой ему служили моменты их затмений, когда тень планеты закрывала спутники.

Ремер заметил, что промежутки времени между затмениями периодически изменяются. Он правильно понял, что причиной изменений является непостоянство времени, затрачиваемого светом на пробег к Земле при удалении или приближении Юпитера. Измерения Рёмера с нашей точки зрения очень грубы, но, применяя его метод при современной технике наблюдений, можно получить неплохие результаты.

Примерно через сотню лет астроном Джеймс Брайдлей заметил, что скорость падения дождевых капель можно определить, измеряя угол, под которым капли пересекают боковое стекло движущейся кареты. Наша «какета» – Земля движется в пространстве. Поэтому фотоны, падающие на Землю от удаленных звезд, тоже летят немного наискосок. Хотя образуемый при этом угол очень мал, Брайдлей измерил его и получил значение скорости света, отличающееся от современного всего на один процент.

Прошло еще около ста лет, и Арман Физо применил зубчатое колесо для измерения времени прохождения света от источника до удаленного зеркала и обратно. При подходящей скорости вращения свет, прошедший

между одной парой зубьев, возвращался между следующей. Вскоре Леон Фуко заменил в аналогичном опыте зубчатое колесо вращающимся зеркалом.

Сорок лет назад известный уже нам замечательный экспериментатор Майкельсон довел этот метод до высокого совершенства и, проведя опыт между горами Вильсон и Антонио в Калифорнии на расстоянии около 35 километров, измерил скорость света с точностью до одной стотысячной. Одним из основных источников ошибки при этом было отсутствие точных данных о температуре, давлении и влажности воздуха на всем пути светового луча.

Для дальнейшего увеличения точности нужно было переходить к измерениям в вакууме. Но при этом точность измерения уменьшалась из-за уменьшения достижимых размеров установки. Трудность удалось в существенной мере преодолеть применением новейших методов прерывания света, но это не привело к заметному улучшению результатов Майкельсона.

Так обстояло дело с измерением скорости света, когда этой задачей заинтересовался Эссен. Его подход к задаче поразил оптиков. Он отказался от применения света. Будучи радиофизиком, он предпочел иметь дело с радиоволнами. Впрочем, скорость радиоволн измеряли и другие ученые, в частности Мандельштам и Папалекси. Но они имели в виду другие цели и изучали распространение радиоволн в земной атмосфере. Переход от их результатов к скорости электромагнитных волн в пустоте был сопряжен с теми же трудностями учета влияния атмосферы, которые остановили Майкельсона.

Но Эссен поставил себе четкую задачу и соответственно выбрал путь ее решения. Он остановился на сантиметровых волнах и решил вместо измерения их скорости между передатчиком и приемником свести дело к измерению времени их многократного прохождения между стенками объемного резонатора. Это время связано простыми формулами с размерами резонатора и его резонансной частотой. Поэтому фактически Эссен должен был точно измерить именно эти две величины.

Будучи, как и Майкельсон, первоклассным экспериментатором, Эссен отказался от таких помощников, как звезды и планеты, от колоссальных расстояний и провел необходимые измерения в специально приготовленном резонаторе, из которого был тщательно выкачан воздух. Учтя влияние электрических свойств стенок резонатора и всех вспомогательных элементов, он получил чрезвычайно точное значение скорости света.

Таков этот ученый, один из лучших современных экспериментаторов, задавшийся целью перевести английский эталон времени на квантовую основу. Для этого Эссен должен был превратить физический прибор, применявшийся до того лишь для исследования атомных ядер, в метрологическую установку. Он применил в ней метод разделенных полей Рэмси и провел чрезвычайно тщательное сравнение частоты наблюдаемой в ней спектральной линии цезия с группой превосходных кварцевых часов, контролируемых в течение длительного времени по астрономическим наблюдениям Гринвичской обсерватории. Изучив достаточно подробно свойства своей установки, разработав метод ее независимой настройки, Эссен смог объявить о том, что им созданы атомные часы, которые идут лучше любых известных в то время часов. Ошибка в одну минуту могла накопиться в них не скорее, чем за 300 лет.

В 1955 году, когда молекулярный генератор был лишь годовалым младенцем, Эссен уже мог включить свои часы в службу времени. Это были своеобразные часы. Сердцем их служила атомнолучевая трубка с пучком атомов цезия. Она обеспечивала рекордную точность отсчета частоты (а не времени). При этом атомная трубка не работала непрерывно. Ее непрерывная работа оказалась ненужной. Группа кварцевых часов, созданных Эссеном, была так хороша, что ошибка в одну сотую от одной миллиардной секунды накапливалась в них только за неделю. Поэтому достаточно было один раз в неделю включать атомнолучевую трубку и проверять при ее помощи ход кварцевых часов, измеряя частоту входящих в них кварцевых генераторов. При этом никакой регулировки кварцевых часов не производилось. Нужные

поправки оставались на бумаге, а если ошибка часов накапливалась, то необходимая поправка вводилась один раз в год.

Длительная работа с атомным стандартом частоты позволила Эссену проделать новые, более точные исследования нерегулярности солнечной и эфемеридной секунды.

Не удовлетворившись достигнутым, Эссен построил огромную девятиметровую атомнолучевую трубку. Ее пришлось поместить вертикально, пробив перекрытие между двумя этажами. Но эта трубка не повысила точности измерений, и Эссен применил ее в качестве радиоспектроскопа для точного измерения частоты спектральной линии атомов рубидия.

За выдающийся вклад в науку, внесенный работами по созданию и применению атомного стандарта частоты, доктор Люис Эссен был в 1959 году награжден Академией наук СССР золотой медалью имени А. С. Попова. Вскоре после этого его работы получили достойную оценку и на Британских островах. Эссен был избран членом Королевского общества, играющего в Англии роль Академии наук.

Теперь цезиевые стандарты частоты работают во многих странах.

Точность их увеличилась еще в 10 раз, и ошибка в одну секунду накопится лишь за 3000 лет. Многое здесь сделали советские ученые, и можно не сомневаться в том, что и эта цифра не останется предельной.

Уже выпускаются сравнительно небольшие атомные часы, предназначенные для применения в лабораториях и в навигационных системах. Но это требует специального рассказа.

Молекулярный генератор потерпел поражение в соревновании с цезиевым стандартом частоты. По стабильности они оказались одинаковыми, но по точности определения частоты, удобству и простоте применения цезиевый стандарт оказался лучше. Сейчас молекулярный генератор оттеснен на второстепенные позиции. Он применяется в некоторых службах

времени в качестве дублера, используется в лабораториях в качестве превосходного радиоспектроскопа и готовится к реваншу.

В Горьком и в Токио заработали генераторы на молекулах формальдегида, в Москве – на молекулах аммиака, в которых атомы водорода заменены дейтерием, в США для этой цели применили даже молекулы одного из самых страшных ядов – синильной кислоты.

Пока молекулярный генератор находится в стадии усовершенствования, он выслал на поле боя своего заместителя.

ТУПИК БЕЗ ТУПИКА

Впрочем, молекулярный генератор, считающий молодого чемпиона своим прямым наследником, должен признать его небесное происхождение.

В 1945 году голландский астрофизик Ван де Холст высказал предположение, что атомы водорода, находящиеся в межзвездном пространстве, излучают радиоволны длиной около 21 сантиметра. Это не было домыслом или догадкой. Так показали ему строгие математические расчеты.

Путем математического анализа была получена еще одна, совершенно парадоксальная цифра, касающаяся характера этого излучения. Советский ученый И. С. Шкловский вычислил, что каждый атом межзвездного водорода, летая в свободном пространстве, может излучить радиоволну всего один раз за 10 миллионов лет!

Не будем вспоминать о всех возражениях и спорах, которыми были встречены прогнозы о космическом излучении водорода. Скажем о главном. Было ясно, что энергия, излучаемая отдельным атомом, очень мала. Казалось, нет никакой возможности уловить ее. Нет даже столь чувствительных радиоприемников. Но положение спасли размеры нашей Галактики. Они столь велики, что излучение от множества отдельных

атомов, находящихся, если можно так выразиться, на луче зрения, складывается в заметную величину. Вот это-то суммарное излучение и удалось зафиксировать современными чувствительными приборами.

Так прогнозы Холста блестяще подтвердились. Радиоволны длиной в 21 сантиметр теперь систематически принимаются радиоастрономами из глубин вселенной.

Атом водорода – самый простой атом в природе – один протон и один электрон. Можно было надеяться, что при его помощи удастся создать самые точные атомные часы. Недаром говорят часовщики: чем проще механизм, тем лучше часы.

За эту задачу взялся профессор Норман Рэмси, тот самый, который придумал метод разделенных полей, ставший решающим шагом при создании атомных часов на пучке атомов цезия. Он решил, что пришла пора воссоздать радиоизлучение космического водорода в лаборатории. В свете опыта, полученного с молекулярными генераторами, ему было ясно, что для этого необходимо сформировать упорядоченный пучок атомов водорода, найти способ сортировать атомы этого пучка, отличающиеся запасом внутренней энергии, и направить отсортированные атомы в резонатор, где они должны излучать избыточную энергию в виде радиоволн.

В земных условиях свободный водород существует только в виде молекул, состоящих из двух атомов. Поэтому первой задачей было получение атомарного водорода. Несмотря на то, что химики знают много реакций, каждый элементарный акт которых приводит к освобождению атома водорода, химия не могла помочь делу: атомы водорода быстро находили друг друга и вновь соединялись в молекулы.

Пришлось обратиться к физике. Одним из удобных способов, разработанным замечательным американским оптиком Вудом, было применение электрического разряда. Поддерживая электрический разряд в разреженном газообразном водороде, он научился создавать такие условия, когда электрические силы разрывают молекулы водорода на отдельные

атомы. Воспользовавшись этим и решив первую задачу, Рэмси перешел ко второй – созданию пучка атомов водорода.

Задача оказалась не сложной. Достаточно было при помощи узких каналов – капилляров соединить область разряда с пространством, в котором мощные насосы поддерживали высокий вакуум, и из каналов в вакуум начал вылетать пучок атомов водорода. Конечно, в этом пучке присутствовали и атомы-передатчики и атомы-приемники, причем, как всегда, последних было больше.

Третьим этапом была сортировка. Но атомы, как известно, электрически нейтральны, и центр тяжести отрицательного заряда электронов в них совпадает с центром положительного заряда ядра. Поэтому атомы невозможно сортировать при помощи электрических полей.

К счастью, атомы водорода обладают свойствами маленьких магнитиков. Если бы мы могли рассмотреть такой магнетик, то увидели бы, что он не простой, а составной. И ядро атома водорода – протон и электрон, вращающийся вокруг него, сами являются элементарными магнетиками. Причем магнетик-электрон почти в две тысячи раз сильнее магнетика-протона. Образующиеся из двух таких магнитиков магнетики-водороды могут быть двух сортов. В одном сорте магнетики-электроны и магнетики-протоны направлены одинаково, и поэтому их действие складывается, а в другом сорте они направлены противоположно, и поэтому их магнитное действие вычитается. В результате атомы водорода образуют два сорта, отличающихся своим поведением в магнитном поле.

Этим и воспользовался Рэмси для сортировки атомов водорода. Он создал неоднородное магнитное поле, по своим свойствам напоминающее поле электрического конденсатора молекулярного генератора. В этом поле атомы водорода, способные излучать радиоволны, собираются к оси магнитного поля, а атомы, стремящиеся поглотить их и поэтому играющие вредную роль, отбрасываются в стороны.

Теперь осталось поставить на пути отсортированного пучка объемный резонатор, настроенный на волну 21 сантиметр, и «космическое радиоизлучение» должно было возникнуть в лаборатории. Но...

Но природа не любит легких побед, а опытный ученый не может надеяться на то, что победа будет легкой. Расчет показал, что самый лучший резонатор недостаточно хорош для того, чтобы самый сильный пучок атомов водорода, который может быть практически получен, преодолел потери в резонаторе и вызвал в нем цепную реакцию генерации радиоволн. Атомы водорода в 17 раз легче молекул аммиака и поэтому при той же температуре летят в четыре раза быстрее. Кроме того, их магнитная энергия много меньше, чем электрическая энергия молекулы аммиака.

Но если самый сильный пучок не может возбудить самый лучший резонатор, подумал Рэмси, значит мы зашли в самый настоящий тупик. «Стенкой» этого тупика была задняя стенка резонатора, в которую ударялись атомы водорода, так и не успев отдать полю избыток своей энергии.

Казалось, проще всего убрать эту стенку и превратить резонатор в длинный волновод, по которому

атомы могут лететь до тех пор, пока они не расстанутся со своей избыточной энергией. Но еще расчеты астрофизиков показали, что для этого не хватит размеров никакой лаборатории. Убрать стенку в прямом смысле слова не удалось. Но убрать ее было необходимо.

И Рэмси решил убрать стенку тупика, не убирая стенки резонатора! Это не выдумка писателя, а результат глубокого физического анализа.

Беда была в том, что, ударяясь о стенку, активный атом отдает ей свою избыточную энергию и отражается от нее уже приемником радиоволн. Вот Рэмси и решил придать стенке резонатора такие свойства, чтобы она не отбирала избыточную энергию у ударяющихся об нее атомов водорода. В этом случае атомы, летая от стенки к стенке, блуждали бы внутри резонатора так долго, что могли бы «высветить» внутри него свою избыточную энергию.

Не беспочвенная ли это идея – сделать так, чтобы стенка, оставаясь стенкой во всех смыслах этого слова, перестала быть ею с точки зрения взаимодействия с внутренней энергией атома?

Оказалось, что такие стенки можно создать. Для этого их следует покрыть каким-либо веществом, молекулы которого очень слабо взаимодействуют с атомами водорода. Долгие поиски показали, что такие вещества существуют и лучшими из них являются особые сорта парафина и замечательная пластмасса фторопласт, известная также под названием тефлон. Особенность парафинов состоит в том, что почти все электрические поля входящих в них атомов использованы на образование самих молекул парафина. Эта молекула имеет вид длинной цепочки атомов углерода, защищенных от внешнего мира связанными с ними атомами водорода. В результате такого строения молекула парафина взаимодействует с другими молекулами главным образом своими концами. Это проявляется, в частности, в том, что парафин кажется нам очень скользким, потому что его длинные молекулы легко перемещаются одна вдоль другой.

Все сказанное в большой степени относится и к тефлону, сравнительно твердой, термостойкой и очень скользкой на ощупь пластмассе. Только в ней основную защитную роль играют не атомы водорода, а атомы фтора.

Химики описывают свойства молекул парафина и тефлона на своем языке, говоря, что все связи входящих в них атомов насыщены. Они не могут активно связываться с другими атомами и молекулами. Поэтому парафин и тефлон химически пассивны. Они не реагируют даже с плавиковой кислотой, которая в отличие от других кислот растворяет и такое стойкое вещество, как стекло.

Атомы водорода могут десятки тысяч раз сталкиваться с поверхностями, покрытыми парафином или тефлоном, не передавая им свою внутреннюю энергию и не теряя способности излучить эту энергию в виде радиоволн.

Расчет показал, что времени пребывания атома в резонаторе с защищенными стенками достаточно для того, чтобы атом излучил радиоволну до того, как он случайно попадет в отверстие, через которое ранее вошел в резонатор, и покинет его. Это определяет и размер отверстия: если оно слишком велико, атом покинет резонатор, не высветившись и унеся обратно свою избыточную энергию. Если же отверстие слишком мало, то атом и после высвечивания будет долго летать внутри резонатора в качестве приемника и может поглотить порцию энергии, ранее излученной другими атомами или им самим. Слишком малое отверстие затрудняет и питание резонатора пучком активных атомов.

Так Рэмси сумел превратить стенки в своеобразные зеркала, отражавшие атомы водорода без изменения их внутренней энергии. Атомы летали в резонаторе три-четыре секунды и за это время излучали в нем свою энергию.

Но действительно ли это выход из тупика? Ведь атомы, хаотически блуждающие между стенками, – это уже не пучок, а газ. А создать генератор радиоволн на газе – это именно то, что всегда считалось невозможным. Здесь возникало два, казалось, непреодолимых препятствия. Впрочем, первое было действительно непреодолимым только для обычных газов. Для газов, находящихся в состоянии теплового равновесия.

Мы знаем, что невозможно создать генератор на обычном газе, в котором атомов-приемников больше, чем атомов-передатчиков. Но в резонаторе Рэмси был необычный газ. Этот газ состоял главным образом из атомов-передатчиков, влетевших в резонатор в виде атомного пучка. Лишь побыв в резонаторе несколько секунд, атом излучал в нем свою энергию и, превратившись в приемник, вскоре покидал его. Конечно, некоторая часть атомов улетала, еще не успев излучить, но эти неизбежные потери были невелики.

Хуже было другое – ведь спектральные линии газов уширяются не только из-за соударений атомов, но и просто вследствие их быстрого хаотического движения.

Вспомним, что в первых «атомных» часах тоже применялся радиоспектроскоп, дававший спектральную линию поглощения аммиака. Эти часы оказались неработоспособными именно потому, что спектральные линии были слишком широки, что не позволяло определить частоту с большой точностью. Казалось, что это же делает бесперспективным и попытку построения стандарта частоты, основанного на атомах водорода. Однако ученые уже очень хорошо разобрались в механизме излучения молекул и атомов, чтобы их можно было заставить врасплох. Да и мы теперь тоже знаем, что молекулы аммиака излучают радиоволны только тогда, когда меняется колебательное движение атомов, входящих в молекулы, или при изменении скорости вращения молекулы как целого. Поэтому молекулы аммиака очень «ранимы» – чуть толкнет их соседняя молекула, и они тут же излучат свой запас энергии, не дожидаясь резонансной волны. На них влияют не только столкновения между собой или с другими атомами и молекулами, но и соударения со стенками сосуда, содержащего газ.

Иное дело атомы водорода – их спектральные линии возникают в результате внутриатомных магнитных взаимодействий, слабо реагирующих на внешние толчки, и поэтому покрытие стенок позволяет им пережить десятки тысяч соударений со стенками без влияния на внутреннее состояние атома. В этом случае защищенной оказывается и ширина спектральной линии. Если при соударении внутреннее состояние атома не изменяется, то нет и причины для уширения спектральной линии. Конечно, При столкновении двух атомов водорода они повлияют друг на друга. Но газ активных атомов, образующийся в колбе водородного генератора, так разрежен, что атом, влетевший в колбу, вылетит наружу гораздо раньше, чем столкнется в ней с другим атомом.

Но и этого еще недостаточно для создания стандарта частоты на газах. Ведь хаотическое тепловое движение атомов приводит к уширению спектральных линий даже без столкновений, просто вследствие эффекта Допплера. С этим эффектом мы сталкиваемся слишком часто, чтобы долго на нем останавливаться. Эффект Допплера встречается и в обыденной жизни. Стоя на платформе, мимо которой проезжает гудящий поезд, мы слышим внезапное изменение тона гудка, когда приближающийся поезд, минув нас, начинает удаляться. Так же должен был бы скачком изменяться и цвет его фонарей. Мы не замечаем этого только из-за малой величины изменения частоты света.

Но атомы газа движутся много быстрее, чем поезд, а радиоспектроскоп неизмеримо более чувствителен к изменению частоты, чем глаз. Радиоспектроскоп отмечает, что при комнатной температуре спектральные линии отдельных атомов, летящих в противоположные стороны, отличаются между собой по частоте на несколько десятков тысяч герц. Атомы, образующие газ, имеют всевозможные направления движения и летят с различными скоростями. И спектроскоп фиксирует широкую спектральную линию, образовавшуюся из множества слившихся линий, занимающих сплошной участок спектра.

Казалось, невозможно получить в газе спектральные линии, более узкие, чем те, которые обусловлены доплеровским уширением. Ведь прекратить тепловое движение невозможно. Даже уменьшить его, понижая температуру, нельзя, не нарушив работы прибора.

Но Рэмси использовал в своем приборе тонкость, которая обычно ускользает от внимания при знакомстве с эффектом Допплера. Для того чтобы эффект Допплера развился в полной мере и проявил себя изменением частоты спектральной линии атома или любого другого источника, нужно, чтобы атом, перемещаясь, покрыл расстояние не меньшее, чем несколько длин волн соответствующей частоты. Нужно, чтобы атом побывал во всех участках волны – и на ее гребнях, и на склонах, и во впадинах. А еще лучше,

чтобы он побывал во многих волнах. Обычно так и бывает. Но в приборе Рэмси атомы водорода летают внутри небольшой колбы. Размеры колбы не превышали нескольких сантиметров, а длина волны соответствующей спектральной линии водорода равна, как известно, 21 сантиметру. В этих условиях, с точки зрения волны, атомы как бы дрожат на месте. Поэтому они не могут ощутить волновой характер электромагнитного поля. Это значит, что эффект Допплера здесь не должен проявляться. Спектральная линия не будет уширяться. Точные расчеты убедили Рэмси в том, что эти наглядные рассуждения правильны и спектральная линия атомов водорода в его приборе останется очень узкой. Генератор должен работать, и частота его обязательно будет очень стабильной.

Опыты подтвердили расчеты. Генератор заработал. Правда, мощность его была ничтожна – миллионная часть от миллионной доли ватта. Это было примерно в сто раз меньше, чем мощность молекулярного генератора на аммиаке, но зато стабильность частоты нового генератора была примерно в сто раз лучшей, чем у его предшественника.

Теперь водородный генератор соревнуется за право быть новым эталоном частоты, новым эталоном единицы времени – секунды. И шансы его очень велики. Требуется лишь проверка временем.

Водородные генераторы работают также в Москве, в других городах нашей страны и в Невшателе, в Швейцарии.

В Невшателе Бонаноми, закончив работы по созданию квантовых часов, вернулся в свою обсерваторию. Правда, и здесь он не смог полностью отказаться от увлечения квантами. Он делит свое время между наблюдениями неба и работой в маленькой лаборатории, где, может быть, скоро родится новый прибор – стандарт частоты на пучке атомов таллия. Бонаноми знает, как нелегко создать таллиевые часы, но он надеется, что преодолеет трудности и сможет создать прибор, который превзойдет и водородный генератор и цезиевый эталон.

Профессор Бонаноми не прерывает связи с часовым институтом. Карташоф работает в нем теперь с новым молодым сотрудником Мену. Они регулярно проверяют часы обсерватории по своему цезиевому стандарту частоты, который заслужил репутацию одного из наиболее точных в мире. Они обмениваются радиосигналами с Эссенем в Англии, их сигналы принимают и в Праге, и в Москве, и во многих других городах.

В 1964 году в этой лаборатории был произведен замечательный опыт. В этом году в Лозанне происходила Международная выставка часов. Американская фирма Вариан послала на выставку два водородных генератора, частота которых перед отправкой в Европу была с точностью до 12-го знака определена при помощи цезиевого стандарта частоты Национального бюро стандартов США. Генераторы были разобраны, привезены в Европу и опять собраны. После закрытия выставки эти генераторы были вновь разобраны и перевезены в Невшатель.

Здесь их снова собрали. Карташоф, Мену и американские инженеры сравнили частоты путешествующих водородных генераторов и невшательского цезиевого стандарта частоты. Результат превзошел все ожидания. Измерения совпали с проведенными в США до 12-го знака! Точность в десять раз превзошла то, на что рассчитывали ученые. А рассчитывали они «только» на одиннадцатый знак. На большее они и не надеялись. Даже это было слишком смело. Результаты же совпали и в двенадцатом знаке. Так выяснилось, что квантовые стандарты частоты могут быть еще более усовершенствованы. Для этого необходимо доказать, что совпадение не было случайным.

ЗАКУТАЕМ АТОМЫ В ВАТУ

Итак, два главных конкурента на почетное звание чемпиона точности, простите, на возведение в ранг эталона частоты, или, что то же самое,

эталона секунды, встретившись, обменялись взаимными комплиментами. Но спор между ними еще не решен.

А в это время набирал силы еще один претендент. Только год назад он скромно довольствовался второстепенной ролью. Но теперь он готовится расширить свои владения. Он прост, легок, дешев, не боится тряски, хотя и нуждается в предварительной калибровке по эталону. Работают в нем атомы щелочного металла рубидия, взаимодействующие с сантиметровыми радиоволнами.

Фактически это тоже радиоспектроскоп. Уже третий, встречающийся на нашем пути. Но это не газовый спектроскоп, с которым работали Басов и Прохоров, и не пучковый спектроскоп Раби. Его изобрели в 1949 году французские ученые А. Кастлер и И. Броссел. Они предложили новый метод радиоспектроскопии, который назвали методом двойного резонанса.

Ничто в жизни, в искусстве, в науке не проходит даром. Все оставляет на поверхности свой «культурный слой». По монетам, украшениям и домашней утвари, найденным археологами, судят об уровне знаний, образе жизни и привычках наших предков. По картинам и книгам предшественников учат следующие поколения. Каждый прибор, всякая плодотворная гипотеза, любая оправдавшая себя теория – это ступенька, по которой новое поколение ученых взойдет выше по дороге прогресса.

Ступенькой, с которой начали свое восхождение Кастлер и Броссел, возможно, послужило учение о комбинационном рассеянии света, открытом за двадцать лет до того Ландсбергом и Мандельштамом в кристаллах и Раманом и Кришнаном в жидкостях. Но вместо комбинации световых волн с акустическими они задумали воздействовать на вещество одновременно светом и радиоволнами.

Так, несколько иным способом, чем Раби, они хотели изучать поведение атомов во время резонанса их с радиоволной. Но они пошли дальше, усложнили опыт и углубили свое проникновение в суть явлений микромира. Уравнения квантовой механики открыли им еще один секрет:

оказывается, в момент резонанса с радиоволной атомы особенно жадно поглощают свет. Свет как бы подбадривает их, накачивает в них новые силы для более полного и интенсивного общения с радиоволной. Недаром в научной литературе укрепился термин «оптическая накачка». Формулы же подсказали французским ученым, что новый метод избавит их от громоздких магнитов Штерна и Раби. Для того чтобы обнаружить спектральную линию, им достаточно наблюдать, как атомы поглощают свет. Как только радиоволна, испускаемая генератором, попадет в резонанс с атомами, поглощение ими света увеличится. Значит, по величине поглощения света можно судить о том, настроена ли радиоволна в резонанс с атомами.

Для большинства физиков это было совершенно неожиданным. Это противоречило опыту, накопленному радиоспектроскопией со дня ее официального рождения. Но необычность и невозможность далеко не одно и то же. Предложение казалось фантастическим потому, что оно основывалось на неизвестной до того связи между радиочастотными и оптическими спектрами. А связь эта существовала, и Кастлер и Броссел смело использовали ее в своем приборе. И значительно упростили себе задачу наблюдения за резонансом. Раби придумал для наблюдения резонанса очень изощренный способ, ничего не скажешь. Чем больше атомов принимали участие в резонансе и переставали слушаться магнитов, тем меньшее количество их приходило к индикатору. Раби узнавал об этом по показаниям гальванометра. Он мог очень точно засечь момент резонанса. Но платил за это возней с магнитами, усложняящими всю установку.

Кастлер и Броссел, найдя новый способ оптической регистрации резонанса, создали удивительно простой прибор. Это небольшая колба, в которой летают атомы. Колбочка облучается радиоволнами от маломощного генератора. Настройка этого генератора в резонанс с атомами определяется по изменению яркости света, проходящего через колбочку. Нужный свет излучается маленькой газоразрядной лампочкой, в которой светятся пары рубидия, состоящие из таких же атомов, которые находятся в колбочке.

Сквозь «спокойные» атомы свет проходит почти полностью, без потерь. Чем ближе радиоволна к резонансу с атомами, тем менее прозрачной для света становится колбочка. Он жадно поглощается взволнованными атомами. В момент резонанса свет почти полностью «застревает» в них. Колбочка становится почти непрозрачной. Это и служит сигналом о резонансе.

Уже это краткое описание указывает на крайнюю простоту нового прибора. Он не нуждается ни в каких насосах. Ведь если не считать радиоламп (а они во многих конструкциях успешно заменены транзисторами), то вакуумными деталями здесь являются только колбочка с насыщенными парами рубидия и маленькая спектральная лампа с такими же парами. Нет в новом приборе и магнитов, необходимых для работы атомнолучевых трубок или водородного генератора. Одним словом, он много проще, легче и экономнее своих конкурентов.

Прочтение немногих строчек, потребовавшихся для описания работы Кастлера и Броссела, заняло у вас несколько минут. А они затратили на нее более десяти лет. Десять лет надежд и сомнений, поисков и проверок, попыток и неудач!

Лишь в 1960 году Броссел с сотрудниками, наконец, осуществили удачный опыт с двойным резонансом и доказали, что чувствительность нового метода очень велика. Ведь для изучения поглощения квантов радиодиапазона, обладающих очень малой энергией, здесь применяются световые кванты, энергия которых в миллионы раз больше.

Новый метод позволил успешно изучать свойства атомов ртути, щелочных элементов и некоторых других атомов, легко испаряющихся при сравнительно низких температурах.

Многие ученые, прочитав о работах Кастлера, Броссела и их сотрудников, поняли, что оптическая накачка и оптическая индикация радиочастотного резонанса в щелочных атомах может стать основой нового квантового стандарта частоты.

Однако на пути к этой цели возникло много препятствий. Они очень похожи на те, с которыми, как мы знаем, встретился Рэмси при создании водородного и цезиевого стандартов. Прежде всего и здесь нужно было получить достаточно узкие спектральные линии. Можно сказать, что по сравнению с водородным генератором трудности для цезия возрастают в семь раз. Ведь резонансная радиоволна для цезия (3,2 см) примерно в 7 раз короче, чем для водорода. Для рубидия, один из изотопов которого имеет резонансную волну около 4 сантиметров, дело обстоит немного легче. Но поместить эти атомы в маленькую колбочку с защищенными стенками не удалось. Колбочка должна была быть слишком малой, и сигнал получался очень слабым.

К счастью, для щелочных атомов был найден другой способ сужения спектральных линий далеко за пределом, определяемым эффектом Допплера. Физики придумали для этого такой фокус. Они решили окружить щелочные атомы атомами инертного газа, как бы укутать их в вату. И теперь, если в сосуд, в котором находится немного инертного газа (при давлении в несколько тысячных атмосферы), поместить в миллион раз меньшее количество атомов щелочного металла, то эти атомы окажутся «зажатыми» между атомами инертного газа. Свободное тепловое движение щелочных атомов прекратится. Они не будут сталкиваться ни друг с другом, ни со стенками колбочки, чего так боятся ученые. Атомы рубидия будут метаться между атомами инертного газа, не смещаясь в пространстве на заметное расстояние.

Если при своих метаниях «закутанные в вату» атомы в течение многих периодов радиоволны не смещаются в пространстве на расстояние порядка длины этой волны, то они будут взаимодействовать с ней почти так же, как неподвижные атомы. Эффект Допплера станет очень, очень малым и не вызовет, казалось неизбежного, уширения спектральных линий. Столкновения щелочных атомов между собой в этих условиях будут крайне редкими, ведь в колбочке их в миллион раз меньше, чем атомов инертного

газа. А столкновения с атомами инертного газа, так же как столкновения с защитным покрытием стенок, не уширяют спектральные линии щелочных атомов.

Опыт показал, что таким образом действительно можно получить спектральные линии шириной всего в несколько десятков герц. Это примерно в десять раз меньше, чем в атомнолучевых трубках с разделенными полями Рэмси, и в сотни раз меньше, чем в молекулярном генераторе! И в тысячи раз меньше, чем ширина линии, определяемая эффектом Допплера в газах.

Не удивительно, что во многих лабораториях начались исследования с целью создания стандарта частоты нового типа. И такой стандарт был создан. Он не только проще своих собратьев. По стабильности частоты он не уступает им. В течение года его частота не уйдет ни на одну сотую от миллиардной доли своей величины. Дешевизна таких стандартов и удобство работы с ними обеспечит им широкое применение.

Но... Опять «но», досадное, без которого, однако, не было бы прогресса, не было бы науки.

К сожалению, оказалось, что в процессе сужения спектральных линий щелочных атомов, о котором мы только что говорили, смещается резонансная частота этих линий, как «уходит» настройка наших радиоприемников. Особенно неприятно, что это смещение зависит от температуры и давления газа в колбочке. Небольшое изменение частоты происходит и под влиянием вспомогательного света. Все это приводит к необходимости контроля и калибровки стандарта.

Поэтому стандарт частоты с оптической накачкой, к глубокому сожалению его создателей, не может претендовать на роль эталона частоты. Он не может заменить другие квантовые стандарты всюду, но, несомненно, вытеснит их во всех случаях, когда дешевизна, компактность и экономичность важнее и окупают необходимость предварительной калибровки. Впрочем, кто знает, может быть, оптический сдвиг, как ученые

назвали смещение резонансной частоты при оптической накачке, будет со временем устранен и соревнование возобновится.

МЕЧТЫ АГАФЬИ ТИХОНОВНЫ

Все, о чем до сих пор говорилось в этой книге, связано с измерением времени. Человек и в этой области победил природу. Теперь мы можем жить, не сверяя свои часы со звездами и Солнцем. Незримые атомы и молекулы, подобно гномам из сказки, вращают стрелки наших часов. И их волшебная точность посрамила небесные светила.

Казалось, к чему еще стремиться? Ошибка в одну секунду не накопится и за три тысячи лет! Но ученые отличаются от большинства людей именно тем, что их вечно точит неудовлетворенность. Водородный генератор превосходит по точности, да громоздок и сложноват в обращении. А миниатюрный стандарт с оптической накачкой не способен генерировать стабильные колебания, он лишь управляет частотой кварцевого генератора.

Как не вспомнить здесь рассуждения гоголевской Агафьи Тихоновны: «Если бы губы Никанора Ивановича да приставить к носу Ивана Кузьмича, да взять сколько-нибудь развязности, какая у Балтазара Балтазарыча, да, пожалуй, прибавить к этому еще дородности Ивана Павловича, я бы тогда тотчас же решилась. А теперь поди подумай!»

И ученые, да простят они мне легкомысленные ассоциации, думали о том, как совместить в одном приборе достоинства многих. Вот если бы стандарт с оптической накачкой да превратить в генератор!

Ведь свет в этом стандарте пополняет запасы энергии атомов, и они перескакивают на более высокие энергетические уровни. Так нельзя ли таким образом заставить прибор генерировать?

Эта мысль непременно должна была возникнуть у каждого, кто прочел вышедшую в 1955 году заметку Басова и Прохорова «О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора».

Басов и Прохоров, создав свой молекулярный генератор, тоже не избежали искушения прибавить кое-что к его достоинствам. Им хотелось создать молекулярный генератор без молекулярного пучка, без насосов, без сортирующей системы. Хорошо бы, рассуждали они, не возиться с сортировкой молекул-приемников и молекул-передатчиков, а заставить генерировать какой-нибудь газ. Сделать так, чтобы молекулы-приемники сами превратились в передатчики, а там уж мы знаем, как добиться генерации.

И они нашли такую возможность. Уравнения, эти безмолвные советчики, подсказали им, что это не пустая мечта. Нужно лишь подобрать такой газ, молекулы которого имеют подходящие энергетические уровни. И не два, как было в молекулярном генераторе, а по крайней мере три. Два из них должны отстоять друг от друга как раз на величину энергии кванта нужной нам радиоволны, а третий должен располагаться значительно выше.

В обычных условиях большинство молекул будет располагаться на паре нижних уровней, причем на самом нижнем их окажется больше всего. Конечно, при этом ни о какой генерации не может быть и речи. Газ, к сожалению, будет лишь поглощать радиоволны, так как молекул-приемников в нем больше, чем молекул-передатчиков. Присутствие третьего уровня, на котором находится совсем мало молекул, само по себе не меняет дела.

Все это для нас не ново. Так ведут себя все газы, подчиняясь непоколебимому закону природы, выраженному уравнением Больцмана. Но Басов и Прохоров решили активно вмешаться в поведение молекул. Для этого они в качестве ступеньки использовали третий уровень и призвали на помощь уравнение Эйнштейна. С этим уравнением мы тоже встречались. Оно отражает взаимодействие молекул с внешним электромагнитным полем.

Ничего более конкретного уравнение предложить не могло. Но этого не требовалось. Дальше начиналось творчество. Одно слово суфлера, и актер уверенно произносит монолог.

Перед Басовым и Прохоровым открылась заманчивая перспектива. Казалось, стоит облучить газ электромагнитной волной, настроенной в резонанс с переходом молекул с самого нижнего на самый верхний уровень, и цель будет достигнута. Расчеты подтвердили, что это не заблуждение. Если мощность электромагнитной волны достаточно велика, то она перебросит часть молекул с нижнего уровня на третий. Уравнения сообщили, что если третий уровень лежит достаточно высоко, то на нижнем останется мало молекул, меньше, чем на расположенном над ним втором уровне.

Дальше все было ясно. Мы знаем, что, если на первом энергетическом уровне газа оказывается меньше молекул, чем на втором, то есть молекул-приемников останется меньше, чем передатчиков, газ становится активным. Стоит поместить его в подходящий резонатор, и начнется генерация!

Но Басов и Прохоров не сделали такого генератора. Не потому, что не сумели. Нет, они могли его создать, но в дело опять вмешалась математика.

Однажды к Прохорову приехал молодой харьковский физик Канторович. Он показал свои расчеты, из которых следовало, что вспомогательное электромагнитное поле, нужное для получения активной среды по методу трех уровней, сделает будущий молекулярный генератор нестабильным. Прохоров улыбнулся и вытащил из портфеля несколько листков. На них его размашистым почерком были написаны формулы, из которых следовало, что частота генератора, о котором говорил Канторович, должна зависеть от частоты и интенсивности вспомогательного поля. Оба весело рассмеялись. Так родилась совместная заметка, надолго загнавшая в архив метод трех уровней.

Ученый не может рассчитывать на бетонное шоссе. Его судьба – бездорожье. Он не может рассчитывать даже на незаметную тропку. Ведь первую тропинку должен проложить именно он, первооткрыватель.

Расширять ее, мостить и заливать бетоном будут другие. Может быть, и он тоже. Ведь это не менее трудно и почетно. Но иногда нужно идти и по целине. И, глядя при этом на далекую вершину, можно прозевать не менее прекрасную, скрытую соседним холмом.

Так случилось с методом трех уровней. Отдав все свои помыслы погоне за стабильностью, Басов и Прохоров забыли об опорооченном методе. Правда, впоследствии Басов вместе с одним из своих сотрудников, Б. Д. Осиповым, применив этот метод, заставил генерировать пары одного химического соединения. В этой работе они тоже стремились к точности, но отнюдь не к уменьшению погрешности частоты. Их целью было подробное изучение строения молекул этого соединения и ядер входящих в них элементов.

Еще позже, как мы увидим, метод трех уровней найдет чрезвычайно широкое применение, и мы еще не раз убедимся в его возможностях.

Создатели стандартов частоты с оптической накачкой, да и все с ними соприкасавшиеся, не могли не заметить глубокой общности метода оптической накачки и метода трех уровней.

И колесо истории (конечно, не главное колесо, а малое, управляющее лишь одной областью науки) начало новый оборот. Во многих лабораториях нашлись энтузиасты, пожелавшие заставить стандарты частоты с оптической накачкой стать генераторами. Их не пугала обескураживающая работа Канторовича и Прохорова. Они четко сформулировали задачу. Создать стандарт частоты более удобный, простой и дешевый, чем другие, пусть за счет несколько меньшей точности.

Однако создание активной среды еще не достаточно для генерации. Необходимо, как мы знаем, достичь того, чтобы запас энергии в активной среде, способность атомов к усилению были достаточными для компенсации всех потерь энергии в системе, в том числе потерь в системе обратной связи.

Это требование в течение долгого времени стояло на пути всех исследований. Здесь возникало множество трудностей. Долго не удавалось

создать достаточно мощного источника света накачки, дающего необходимо узкую спектральную линию. Источник не обеспечивал нужной стабильности излучения. После того, как эти трудности были преодолены, пришлось бороться с тем, что в рабочих колбочках было слишком мало атомов рубидия – наиболее подходящего для этой цели металла. Попытки увеличить их количество приводили к их более частым столкновениям, то есть к уширению спектральной линии, а это, в свою очередь, делало генерацию невозможной. Необходимость улучшить качество резонатора вступала в противоречие с тем, что внутрь него должен был проходить свет накачки.

Успех пришел к американскому ученому Давидовичу и его сотрудникам. Он пришел к тем, кто сумел взглянуть на задачу новыми глазами – от чего-то, ставшего, казалось, обязательным, отказаться, что-то добавить. Как тут не вспомнить великого Родена, который сказал, что камень превращается в скульптуру тогда, когда с него удалено все лишнее. Здесь излишней оказалась колбочка, стенки которой поглощали часть радиоволн. Ведь стенки этой колбочки, справедливо рассуждал Давидович, вносят в резонатор потери, делающие генерацию невозможной. Зачем же она тогда нужна? Но, отказавшись от колбочки, исследователи должны были изготовить резонатор из материала, не реагирующего с рубидием и имеющего малое электрическое сопротивление. Обычно применяемые для покрытия резонаторов серебро и золото поглощают рубидий, образуя с ним род амальгамы, и поэтому не подходят. Давидович не поленился и провел большую работу по изысканию новых веществ, он испытал кучу материалов. Удачным оказался резонатор из нержавеющей стали, покрытый изнутри слоем меди. Так Давидовичу и его коллегам удалось сконструировать очень хороший резонатор, имеющий весьма малые потери. Новшества не ограничились лишь отказом от колбочки. В приборе были применены другие усовершенствования. Одна из стенок резонатора была ажурной. Ведь она должна хорошо пропускать свет! Особенно остроумно была решена задача настройки резонатора и его изоляции от внешнего воздуха.

Настойчивость и изобретательность привели к успеху. При включении газоразрядной лампочки, освещавшей пары рубидия, находящиеся в резонаторе, в нем начали возбуждаться радиоволны. В отличие от молекулярного и водородного генераторов здесь не было пучков молекул или атомов. Здесь в чистом виде работала система возбуждения вспомогательным электромагнитным полем.

Новый генератор уже сейчас излучает примерно в тысячу раз большую энергию, чем водородный, и является самым монохроматическим генератором радиоволн. Это значит, что относительная ширина излучаемой им спектральной линии меньше, чем во всех существующих приборах. Рубидиевый генератор моложе своих квантовых коллег. Его возможности еще недостаточно изучены. Однако уже теперь ясно, что в некоторых областях техники он вытеснит своих старших братьев.

ОТ ЧАСОВ К КОМПАСУ

– Снимите, пожалуйста, часы, – сказал молодой человек и положил мои часики в ящик стола.

Идя за ним по залитой асфальтом дорожке, я вспоминала о таком же ритуале, свято выполняемом на горе Арагац, в Дубне и Новосибирске, – словом, всюду, где сильные магнитные поля применяются для исследования элементарных частиц.

В вестибюле магнитного павильона мой спутник весьма критически посмотрел на мои ноги.

– На шпильках нельзя, – проворчал он, – придется надеть тапочки.

Ни с чем подобным я еще не встречалась, но покорно сунула ноги в огромные шлепанцы.

– Готово, – бодро заявила я.

Но мой спутник не сдвинулся с места. На его лице я заметила недовольство, столь естественное для человека, которого оторвали от важного дела, и смущение, которое я отнесла за счет угрызений совести. Вдруг он отчеканил:

– А еще что-нибудь железное на вас есть? Тут, признаться, смутилась и я. Но, подумав, с облегчением сказала:

– Нет, только пластмасса.

И мы вошли. Однако огромного магнита, способного сорвать с ног туфли, я не увидела. В центре небольшого зала располагались лишь тонкие катушки, похожие на пересекающиеся гимнастические обручи, которые иногда называют хула-хуп. Внутри и вокруг них располагались приборы. Жгуты проводов исчезали в каком-то подобии шкафа.

Заметив дверь в противоположной стене, я уверенным шагом направилась к ней.

– Вы куда? – спросил мой спутник.

– К магниту, – ответила я.

– У нас здесь нет магнитов.

– Так куда вы меня привели?

– В магнитный павильон. – ?

Впоследствии, знакомясь с работами молодых сотрудников Института земного магнетизма, я частенько вспоминала о первом визите в магнитный павильон, который, по-моему, следовало бы называть немагнитным. Ведь при его строительстве не применялись не только стальные балки, но не использован ни один железный гвоздь.

Дверные ручки, оконные шпингалеты, система отопления – словом, все в них изготовлено из немагнитных материалов.

Входя в эти павильоны, нужно вынимать из карманов ключи, снимать часы и даже ботинки, если подошва на них прибита железными гвоздями. Словом, на любой кусочек железа здесь наложен запрет более строгий, чем «табу» аборигенов Новой Зеландии.

При работе в магнитном павильоне возникают головоломные задачи, никогда не встречающиеся в других местах.

Например, как проверить и отградуировать прибор, предназначенный для измерения магнитных полей в космосе? Ведь эти поля в тысячи раз слабее магнитного поля Земли, поворачивающего стрелку компаса!

Представьте себе, что вы должны взвесить никель, которым покрыта штанга тяжеловеса. Можно, конечно, попытаться снять слой никеля, но, если он наложен добросовестно, это очень и очень трудно. Можно измерить толщину слоя и определить вес расчетным путем, но ведь слой может иметь неодинаковую толщину. Словом, измерить малую величину, объединенную с большей, всегда очень трудно.

Трудно измерять и малые магнитные поля, если земное поле превосходит их в десятки тысяч раз. В магнитном павильоне для этой цели применяются громадные катушки, по которым циркулирует электрический ток. Этот ток создает магнитное поле, которое выполняет задачу посложнее подвигов Геракла. Оно противопоставляет свою силу магнитной силе Земли. Подбирая его величину, можно с большой точностью скомпенсировать магнитное поле Земли в небольшом объеме внутри катушек. Чем больше компенсирующие катушки, тем больше и тот участок пространства, в котором магнитное поле практически равно нулю. Здесь магнитологи и проводят свои исследования.

Измерение слабых магнитных полей и небольших изменений магнитного поля Земли – дело не новое.

Миноискатель – прибор, спасший не одну человеческую жизнь, – один из таких приборов. Он обнаруживает мину, если в ней содержится стальная деталь весом всего в несколько граммов.

Но квантовая электроника открыла путь к созданию магнитометров нового типа, отличающихся еще большей точностью и чувствительностью. Особенно привлекательным была возможность надежной и удобной автоматизации измерения.

Магнитометр нового типа – близкий родственник квантового стандарта частоты с оптической накачкой. В нем работают пары того же рубидия, заключенные в небольшой колбочке. Их облучает маленькая лампочка, в которой тоже светятся пары рубидия. Но для измерения магнитных полей используются другие спектральные линии, а не те, что работают в стандартах частоты. Ведь для стандарта частоты главное – независимость от всех внешних воздействий. Не должно влиять на него и магнитное поле. (Спектральные линии, слабо реагирующие на магнитное поле, расположены, как мы знаем, в сантиметровом диапазоне радиоволн.)

Для магнитометра, напротив, нужны спектральные линии, частота которых сильно изменяется под влиянием магнитного поля. Такие линии соответствуют очень длинным радиоволнам. Поэтому колбочка магнитометра помещается не внутри объемного резонатора, а в катушке, напоминающей катушку радиоприемника.

Так же как в стандарте частоты, момент резонанса радиоволны и атомов рубидия определяется по увеличению поглощения света в парах рубидия. Но измерение частоты резонанса тут не самоцель. Ведь для наблюдаемых здесь спектральных линий частота резонанса однозначно связана с внешним магнитным полем. Примерно так же, как положение стрелки весов с весом груза. Можно сказать, что частота играет в магнитометре роль стрелки. Но показание весов зависит от того, как они установлены на столе, и может меняться в пределах нескольких процентов. Отсчет квантового магнитометра в десятки тысяч раз точнее. Это обеспечивается выдающимися свойствами примененной в нем «стрелки». Физики и радиоинженеры сделали измерение частоты наиболее точным из всех возможных измерительных процессов. И теперь стремятся любое измерение свести к измерению частоты. Для этого, конечно, необходимо найти точную и однозначную зависимость между измеряемой величиной и частотой, подобно связи, существующей между частотой и магнитным полем. Таким способом инженеры уже научились точно измерять толщину

тонких слоев лака или хрома, влажность зерна или пряжи, напряжения, возникающие в стальных балках или в основаниях бетонных плотин. Все эти и многие другие величины связываются с частотой простыми закономерностями, преобразующими их изменения в изменения частоты.

Но вернемся к квантовому магнитометру. Исследования показали, что он действительно способен с огромной точностью измерить магнитное поле Земли и его изменения. Это открывает ему путь и в лаборатории геофизиков, изучающих свойства Земли, и в экспедиции разведчиков нефти, руд и других полезных ископаемых. Ему открыт путь в космос для исследования магнитных свойств Луны и планет, для изучения магнитных полей, связанных с потоками заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем.

На этом могла бы окончиться глава, посвященная вторжению квантовой электроники в мирное царство геофизики. Могла бы... Но мы не узнали бы самого интересного. В целях удобства, надежности и простоты измерений ученые хотели превратить пассивный прибор, получающий высокочастотную энергию от внешнего источника, в активный квантовый генератор, частота которого строго определяется окружающим магнитным полем. Однако расчеты показали, что, даже создав инверсию энергетических уровней атомов рубидия, служащих для измерения магнитного поля, не удастся преодолеть всех потерь энергии, неизбежных при работе на низких частотах.

Это все же не остановило ученых. Они решили задачу совсем не так, как это сделано в квантовых генераторах стандартов частоты. В этих генераторах атомы и молекулы служат не только в качестве резонансных элементов, определяющих частоту колебаний, но и в роли поставщиков энергии, необходимой для генерации. Лишь третье звено генератора – система обратной связи осуществляется при помощи внешнего объемного резонатора. Это возможно потому, что потери энергии в объемном резонаторе могут быть сделаны очень малыми. При этом относительно большая энергия квантов электромагнитного поля сверхвысокой частоты, на

которой работают эти стандарты, достаточна для преодоления неизбежных потерь и для обеспечения генерации.

Энергия квантов низкочастотного поля, которое используется в магнитометрах, в сотни тысяч раз меньше, чем в случае поля сверхвысокой частоты (применяемого в стандартах частоты), а потери энергии в катушках и конденсаторах в сотни раз больше, чем в объемных резонаторах. Поэтому добиться генерации за счет энергии, излучаемой атомами на низкой частоте, невозможно. Кажется, что столь привлекательная идея создания генерирующего квантового магнитометра попала в тупик. Атомы явно не справлялись с поставленной перед ними задачей. Учитывая это, надо было помочь им и вводить недостающую энергию в прибор извне при помощи специального усилителя, работающего на полупроводниковых триодах. Атомы рубидия, находящиеся в колбочке магнитометра, теперь должны были играть не только роль резонансного контура, определяющего частоту колебаний, но одновременно через них должна осуществляться обратная связь между выходными клеммами усилителя и его входом. Таким образом, в новом приборе обратная связь происходит только на частоте, определяемой величиной измеряемого магнитного поля, действующего на атомы рубидия. Поэтому частота генерации в нем однозначно связана с величиной магнитного поля и для измерения магнитного поля достаточно измерить частоту.

Генерирующие магнитометры такого типа разработаны во многих странах. В Советском Союзе эту работу выполнили два недавно окончивших институт физика Е.И. Дашевская и А.Н. Козлов. Козлов занимался главным образом радиотехнической частью прибора, Дашевская проводила физические исследования. (Теперь они уже кандидаты наук.)

Моряки любят рассказывать о трагедиях, вызванных ошибкой компаса, вблизи которого случайно оказался кусок железа. Магнитометр – это своего рода сверхчувствительный компас. Можно представить себе, как он реагировал бы в подобных случаях! Исследовать и налаживать такой прибор

в обычных условиях невозможно. Поэтому решающую часть своей работы Дашевская и Козлов проводили в «немагнитном» магнитном павильоне, в условиях, при которых век нейлона переплетается с бронзовым веком.

Для создания генерирующего магнитометра Козлову пришлось создать специальные усилители. Они должны были усиливать сигнал, поступавший к их входу, но ни в коей мере не влиять ни на какие другие его свойства. Только при этом частота колебаний, возникающих в магнитометре, будет определяться величиной магнитного поля, действующего на атомы рубидия.

Бесконечными часами в тиши магнитного павильона молодые ученые испытывали прибор при всех значениях магнитного поля, для измерения которого он предназначался. И их труды увенчались успехом. Но это было лишь началом.

Теперь Козлов должен был создать схему, которая, измеряя частоту, генерируемую прибором, выдавала результат измерения прямо в единицах магнитного поля. Он добился и того, что этот результат получался в форме наиболее удобной для передачи по радио, и снова начались тщательные исследования, усовершенствования и проверки.

А наряду с этим приходилось решать и сложные физические проблемы. И в нашей стране и за рубежом велись исследования тонких особенностей спектральных линий, применяемых для измерения магнитного поля. Ученые обнаружили, что форма этих линий изменяется в зависимости от направления света накачки относительно магнитного поля. При повороте прибора спектральная линия теряет симметричный вид, перекашиваясь в ту или другую сторону. Внимательное теоретическое исследование и кропотливые опыты показали, что это не дефект прибора. Формулы говорили, что в атомах рубидия существует несколько очень близких энергетических уровней. Каждый из них порождает самостоятельную спектральную линию, но они так близки, что прибор не способен разделить их и изображает в виде одной немного расширенной линии. Но в действительности их несколько, хотя они и замаскированы. Как выяснилось,

эффективность взаимодействия света с каждой из них зависит от направления лучей света относительно магнитного поля. В результате простой поворот прибора приводил к тому, что относительная величина отдельных неразличимых спектральных линий изменялась. При этом деформировался и контур, охватывающий эти линии-невидимки, смещалась его вершина. Так при движении пальцев меняется форма рукавицы. Но так как отсчет частоты производится по общему контуру линии, то при поворотах прибора его показания оказывались немного различными. Конечно, ошибка не очень велика, но при измерениях самых слабых магнитных полей она недопустима. В лабораторных условиях можно было бы избежать этой ошибки, производя два отсчета при противоположных направлениях прибора и усредняя оба отсчета. Но во многих случаях это неудобно, а иногда и невыполнимо – как с этим справиться при автоматических измерениях в космосе?

Об этих тонкостях можно было бы не упоминать, если бы они были лишь придиркой взыскательных исследований. Но именно такая трудность и возникнет в самых реальных условиях и в самом близком будущем при исследовании магнитных полей Луны, Марса и Венеры. Ведь уже известно, что они очень малы. А Луна, возможно, совсем не имеет магнитного поля. И это надо проверить!

Американские ученые избрали простейший путь. Они, по существу, объединили два прибора в одном. Для этого им пришлось поставить с обеих сторон газосветной лампы две одинаковые колбочки с парами рубидия, два фотоприемника, два усилителя и заставить радиосхему автоматически выдавать усредненное значение величины магнитного поля, фиксируемого в каждой половине прибора. Задача была решена, но вес прибора, его размеры и потребляемая им энергия стали больше. Это было слишком грубое решение задачи.

Лена и Александр рискнули пойти другим путем. Они установили, что основную роль в искажении результирующей формы спектральной линии

играют столкновения атомов рубидия с инертным газом, вводимым в колбочку магнитометра так же, как в колбочку стандартов частоты с оптической накачкой. Оказывается, именно эти столкновения приводят к различию во взаимодействии света с отдельными спектральными линиями, совокупное действие которых дает сигнал измерения магнитного поля.

В стандартах частоты используется только спектральная линия, не зависящая от магнитного поля. Те линии, которые от него зависят, сдвигаются в стороны вспомогательным магнитным полем и не участвуют в работе. Поэтому в стандартах частоты инертный газ не искажает формы рабочей линии. Здесь же искажения формы были неизбежны.

Выход был один. Нужно убрать из колбы инертный газ. Вредным на этот раз оказалось как раз то, что недавно было необходимым!

Получалось вроде сказки про белого бычка. То инертный газ напускался специально, и это был шаг вперед. Теперь это оказалось тормозом. Но ведь опыт работы со стандартами частоты показал, что обойтись без инертного газа в рабочей колбе нельзя. В колбочках разумных размеров это привело бы к сильному расширению спектральной линии рубидия из-за эффекта Допплера и к потере стабильности частоты. Может быть, поэтому никто не решался на такой шаг и при разработке магнитометра.

Попав в безвыходное положение, ученый должен найти в себе смелость отбросить давящий груз авторитетов. По-новому взглянуть на драгоценный, но инертный капитал чужого и собственного опыта. И молодой оптимизм победил. Дашевская обратила внимание на то, что колбочка рубидиевого стандарта частоты облучается радиоволнами длиной около 5 сантиметров, а длины волн, соответствующие рабочему диапазону магнитометра, – это сотни и тысячи метров. Именно это огромное различие следует использовать. Ведь колбочка магнитометра несравненно меньше этих длинных волн. Поэтому, даже летая по всей колбочке, атом рубидия остается практически в одном и том же участке действующей на него радиоволны. В этом случае

эффект Допплера исчезает так же, как он исчезает в сантиметровом диапазоне, когда атом рубидия мечется почти на месте, стиснутый со всех сторон миллионами атомов инертного газа.

Если это так, а здесь не могло быть ошибки, то для магнитометра инертный газ вовсе не обязателен. Значит, нужно испытать колбочки, не содержащие никакого инертного газа!

Конечно, для того чтобы реализовать эту идею, нужно покрыть стенки колбочки парафином, чтобы и соударения со стенками не уширяли спектральных линий. Дашевская сделала такое покрытие и убедилась, что теория верна теперь. Ее прибор с одной колбочкой, одним фотоприемником и усилителем дает совершенно симметричную спектральную линию и измеряет самые слабые магнитные поля так же точно, как вдвое более сложные приборы в остальных странах.

Гоняться за двумя зайцами – в большинстве случаев бесплодная затея. Но иногда, к сожалению очень редко, они сами лезут в руки. На этот раз повезло Дашевской. Природа выдала ей премию. Возможно, она решила поощрить в лице этой маленькой женщины наш слабый пол. Ведь женщины еще не добились равноправия в среде физиков. Впрочем, лирика тоже еще не вошла в перечень областей, прочно освоенных женщинами.

Изгнав из колбочки своего магнитометра инертный газ, Дашевская смогла выбросить из прибора и специальный фильтр, который до того приходилось помещать между колбочкой и спектральной лампой. Фильтр должен был отсекал часть света лампы, потому что в присутствии инертного газа эта часть света препятствовала процессу оптической накачки. Теперь газа не было и эта часть света оказалась безвредной. Фильтр стал ненужным.

Но раз начав, трудно остановиться. Решив поощрить Дашевскую, природа подарила ей еще маленького «зайчонка». Нет, это была не денежная экономия, хотя фильтр, о котором мы говорим, не очень дешев. И физикам и их магнитометру гораздо полезнее было то, что, выбросив фильтр, который поглощал и часть полезного света, она повысила эффективность прибора.

Советские ученые сделали еще одно усовершенствование, упростившее работу с магнитометром. Дело в том, что его показания немного зависят от температуры. Изменения температуры влияют на давление паров рубидия внутри колбочки, а это, в свою очередь, воздействует на спектральные линии. Поэтому для получения предельных точностей прибор приходится термостатировать, то есть помещать колбочку в камеру с автоматически регулируемой температурой. А эта камера, к сожалению, увеличивает размеры и вес магнитометра тем больше, чем точнее должно поддерживаться постоянство температуры.

Для того чтобы облегчить условия термостатирования, молодые физики решили поместить в колбочку магнитометра смесь рубидия и цезия. При этом образуется как бы раствор одного металла в другом, а давление паров над таким раствором зависит от температуры много слабее, чем давление паров чистого металла. Разумеется, о таком поведении паров над растворами было известно и раньше. Но как редок, как ценен творческий шаг от пассивного знания к практическому применению!

Конечно, не легко взглянуть на факты, десятилетиями переходящие из учебника в учебник, не как на окаменелость. Еще труднее решиться изменить в них хоть небольшую деталь. А там пойдет. Дальше побеждают настойчивость и трудолюбие.

Только что мы видели, как инертный газ, бывший долгое время совершенно необходимым, оказался вредным. Теперь выяснилось, что вместо тщательнейшей очистки рубидия к нему нужно что-то подмешать.

Правда, нечто подобное уже встречалось на пути ученых, создающих полупроводниковые приборы. Они сперва очищают свои материалы так, что на миллион, а то и на миллиард атомов не приходится и одного атома примеси, а потом добавляют в эту стерильную среду специально подобранные и строго дозированные присадки.

Здесь, к счастью, все было гораздо грубее. И первоначальная очистка не столь совершенна, и присадки можно было отвешивать на весах.

Пришлось лишь провести сотни опытов, подбирая наиболее удачные компоненты. А когда работа позади, она уже не кажется такой трудной.

Итак, еще одна из ветвей радиоспектроскопии принесла щедрые плоды в виде малогабаритных квантовых стандартов частоты и сверхточных измерителей магнитного поля.

Но и это не последняя ветвь щедрого дерева.

ТРИ УРОВНЯ

Мы так увлеклись погоней за точностью и стабильностью генераторов, что чуть не забыли о мазерах. Нечто похожее случилось и с физиками.

Квантовые генераторы в первое время применялись только в качестве источников сверхстабильных колебаний. Но ведь еще в первых работах Басова и Прохорова, так же как и в первой статье Таунса и его сотрудников, указывалось, что их прибор может работать не только как генератор, но и как усилитель. Даже название «мазер», которое дал Таунс своему прибору, говорило об усилении, а не о генерации электромагнитных волн. *Мазер* есть акроним – сокращение – английской фразы. *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, означающей усиление (а не генерацию) микроволн при помощи вынужденного испускания.

Уже из первых работ создателей молекулярного генератора было ясно, что особенности нового прибора, обеспечивающие выдающуюся стабильность его частоты, неизбежно ограничивают его применение в качестве усилителя. Усилитель на пучке молекул аммиака должен быть чрезвычайно узкополосным. Частота, на которой он может усиливать, способна изменяться только в весьма узких пределах. Такой усилитель не может найти широкого применения и действительно никогда не применялся.

Стабильность молекулярного генератора и узость его полосы усиления обусловлены тем, что работающие в нем молекулы аммиака пролетают

сквозь резонатор в условиях строгой изоляции. Они связаны одна с другой и с внешним миром только через электромагнитное поле. В таком состоянии спектральная линия молекул должна была быть не шире миллионной доли герца. Практически она оказывается примерно в миллиард раз шире, так как молекулы пролетают через резонатор приблизительно за одну трехтысячную долю секунды, а за это время определить их резонансную частоту точнее невозможно.

Неудовлетворительные свойства усилителя на пучке молекул аммиака и выдающиеся качества молекулярного генератора на несколько лет определили дальнейшее развитие квантовой электроники. Все занялись совершенствованием квантовых стандартов частоты. О возможности квантового усиления забыли.

Лишь в 1956 году профессор Николас Блумберхен заново обсудил возможность применения квантовых систем для усиления электромагнитных волн. Блумберхен один из тех ученых, выходцев из Европы, которые в существенной мере обеспечили быстрый прогресс американской науки и дали журналистам право говорить об «импорте мозгов» в США. Блумберхен принадлежит к среднему поколению современных физиков. Он родился в Голландии в 1920 году, окончил университет во время войны, защитил докторскую диссертацию и в возрасте около 30 лет пересек океан в поисках более широкого применения своих способностей. Он теоретик, его работы привлекают четким и рациональным подходом к задаче, конкретными указаниями возможных экспериментальных следствий и практического использования.

Для применения в диапазоне сверхвысоких частот, пишет он, необходимы очень широкополосные усилители. Это, впрочем, было ясно всем имевшим дело с радиолокацией или радиоастрономией. Даже телевидение, особенно цветное, может быть передано только по широкополосным каналам связи.

Для создания широкополосного усилителя необходима квантовая система, обладающие очень широкими спектральными линиями. Это значит, что пучки невзаимодействующих молекул или атомов здесь непригодны.

Опять, как видите, ничего абсолютного нет! Что годилось для одной цели, непригодно для другой. Но отказ от ранее найденного решения не есть шаг назад. Борьба за чистоту спектральной линии в генераторе перешла на этот раз в борьбу за ее уширение. А широкие спектральные линии возникают в результате сильного взаимодействия микрочастиц. Такие взаимодействия существуют в плотных средах – в жидкостях и твердых телах.

Блумберхен, перебрав различные возможности, предложил использовать для усиления радиоволн спектральные линии парамагнитных ионов, вводимых в качестве примесей в подходящие кристаллы. Парамагнитные ионы, эти миниатюрные магнетики, входящие в состав многих твердых тел и жидкостей, давно были в поле зрения ученых. Но особенно широкое и успешное исследование таких ионов стало возможным после того, как удалось обнаружить явление электронного парамагнитного резонанса.

Электронный парамагнитный резонанс был открыт и изучен Евгением Константиновичем Завойским, ныне академиком, в его докторской диссертации, защищенной в 1944 году в Физическом институте АН СССР, который в это военное время работал в Казани. Хотя существование электронного парамагнитного резонанса еще в 1936 году было предсказано Гортером и Кронингом на основе теоретических соображений, обнаружить его было нелегко. Дело в том, что магнитные свойства парамагнитных ионов зависят не только от природы самого иона, но и от электрических полей, действующих внутри кристалла и внешнего магнитного поля, в котором находится кристалл. Поэтому один и тот же ион в разных условиях может обладать совершенно различными свойствами, и в довоенные годы их еще нельзя было заранее предсказать.

Хотя из теории ученые знали, что парамагнитные кристаллы должны обладать резонансным поглощением, то есть должны поглощать энергию электромагнитной волны подходящей частотой, это долго не удавалось наблюдать. Трудность заключалась не только в том, что это поглощение легче наблюдать на сверхвысоких частотах, но и в том, что линии парамагнитного резонанса очень широки (это и привлекло к ним впоследствии Блумберхена), так широки, что, перестраивая любые генераторы радиоволн от края до края шкалы, никому не удавалось даже заметить линию парамагнитного резонанса. Здесь-то и проявилось остроумие Завойского. Не то ценимое многими остроумие, вызывающее улыбку на лице собеседника, а столь редкое высшее проявление возможностей человеческого интеллекта, которое движет научный прогресс. Завойский рассуждал так. Частота парамагнитного резонанса зависит от величины магнитного поля. Мы хотим просмотреть очень широкую спектральную линию, а диапазон перестройки генераторов радиоволн слишком узок. Как поступить? Да так, как вы поступите перед осколком зеркала на стене вагона. Подвинуть его нельзя, так подвигайтесь сами, и вы увидите все, что вам нужно. Короче, если нельзя перестраивать генератор, нужно изменять магнитное поле. При этом спектральная линия будет смещаться, проходя перед генератором различными своими частями.

Одним словом, Завойский поместил исследуемый кристалл в поле генератора радиоволн и расположил свой прибор между полюсами большого электромагнита. Изменяя ток в его обмотках, Завойский обнаружил, что при вполне определенной величине тока поглощение радиоволн сильно увеличивается. Это был парамагнитный резонанс.

После открытия Завойского парамагнитный резонанс стал одним из наиболее удобных и точных методов изучения свойств твердых тел и жидкостей. Он наблюдается и в некоторых газах. При таких наблюдениях все и по сей день используют метод Завойского. Частота генератора, дающего радиоволны, необходимые для исследования, остается постоянной, а

резонансная частота исследуемого вещества изменяется при помощи регулировки силы тока, питающей электромагнит.

Это отступление в область истории, несомненно, вызвало законный вопрос. Все известные до тех пор квантовые приборы работали на газах или на пучках частиц. Конечно, подобрать подходящие широкие спектральные линии было необходимо. Но этого далеко не достаточно. Как же Блумберхен предлагал приводить кристаллы в активное состояние? Ведь без этого усиление невозможно, а в твердом теле нельзя отделить частицы, находящиеся на верхних энергетических уровнях, от частиц на нижних уровнях! Действительно, никакой метод сортировки здесь неприменим.

Правда, при исследованиях парамагнитного резонанса ядер, а впоследствии и электронного парамагнитного резонанса ученые добивались на короткое время инвертирования, переворачивания населенности энергетических уровней. Первыми, как мы уже знаем, это сделали Пэрсел и Паунд. Они проявили удивительную сноровку, намагничивая кристалл фтористого лития в сильном магнитном поле, а потом быстро перенося его в магнитное поле противоположного направления. Так они перехитрили неповоротливые частицы – парамагнитные ядра фтора и лития, слабо связанные с внешними электронными оболочками, объединяющими атомы в кристалл. При перенесении кристалла в поле противоположного направления ядра не успевают быстро повернуться вслед за полем, и нижние энергетические уровни на некоторое время становятся верхними и наоборот. Значит, если вначале кристалл был в тепловом равновесии, то есть нижний уровень был заселен сильнее верхнего, то при переносе в поле противоположного направления более населенным окажется верхний уровень. И ионам ничего не оставалось, как для возвращения в равновесие высветить неожиданно оказавшийся у них избыток энергии!

Пэрсел и Паунд действительно получали при такой процедуре кратковременное индуцированное излучение, сопровождающее возвращение кристалла в равновесное состояние. Их знаменитый эксперимент,

произведенный в 1951 году, теперь можно без преувеличения считать одним из предвестников квантовой электроники.

Впоследствии были разработаны и другие методы, позволяющие на время получить инверсию населенностей в парамагнитных кристаллах. Они могут быть применены при разработке усилителей, работающих в импульсном режиме. Но Блумберхена это не устраивало, он хотел, чтобы его усилитель, как и обычные усилители с электронными лампами, работал непрерывно и так долго, как это понадобится. Он хотел добиться создания устойчивого, постоянно действующего прибора, а не сенсационного успеха.

Глубокие раздумья и теоретические оценки показали ему, что, оставаясь в пределах двух энергетических уровней и не вводя движущихся частей, эту задачу решить невозможно. Но, к счастью, реальные квантовые системы имеют много различных энергетических уровней. Блумберхен решил привлечь на помощь третий уровень. Его идея теперь кажется очень простой. Выберем третий уровень, отстоящий от двух интересующих нас «рабочих» уровней много дальше, чем они отстоят друг от друга. Безразлично, будет ли он сверху или снизу от них. Представим себе, что третий расположен сверху, и для простоты будем считать, что других посторонних энергетических уровней нет.

Тогда в состоянии термодинамического равновесия большинство частиц будут находиться на двух нижних уровнях, причем на самом нижнем их будет немного больше, чем на втором, расположенном слегка выше. На третьем – самом верхнем – уровне, которому Блумберхен подготовил особую роль, будет меньше всего частиц. Идея Блумберхена состояла в том, чтобы при помощи сильного вспомогательного электромагнитного поля, частота которого соответствует резонансу между самым нижним и самым верхним уровнем, заставить частицы совершать переходы между этими уровнями, перепрыгивать с самого низа на самый верх до тех пор, пока населенность этих уровней не станет одинаковой. Расчет показал, что для этого с нижнего уровня на верхний должно быть переброшено так много частиц, что на

нижнем уровне их окажется меньше, чем на втором, расположенном близко над ним уровне. Это и было целью Блумберхена. Он хотел добиться того, чтобы частиц на втором уровне стало больше, чем на нижнем. Таким образом между двумя нижними уровнями будет достигнута инверсия населенностей. В квантовых генераторах с пучками молекул аммиака или атомов водорода это достигается сортировкой этих пучков при помощи постоянного электрического или магнитного поля. В результате такого воздействия вспомогательной радиоволны вещество станет активным по отношению к переходам между нижними энергетическими уровнями. Оно сможет усиливать электромагнитные волны, частота которых настроена в резонанс по отношению к переходам между этими двумя уровнями.

В статье, в которой Блумберхен предложил создать квантовый парамагнитный усилитель и обосновал возможность получения инверсии при помощи вспомогательного электромагнитного поля и системы трех уровней, он называет в качестве своих идейных предшественников Паунда и Оверхаузера, применявших аналогичную методику для увеличения чувствительности радиоспектроскопов. Но Блумберхен, повидимому, не знал, что годом раньше, в 1954 году, вышла короткая заметка Басова и Прохорова, в которой они предложили применять метод вспомогательного электромагнитного излучения и трех уровней специально для получения активного вещества в квантовых генераторах и усилителях.

Блумберхен не ограничился простым предложением метода. Он провел дополнительные расчеты, которые показали, что этот метод в диапазоне сверхвысоких частот в обычных условиях практически неприменим. Дело в том, что энергетические уровни, переходы между которыми соответствуют квантам электромагнитного поля этого диапазона частот, расположены слишком близко между собой. Это значит, что населенности их различаются очень и очень слабо и получаемая здесь инверсия будет крайне малой, совершенно недостаточной для работы усилителя. Этот вывод мог бы

обескуражить любого. Но Блумберхен был опытным физиком и сумел найти в своих формулах путь к достижению цели.

Формулы показывали, что для создания усилителя придется вести работу при сверхнизких температурах в непосредственной близости абсолютного нуля. Блумберхен говорит о температуре в 2 градуса выше абсолютного нуля, указывая, что при этой температуре жидкий гелий становится сверхтекучим и поэтому в нем не образуются пузырьки, которые могли бы помешать работе усилителя (вот до каких деталей продумана эта статья!). Охлаждать рабочее вещество нужно было и для того, чтобы спектральные линии в рекомендуемых Блумберхеном кристаллах не были чрезмерно широкими.

В заключение своей замечательной работы Блумберхен предсказывает, что усилитель, построенный в соответствии с его расчетами, будет чрезвычайно чувствительным. Из возможных применений нового усилителя Блумберхен указывает радиоастрономию, в частности, наблюдение излучения межзвездного водорода на волне 21 сантиметр.

Прошел всего год, и парамагнитный усилитель, предложенный Блумберхеном, был сделан Сковилом и его сотрудниками. Они применили кристалл этил-сульфата лантана, содержащий 0,5 процента гадолиния, принадлежащего к группе редкоземельных элементов. Этот кристалл помещался внутри специального резонатора, резонировавшего одновременно и на рабочую и на вспомогательную частоты. Это был новый триумф квантовой электроники.

Впрочем, это был не только первый, но и последний квантовый парамагнитный усилитель, построенный на этилсульфате лантана с гадолинием.

Блумберхен, по-видимому, избрал этилсульфат потому, что он уже был хорошо изучен. Но этилсульфат лантана с гадолинием оказался гигроскопичным, плохо выдерживал охлаждение. Он потребовал еще

дополнительных усовершенствований и так и не нашел практического применения.

Эстафета снова перебросилась через океан. В Москве, отрывая время от усовершенствования молекулярного генератора, Прохоров и его аспирант А. А. Маненков усиленно изучали парамагнитный резонанс в рубине. Маненков прибыл в ФИАН из Казани, где сложилась большая группа физиков, активно, исследовавших теорию и экспериментальные особенности «Казанского эффекта», как некоторые в шутку называют парамагнитный резонанс, открытый в Казани Е.К. Завойским.

Рубин издревле славится как драгоценный камень. Физики уже знали, что он представляет собой разновидность корунда – бесцветной окиси алюминия, – окрашенного в красный цвет вследствие примеси небольшого количества ионов хрома.

Прохоров решил исследовать рубин потому, что он химически устойчив, по твердости уступает только алмазу и обладает большой теплопроводностью. Трудно поверить, но при температуре жидкого гелия он проводит тепло лучше, чем медь. А это очень важно при работе в условиях низких температур.

В 1955 году основные исследования рубина были опубликованы. Он оказался идеальным материалом для парамагнитных усилителей радиодиапазона. Это было то, чего не хватало ученым, заинтересовавшимся статьей Блумберхена.

В последующие годы одно за другим публикуются сообщения из различных лабораторий о создании и исследовании квантовых парамагнитных усилителей. Большинство из них работает на рубине. В некоторых лабораториях испытывают и другие кристаллы, но по различным причинам дальше опытов дело не идет. Одни кристаллы слишком хрупки, в другие невозможно ввести нужное количество парамагнитных ионов, третьи гигроскопичны.

МЕНЬШЕ ШУМА!

В следующую главу мы не можем войти без рубина. Это замечательный волшебный камень, в сердце которого, как оказалось, дремлет красное солнце. Но даже до того, как физики раскрыли его главный секрет, рубин высоко ценился в технике. Его значение и до создания квантовых парамагнитных усилителей выходило далеко за пределы интересов модниц и ювелиров.

Еще в середине прошлого века ученые разработали метод получения искусственных рубинов. Это позволило широко применить рубин в приборостроении. Каждый знает, что качество часов во многом зависит от того, сколько в них «камней». «Камнями» часовщики называют изготовленные из рубина миниатюрные подшипники, в которых вращаются оси часового механизма, и маленькие зубчики на качающейся вилке часового хода. В хороших современных часах иногда более двух десятков таких камней. Подшипники из рубина применяются и в различных электроизмерительных приборах, в компасах, сейсмографах и других точных приборах.

Сейчас приборостроительная промышленность ежегодно расходует тонны искусственных рубинов. Они изготавливаются весьма прозаично: на заводах в специальных печах Вернейля. В этих печах внутри керамического теплозащитного цилиндра бушует пламя кислородо-водородных горелок. Сверху в пламя непрерывно сыплется размолотая до состояния тончайшей пудры окись алюминия, в которую добавлено небольшое количество окиси хрома. Пылинки пудры плавятся на лету и в виде мельчайших капелек падают на затравку – маленький кристаллик рубина, расположенный в нижней части пламени на специальном держателе. В то время как на затравке оседает слой жидкой окиси алюминия, держатель, медленно вращаясь вокруг оси, постепенно опускается вниз.

Спускаясь в более холодную часть печи, окись алюминия затвердевает, сливаясь с кристаллом-затравкой в единое целое. Постепенно вырастает большой прозрачный камень, похожий на застывшую каплю замерзших красных чернил.

Цвет искусственного рубина можно регулировать так же плавно, как, скажем, накал электрической лампочки или тон краски на картине художника. Нужно лишь менять содержание хрома в рубине! Для ювелирных целей и для технических применений обычно в кристалл вводится несколько процентов хрома. Но исследования Прохорова и других физиков показали, что для квантовых усилителей это не подходит. Для них необходим бледно-розовый рубин, содержащий лишь сотые доли процента хрома.

Правда, в некоторых случаях берется немного более высокая концентрация. Американский ученый Т. Мейман обнаружил, что, доведя концентрацию хрома до десятых долей процента, при которой обычные квантовые усилители уже не работают, можно создать усилитель, действующий при температуре жидкого азота, то есть при 77 градусах выше абсолютного нуля. Эффект усиления был им получен даже при температуре сухого льда (твердой углекислоты), а это 195 градусов выше абсолютного нуля. К сожалению, эти весьма интересные опыты не нашли еще практического применения. Хотя работать с жидким азотом, а тем более с сухим льдом много удобнее и дешевле, чем с жидким гелием, усилители, способные действовать при этих температурах, недостаточно хороши и пока не могут конкурировать с другими типами малошумящих усилителей.

Новым приборам было нелегко пробивать себе дорогу в жизнь. Они встречали жестокую конкуренцию со стороны других усилителей и должны были доказать свое преимущество. А преимущество было действительно бесценное.

О внутренних шумах радиоприемников знает каждый внимательный радиослушатель, каждый наблюдательный телезритель. Даже в тихой лесной избушке, удаленной от городов с их заводами, троллейбусами, неоновыми

рекламами и рентгеновскими трубками, создающими помехи радиоприему, даже при питании от батарей, даже зимой, когда от ближайших гроз нас отделяют тысячи километров, мы слышим слабый шум и видим на экране телевизоров легкую рябь. Особенно мешает это при приеме дальних радиостанций. Эти шумы и помехи возникают внутри радиоприемников, главным образом в электронных лампах.

В борьбе за чувствительность радиоприемников ученые достигли очень больших результатов. Они близко подошли к пределу – идеальному приемнику, не вносящему в передачу своих собственных шумов. Правда, идеал есть идеал, он, как горизонт, удаляется по мере того, как к нему приближаются. Идеального приемника нет и никогда не будет. Но приблизиться к идеалу не только мечта, но и практическая задача ученых и инженеров.

Лучшие электронные лампы и специальные полупроводниковые параметрические усилители, работающие в диапазоне сантиметровых волн, имеют очень малые шумы. Ученые оценивают их сотнями градусов. Не удивляйтесь, для расчетов оказывается более удобным оценивать шумы в градусах, а не в электрических или акустических единицах. В тех же градусах, которыми мы измеряем температуру. Так, идеальный приемник не шумел бы вовсе и его условная шумовая температура была бы равна нулю градусов. Отдельные образцы современных приемников имеют шумовую температуру вблизи ста градусов. Но и это слишком много для радиоастрономов, которым необходимо принимать очень слабые сигналы. Они бы просто утонули в собственных шумах приемной аппаратуры. Квантовые парамагнитные усилители смогли скачком улучшить чувствительность приемников. Они имеют шумовую температуру, измеряемую лишь десятками градусов, причем большая часть шумов возникает даже не в самом усилителе, а в антенне и волноводах, соединяющих антенну с усилителем. Почти что идеал! Не дотягивают буквально на десятку.

Только такое большое увеличение чувствительности смогло обеспечить квантовым парамагнитным усилителям путевку в жизнь, несмотря на то, что их применение много сложнее, чем работа с электронными лампами или полупроводниковыми усилителями.

Особенно усложняет дело необходимость применения жидкого гелия. Гелий ведь сравнительно редкий газ. Он образуется при радиоактивном распаде природных радиоактивных элементов, и так как гелий легче воздуха, то, попав в атмосферу, он быстро поднимается вверх и в приземном слое воздуха его так мало, что добывать гелий из воздуха все равно, что переливать из пустого в порожнее.

Сейчас основным источником гелия служат природные горючие газы, в которых содержится сравнительно большой процент гелия. Имеется гелий и в источниках радиоактивных вод, в нефти и некоторых минералах. Так что промышленная добыча гелия сейчас с избытком покрывает потребность. Но получить газообразный гелий еще далеко не все. Гелий имеет упрямый характер – он наиболее трудно конденсируемый из всех известных веществ. Долго считалось, что он ни при каких условиях не превращается в жидкость. Он покорился лишь в начале нашего века. Для его сжижения необходимы специальные машины. Хранить жидкий гелий можно только в сосудах, напоминающих большие термосы.

Но ученые вынуждены идти на преодоление всех этих трудностей, лишь бы получить сверхчувствительные малолитражные приемники сверхвысоких частот! Сейчас на повестке дня стоит внедрение специальных гелиевых холодильников. Эти холодильники основаны на тех же принципах, которые используются в большинстве бытовых и промышленных холодильников, только вместе применяемого в них фреона – синтезируемого химиками легко сжижающегося газа – в этих холодильниках циркулирует гелий. Небольшой компрессор сжимает гелий так же, как это происходит в обычных холодильниках. Расширяясь в специальных устройствах, сжатый газ сильно охлаждается и, охладившись, превращается в жидкость.

Малогабаритные гелиевые холодильники не только обеспечат широкое применение квантовых парамагнитных усилителей, но и найдут применение во многих других областях науки и техники.

Но квантовые парамагнитные усилители должны были конкурировать с другими усилителями не только по «малошумности», но и по ширине полосы частот усиливаемых сигналов. Усилители резонаторного типа, созданные различными советскими и зарубежными исследователями, были сравнительно узкополосными. Впрочем, ученым, работающим в области квантовой электроники, было ясно, что применение резонаторов вовсе не обязательно. Достаточно создать среду с инверсной населенностью – активную среду, и электромагнитная волна при прохождении по такой среде будет не ослабевать, а нарастать. Она будет не поглощаться, а усиливаться.

Однако простые расчеты показали, что даже в лучших парамагнитных кристаллах такое усиление мало. Для заметного усиления волна должна пробегать по активному веществу многие десятки, а то и сотни метров. Создавать такие громоздкие системы, которые нужно к тому же охлаждать жидким гелием, казалось неразумным.

Резонатор решал эту задачу много проще. Ведь волна, сотни и тысячи раз пробегая между стенками резонатора и каждый раз взаимодействуя с активным парамагнитным кристаллом, получала необходимое усиление в малом объеме. Однако резонатор не обеспечивал необходимой широкополосности. Возникал своего рода порочный круг.

Выход из этого нашли Р. де Грасс, Е. Шульц-Дюбуа и известный уже нам Р. Сковил. Они поняли, что активное вещество могло бы усиливать электромагнитную волну значительно сильнее, если бы эта волна бежала в веществе гораздо медленнее, чем это происходит в обычных волноводах. Это была ключевая идея. Подобно Аладдиновой лампе, она открыла перед исследователями путь к цели.

Эта мысль кажется довольно подозрительной. Ведь все электромагнитные волны распространяются со скоростью света. Но здесь

отнодь не возникало конфликта с законами природы. Скорость электромагнитных волн постоянна и неизменна только в пустом пространстве. Внутри вещества и вблизи его границы скорость электромагнитных волн зависит и от свойств вещества и от формы его поверхности и легко может быть изменена. Необходимые методы были уже разработаны при создании электронных ламп с поэтичным названием: ламп с бегущей волной. При этом уже были созданы различные системы, замедляющие электромагнитные волны. Для квантовых парамагнитных усилителей наиболее удобными из них оказались волноводы, вдоль одной из стенок которых торчали штыри или в середине которых помещалась проволочка, изогнутая в виде змейки. Эти простые приспособления не позволяли электромагнитной волне бежать прямо вдоль волновода. Волна вынуждена следовать вдоль изгибов змейки или обегать каждый штырь от подножия к вершине и обратно. В результате ее продвижение вдоль волновода сильно замедляется, чего и хотели достичь ученые. Они расположили вдоль волновода рядом с основанием штырей или рядом со змейкой кристаллы этилсульфата лантана с примесью гадолия, улучшенные добавлением церия, и убедились в том, что усилитель работает. Но, несмотря на то, что усилитель охлаждался до температуры 1,6 градуса, то есть значительно ниже температуры жидкого гелия, он оказался пригодным только для лабораторных исследований. Слишком мало было даваемое им усиление.

Сковилу и его сотрудникам пришлось отказаться от облюбованного ими вещества и применить кристаллы рубина. Новый усилитель, работавший при температуре 1,5 градуса, показал себя вполне работоспособным. Даваемые им шумы оказались равными всего 12 градусам. Из них примерно 10 градусов относились за счет соединительных элементов, а сам усилитель давал всего около 2 градусов шума.

Создавая свой усилитель, Сковил и его сотрудники столкнулись с трудностью, часто досаждающей радиоинженерам и даже радиолюбителям.

Если в самом обычном усилителе усиленный выходной сигнал снова попадет на вход, возникнет обратная связь. Если эта связь достаточно велика, усилитель превратится в генератор. В нем самопроизвольно возникнут колебания, и он уже не сможет усиливать внешние сигналы.

Но активная среда, этот прекрасный усилитель, должна усиливать электромагнитную волну независимо от того, в каком направлении она бежит – слева направо или обратно. Это значит, что если даже малая часть волны отразится от конца усилителя и побежит к его началу, а затем, снова отразившись, пойдет по нему опять, то она раз от раза будет усиливаться, и если усиление достаточно велико, то усилитель превратится в генератор. Он, как говорят радисты, самовозбудится и будет генерировать радиоволны даже при отсутствии внешнего сигнала. При этом он уже не сможет работать как усилитель.

Сковил, конечно, знал об этом и принял необходимые меры. Он поместил в волновод своего усилителя кусочки феррита. Феррит – это особое магнитное вещество, которое в присутствии магнитного поля пропускает радиоволны, идущие в одну сторону, и поглощает их, если они бегут в обратном направлении. Так как парамагнитный усилитель и без того работал в магнитном поле, то феррит без дополнительных усложнений обеспечивал поглощение обратной волны и тем самым нормальную работу усилителя.

Советские ученые внесли большой вклад в разработку квантовых парамагнитных усилителей. Прохоров первым достиг коротковолнового края сантиметрового диапазона. С ним работал кандидат физико-математических наук Н.В. Карлов и другие фиановцы.

Карлов, который, несмотря на молодость, давно приобрел репутацию хорошего радиоастронома, а стал доктором, подобно Бонаномми, покинул звезды и планеты, чтобы обеспечить радиоастрономам помощь ее ровесницы квантовой электроники. Карлов – автор уникального усилителя, способного усилить почти неуловимое излучение атомов водорода из глубины вселенной. Приняв эту своеобразную радиопередачу, можно исследовать

распределение водорода во вселенной и получить новые данные о ее структуре, которые другим способом получить невозможно.

Карлов – один из способнейших молодых физиков школы Прохорова. Кончил он тот же «физтех», что и Ораевский, делал диплом в ФИАНе и с тех пор работа в лаборатории Александра Михайловича. Кстати, работали они вместе с женой – она специалист по аппаратуре. Таким образом, их дуэт перекрывает весь диапазон встречающихся в работе проблем – от теории до практики.

Этим они напоминают мне молодую супружескую пару из лаборатории Басова – Тамару и Толю Никитиных. Они вместе сделали водородный мазер, а потом глава семьи первым защитил диссертацию. Тамара, у которой, кроме водородного генератора, еще маленькие сын и дочь, "защищали" во вторую очередь. И когда у них дома праздновалось это событие, большинство тостов было за совместное творчество, за семейственность.

Карловы уже выполнили ряд замечательных работ. Особенно удачными оказались те, в которых для улучшения парамагнитных усилителей применены сверхпроводящие магниты.

Сверхпроводимость, открытая свыше полувека назад, до последнего времени не имела практического применения. Ученые всего мира исследовали это замечательное явление, состоящее в том, что вблизи абсолютного нуля некоторые металлы полностью лишаются электрического сопротивления. Электрический ток в них при этом может течь беспрепятственно, не требуя для своего поддержания никаких источников. Казалось, ничто не препятствует ему, дай только начальный импульс по сильнее. Но нет – ток, протекающий в сверхпроводнике, сам ограничивает свою силу. Став слишком большим, электрический ток разрушает сверхпроводимость. Конечно, не нагревом – где нет сопротивления, нет и выделения тепла. Ток разрушает сверхпроводимость неразрывно связанным с ним магнитным полем.

Три советских физика-теоретика, удостоенные в Ленинской премии, – А. А. Абрикосов, В. Л. Гинзбург и Я. П. Горьков, – используя метод, разработанный академиком Л. Д. Ландау, задумали сделать сверхпроводник более стойким к разрушающему действию магнитного поля. Они изучили процессы, определяющие свойства сверхпроводников, и поняли, какими их нужно сделать, чтобы пропускать по тончайшим сверхпроводящим проволочкам очень сильный ток. Одновременно появилась и возможность создавать материалы, остающиеся сверхпроводниками при более высокой, чем раньше, температуре. Metallурги создали специальные материалы, а инженеры научились делать из них тончайшие проволочки. Появились сверхпроводящие магниты, дающие поля в десятки тысяч эрстед.

Фиановцы подхватили эту эстафету. Их парамагнитные усилители и без того требовали применения жидкого гелия. Грех был не попробовать здесь сверхпроводящих магнитов. И опыт удался. Усилитель стал много легче, надежнее и удобнее, а сверхпроводимость сделала шаг из лаборатории в жизнь.

Новая область, как магнитом, притягивала талантливых людей. В. Б. Штейншлейгер, бывший уже известным специалистом в области сверхвысоких частот, почувствовал, что парамагнитные усилители могут вывести радиотехнику из многих затруднений. Для этого нужно прежде всего сделать их возможно более простыми и надежными. Штейншлейгер и его сотрудники, работая в тесном контакте с Прохоровым, решили важную и трудную задачу создания усилителя бегущей волны сантиметрового диапазона, работающего при температуре жидкого гелия, равной 4,2 градуса. Этот усилитель не требовал дополнительных манипуляций по понижению температуры ниже температуры жидкого гелия, необходимых для усилителя Сковила и остальных усилителей, разработанных в то время за рубежом.

Однако, несмотря на все преимущества квантовых парамагнитных усилителей бегущей волны, они до сих пор не нашли применения в дециметровом диапазоне. Дело в том, что по мере увеличения длины волны

даже применение замедляющих структур не позволяет сделать конструкцию усилителя достаточно малой. Например, лучший парамагнитный усилитель бегущей волны, разработанный фирмой Белл для волны 21 сантиметр, имеет магнит весом в 90 килограммов.

При непрерывной работе в него дважды в сутки необходимо доливать по 7 литров жидкого гелия. Остальные подобные усилители еще менее удобны в работе.

Это заставило ученых искать другие пути создания квантовых усилителей дециметрового диапазона, имеющих более широкую полосу, чем простые резонаторные усилители. Штейншлейгер и Карлов в Советском Союзе и некоторые зарубежные исследователи предложили применить для расширения полосы дополнительные резонаторы, связанные с рабочим резонатором квантового парамагнитного усилителя. Это дало некоторый эффект, но большого расширения полосы в дециметровом диапазоне добиться не удалось.

Радикальное решение задачи было найдено М. Е. Жаботинским и А. В. Францессоном из Института радиотехники и электроники Академии наук СССР. Они тоже применили многорезонаторную систему. Однако в отличие от предшественников все их резонаторы активны, то есть в каждом из них находится парамагнитный кристалл. Это позволило на волне 21 сантиметр получить в трехрезонаторном усилителе полосу, большую, чем в усилителе бегущей волны фирмы Белл (при одинаковом усилении). Полоса их усилителя ограничивается только свойствами кристалла рубина, примененного здесь в качестве активного вещества.

Жаботинский и Францессон сильно уменьшили размеры усилителя, заменив обычные объемные резонаторы миниатюрными резонаторами так называемого полоскового типа. В них резонирует не металлическая полость, а маленькие полоски фольги, помещенные внутри волновода. Благодаря этому здесь удалось обойтись магнитом в 90 раз более легким, чем магнит в

усилителе фирмы Белл. Это, в свою очередь, позволило полностью погрузить магнит в жидкий гелий, что придало усилителю чрезвычайную стабильность.

Малый объем усилителя и небольшое количество рабочего вещества, необходимого для получения нужного усиления, позволило значительно сократить расход жидкого гелия. При непрерывной работе в него надо доливать только по 5 литров жидкого гелия, и не каждые сутки, как в усилителе фирмы Белл, а лишь дважды в неделю.

Этот усилитель пока является рекордным как по своим радиотехническим характеристикам, так и по эксплуатационным свойствам. Он установлен на Большом радиотелескопе Главной астрономической обсерватории в Пулкове.

ВЕНЕРА С ЗЕРКАЛОМ

Радиоастрономия, исследования космического пространства и сверхдальняя радиосвязь пока являются главными областями применения квантовых парамагнитных усилителей. С их помощью уже сделан ряд интересных открытий и проведены многие важные исследования.

Например, при помощи парамагнитного усилителя с бегущей волной, созданного Штейншлейгером и сотрудниками, пулковские радиоастрономы открыли радиоизлучение ионизированного космического водорода на волне 5 сантиметров.

Ионизированный водород в больших количествах имеется вблизи горячих звезд и в туманностях. Изучая его излучение, можно получить ценные сведения не только о его распределении и движении в пространстве, но и о свойствах ионизирующих его светил. Оптическая астрономия не способна наблюдать водород в таком состоянии. Поэтому открытие его радиоизлучения явилось ценным вкладом в науку.

Исследование нейтрального межзвездного водорода тоже недоступно оптической астрономии. Между тем водород, являющийся самым распространенным элементом во вселенной, играет основную роль в ее эволюции. Изучение радиоизлучения космического водорода на волне 21 сантиметр уже дало много новых сведений о строении галактик, их движении и развитии.

Еще один парамагнитный усилитель бегущей волны Штейншлейгера и сотрудников, работающий на волне 8 сантиметров, позволил провести ценные исследования строения известной Крабовидной туманности. Эти исследования проводились во время затмения туманности Луной, что дало возможность оценить излучение, исходящее от отдельных частей туманности.

Пожалуй, самые интересные результаты, полученные при помощи квантовых парамагнитных усилителей, относятся к радиолокации планет – этой активной ветви радиоастрономии. Кстати, о возможности радиолокации Луны первыми еще во время Отечественной войны писали Мандельштам и Папалекси.

В Советском Союзе работы по радиолокации планет ведутся под руководством академика В. А. Котельникова. При этом успешно используются резонаторные парамагнитные усилители Жаботинского и Францессона, работающие на волне около 40 сантиметров. Вот вкратце как развивались эти работы.

В 1957 году, когда первый советский спутник открыл нам путь в космос, мечты К. Э. Циолковского о полетах к другим планетам превратились в задачу близкого будущего. Однако оказалось, что, даже создав достаточно мощные ракеты, невозможно направить их к цели с нужной точностью.

Это может показаться странным. Ведь высокая точность астрономических расчетов общеизвестна. Но астрономы вычисляют положения планет при помощи своей астрономической единицы длины –

среднего расстояния от Земли до Солнца. А выразить эту единицу в земных метрах с нужной точностью никто не умел. Лучшие измерения астрономов содержали ошибку в тысячи километров. А это уже верный промах. Казалось бы, можно послать радиосигналы на Луну – самое близкое небесное тело, чтобы, точно определив расстояние до нее, рассчитать небесный треугольник, в вершинах которого находятся Солнце, Земля и Луна. Задача казалась проще простой – по катету определить гипотенузу, прямо-таки седьмой класс. Но нужно было еще измерить угол между Луной и Солнцем, а сделать это точно пока невозможно. Пришлось обратиться к планетам. Правда, здесь возникло новое осложнение – планеты слишком далеки. Их трудно достать радиолокатором. И физики выбрали Венеру. Она ближе других подходит к Земле. Но это все же десятки миллионов километров. Можно ли получить радиоэхо от Венеры?

Ответ, на этот вопрос дали ученые Института радиотехники и электроники АН СССР. Да, можно.

Большие коллективы включились в подготовку к этим исследованиям. Нужно было провести сложные расчеты, создать мощный передатчик, огромную антенну.

Наблюдения начались 18 апреля 1961 года, когда расстояние до Венеры было минимальным для этого года и участники работы еще были под свежим впечатлением триумфального полета Юрия Гагарина. Радиоволны путешествовали в пространстве пять минут. Легко представить себе напряжение этих минут! Все было предусмотрено и многократно проверено. Сигнал ушел. Найдет ли он Венеру? Вернется ли? Будет ли принят?

Но ждать надо было не пять минут, а гораздо дольше. Нужно было ждать, пассивно наблюдая за автоматической работой планетного локатора. Ведь отраженный сигнал слаб настолько, что его невозможно увидеть на фоне шумов приемника. Только после долгой и сложной обработки результатов можно выяснить, приходит ли вожаделенное эхо.

Наконец обработка принятых сигналов закончена. Победа! Аппаратура сработала безупречно. Астрономическая единица длины определена, пока не очень точно, но ошибка составляет теперь всего лишь около тысячной доли процента.

Лишь! Эта доля все же две тысячи километров! Разве можно на этом остановиться?

Летом 1962 года коллектив, руководимый В. А. Котельниковым, сделал следующий шаг. Венера к этому времени, увы, удалилась. Тогда решено было лоцировать Меркурий. Но это гораздо труднее. Во-первых, в это время Меркурий был в два раза дальше от Земли, чем Венера во время опытов 1961 года, Во-вторых, Меркурий – самая маленькая планета солнечной системы. Его поверхность в шесть-семь раз меньше, чем поверхность Венеры. Значит, должно уменьшиться и радиоэхо.

Но ученые были готовы и к этому. Они значительно повысили чувствительность приемника, работающего в радиолокаторе, снабдив его парамагнитным усилителем радиоволн.

Итак, жидкий гелий залит. Рубин охладился почти до абсолютного нуля. Все блоки космического локатора проверены. Опыт начался. Но с увеличением расстояния возросло и время путешествия радиоволн. Их возвращения нужно было ждать 10 минут. Правда, магический кристалл сделал ответный сигнал более ясным и для получения результата требовалось гораздо меньшее время, чем в первых опытах.

Когда закончилась обработка принятых сигналов, стало ясно, что радиоволны отражаются от Меркурия примерно так же, как от Луны. И можно было впервые проверить наши предположения о свойствах поверхности Меркурия. Эта работа принесла советским ученым не только научные достижения, но и мировой рекорд дальности радиолокации.

Осенью того же года, когда Венера опять приблизилась к Земле, на нее снова направили луч космического радиолокатора. Именно тогда на Венеру и обратно простой азбукой Морзе были переданы понятные во всем мире

слова: «Ленин, СССР, Мир». Благодаря усилителю сигналы появились просто на осциллографе. Но это был не единственный результат. Точность астрономической единицы длины увеличилась более чем в пять раз. Впервые удалось оценить отражение радиоволн от поверхности Венеры.

А за Венерой начался шторм Марса. Он приблизился к Земле настолько, что оказался в зоне досягаемости планетного локатора и был взят на прицел. Радиоэхо показало, что поверхность Марса, представляющаяся глазу ровной пустыней, в действительности обладает сложным рельефом, более гладким в одних частях и изрезанным в других. Кстати, эти результаты недавно подтвердили фотографии, полученные американскими учеными при помощи космической лаборатории «Маринер-IV».

Ну, а Юпитер? Гигантские размеры этой планеты отчасти компенсировали увеличение расстояния. Радиосигналы, направленные на него, путешествовали около часа. Они принесли сведения об отражательных свойствах этой планеты и новый рекорд дальности радиолокации.

Радиоастрономы других стран тоже применяют парамагнитные усилители, в частности усилители, созданные группами Таунса и Сковила. Эти усилители применяются для изучения Солнца, для исследования радиоизлучения космического водорода и для радиолокации планет.

Радиоастрономия уже не единственная область применения парамагнитных усилителей. Они все шире используются для передачи телевидения и телефонных разговоров через специальные спутники связи, для увеличения чувствительности радиоспектроскопов и для других целей.

Но история с Венерой не кончилась. Ведь ученые еще не узнали ни характера ее поверхности, ни точной скорости вращения, ни положения оси.

Ожидая, пока Венера вновь приблизится к Земле, Котельников и его сотрудники начали готовить эксперимент более сложный, чем раньше. Чтобы точнее провести анализ эха, отраженного Венерой, они решили удалить на большое расстояние приемную часть от передающей. Но сделать это вовсе не просто. Радиоприемная часть современного планетного локатора — не

миниатюрная «Спидола». Это огромные тысячетонные антенны со сложнейшей автоматикой, позволяющей вести их за планетой, даже если ее скрывают густые облака. Строительство такого радиоприемника стоит дорого и требует большого времени.

Гораздо проще воспользоваться готовой антенной. Нужно лишь найти такую, хозяева которой увлекутся исследованием планет, а кроме того, обладают большим мастерством, остроумием и терпением, необходимыми для тонкой работы по анализу космического эха. Ведь информация, которую оно несет, записана не словами, а ничтожными изменениями принятого сигнала по сравнению с посланным.

По удачному совпадению в 1963 году в Советском Союзе гостил директор обсерватории Джодрелл Бэнк профессор Бернард Ловелл. Оказалось, что и он мечтает о подобной работе, но у него нет нужного передатчика. В разговоре с В. А. Котельниковым он предложил объединить усилия. Предложение было с энтузиазмом принято. Началась подготовка к совместной работе.

И вот в начале этого года из Москвы была отправлена телеграмма: «Англия. Радастра. Маклесфилд. Ловеллу. Будем работать по Венере 8 и 9 января с 11 до 14. Котельников».

Восьмого января мощные передатчики советского центра дальней космической связи в течение трех часов направляли на Венеру узкий пучок радиоволн. Радиоволны, отразившись от Венеры, возвратились на Землю. Дело было за англичанами.

...Нажатие кнопки – и огромная стальная конструкция, напоминающая опрокинутый на ребро купол спортивного зала, пришла в движение. Обтянутое металлической сеткой ажурное семидесятишестиметровое зеркало английского радиотелескопа Джодрелл Бэнк отыскивало скрытую зимними тучами Венеру. Но вот его движение замедлилось. Оно стало таким же незаметным, как перемещение небесных светил. Это означало, что автоматы нашли Венеру и теперь ведут антенну вслед за ней. И вдруг чувствительный

радиоприемник, присоединенный к антенне, обнаружил сигнал... Тотчас полетела телеграмма «Москва. Аэлита. Сигнал от Венеры принят».

А в это время мощные передатчики советского центра дальней космической связи продолжали облучать Венеру узким пучком радиоволн. Это была странная передача. Долгими часами советские ученые следили за излучением радиоволн. Они не передавали никаких сигналов. Более того, ученые принимали все меры для того, чтобы ничто не исказило монотонной идеальности уходящего в космос луча.

Но радиоволны, через шесть минут достигавшие антенны, расположенной в Северной Англии вблизи

Манчестера, уже не были идеальными. Покрыв путь в 80 миллионов километров, они приходили крайне ослабленными, смешанными с шумами. Зато они несли в себе сигналы! Драгоценные сигналы, посланные самой Венерой, несущие информацию о ее поверхности, о скорости вращения вокруг собственной оси, о направлении этой оси в пространстве.

Английские астрономы напряженно следили за аппаратурой, записывающей сигналы. Впоследствии они и их советские коллеги обработают записи и извлекут из них то, что сообщила о себе Венера. И со временем перед нами ляжет карта этой загадочной, скрытой сплошными облаками планеты, которую люди окрестили нежным именем богини.

Расшифровка полученных данных еще не закончена. Сеансы будут продолжаться несколько месяцев... Каждые несколько дней из Англии в адрес Аэлиты и обратно идут телеграммы о ходе работы.

Кстати, телеграфный адрес Института радиотехники и электроники Академии наук СССР – находка сотрудников. Это связано с полукомичной историей. Телеграфу были предложены на выбор пять слов. Все они оказались занятыми другими учреждениями. Тогда ученые дали на выбор пять названий планет. Телеграф ответил: все планеты заняты, назовите новые слова. Из вновь названных слов оказалось свободным лишь одно – Аэлита.

Ирина Радунская. ПРЕВРАЩЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДА ИНЖЕНЕРА ГАРИНА

Это было очень удачно – ученые действительно трудятся на грани фантастики.

СОЛНЦЕ НА ЛАДОНИ

ТЫ ИЗМЕНИЛ ДАЖЕ ИМЯ

Путешествие по шкале электромагнитных волн можно сравнить с бегом по сильно пересеченной местности. Издавна, когда еще не существовало самого понятия электромагнитных волн, люди были знакомы со светом. Около трехсот лет назад ученые сумели измерить длину его волны. Для красного света получилось около 0,6 микрона, а для фиолетового примерно 0,4 микрона.

В конце прошлого века Герц открыл электромагнитные волны, предсказанные Максвеллом. Начиная с 1886 года он экспериментировал с волнами длиной в десятки сантиметров. В 1895 году, через год после смерти Герца, Рентген открыл то, что он назвал икс-лучами, а теперь мы называем рентгеновыми лучами.

«Даже набат военной тревоги не смог бы отвлечь внимание от замечательного триумфа науки, весть о котором докатилась до нас из Вены», – передало лондонское телеграфное агентство 6 января 1896 года об открытии Рентгена. Фрау Берта Рентген поднесла руку к прибору мужа, и оба в изумлении рассматривали странный снимок: икс-лучи набросали силуэт тонких косточек женской кисти и на одной из них обручальное кольцо.

Стоке первым понял, что открыт новый вид электромагнитных волн. Он заявил, что если его догадка справедлива, то колебания в рентгеновых лучах должны происходить поперек направления их распространения, а не вдоль него, как в звуковых волнах в воздухе. Догадку Стокса подтвердил в 1904 году Е. Барка, но только опыты М. Лауэ в 1912 году сделали это бесспорным. Лауэ обнаружил, что рентгеновы лучи дифрагируют на решетке кристалла, как полны. Это значит, что они огибают атомы, образующие

кристаллическую решетку, подобно морским волнам, огибающим сваи пристани. Он измерил их длину. В зависимости от напряжения, приложенного к рентгеновской трубке, длина волны менялась от тысячных долей микрона до его миллионных долей. Этим Лауэ окончательно доказал, что рентгеновы лучи, природа которых оставалась неизвестной, представляют собой очень короткие электромагнитные волны.

В том же году, когда Рентген открыл свои лучи, Попов применил волны Герца для связи. Открытие радио и его первые применения связаны с использованием длинных волн Герца. Их длина составляла уже метры и десятки метров.

Постепенно радио осваивало все более длинные волны. Они оказались лучше приспособленными для дальней связи. Это были волны длиной в сотни и тысячи метров. Короткие волны, как пригодные только для опытов, отдали в распоряжение радиолюбителей. Радиолюбители, к удивлению ученых, обнаружили, что короткие волны при очень малой мощности передатчиков позволяют вести радиосвязь на самых больших расстояниях.

Конечно, инженеры немедленно использовали это открытие, оставив радиолюбителям лишь несколько узких участков во всем обширном диапазоне коротких волн. С развитием радио в эфире становилось все теснее. Радиолюбители первыми проникли в диапазон метровых волн. За ними туда устремились военные радисты. Молодое телевидение начало осваивать метровый диапазон потому, что ни один из известных диапазонов не мог выделить столь широкие каналы, которые нужны для высококачественного телевидения.

Радиовойна, война локаторов, разгоревшаяся во время второй мировой войны, заставила радистов на новой базе освоить дециметровый и даже сантиметровой диапазоны. Казалось, круг замкнулся, это опять были волны Герца. Но наука развивается не по кругу, а по спирали. И следующий ее виток пошел еще дальше в сторону световых волн. Вскоре после войны

удалось создать электронные лампы для миллиметрового диапазона и получить радиоволны короче миллиметра.

Впрочем, оптики тоже не сидели сложа руки. Они постепенно расширяли свои владения. С большим трудом шло освоение невидимых ультрафиолетовых лучей, самые короткие из которых так сильно поглощаются воздухом, что для их изучения спектрографы приходится откачивать вакуумными насосами. Осваивали оптики и невидимые инфракрасные волны. К концу прошлого века Рубенс научился работать с инфракрасными волнами длиной в десятки микрон. Эти его работы, между прочим, были окончательным толчком, заставившим Планка опубликовать исследования, ставшие истоком современной квантовой физики.

Неисследованным остался лишь участок между миллиметровыми и инфракрасными волнами. Правда, в эту область в течение многих лет производили партизанские вылазки А. А. Глаголева-Аркадьева и некоторые другие ученые, но они пользовались примитивными приборами и больших успехов не добились.

XX век перевалил через середину, а промежуточный диапазон, разделявший радистов и оптиков, не поддавался ни тем, ни другим.

За несколько лет, прошедших после рождения молекулярного генератора и его младшего брата – парамагнитного усилителя, квантовая электроника пережила бурный период развития. Ею заинтересовались и маститые ученые и молодежь. Ряды энтузиастов росли на глазах.

В середине сентября 1959 года вблизи Нью-Йорка, в тихом местечке Хай Вью, собралась разноязычная компания ученых. Это были участники первой Международной конференции по квантовой электронике. По сравнению с масштабами других международных конференций их было так мало, что организаторы смогли поместить в томе трудов конференции список всех ее участников. Здесь наряду с Басовым, Прохоровым и Таунсом можно найти имена Ван-Флека, одного из старейших физиков-теоретиков США,

известных нам Блумберхена, Броссела и Бонаномии и других, о которых уже рассказано на предыдущих страницах и будет говориться дальше.

В сентябре в Хай Вью жарко, и после заседаний участники конференции продолжали обсуждения на тропинках парка, на берегу плавательного бассейна, и только темнота загоняла их поближе к цивилизации.

Конференция, как в зеркале, отразила основные направления новой науки. Большинство докладов и кулуарных бесед, конечно, касались молекулярных генераторов, атомных часов, парамагнитных усилителей, их исследования и применений. Это было естественно.

Но теперь, обращаясь к этой конференции, мы видим, что главным в ней было не это. Здесь прозвучали фанфары, возвещавшие о вторжении радиофизиков в исконную вотчину оптиков.

В течение трех веков, прошедших между выходом «Оптики» Ньютона и «Оптики» Борна, оптика достигла такого совершенства, что в ней не оставалось ни одного крупного вопроса, ни одной принципиальной трудности. Казалось, надо подчищать мелочи и по неоспоримым канонам строить все более крупные телескопы, безупречные микроскопы и спектрографы.

Физики считали, что оптика перестала быть предметом исследования. Она превратилась в инструмент науки. В мощное орудие исследования свойств атомов и молекул. Оптика дала удобные методы анализа сплавов и сложных химических соединений. Словом, для оптики пора молодости, когда таинственная незнакомка увлекает горячие головы, прошла. Оптика стала верной помощницей каждого, кому она может быть полезной. Почетная, но прозаическая зрелость!

Но, как это иногда бывает, колесо судьбы начало новый оборот. То, что в течение четверти века казалось исчерпанным, окаменевшим, интересным разве лишь студентам, внезапно засияло ярким светом, оказалось исполненным жизни, удивительных тайн, захватывающих перспектив. И все

это было следствием прорыва радиофизиков в страну оптиков. Рождалась квантовая электроника оптического диапазона.

Недаром один из физиков вспомнил в связи с этим такую историю.

Некий ученый бросается к другому и кричит:

– Борис, я не видел тебя двадцать пять лет. Как ты изменился! Ты был толстым, а стал стройным. Ты был коротышкой, а теперь ты так высок. Ты был уже совсем лысым, а теперь у тебя прекрасная шевелюра. Борис, что случилось? Ты так изменился!

– Но я не Борис, – отвечает тот.

– Ах, так ты изменил и свое имя!

НОВЫЙ ГАРИН

Впрочем, в оптике столь неожиданные метаморфозы произошли не вдруг и не сами собой. То, что к концу пятидесятых годов было достигнуто в радиодиапазоне, не могло быть попросту перенесено на более короткие волны.

Квантовым генераторам на пути от радиоволн к свету предстояло преодолеть два барьера. Требовалось изыскать новые методы получения активной среды и создать резонаторы, способные откликаться на световые волны.

На конференции Шавлов пересказал недавно опубликованную им совместно с Таунсом статью, в которой указывался путь к инфракрасным и световым мазерам.

Прохоров рассказал, как он вместе с Барчуковым вышел из тупика, в который попадал каждый, пытавшийся на пути к свету вслед за радистами попросту уменьшать размеры резонатора.

Прохоров есть Прохоров, он не стал дожидаться рождения нового Левши. Он умеет отыскивать парадоксальные решения, и, вместо того чтобы

мучительно подбирать ключи к двери, преграждающей путь, он предпочитает перескочить через препятствие. Он предложил отказаться от обычных объемных резонаторов и показал, что для очень коротких волн их можно с успехом заменить двумя параллельными зеркалами.

Теперь все понимают, что он попросту предложил использовать в качестве резонатора интерферометр Фабри и Перо, который оптика давно использовала в качестве спектроскопа. Но заслуга состоит и в том, чтобы взглянуть на известное с новой точки зрения, перебросить мост между старым и новым. И характерно, что это сделал не кто-нибудь из оптиков, привыкших работать с интерферометром Фабри и Перо, а радиофизик из школы Мандельштама и Папалекви. Характерно и то, что радиофизик Таунс почти одновременно с Прохоровым и совершенно независимо пришел к тому же решению.

Мало кто из участников конференции обратил внимание на доклад И. Видера, посвященный некоторым экспериментам с рубином. Тем более что и в докладе Шавлова говорилось о рубине, но он сказал, что известная теперь всем красная линия рубина не подходит для создания квантового генератора света. Еще никто из присутствовавших, в том числе сам автор, не знал, что изображенная им схема энергетических уровней рубина станет столь знаменитой. Но в зале сидел Т. Мейман, доклад которого был посвящен парамагнитному усилителю на рубине. И можно не сомневаться в том, что он внимательно слушал Видера. Скоро Мы узнаем, к чему это привело.

Незаметно прошел и доклад Джавана, незадолго перед тем перешедшего из Колумбийского университета в лабораторию фирмы Белл. Он обсуждал возможность приведения в активное состояние смеси гелия и неона, но не при помощи оптической накачки, как это предлагали Таунс и Шавлов для паров щелочных металлов, а посредством электрического разряда. Впрочем, доклад Джавана не содержал расчетов, подтверждающих возможность применения этого метода.

Дискуссия была краткой. Один из присутствующих вспомнил, что еще в 1930 году было опубликовано сообщение об инверсии населенностей, полученной при помощи электрического разряда в смеси паров натрия и ртути. Замечание было принято к сведению, и только.

Но в перерыве к Джавану подошел Басов. Басов интересовался тем, как Джаван оценивал шансы на положительный результат. Ответ был неутешительным. Расчеты столь сложны, что их не удастся довести до точных числовых результатов. Вся надежда на опыт.

Однако зерна, посеянные на конференции в, казалось, совсем не подготовленную почву, взошли неожиданно быстро.

Молния сверкнула за океаном, а раскаты грома раздались из Лондона, где издается известный научный журнал «Природа». В одной из его тоненьких тетрадок уже в первой половине 1960 года появилось коротенькое сообщение Т. Меймана о том, что он создал новый генератор световых волн. Успех пришел к Мейману не случайно. Он не был новичком в квантовой электронике. Но если работы в области квантовых парамагнитных усилителей, о которых он докладывал на конференции, принесли ему известность лишь среди специалистов, то о его новом достижении узнал весь мир.

Газеты запестрели заголовками: «Ярче Солнца», «Кровавый луч», «Разящий луч», а среди любителей научно-фантастической литературы нашлись и поклонники Алексея Толстого. Они не преминули написать «Новый Гарин», и «Гиперболоид наших дней», и многое другое.

Действительно, было отчего прийти в возбуждение. Мейман показал журналистам небольшой прибор, на верхней части которого лежал металлический цилиндр размером с литровую консервную банку. В середине ее торца виднелось небольшое отверстие.

— Внимание, — сказал Мейман, указывая на лист бумаги, прикрепленный к стене лаборатории.

Вдруг в середине листа на мгновение ослепительно вспыхнуло небольшое ярко-красное пятно.

– Еще раз, – сказал Мейман и снова нажал кнопку.

Теперь те, кто смотрел на прибор, увидели, как из отверстия в его торце вылетел луч толщиной не больше карандаша. Почти не расширяясь, этот 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 затемненную комнату через отверстие шторы.

После нескольких вспышек металлический цилиндр был открыт. В нем оказались лишь два предмета. Спиральная лампа-вспышка, похожая на те, которыми пользуются фотографы, и бледно-розовый прозрачный кристалл, размером с обычную сигарету. Концы его блестели, как зеркало. Они действительно были покрыты зеркальным слоем серебра.

Вот как комментировали журналисты объяснение Меймана.

Розовый стерженек сделан из искусственного рубина. Такой же рубин, но еще более светлый, применяется в мазерах для усиления микроволн. Рубин кажется красным только потому, что он сильно поглощает лучи зеленого и фиолетового света. Если из белого света удалить эти лучи, остаток кажется красным. Это свойство глаза, обнаруженное еще в прошлом веке Гельмгольцем.

В поглощении света участвует не весь материал, образующий кристалл, а только ионы хрома, которых здесь лишь доли процента. Но именно они играют главную роль в работе прибора. 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 статьи Таунса (а может быть, он читал и статьи Прохорова и Басова) говорили о том, что, применив обратную связь, можно превратить усилитель в генератор, в генератор света, действующий совершенно так же, как обычный

радиопередатчик. Какой резонатор можно применить при работе со светом – тоже было известно. Это пара параллельных зеркал. Проще всего было отполировать торцы рубинового стержня и прямо на них нанести зеркальный слой серебра...

То обстоятельство, что новый генератор излучает красный свет, никак не связано с красным цветом рубина. Окраска рубина, как мы знаем, вызвана только тем, что он поглощает зеленые и фиолетовые лучи. Красный цвет луча первого лазера определяется тем, что энергетические уровни иона хрома, участвующие в работе прибора, отстоят друг от друга на величину, равную энергии фотонов красного света.

На вопрос о том, почему он назвал новый прибор словом «лазер», Мейман ответил, что он просто заменил буквой «л» букву «м» в слове «мазер». Он сказал: «Это потому, что принцип действия обоих приборов одинаков. Различаются только диапазоны длин волн, в которых они работают. Буква «л» – сокращение слова «лайт» (свет). Остальные буквы означают «усиление при помощи индуцированного испускания».

Впрочем, название – дело вкуса. Советские ученые предпочитают говорить «оптический квантовый генератор», сокращая его для удобства в ОКГ. Мы привыкли ко всякого рода ломающим зубы сокращениям. Ученые группы Таунса предпочитают «оптический мазер». Может быть, потому, что автор слова «мазер» их шеф. Но в общем разногласия не вносят путаницу только потому, что все знают, о чем идет речь, и воспринимают слова «мазер» и «лазер» не в первоначальном значении, а просто как название целого класса приборов.

ВОЗМОЖНО ЛИ ЭТО?

Красный луч Меймана, подобно бикфордову шнуру, воспламенил целый фейерверк. Горючее для него готовилось и собиралось годами. Если за двадцать лет до этого одинокий голос Фабриканта не был услышан, то теперь в десятках лабораторий работали новые квантовые приборы. Это и разнообразные молекулярные генераторы, и парамагнитные усилители, и атомнолучевые стандарты частоты. Уже существовали безукоризненно разработанные теории, были подробно изучены различные вещества. Сложенные костры ждали только искры. Мейману посчастливилось высечь эту искру.

Заводы искусственных камней, предназначенных для часовой и приборостроительной промышленности, быстро освоили выращивание крупных рубинов. Труднее оказалось добиться высокого оптического качества кристаллов, наладить точную обработку их торцов. Здесь требовалась по крайней мере в десять раз более точная обработка, чем при изготовлении лучших астрономических приборов.

Каждый знает, что такое десятая доля миллиметра. Это толщина лезвия безопасной бритвы. Впрочем, не все лезвия так тонки. Сотые доли миллиметра можно измерить только микрометром. Несмотря на свое название, этот прибор не может отсчитать микрона – тысячную долю миллиметра. Для этого квалифицированные слесари-лекальщики пользуются специальными, еще более точными приборами – индикаторами.

Оптики, для которых важны десятые доли микрона, ловят их при помощи специальных оптических приборов. А теперь от них требуют сотые доли микрона! Иначе луч оптического квантового генератора будет по мере удаления расходиться сильнее, чем это должно быть, а в некоторых случаях генератор совсем не заработает. Правда, такие невообразимые точности потребовались позднее, но они потребовались и были достигнуты.

В наш век, когда газеты ожесточенно воюют за каждого читателя, сенсации грозят превратиться в обыденность. Мир привык к сенсациям-

поденкам. Некоторые фирмы спешат за модой. Прилагательные «космический», «атомный» приносят кредит, поднимают цены акций.

Мейман не стремился к рекламе. Он опубликовал сообщение о своем открытии в виде небольшой заметки в скромном английском журнале. Правда, тридцатью двумя годами раньше индийский физик Раман, опередив Мандельштама, направил именно в этот журнал телеграмму об открытии комбинационного рассеяния света, впоследствии приведшую его к Нобелевской премии. Этот журнал известен тем, что очень быстро печатает такие короткие заметки. Поэтому ученые всего мира внимательно следят за его тонкими тетрадками, и они прочли заметку Меймана. И она взволновала их гораздо сильнее, чем тех читателей газет, которых репортеры стремились потрясти заголовками «Лучи смерти», «Разящий луч» и рассказами о том, как неосторожный молодой ученый временно ослеп, попав в луч лазера на расстоянии десяти миль.

Физиков такие заголовки не смущали. Они знали, что иные газеты привыкли делать из мухи слона. Но они понимали и то, что скромный маломощный прибор Меймана вовсе не муха, а птенец, который скоро станет огромной птицей. И поначалу было совсем не ясно, кем он обернется – жестоким хищником или благородным аистом.

Слишком свежо было воспоминание о том, что последовало за скромной заметкой Гана и Штрассмана о делении ядер урана.

Физики хорошо знали и то, чем отличается красный луч, выходящий из прибора Меймана, от красного света светофора или от кровавого сияния неоновых реклам.

Во всех существующих доселе источниках света – от костра первобытного человека и далеких звезд до привычной электрической лампочки или сверхъяркой лампы, вспыхивающей на летящем самолете или пылающей в огромном прожекторе, – всюду истинными источниками световых волн являются отдельные атомы или электроны, испускающие свои маленькие порции света совершенно независимо, по законам случая. В

переводе на мир больших явлений это выглядит так, как если бы Москву освещали лампочками, вспыхивающими то в Лужниках, то на Пресне, то в Химках. Только миллионы одновременно сияющих ламп могут осветить город!

В приборе Меймана источниками света тоже были миллиарды миллиардов электронов, входящих в состав ионов хрома, рассеянных в толще рубинового стержня. Но все эти электроны испускали свет не независимо, не хаотически, не самопроизвольно. Они испускали его более согласованно, чем звучат скрипки в хорошем оркестре. Это было вынужденное испускание, при котором не только частота, но и фаза и направление излучения, исходящего от отдельных частиц, совпадают с огромной точностью.

Такое совпадение основных характеристик световых волн оптики называют когерентностью. Почти все умопомрачительные достижения оптических квантовых генераторов так или иначе связаны с когерентностью. С тем, что вынужденное излучение отдельных частиц в результате обратной связи оказывается жестко связанным и вся масса активного вещества генерирует как одно целое.

До появления прибора Меймана оптики почти всегда имели дело с некогерентным светом. Прибор Меймана впервые показал, что и в оптике слаженный коллектив приобретает качества и возможности, недоступные хаотическому сборищу индивидуальностей.

Физики уже имели дело с вынужденным испусканием электромагнитных волн в сантиметровом диапазоне радиоволн. Там оно привело к недостижимой, ранее стабильности генераторов, к предельной чувствительности приемников.

Теперь им было ясно, что вынужденное испускание в оптике дает гораздо больше, чем простое усиление света, о котором писал Фабрикант в своей диссертации. Вынужденное испускание в оптике открывает путь для небывалой концентрации энергии, для передачи энергии на огромные

расстояния с очень малыми потерями, для создания новых систем связи... Впрочем, могли открыться возможности, о которых никто еще и не мечтал.

Вспомните известную легенду об Архимеде. В ней говорится о том, как он спас родные Сиракузы, поставив на их стенах сотни воинов с блестящими щитами и приказав им отбросить этими щитами солнечные зайчики на флагманский корабль врагов. Корабль тут же загорелся, а за ним и другие. Враг бежал.

Во многих легендах есть зерно истины. Сиракузы не были побеждены. Враги действительно сняли осаду и удалились восвояси. Может быть, осаждавших ослепили щиты сиракузцев или обескуражила их решимость. Возможно, у них иссякла вода или продовольствие. История об этом молчит. Но физики знают, что щиты сиракузцев не могли поджечь корабли. Если на каком-либо из них и вспыхнул пожар, то по иной причине.

Об этом можно прочитать в интересной и поучительной книге профессора Г.Г. Слюсарева. Она называется «О возможном и невозможном в оптике». Эта книга вышла всего несколько лет назад. Потом она была переиздана. Это прекрасная книга, она не только основывается на непоколебимом фундаменте науки, но и написана так, что каждый, даже очень далекий от физики, поймет, что же могут и чего не могут достичь оптика и светотехника.

Особенно интересно читать эту книгу сегодня. Годы придали ей то, о чем даже не помышлял автор. Листая ее страницы, мы видим, как наука переходит от невозможного к возможному. Ведь почти все то, о чем в ней пишется как о невозможном, действительно было невозможным до 1960 года. А теперь стало, по крайней мере в принципе, возможным!

Нет, законы оптики не изменились. Все, о чем Слюсарев пишет как о недостижимом, осталось недостижимым при помощи старых источников света. Но новые источники – «оптические квантовые генераторы» – уже сделали многое из этого реальным и обещают в будущем достичь и остального.

ВОЗМОЖНО!

Каждый знает, что оптическая линза или вогнутое зеркало сводит параллельный пучок света в точку, находящуюся в фокусе. Если же в фокусе находится светящаяся точка, то та часть света, которая попадает на линзу или зеркало, превращается в пучок параллельных лучей. Это можно выразить и иными словами. На языке волн мы скажем: сферическая волна, выходящая из точки, совпадающей с фокусом линзы, превращается ею в часть плоской волны, которая может, почти не ослабевая, бежать на очень большие расстояния.

Теперь ни для кого не секрет, что никакая точка не может быть беспрельдно малой. В оптике точка – это светящееся пятнышко, размер которого никак не меньше длины световой волны. Параллельный пучок в оптике совсем не похож на тот, о котором написано в учебнике геометрии. От параллельного пучка лучей света, по его краям, всегда постепенно отделяется небольшая часть, уходящая в стороны. Но это, как говорят, детали. Во многих случаях они не играют существенной роли.

Инженеры-светотехники встречаются с гораздо более существенными трудностями. Они не могут увеличить яркость прожектора просто потому, что яркость современных ламп достигла предела. Большого не допускают существующие материалы. Нарастивать световой поток дальше можно, только увеличивая размеры лампы. Вот здесь и обнаруживается тупик. Прожектор может превратить в параллельный пучок только свет, идущий из точки. Свет, выходящий из соседней точки, формируется в отдельный (тоже параллельный) пучок, но идущий в другом направлении. Яркость света, излучаемого в первоначальном пучке, при этом не возрастает. Мы можем увеличить размеры площади, освещенной прожектором, но не ее яркость.

Яркость луча любого прожектора быстро уменьшается с увеличением расстояния. Ведь каждый прожектор излучает расходящийся пучок лучей из-за того, что источник света в нем не точечный. Оптический квантовый генератор с самого начала испускает почти не расходящийся пучок света, причем лучи его тем более параллельны, чем больше сечение пучка. Конечно, этот пучок постепенно расширяется из-за дифракции, то есть из-за огибания светом края выходного отверстия. Но это сравнительно небольшая часть, и ученые знают, как ее уменьшить. Поэтому яркость луча оптического квантового генератора очень медленно уменьшается даже на больших расстояниях.

Вот один из примеров невозможного. Никакая оптическая система не может сделать изображение обычного источника света более ярким, чем сам источник. Солнечный зайчик, отброшенный большим вогнутым зеркалом, режет сталь и плавит гранит. Как ни велика температура этого зайчика, она ниже температуры поверхности Солнца.

Если же на зеркало или линзу падает практически параллельный пучок лучей оптического квантового генератора, то вся энергия, заключенная в этом пучке, соберется в фокусе, на площадке размером порядка длины световой волны. Яркость этой площадки будет огромна. Температура в ней быстро поднимется. Легко предвидеть, что при этом произойдет!

Еще пять лет назад об этом и не мечтали. Сфокусированный луч оптического квантового генератора пробивает дырки в стальных пластинках, испаряет алмаз, а если в фокусе нет ничего, кроме воздуха, превращает его в миниатюрную шаровую молнию. Может быть, самое поразительное здесь то, что источник, испускающий этот шквал энергии, сам совсем холодный. Иногда он имеет температуру жидкого азота.

Лазерная оптика обогнала обычную с помощью радио. Обратная связь сыграла решающую роль. Только в результате дружного действия миллиардов атомов их совокупное излучение приобретает почти идеальную регулярность в пространстве и времени.

Существенной особенностью лазеров является то, что все они основаны на использовании многообразных вариантов одного давно известного оптикам явления. На использовании разновидностей особого рода свечения – люминесценции. Если вы любите короткие формулировки, то можно сказать, что лазеры родились из союза люминесценции и обратной связи.

С люминесценцией навсегда связано имя академика Сергея Ивановича Вавилова.

В начале тридцатых годов в особняке на Миусах несколько человек каждый день спускались в абсолютно темный подвал и часами сидели там без всякого дела. Подобно тому, как Шерлок Холмс, желая сосредоточиться, играл на скрипке, некоторые из них пели. Это были академик С. И. Вавилов и его ученики. Они увлеченно трудились над разгадкой самосвечения веществ. Оно зачастую было столь слабым, что приходилось задолго до опыта готовить себя к нему, сидя в темноте и ничего не делая. Так часами сидел П.А. Черенков, нобелевский лауреат, которому посчастливилось открыть известный эффект Черенкова. Так работал и профессор Н. А. Добротин, ставший нобелевским лауреатом и заместителем директора ФИАНа. Так сидел часами и сам Вавилов, и сотрудники этим охотно пользовались, чтобы в тишине обсудить текущие дела и проблемы. Многие из его учеников стали видными учеными и работают не только в Москве, но и в других городах. Один из них, П. П. Феофилов, ленинградец, стал крупнейшим специалистом в области люминесценции. Он вслед за своим учителем исследовал природу свечения, лежащего в основе тех процессов, которые заставляют сиять в темноте циферблаты часов и приборов, гнилушки и светлячки в лесу и брызги морской воды в августовские ночи, а в наших домах образуют изображение на экранах телевизоров.

Феофилов, теперь уже вместе со своими учениками и сотрудниками, особенно подробно исследовал законы люминесценции ионов редких земель в различных кристаллах и стеклах.

Редкими землями, или редкоземельными элементами, называют группу металлов, некоторые из которых действительно крайне редки, а другие встречаются в больших количествах и широко применяются в технике, в частности в металлургии, стекольной промышленности, при изготовлении кремней для зажигалок, и трассирующих пуль, и снарядов. Впрочем, слово «земли» в их названии имеет только исторический смысл и пришло в науку из глубокой древности. Древнегреческие философы, средневековые алхимики и химики доменделеевского периода применяли это слово в различных, часто противоположных смыслах.

Уже Лавуазье предположил, что неразложимые, неплавкие, негорючие и нелетучие вещества, называвшиеся «землями», являются окислами и химикам еще предстоит их разложить. Через двадцать – двадцать пять лет все эти «земли» и ряд вновь открытых были действительно разложены на кислород и металлы. Но химики продолжали по привычке называть эти окислы землями.

Менделеев, создав свою периодическую систему, дал полную классификацию окислов и тем самым сделал термин «земли» излишним. Но традиции языка оказались сильнее здравого смысла. Более того, применительно к группе редких земель этот термин со временем присоединился не только к окислам, но и к самим металлам, имеющим очень близкие химические свойства.

Группа редкоземельных металлов в свое время доставила много хлопот Менделееву. Все они в отношении химических свойств аналогичны самому легкому из них – лантану. Они как бы выпадали из периодического закона, в соответствии с которым химические свойства должны изменяться от элемента к элементу, повторяясь через каждые 8 или 18 номеров.

Большую помощь Менделееву оказали исследования чешского химика Б. Браунера, который заинтересовался открытием Менделеева еще в семидесятых годах прошлого века. В результате длительных исследований редких земель Браунер решил, что все они как исключение должны быть

выделены в особую группу. Менделеев принял это предложение. Он даже попросил Браунера, давно ставшего не только его заочным сотрудником, но и другом, написать раздел «Элементы редких земель» для седьмого издания своего знаменитого труда «Основы химии».

Квантовая физика подтвердила справедливость идей Браунера. Особенности редких земель связаны с тем, что по мере усложнения атомного ядра, после того как число протонов в нем становится равным 57, его заряд компенсируется не обычным прибавлением электронов на все более удаленные орбиты, а заполнением внутренних орбит, оставшихся не использованными в более легких атомах. При этом внешние орбиты всех 15 редких земель одинаковы, а именно они определяют химические свойства атомов.

Но Феофилова и его сотрудников интересовали не внешние электроны редких земель, а как раз те не заполненные электронами орбиты, которые отличали один редкоземельный элемент от другого. Постепенное заполнение этих орбит вызывало сложные изменения в спектрах. Расшифровка таких изменений представляла чрезвычайно увлекательную и сложную задачу. В ходе ее решения оказалось, что исследование спектров редкоземельных элементов позволяет получить ценные сведения о строении тех кристаллов, в которые редкие земли входят как очень малая примесь. Это было очень важно и для физики атома, и для теории строения кристаллов, и даже для решения сложных технологических задач, возникающих при варке лучших сортов стекла.

ПИЧКИ-ЗАГАДКИ

Во многих городах в различных странах ученые включились в эти исследования. Еще больше было таких, которые применяли их результаты для своих весьма разнообразных целей.

В области квантовой электроники редкоземельные элементы позволили создать множество различных типов оптических квантовых генераторов. Наиболее широкое применение среди всех редких земель здесь нашел неодим.

Добавка нескольких процентов неодима в стекло позволила получить генерацию инфракрасного излучения с длиной волны около одного микрона. Человеческий глаз не видит этого излучения, но тем поразительнее его действие. Здесь нет даже огненного луча, вылетающего из рубина, но в пластинке, изготовленной из сверхтвердого сплава, появляется одно отверстие за другим. Невидимый инфракрасный луч пробивает тончайшие аккуратные отверстия с гладкими оплавленными краями.

Первые оптические квантовые генераторы, работавшие на кристаллах рубина, на стекле, на некоторых других кристаллах излучали электромагнитную энергию короткими мощными импульсами. Они не могли работать непрерывно. Главным образом из-за несовершенства применявшихся материалов.

Рубин и другие кристаллы, а также стекла в оптическом квантовом генераторе приводятся в активное состояние при помощи оптической накачки. Здесь работает ставшая классической схема трех уровней, предложенная для получения активного состояния еще Басовым и Прохоровым. Энергетические уровни рубина, участвующие в генерации, принадлежат ионам хрома. Правда, в рубине верхний из рабочих уровней хрома имеет сложную структуру. Это даже не уровень, а сочетание множества уровней, слившихся в две отдельные полосы. Для того чтобы перебросить электроны хрома из основного состояния в нижнюю из этих полос, на них нужно воздействовать фотонами зеленого света. Для того чтобы перебросить электроны в верхнюю полосу, рубин нужно осветить сине-фиолетовым светом. Лампы-вспышки, служащие для накачки оптических квантовых генераторов, излучают белый свет. Это значит, что в их спектре присутствуют все частоты видимого света. Поэтому во время

вспышки внешние электроны части ионов хрома поглощают зеленый свет и переходят в нижнюю из полос возбуждения, а электроны остальных ионов хрома, поглощая синий и фиолетовый свет, поднимаются в верхнюю из этих полос.

Приобретая таким путем избыточную энергию, ионы хрома в кристалле рубина не могут сохранить ее дольше, чем несколько стомиллионных долей секунды. За это время часть поглощенной энергии рассеется по решетке кристалла, вследствие чего электроны опустятся на более низкий энергетический уровень, обладающий всеми свойствами, необходимыми для того, чтобы стать стартовым уровнем для генерации света. На этом уровне связь между электроном и решеткой кристалла оказывается много меньшей, и он может прожить на нем десятитысячную и даже тысячную долю секунды. Поэтому значительная часть электронов, поглотивших свою долю энергии света лампы-вспышки, практически мгновенно оказывается на этом стартовом энергетическом уровне. Некоторые из них, прежде чем успеют отдать остатки своей избыточной энергии решетке кристалла, самопроизвольно высвечивают ее, испуская фотон. Такое испускание фотона называется люминесценцией и происходит в каждом ионе независимо от других. Моменты самопроизвольного испускания фотона и его направление подчиняются только законам случая.

Самопроизвольная люминесценция была известна давно. В обычных условиях она сопровождается и вынужденной люминесценцией. Но если в веществе не достигнута инверсия населенностей энергетических уровней, то есть ионов-приемников, как всегда, больше, чем ионов-передатчиков, вынужденная люминесценция маскируется более сильным резонансным поглощением.

Для того чтобы достичь в рубине инверсии, то есть состояния, в котором ионов-передатчиков больше, чем приемников, требуются лампы-вспышки, дающие очень большую световую энергию. Если же инверсия

достигнута, то достаточно обеспечить нужную обратную связь и вынужденная люминесценция, вызовет генерацию света.

Процесс начнется в тот момент, когда один из фотонов, появившихся в результате самопроизвольной люминесценции, вылетит вдоль оси кристалла по направлению к одному из зеркал. Если длина кристалла достаточно велика, этот фотон имеет шанс вызвать излучение точно такого же фотона, летящего в том же направлении. Отразившись от зеркала, оба фотона вызовут излучение новых, и так при каждом прохождении кристалла. Интенсивность вынужденного излучения будет увеличиваться, пока, как во всякой квантовой системе, не наступит насыщение, при котором число электронов на стартовых и на нижних энергетических уровнях всей совокупности ионов хрома не сравняется.

Конечно, первый фотон может поглотиться в самом кристалле или в зеркале, прежде чем он вызовет начало лавины. Это дело случая. Но как говорится – не один, так другой! В действительности, конечно, речь идет не об одиночном фотоне, а о целой массе их. Нужно только, чтобы игра законов случая привела к возникновению фотонной лавины. Важно, чтобы поступление энергии от активной среды превосходило все имеющиеся в системе потери энергии.

В работе оптического квантового генератора одновременно участвуют миллиарды фотонов. При этом отчетливо выступает волновая сторона природы света. Световые волны, бегающие туда и обратно между зеркалами резонатора, образуют стоячую волну, длина которой автоматически подбирается так, чтобы на расстоянии между зеркалами укладывалось целое число длин волн или же целое число и еще одна половина. Здесь все происходит почти так же, как в обычной струне, закрепленной на обоих концах. Концы струны должны оставаться неподвижными. Поэтому, проводя по ней смычком или возбуждая ее ударом молоточка или просто щипком, мы можем возбудить только такие колебания, которым не мешают закрепленные концы.

По мере развития процесса генерации интенсивность световой волны быстро возрастает. Соответственно возрастает и вероятность вынужденного испускания, в то время как вероятность самопроизвольной люминесценции остается неизменной. Очень быстро вынужденное испускание приобретает решающую роль, и большая часть энергии, запасенной в кристалле, преобразуется в яркий узкий луч света.

Оптический квантовый генератор Меймана работал импульсами. Собственно, только на это и можно было рассчитывать. Ведь кристалл возбуждался импульсным светом лампы-вспышки. Поэтому он приходил в активное состояние только на время вспышки. Мейман не имел в своем распоряжении источника света, который мог бы непрерывно давать энергию, необходимую для возбуждения рубина. Впрочем, если бы он и имел такой источник, генератор вряд ли мог работать непрерывно. Подсчеты показывали, что не менее 97 процентов световой энергии лампы бесполезно растрачивались на нагрев рубина. При непрерывном освещении температура рубина должна была быстро возрасти настолько, что генерация стала бы невозможной.

После естественного торжества, последовавшего за первыми импульсами генерации, ученые, подобно внимательным врачам, начали исследовать новорожденного. И он сразу преподнес им сюрприз.

Оказалось, что каждый импульс излучения рубинового генератора не похож ни на один из последующих импульсов. Более того. Его, строго говоря, нельзя называть импульсом. То, что глаз воспринимал как вспышку излучения, на экране осциллографа представилось в виде последовательности отдельных очень коротких пичков, хаотически следующих один за другим. Каждый пичок излучения длился всего миллионную долю секунды, затем генератор угасал или по крайней мере уменьшал свою яркость, чтобы через краткий миг вновь на миллионную долю секунды засиять с необыкновенной яркостью.

Загадка пикового режима твердотельных лазеров вот уже пять лет тревожит умы физиков. В основных чертах этого явления они уже разобрались. Но многие детали не ясны до сих пор. Пиковый режим может возникнуть из-за того, что активность кристалла не одинакова по его длине или сечению. Но даже в идеальном кристалле такой режим возможен из-за того, что длина генерируемых световых волн в невообразимое число раз меньше, чем размеры кристалла. Поэтому в кристалле возможны многочисленные резонансы на близких частотах и генерация может хаотически перескакивать с одной частоты на другую.

Короткое сообщение Меймана всколыхнуло ученых и инженеров – сразу возникло множество вопросов. Какие практические применения получит новый прибор? Можно ли существенно увеличивать даваемую им энергию? Удастся ли заставить его работать непрерывно? Как отыскать другие вещества, способные приходить в активное состояние, позволяющее генерировать свет?

Мало кто из читавших заметку Меймана знал, что на пороге рождения находится еще один оптический генератор, ничуть не похожий на меймановский.

„КУШАЙТЕ ЛУЧШЕ МОРОЖЕНОЕ!“

В августе 1957 года Соединенные Штаты посетила первая делегация советских радиоспециалистов. Они ехали на XII Генеральную ассамблею Международного научного радиосоюза. Айсберги «холодной войны» таяли медленно, как те айсберги, которые в бескрайних просторах северной части Атлантического океана караулили, не рухнет ли в воду четырехмоторный самолет, несущий в своем чреве пятнадцать советских ученых. Реактивные самолеты в тот год еще не возили пассажиров через океан.

После короткой остановки в Нью-Йорке, уже в сопровождении целой свиты опекунов, руководимых представителями госдепартамента и Пентагона, советские ученые отправились в Сан-Франциско. Американские коллеги пригласили их перед ассамблеей участвовать в конференции Общества радиоинженеров США.

На рассвете руководители конференции и заспанные фотокорреспонденты собрались на аэродроме. Горячая дружеская встреча сгладила воспоминание о сухом официальном приеме в Нью-Йорке.

Конечно, и госдепартамент знал приезжих, но для него это были пришельцы из другого мира, а для ученых академик В. А. Котельников, руководитель делегации, был одним из создателей теории связи, а член-корреспондент АН СССР В. И. Сифоров уже давно стал популярен как крупнейший специалист во всех видах радиоприема, теории кодирования и многих других вопросов. Профессора Прохорова знали далеко не все. Квантовая электроника только развивалась. Старшее поколение радиоинженеров считало, что это лишь одно из многих ответвлений могучего ствола радиотехники.

На следующий день все газеты оповестили читателей о приезде советской делегации. Не обошлось и без курьезов. Репортеры сообщили, что среди делегатов находится советский Министр связи А. И. Калинин, и Анатолия Ивановича, совсем молодого сотрудника одного из связных институтов, потом еще долго величали министром.

Эта поездка позволила советским и американским ученым произвести первое после встречи Прохорова с Таунсом в Англии сравнение достижений в области квантовой электроники. Уже в огромном Коровьем дворце – построенном когда-то для сельскохозяйственной выставки, – в котором теперь происходила конференция и была устроена большая радиотехническая выставка, обнаружилось, что советские ученые впереди. Они привезли с собой оттиски статьи о разработанной в Институте радиотехники и электроники системе, жестко привязывающей фазу

лампового генератора к молекулярному генератору Американцы противопоставили этому краткий доклад о только что законченной аналогичной работе. Опережение было примерно на год. Теория молекулярного генератора, существенно развитая к тому времени Басовым и Прохоровым, была с большой точностью подтверждена ими на опыте.

Деловые контакты, установленные в Сан-Франциско, еще больше укрепились в маленьком университетском городке Болдер, расположенном у самых склонов Скалистых гор в штате Колорадо. День за днем в течение двух недель заседала ассамблея, на которой Академия наук СССР была официально принята в Международный научный радиосоюз. Прохоров вновь встретился с Таунсом. Здесь он познакомился и с доктором Эссеном, и они подолгу обсуждали сравнительные достоинства молекулярного генератора и цезиевой атомнолучевой трубки.

Но не только научные доклады поставили советскую делегацию в центр внимания. В эти дни весь мир был поражен сообщением ТАСС о первых пусках советских межконтинентальных ракет, с большой точностью попавших в намеченный район Тихого океана. В одну из немногих свободных минут журналисты атаковали академика Котельникова. Их волновало, как Советский Союз использует свое новое оружие, чем это грозит Америке.

На следующее утро газеты напечатали большую фотографию с подписью «Советский Союз никому не угрожает. Не волнуйтесь, господа, кушайте лучше мороженое!» На фотографии Котельников, улыбаясь, держал в руках стаканчик с мороженым.

В перерывах между заседаниями делегатов возили в лаборатории Национального бюро стандартов. Эти лаборатории примерно за год до того торжественно открыл президент Эйзенхауэр.

Новое современное здание. Длинные коридоры, слабо освещенные люминесцентными лампами. По обе стороны плотно закрытые двери. Среди десятков затворенных дверей вдруг попадает одна, открытая настежь.

Против нее указатель со стрелкой. На стрелке надпись: «Для визита». Группа делегатов входит в полупустую комнату. Сотрудник включает магнитофон и под монотонный голос диктора молча водит указкой по диаграммам и таблицам. Иногда и по шкалам прибора. Магнитофон замолкает. Сопровождающий говорит: «Пойдемте, господа. Наше время истекло. Мы задерживаем следующую группу».

Некоторые делегаты благодарят сотрудника с указкой. Другие обсуждают услышанное. Третьи пожимают плечами. На прощанье сопровождающий раздает брошюры с описанием лабораторий, отчет о их деятельности.

– А можно ли получить отчеты о тех работах, о которых нам рассказывали?

– Конечно, пожалуйста, это предусмотрено, заполните эти карточки, укажите ваш адрес, начальство распорядится, и отчеты будут высланы.

И действительно, некоторые отчеты были высланы. Правда, соответствующие работы уже оказались опубликованными в журналах, но было приятно получить их на память о посещении и о том, что лед все-таки тает. Медленно, но тает.

Впрочем, научные сотрудники лабораторий старались по мере возможности сгладить шероховатости парадного приема. В аудиториях и коридорах университета, ставших на время как бы нейтральной территорией Международного научного радиосоюза, они охотно участвовали в обсуждении сложных проблем радио. Все вместе питались в студенческом кафетерии с самообслуживанием. Все получали стандартный рацион, допускавший минимум вариаций. На всех столиках стояли картонные плакатики с изображением человечка, несущего гору тарелок, сильно возвышающуюся над его головой, и надписью: «Помогайте нам помогать вам. Уносите грязную посуду к мойке! Благодарим вас». И все уносили свою посуду. И это еще более сближало разноязыкую толпу, объединенную не только самообслуживанием, но и служением науке.

После закрытия ассамблеи советские ученые провели день в Нью-Йорке. Их пригласили посетить знаменитый Колумбийский университет. Здесь работал И. Раби с сотрудниками. Здесь Таунс, Гордон и Цайгер создали свой молекулярный генератор. Здесь советским радиоспециалистам подробно показывали электростатический генератор, интересный физикам, работающим в совершенно других областях, и немного старомодные аудитории и лаборатории, в которых работали знаменитые профессора. Правда, они еще отсутствовали. Ведь каникулы не кончились! И большинство приборов было законсервировано.

Впрочем, некоторые усердные аспиранты работали и во время каникул. И они показывали гостям свои радиоспектроскопы. И молекулярный генератор, сквозь боковое стекло которого можно было видеть сортирующую систему и резонатор. Здесь, в лаборатории профессора Таунса, с советскими гостями беседовал молодой ученый Али Джаван. Он хотел познакомиться с Прохоровым, он хотел обсудить с ним свои последние работы и свои планы и очень жалел, что Прохорова не было среди гостей.

Прохоров и еще один из членов советской делегации в это время был в Кембридже. Нет, он не успел перелететь океан. Ведь и в Америке есть Кембридж.

Кембридж, штат Массачусетс, в котором расположен Массачусетский технологический институт. Может быть, зная, о чем хотел поговорить с ним молодой ученый, Прохоров пренебрег бы поездкой в знаменитый Эм-Ай-Ти. Но он этого не знал, и беседа не состоялась. Только на следующий день он смог прочитать текст работы Джавана, переданный ему через одного из членов делегации.

Работа называлась «Теория трехуровневого мазера». В науку входил большой ученый.

Еще в первую треть нашего века американская наука занимала весьма скромное место. Главные центры научной мысли находились в Европе. Сюда ездила учиться американская молодежь. Здесь появились первые работы Оппенгеймера и других выдающихся американских ученых, которых теперь уже относят к старшему поколению. Конечно, не следует думать, что в Америке в те годы совсем не было крупных ученых. Достаточно назвать имена Р. Вуда и А. Комптона. Но это были полководцы без армии, за ними шли лишь небольшие отряды. А развитие науки в XX веке определяется коллективной мощью.

Захват власти фашистами привел к массовой эмиграции ученых и талантливой молодежи из Италии, Германии, Австрии и других европейских стран. Они ехали в США. Ферми и Сигети, Эйнштейн и Теллер, наконец, Бор, всех не перечесать. Лишь немногие, как Жолио-Кюри, остались, чтобы в подполье бороться с нацизмом. Еще меньше крупных ученых сотрудничали с Гитлером.

Результаты не замедлили сказаться. Американские университеты и исследовательские организации, получившие массированную инъекцию интеллекта, расцвели. После войны этот расцвет продолжался. Молодежь из Европы и Азии, не имея возможности учиться в опустевших университетах старых капиталистических стран, все еще тянулась за океан. Многие, окончив учебу, оставались в Америке. В США интенсивно трудились ученые десятка национальностей. Пожалуй, реже всего среди них можно было встретить представителей коренного населения континента – индейцев или представителей семнадцатимиллионного негритянского населения.

Джаван приехал из Ирана, не зная английского языка, но, проработав несколько лет в окружении таких ученых, как Раби, Таунс, Куш, составивших славу Колумбийскому университету, не только акклиматизировался, но и освоил тончайшее искусство физического эксперимента. Вместе с тем он вполне овладел и математическим аппаратом

физической теории, без которого научный эксперимент скатывается к ползучему эмпиризму.

Квантовая электроника, одной из точек роста которой был Колумбийский университет, привлекала способных молодых ученых бескрайними перспективами своих возможностей, головоломными задачами, возникавшими на каждом шагу, трудностями, поджидающими тех, кто идет впереди.

Джаван решил посвятить себя созданию газового лазера. Газовый лазер должен был иметь ряд преимуществ перед твердотелым. Именно тех преимуществ, которые казались недостатками при сравнении усилителя на пучке молекул аммиака с твердотелым парамагнитным усилителем.

Молекулы газов имеют узкие спектральные линии. Это должно было сделать излучение будущего газового лазера очень узкополосным. Как сказали бы оптики, очень монохроматическим, то есть очень одноцветным. Именно этого не доставало лазерам на рубине, хотя они были очень и очень одноцветными по сравнению со всеми известными ранее источниками света.

Несмотря на то, что в первой статье Таунса и Шавлова речь шла именно о газовом лазере, сначала, как известно, родился лазер на рубине – твердотельный лазер. Это объясняется трудностью осуществления того варианта газового лазера, который обсуждался Таунсом и Шавловым. Авторы предлагали применить в качестве активного вещества пары щелочных металлов и использовать оптическую накачку. Впрочем, такой вариант все же был осуществлен, однако значительно позже.

Джаван решил отказаться от лобовой атаки и использовать для получения активной среды обходный путь. Правда, в некотором смысле этот путь должен был быть более прямым. Ведь при оптической накачке требуется очень яркий свет. В рубиновом лазере это свет лампы-вспышки, получаемый за счет мощного электрического разряда в трубке, наполненной ксеноном. Энергия света, даваемого такой лампой, составляет только малую долю от затраченной электрической энергии. Да и получаемый свет

используется очень плохо. Лишь очень небольшая часть его попадает в две сравнительно узкие полосы поглощения рубина. Остальной свет бесполезно поглощается в арматуре и переходит в тепло.

Так нельзя ли, подумал Джаван, использовать электрический разряд в газе непосредственно для получения активного инверсного состояния, избежав таким способом промежуточной стадии превращения электрической энергии в световую и связанных с этим потерь?

Электрические разряды в газах уже давно интересовали ученых. Еще Ломоносов и Рихман в России и Франклин в США изучали природу и свойства молний. Рихман трагически погиб во время одного из своих опытов, когда молния, которую он при помощи железного прута завлек в лабораторию, отклонилась от предназначенного для нее пути. С тех пор прошло много времени. Исследования разнообразных свойств электрических разрядов в газах позволили глубоко проникнуть в их механизм. Появились и технические применения таких разрядов. Это и мощные выпрямители, в которых разряд в парах ртути превращает переменный ток мощных энергосистем в постоянный ток, движущий электровозы на железнодорожных магистралях и троллейбусы и трамваи в городах. Это и яркие огни газосветных реклам и целебное сияние «горного солнца» ртутного разряда, горящего внутри трубок из плавленого кварца, прозрачного для ультрафиолетовых лучей.

Но все, что добыли поколения ученых, исследовавших свойства газового разряда, говорило о крайней трудности получения в нем инверсионной населенности. Рассчитывать на получение активной среды таким путем было очень трудно. Нижние энергетические уровни газов заселялись под действием электрического разряда сильнее, чем верхние. А инверсия, как мы знаем, — это состояние, при котором хотя бы один из верхних уровней заселен сильнее, чем один из нижних.

К этому и был направлен обходный путь Джавана.

ВЕРОЯТНО ИЛИ НАВЕРНЯКА?

Физики и инженеры во многих случаях считают атомы и молекулы, образующие газ, идеально упругими шарикам. При столкновении такие шарики ведут себя подобно бильярдным шарам. Упругие столкновения играют важную роль при течении газов и при полетах самолетов, если только они не достигают сверхзвуковых скоростей. Но при возникновении электрических разрядов в газах решающую роль играют соударения второго рода, при которых энергия движения сталкивающихся атомов или молекул переходит в их внутреннюю энергию.

Джаван решил использовать именно такие соударения и избрал для этого одну из простейших систем – смесь двух наиболее легких инертных газов гелия и неона.

Если пропускать через разреженный гелий электрический ток высокого напряжения, в нем загорится бледно-голубой разряд. Неон в таких же условиях дает яркое красное свечение. По счастливой случайности нижний из возбужденных уровней гелия почти совпадает с одной из полос возбуждения неона. Это обстоятельство и решил использовать Джаван.

Он заключил в трубку небольшое количество гелия, так что его давление составляло лишь немногим более тысячной доли атмосферного давления, и добавил туда в десять раз меньшее количество атомов неона. Возбудив в трубке электрический разряд, Джаван увидел яркое красное свечение неона, более яркое, чем при отсутствии гелия. Голубоватого свечения гелия почти не было видно. Именно этого он и ожидал. Это он и провоцировал.

Электрический разряд, конечно, возбуждал атомы гелия. Но прежде чем они успевали самопроизвольно излучить свои голубоватые фотоны, с ними сталкивались невозбужденные атомы неона, отбирая у них запасенную энергию. При этом атомы гелия возвращались в невозбужденное состояние

без излучения фотона. Это был классический удар второго рода. Атом неона при столкновении отбирал у атома гелия избыточную внутреннюю энергию! При этом атом неона сам оказывался возбужденным, а небольшой избыток внутренней энергии атома гелия уходил на нагревание газа.

Подобные процессы имел в виду Фабрикант, обсуждая вопрос о возможности наблюдения индуцированного излучения. Как теперь выяснилось, и другие ученые еще в тридцатых годах наблюдали, что в газовых разрядах населенности некоторых уровней инвертируются.

Но Джаван первым подошел к этому с позиций радиофизики. Он был хорошо знаком с аммиачным молекулярным генератором и хотел создать что-нибудь подобное на световых волнах. Джаван не только понял, что таким путем можно получить инверсию населенностей энергетических уровней неона, но и знал, что нужно, чтобы прибор загенерировал. Выбор Джавана был удачным потому, что тот уровень неона, который возбуждался при столкновении с возбужденным атомом гелия, входил в группу из четырех уровней, ниже которой, одна под другой, располагаются еще две группы. При переходе с возбужденного уровня на любой уровень верхней из этих групп должен излучаться фотон инфракрасного излучения с длиной волны около одного микрона. При дальнейшем переходе на один из уровней нижней группы излучаются фотоны красного света, хорошо знакомые по обычным неоновым реклам.

Предварительные исследования показали Джавану, что он может действительно надеяться на то, что в его трубке возникнет инверсия населенностей энергетических уровней неона, то есть он, вероятно, получит активную среду. Вероятно, но не наверняка. Еще осенью 1959 года Джаван не был уверен, что его прибор будет работать. Мы знаем, что именно это было темой его бесед с Басовым.

Вернувшись в Москву, Басов со своим молодым сотрудником О. Н. Крохиным построили необычайно прозрачную теорию, из которой было видно, что Джаван избрал верный путь. При некоторых условиях его прибор

должен был работать. Сейчас этот расчет Басова и Крохина вошел в учебники, но Джаван обошелся без него. Он полагался на свою интуицию и приближенные, но обнадеживающие оценки.

Получение активной среды – лишь одна часть задачи. Нужно обеспечить и обратную связь. Джаван поместил внутрь своей трубки два плоских зеркала. Расчеты показали ему, что лучшие серебряные зеркала недостаточно «зеркальны». Они отражают не больше 95 процентов падающего света, а вычисления требовали более 98 процентов. Иначе обратная связь оказалась бы недостаточной для возбуждения генерации. Прибор остался на бумаге.

Были изготовлены специальные зеркала, образованные более чем десятком перемежающихся слоев сульфида цинка и фторида магния. Каждый слой толщиной около половины микрона практически прозрачен. Все слои вместе тоже кажутся прозрачными. Они пропускают почти весь свет. Только волну длиной в 1,15 микрона они почти полностью отражают. Для этой волны отражающее действие всех слоев складывается, подобно толчкам от весел хорошо сработавшейся команды гребцов.

Человеческий глаз не видит инфракрасного излучения. Но для коротковолновой части этого диапазона существуют электронно-оптические преобразователи, превращающие инфракрасное излучение в видимое. Поместив такой преобразователь на оси своего прибора, Джаван увидел, как его экран осветился. Это значило, что из прибора выходит инфракрасное излучение. Постепенно увеличивая ток через прибор, Джаван наблюдал увеличение свечения. Потом вдруг на экране ярко засияло небольшое круглое пятно. Остальная часть экрана казалась совсем темной. Так впервые заработал газовый лазер.

В отличие от рубинового лазера Меймана газовый лазер Джавана работал непрерывно все время, пока был включен питающий его источник электроэнергии. Непрерывная работа объяснялась тем, что хаотическое

тепловое движение вызывало быстрое перемешивание газа, и активных атомов было достаточно, чтобы генерация не прекращалась.

Большая однородность газа по сравнению с лучшими кристаллами рубина обеспечила существенное преимущество лазера Джавана перед лазером Меймана. Луч света, выходящий из газового лазера, был в сотни раз более узким, чем в случае рубинового лазера.

У газового лазера расхождение луча вызывается только двумя причинами – несовершенством зеркал (их отклонением от идеальной плоскости) и дифракцией, то есть неизбежным загибанием световых волн за край ограничивающего их отверстия. В случае рубинового и других твердотельных лазеров большое дополнительное расхождение луча вызывается неоднородностями среды, возникающими при изготовлении кристалла. Подобные неоднородности, конечно, много большие по величине, можно видеть в оконном стекле, где они иногда вызывают заметные искажения формы предметов, наблюдаемых через стекло.

Исследование свойств излучения, даваемого газовым лазером, подтвердили надежды Джавана. Действительно, спектр излучения газового лазера был очень похож на спектр молекулярного генератора. Он состоял из немногих очень узких спектральных линий. Присутствие нескольких линий вызвано тем, что в генераторе одновременно возбуждались различные типы колебаний, как это бывает в скрипичной струне. Смычок, как правило, одновременно возбуждает множество звуковых тонов, которые, налагаясь друг на друга, обеспечивают характерное звучание скрипки. При известном искусстве скрипач может добиться возбуждения чистого тона. Этого же удастся достичь в газовом лазере. Для этого нужно ограничить ток, проходящий через газ, с тем чтоб возбуждение было небольшим, и поставить между зеркалами одну или несколько диафрагм. Диафрагмы будут действовать подобно сурдинке, которую иногда применяют скрипачи с целью подавить нежелательные колебания струны.

МОГИЛЬНАЯ ПЛИТА И НАУКА

Наука – это тоже в большой степени искусство, и от ученых требуется виртуозное владение своим инструментом. Джаван в своей области, несомненно, является виртуозом, и ему удалось заставить газовый лазер генерировать только один тип колебаний. При этом в его спектре остается одна очень узкая спектральная линия, настолько узкая, что она может соперничать со спектральной линией молекулярного генератора. Конечно, достичь этого было нелегко. Пришлось увеличить жесткость конструкции лазера и защитить его от всех внешних воздействий. Для этого эксперименты проводились в глубине заброшенного винного подвала, расположенного вблизи Эм-Ай-Ти, куда к тому времени перешел Джаван.

Первое, что бросалось в глаза входящему, была огромная, многотонная могильная плита, подвешенная к потолку. Джаван заказал ее, чтобы использовать в качестве рабочего стола. До чего же остроумно он поступил! Я вспоминаю, как после окончания института одной из первых моих работ было создание специального камертонного генератора. Обыкновенный камертон, с помощью которого музыканты настраивают свои инструменты, служил колебательным контуром, определяющим частоту моего лампового генератора. Я закрепила ножку камертона на своем лабораторном столе, присоединила его к схеме – и генератор ожил. Все шло хорошо, камертон монотонно звучал, но время от времени он начинал заикаться. Оказывается, ему передавалось сотрясение почвы от проходящих где-то далеко грузовиков! И еще: автоматический самописец, который я оставляла работать и ночью, говорил, что камертон капризничал рано утром. Я долго ломала голову – почему именно по утрам? Товарищи в шутку строили предположения о влиянии Венеры, утренней звезды, пятен на Солнце, на которые валят все непонятное.

Все оказалось гораздо прозаичнее – тетя Ньюша, наша уборщица, сметала с камертона пыль!

Тогда я написала устрашающий плакат: «Не трогать! Смертельно!» А тетя Ньюша продолжала вносить свой вклад в научное исследование. Не оставалось ничего другого, как застать ее врасплох.

– Тетя Ньюша, что же вы со мной делаете?! Плакат читали?

– Ох, милая, я же неграмотная. Плакат видела. Только думала, что ты за звание борешься.

Итак, я тоже работала в подвале, но не додумалась обзавестись могильной плитой! Правда, мой начальник, наверно, упал бы в обморок от такого расхода, зато ни машины, ни тетя Ньюша генератора бы не достигли.

Но вернемся к Джавану. В тепличной обстановке его" лаборатории лазеры могли показать, на что они способны. И показали! При сравнении световых волн, испускаемых двумя одинаковыми лазерами, оказалось, что их частоты не изменяются больше чем на несколько колебаний в секунду.

Работы Джавана получили дальнейшее развитие.

Уже действуют многочисленные газовые лазеры на смесях других газов.

Впрочем, и лазер на смеси гелия и неона может работать в других режимах, генерируя не только невидимые инфракрасные волны длиной в 1,15 микрона, но и инфракрасные волны других длин и видимый красный свет с длиной волны около 0,63 микрона.

Впоследствии оказалось возможным добиться генерации и в чистых газах, и не только под действием электрического разряда. Инверсия населенностей в некоторых газах может быть достигнута и при их освещении, то есть путем оптической накачки, как это предлагали Таунс и Шавлов.

При оптической накачке атомы газа независимо один от другого поглощают фотоны, хаотически вылетающие из яркой лампы. Но в процессе квантовой генерации все атомы испускают фотоны строго согласованно.

Здесь происходит замечательный процесс преобразования хаоса в образцовый порядок. Процесс, еще теперь кажущийся чуть ли не противоестественным.

Газы постепенно открывали перед учеными новые и новые возможности. Выяснилось, что для квантового генератора пригодны не только газы, состоящие из нейтральных атомов, но и плазма – газ, состоящий преимущественно из ионов и свободных электронов. Ионные или, как их иногда называют, плазменные лазеры позволили продвинуться еще дальше в область ультрафиолетовых волн, значительно увеличить число спектральных линий, используемых в квантовых генераторах.

Вслед за ионами наступила очередь молекул. Обычный углекислый газ оказался превосходным активным веществом, при помощи которого удалось получить в непрерывном режиме мощность почти в 200 ватт на волне около 10,5 микрона.

Двести ватт – это мощность большого электрического паяльника. Представьте себе эту мощность сосредоточенной на острие иголки. Трудно предвидеть все технологические возможности, открываемые применением такого луча. Учтите еще, что волна в 10 микрон попадает как раз в «окно прозрачности» земной атмосферы. Этот невидимый инфракрасный свет наиболее слабо поглощается газами, составляющими воздух, сравнительно мало поглощается парами воды и не очень рассеивается каплями дождя. Чего же еще могут желать люди, работающие над системами оптической связи и другими применениями лазеров, связанными с прохождением их лучей через атмосферу!

Но и это не исчерпало возможностей, открываемых газами. Они помогли применить в квантовой электронике давно известное влияние света на химические реакции. Каждый знает о вредных проявлениях фотохимических реакций. Они вызывают выгорание многих красок, порчу резины, старение пластмасс. Есть, конечно, и полезные реакции такого типа. Без них невозможна жизнедеятельность большинства растений. Ведь только

солнечные лучи приводят в действие химическую фабрику, скрытую в зеленых листьях.

Химики давно обнаружили, что под действием света распадаются не только плохие краски, но и молекулы некоторых газов. Физики сперва расчетами, а потом и опытами выяснили, как добиться того, чтобы осколки развалившихся молекул оказывались возбужденными. Конечно, этого недостаточно для создания лазера, но появляется надежда. Нужно найти подходящее вещество и поставить его в такие условия, при которых возбужденных осколков больше, чем невозбужденных. Знакомая ситуация: передатчиков должно быть больше, чем приемников!

Так, после тонких и сложных исследований появился новый тип газовых лазеров, основанных на применении фотодиссоциации молекул.

Перед газовыми лазерами открыты широкие перспективы. Уже сейчас они дают тысячи наиболее узких спектральных линий, расположенных в огромном диапазоне от ультрафиолетовых до субмиллиметровых волн. Они успешно соперничают с твердотельными лазерами по мощности и экономичности. Над их усовершенствованием работают в сотнях лабораторий.

ОБЕД ПО ПОЛУПРОВОДНИКАМ

Вернемся к середине сентября 1959 года, когда близ Нью-Йорка собралась первая Международная конференция по квантовой электронике. Там было всего около полутора десятков пионеров новой науки. Лазеры еще не работали, правда, они уже тревожили воображение, но повестку дня еще не очень перегружали. И тем не менее она была так насыщена, что конференция выплескивалась далеко за стены небольшого зала, в котором происходили заседания. Да и вся обстановка способствовала этому. Хай Вью – тихое местечко, где оазисом была гостиница Шаванга-Лодж, вокруг лес, поля,

рядом бассейн. Стояла такая жара, что после заседаний ученые, сбросив костюмы и оставшись в шортах, охотно беседовали на свежем воздухе. Я видела фотографии, простые любительские фотографии. Вот Таунс в трусиках, размахивая полотенцем, во главе таких же несолидных личностей мчится купаться. Они так спешат, что фигуры размыты, как на картинах импрессионистов, пытавшихся передать движение. Вот между Басовым и Прохоровым улыбающийся, добродушный Бонаном. Все с бокалами в руках. Бонаном хитро улыбается. Оказывается, он, поднимая тост, сказал, что пьет за Басова и Прохорова – будущих нобелевских лауреатов! Через семь лет в поздравительной телеграмме Бонаном вспоминает о своем пророчестве.

А вот Джаван и Басов буквально уткнулись друг в друга – дискуссия захлестнула их где-то по дороге. Басов критикует его расчет. Джаван нахохлился, он озабочен.

Вот Блумберхен, наклонившись, пишет что-то на песке. За ним внимательно следит Корниенко из Московского университета и еще кто-то, стоящий спиной к фотоаппарату.

Вся эта непосредственная и непринужденная обстановка в Шаванга-Лодже сделала возможным одно совершенно невозможное обсуждение.

Программа первой квантовой конференции была так перегружена, что самый неожиданный для организаторов конференции доклад не попал в программу. Лишь немногие из делегатов обратили внимание на объявление: «Желающие обсудить перспективы применения полупроводников в квантовой электронике могут сделать это во время обеда. Сообщение за общим столом сделает профессор Н.Г. Басов из института Лебедева в Москве».

Вряд ли кто-либо ожидал, что мест не хватит и придется просить официантов поставить дополнительные приборы. Собралось свыше тридцати человек, более четверти всех участников.

Басов рассказал о расчетах, начатых в 1957 году и выполненных им вместе с" Б. М. Вулом и Ю.М.Поповым. Формулы показывали, что, пропустив через пластинку, вырезанную из подходящего полупроводника, мощный электрический разряд, можно добиться в ней генерации инфракрасных волн. Это открывало совершенно новый путь.

Так прошла не конференция, не заседание, даже не семинар, а обед по полупроводникам.

Полупроводниковый обед прошел настолько успешно, что Басов остался совсем голодным. В пылу дискуссии ему было не до еды.

Так случилось, что один из наиболее интересных вопросов даже не попал в официальный том трудов конференции.

Теперь, размышляя о странном невнимании к сообщению Басова, приходится объяснять это, пожалуй, тем, что, видно, не назрело время для полупроводниковых лазеров, а главное – трудной судьбой самих полупроводников, которым с таким трудом далось признание.

Издавна так повелось, что ученые применяли либо проводники, либо изоляторы. А полупроводники – «ни рыба ни мясо», были просто какими-то пасынками. Действительно, кому придет в голову применять плохие изоляторы, если можно использовать хорошие?

Полупроводниковые лазеры оказались трудным орешком, и первый прорыв в неосвоенный оптический диапазон произошел по другим направлениям.

Уже в 1960 году заработал рубиновый лазер, а вскоре и его газовый собрат. К марту следующего года, когда собралась вторая конференция по квантовой электронике, к ним присоединились еще несколько лазеров на кристаллах, стекле и различных газах. Темпы развития и достигнутые результаты были так велики, что конференция, которая теперь собралась в университетском городке Беркли в Калифорнии, прошла под знаком лазеров.

О каких только лазерах здесь не говорили! Но суть конференций такого рода не столько в подведении итогов, сколько в обсуждении новых идей.

Здесь, пожалуй, наибольший резонанс встретил доклад Р. В. Хеллворса об управляемых импульсах люминесценции. Он проложил путь управлению свойствами резонатора, открыл возможность перехода от хаотической свободной генерации к генерации гигантских коротких импульсов света с мощностями, составляющими десятки миллионов киловатт.

В глубоком докладе Н. Блумберхена и П. Першана старый вопрос о модуляции света нашел новое освещение, созвучное задачам лазерной эры.

Один доклад, посвященный лазерам, следовал за другим. Они заняли две трети программы. На их фоне отступили на второй план квантовые усилители и генераторы радиодиапазона.

И только один доклад на этой конференции был посвящен полупроводникам. Докладчиком был Басов. Он рассказал о трех новых методах, предложенных советскими учеными для приведения в активное состояние различных полупроводников, о различных вариантах одного из методов, разработанных им вместе с О. Н. Крохиным и Ю. М. Поповым.

Доклад, казалось, не встретил резонанса. И не удивительно. В область видимого и инфракрасного излучений уже были проложены широкие дороги. Уже многие десятки лабораторий изучали один кристалл за другим, перебирали всевозможные газовые смеси. В каждом номере физических журналов появлялись статьи о новых и новых лазерах. Кому же при этих условиях хотелось тратить силы на укрощение полупроводников, с которых лишь недавно и далеко не полностью было снято покрывало таинственности? Но полупроводники упорно стучались в двери нашего времени. И их удивительные свойства не могли не привлечь внимание физиков, а затем и инженеров. Теперь, несомненно, наибольшей известностью среди всех полупроводниковых приборов пользуются транзисторы – устройства, во многих случаях вытеснившие электронные лампы. Словом «транзистор» зачастую называют не только полупроводниковый прибор, служащий для усиления и генерации электрических колебаний, но и портативные радиоприемники или магнитофоны, в которых применяются транзисторы. Но

специалистов по электронике такое словоупотребление коробит так же, как химиков шокирует применение слова «пластик» к полимерному плащу.

Создание транзистора и наиболее простого полупроводникового прибора – диода стало возможным после того, как физики научились управлять свойствами полупроводников, превращать его по желанию то в изолятор, то в проводник.

Любовь слепа. И я не удивилась, когда в лаборатории полупроводников мне сказали, что диэлектрики – это просто плохие полупроводники. Их электрическое сопротивление не поддается управлению, и поэтому им уготована скромная роль изоляторов. Металлы, говорил мне вполне серьезный ученый, тоже плохие полупроводники. Из них невозможно сделать ничего более сложного, чем электрические провода.

Иное дело полупроводник, продолжал он. Соединив два подходящих полупроводника или даже полупроводник и металл, мы получаем электрический вентиль. Электрический ток легко проходит через это соединение в одну сторону и встречает большое сопротивление в противоположном направлении. Немного усложнив эту конструкцию, можно сделать такой вентиль управляемым. Управляемым при помощи очень слабого электрического тока. Полупроводниковый прибор, при помощи которого слабый ток управляет сильным, и есть транзистор.

Сопротивление некоторых полупроводников, а также переходных слоев между ними сильно изменяется при освещении. Обнаружив это, ученые создали замечательные приемники и преобразователи света, превращающие свет в электрический ток.

Удивительные свойства полупроводников, победно входивших в одну область радиоэлектроники за другой, давно привлекли внимание Басова. Он вспоминает, как в столовой ФИАНа рядом с ним оказался молодой физик Ю. М. Попов. Дело было в 1956 году, вскоре после того, как Басов защитил свою докторскую диссертацию. Кстати, это была первая в мире докторская диссертация, посвященная квантовой электронике. Легко представить себе

состояние легкости и душевного подъема, в котором он в то время находился. Попов спросил его о планах на будущее. И Басов рассказал о своих мыслях, еще весьма неопределенных. О возможностях, скрытых в полупроводниках. Они начали работать вместе. Так история полупроводниковых лазеров началась во время обеда. Между этим обедом и тем – в ресторане Шаванга-Лодж – были бесконечные беседы, консультации с одним из опытнейших специалистов в физике полупроводников Б.М. Вулом, а затем и расчеты. Работали и втроем, а больше врозь, собираясь лишь для обсуждения, взаимной проверки и критики. Так, пока на бумаге, родился первый метод создания полупроводникового лазера. Расчет показал, что мощный кратковременный импульс электрического тока должен привести полупроводник в активное состояние.

ТЕМП НАРАСТАЕТ

После возвращения Басова из заокеанской поездки, работа продолжалась все более энергично. Начались эксперименты. К теоретическим исследованиям подключился О. Н. Крохин. Попов и Крохин проявили себя в этой работе как нерасторжимое целое, хоть и трудно представить себе две столь несхожие индивидуальности. Попов внешне очень молод. Работая у Басова уже лет десять и став доктором физико-математических наук, он кажется беспокойным студентом. Он горяч, темпераментен, в пылу дискуссии, говорят, ему лучше не попадаться под руку. Крохин спокоен, сдержан. Хоть ему тридцать два, у него седая голова, он строен, элегантен, такими я почему-то представляю себе холодноватых англичан. Очень одарен, у него уже свыше шестидесяти научных работ. Сотрудники говорят, что по уровню он выше доктора, только защищаться ему некогда, или считает, что не все открыл.

Попова и Крохина много и охотно цитируют за границей, считают их незаурядными учеными. И они в большой степени вообще типичны для молодого поколения советских физиков: своей работоспособностью, напористостью, широтой интересов. Попов специализировался по люминесценции, но, увлекшись полупроводниками, круто и безболезненно изменил область работы, быстро став здесь одним из ведущих специалистов.

Когда Крохин пришел в лабораторию Басова после университета, он поразил всех своим знанием «минимума» Ландау – знал его от корки до корки. А «минимум» Ландау – это известные во всем мире толстые тома курса физики, написанные Ландау и Лифшицем, за которые они получили Ленинскую премию. Теперь таких томов, кажется, девять! Эти тома, конечно, не входят в программу обучения студентов, это высший пилотаж, но наиболее одаренных, а их немало, они манят, как вершина Эвереста. И есть такие, которые восходят. Взошел и Крохин и оказался как нельзя более подготовленным к квантовой электронике.

Итак, Басов, Попов и Крохин сочли проблему полупроводниковых лазеров «проблемой номер один». Фронт исследований стал шире, работа пошла быстрее, и ко времени рождения первых лазеров – рубинового и гелий-неонового – советские ученые смогли предложить еще три способа привлечения полупроводников на службу квантовой электронике.

Оказалось, что и в этом случае можно воспользоваться трехуровневой схемой, с успехом применяемой и в парамагнитных усилителях и в лазерах на рубине или других люминесцентных кристаллах. При этом полупроводник переходит в активное состояние, и, если обеспечена достаточная обратная связь, в нем начнется генерация электромагнитных волн. Для накачки полупроводникового лазера очень выгодно применять свет лазеров других типов или излучение специальных полупроводниковых источников света.

Басовцы доказали, что полупроводники могут быть приведены в активное состояние и в результате бомбардировки быстрыми электронами.

При этом должно возникать очень мощное излучение из малого объема полупроводника. Но, к сожалению, электронная бомбардировка приводит к выделению большого количества тепла и вредному нагреванию полупроводника. Поэтому, несмотря на интенсивное охлаждение, полупроводник может выдерживать бомбардировку быстрыми электронами только, если они подаются короткими импульсами.

Наконец, для создания полупроводникового лазера оказалось подходящим полупроводниковое устройство, мало отличающееся от одного из типов полупроводниковых диодов. Можно было даже предвидеть, что для его создания достаточно применить уже известные способы введения некоторых примесей в очень чистый полупроводник. Физики хорошо знали, что примесь, нанесенная на поверхность чистого полупроводника, при нагревании постепенно проникает в его толщу, изменяя свойства полупроводника.

Идея советских ученых состояла в том, чтобы приводить полупроводник в активное состояние, пропуская электрический ток через границу, отделяющую чистый полупроводник от области, в которую проникла примесь. Расчеты показали им, что при этом вблизи границы должна возникнуть активная зона.

Так, в результате трехлетних упорных исследований к 1960 году Басов, Вул, Крохин и Попов теоретически обосновали четыре метода создания полупроводниковых лазеров. Постепенно этими возможностями заинтересовались и экспериментаторы.

Однако специфические особенности полупроводников долго не позволяли реализовать ни один из предложенных методов. Ведь для того чтобы придать полупроводнику заранее предвычисленные свойства, нужно сперва изготовить исходный материал, в котором среди миллиардов его атомов не было и одного атома примеси. Но этого еще далеко не достаточно. В этот сверхчистый материал нужно еще строго определенным образом ввести точно рассчитанное количество специально подобранной примеси.

Все эти операции должны проходить с соблюдением такой чистоты, которая может сравниться лишь с условиями лучшей операционной палаты, причем сравнение окажется не в пользу хирургии.

Лишь в 1962 году две группы американских исследователей, пропустив короткие импульсы электрического тока через специально приготовленные кристаллы арсенида галлия, заставили их генерировать невидимые инфракрасные лучи. Интересно, что обе группы воспользовались исходным материалом, изготовленным в одной из английских лабораторий. Попытки работать с другим сырьем приводили лишь к неудачам. Эти опыты были вскоре повторены в Физическом институте и в Физико-техническом институте АН СССР на советском арсениде галлия.

А затем Басов и его сотрудники создали полупроводниковые лазеры, возбуждаемые пучком быстрых электронов и оптической накачкой. Они испускали и зеленый свет и инфракрасные лучи.

Недавно им удалось реализовать и самое первое предложение – возбуждение электрическим пробоем. Путь, найденный раньше других, оказался самым трудным.

Полупроводниковые лазеры отличаются рядом крайне полезных свойств, очень важных особенностей. Например, они лучше других преобразуют электрическую энергию в световую. Они открывают возможность непосредственно, почти без потерь, преобразовывать электрический ток в свет – возможно, это несет революцию в светотехнику и наши дома будут освещаться такими полупроводниковыми осветительными лампами! Теория обещает им стопроцентный КПД!

Полупроводниковые лазеры, как и другие полупроводниковые приборы, очень легко и просто поддаются управлению. А это крайне важно для применения в системах связи и в вычислительной технике. Уже сейчас потери энергии в них сокращены до 30 процентов, а в некоторых случаях не превышают 20 процентов.

Полупроводниковые приборы старшего поколения – диоды и транзисторы – открыли путь к миниатюризации радиоприемников, электронных вычислительных машин и других приборов. Полупроводниковые лазеры тоже несравненно миниатюрнее своих предшественников. Их размеры могут быть доведены до микронов, то есть до масштабов, соизмеримых с длиной волны генерируемых ими колебаний. Это позволяет создать сверхминиатюрные и очень чувствительные усилители света.

Теория показывает, что усилители света, как и усилители радиоволн, обладают вредными внутренними шумами. Величина этих шумов возрастает вместе с размерами усилителя. Чем больше световых волн укладывается внутри усилителя, тем сильнее его собственные шумы. Но и в газовых лазерах и в лазерах на кристаллах и стеклах усиление, достижимое на одном сантиметре длины усилителя, не велико, а ведь в этом сантиметре укладываются десятки тысяч световых волн. Самый прямой путь уменьшения внутренних шумов лазера-усилителя – увеличение усиления. Но опыт показывает, что достичь этого очень и очень трудно. Только применение полупроводников позволяет сейчас надеяться на создание оптических усилителей размером, приближающимся к длине световой волны, а значит, имеющих очень малые внутренние шумы.

Недавно Басов и Богданкевич предложили использовать высокий коэффициент усиления полупроводниковых усилителей света для создания нового типа лазера. Они назвали его генератором с излучающим зеркалом. Почему? Потому, что его основой является зеркало, покрытое тонкой пленкой полупроводника. Малая толщина пленки позволяет хорошо отводить из нее вредное тепло, и благодаря этому возникает возможность получить от такого лазера большую мощность.

Малые размеры полупроводниковых лазеров помогают получить сверхкороткие вспышки света, длящиеся всего одну тысячную от миллиардной доли секунды. Уже сейчас удастся за такие короткие

промежутки времени управлять работой полупроводниковых лазеров, что открывает возможность создания сверхбыстродействующих вычислительных машин.

В некоторых полупроводниках простым подбором их состава можно более чем в три раза изменять генерируемую длину волны.

Самое молодое направление квантовой электроники, еще недавно незаметное в тени блестящих старших сестер, все больше проявляет свои скрытые достоинства. Полупроводники, еще недавно бывшие за пределами науки и техники, вышли на самый передовой ее рубеж.

Теоретические и экспериментальные работы советских ученых, приведшие к созданию полупроводниковых лазеров, были в 1964 году удостоены Ленинской премии. Это вторая Ленинская премия за работы в области квантовой электроники. Ее получили сотрудники ФИАНа Б.Н. Вул, О.Н. Крохин, Ю.М. Попов и А.П. Шотов и сотрудники ЛФТИ Д.Н. Наследов, А.А. Рогачев и С.М. Рыбкин.

В феврале 1963 года в Париже собралась третья Международная конференция по квантовой электронике. По числу участников она в семь раз превосходила первую конференцию. Одна американская делегация была численностью в полтысячи человек. Отчасти это побудило организаторов избрать для конференции здание ЮНЕСКО с большими залами, просторными коридорами и помещениями, специально приспособленными для многолюдных дискуссий. В отличие от предыдущих конференций теперь одновременно работали по две секции, заседавшие дважды в день. Но и этот напряженный режим не позволил включить в программу все поступившие доклады.

После долгих обсуждений оргкомитет решил ограничить конференцию фундаментальными физическими проблемами, перенеся доклады, посвященные применениям лазеров, на отдельную конференцию.

Пять дней с раннего утра до позднего вечера шли дискуссии. Теперь полупроводниковые лазеры заняли равноправную позицию, наряду с

газовыми и теми, которые по традиции называют твердотелыми, как будто полупроводники не принадлежат к числу твердых тел. Специальное заседание пришлось посвятить совершенно новой области – нелинейной оптике, изучающей процессы, возникающие под действием гигантских импульсов света, даваемых особыми лазерами.

Самыми драматическими здесь были, пожалуй, доклады о когерентном комбинационном рассеянии, которое авторы по зарубежной традиции называют вынужденным рамановским излучением, или рамановским лазером.

Комбинационное рассеяние света, открытое в начале 1928 года Ландсбергом и Мандельштамом и независимо Раманом и Кришнаном, уже давно стало мощным средством изучения жидкостей и кристаллов. Применение лазерного света привлекало не только огромным ускорением исследований, но и возможностью обнаружения новых эффектов. Теория предсказывала, что лазерный свет при известных условиях должен рассеиваться совсем не так, как свет от обычных источников. Многие пытались это найти, но неудачно. Е. И. Вудбери из лаборатории Хеллворса рассказал о том, как почти случайно, изучая причины ошибок, обнаруженных во время обычной работы по исследованию некоторых жидкостей по комбинационному рассеянию в них света лазера, они наткнулись на неуловимый эффект. Теперь его без труда изучают во многих лабораториях.

Бурное развитие квантовой электроники отчасти отображается двумя цифрами – лишь оглавление трудов конференции занимает 13 страниц, а сами труды заполняют почти 2000 страниц большого формата.

Через три года специалисты по квантовой электронике подготовили свою четвертую международную встречу. Но то, что там было запланировано, могло выдержать только мужественные и тренированные люди. Им предстояло заседать уже трижды в день с восьми часов утра до вечера. Иначе невозможно за отведенное время охватить все богатство, накопленное квантовой электроникой за минувшие три года.

И СНОВА... ПРЕДЧУВСТВИЯ

ХАУ ДУ Ю ДУ!

Низкий величественный звук потряс окрестности. Он заглушил тихое урчание двигателя «Волги». Водитель видел в зеркальце, как беззвучно шевелятся губы одного из пассажиров. Это было как в немом кино. Мимо автомобиля проносились густые подмосковные леса. Под колеса уходила серая полоса асфальта. Как тени, проскакивали встречные машины. Все звуки исчезли, подавленные ни с чем не сравнимым рокотом реактивных двигателей.

Не успели путники приспособиться к этому молчаливому и ревущему миру, как грохот начал быстро ослабевать и снова возник свист ветра за окнами и шуршание шин мчащейся машины, а потом и трели какой-то бесстрашной пичуги. Далеко впереди из-за леса появился силуэт реактивного лайнера, круто взмывающего в голубую высь.

Машина огибала Шереметьевский аэродром. Вдали, как затихающая струна контрабаса, звучал рокот уходящего самолета.

– Почти как на космодроме, – сказал один из путников.

– Не бывал, – откликнулся другой.

Машина проехала вдоль здания аэропорта и развернулась к стоянке. Вслед за ней подъехала вторая и стала рядом. Приехавшие вышли и направились туда, где на многих языках было написано «Прибытие».

Один из них – очень высокий и худощавый – что-то весело говорил, сопровождая слова энергичной жестикуляцией. Ему спокойно отвечал плотный человек в очках.

– Хуже нет, чем ждать, – сказал высокий.

– Хуже нет, чем ждать и догонять, – поправил его второй.

– Пожалуй, догонять хуже. Пусть лучше нас догоняют, – добавил их спутник.

– Подождем, – заключил высокий. – Подождем, осталось немного.

И действительно, вскоре у горизонта показался самолет. Он приближался, как орел к гнезду. Выпущенные под крыльями шасси напоминали огромные лапы. Переднюю стойку при некоторой дозе воображения можно было принять за клюв. Опущенные закрылки напоминали распушенные маховые крылья, которыми птица тормозит свой полет перед тем, как сесть.

Самолет мягко коснулся бетонной полосы, плавно затормозил и начал выруливать к зданию вокзала.

Несмотря на то, что из самолета вышло около сотни человек, встречающие сразу увидели тех, ради кого они приехали сюда в это раннее осеннее утро.

– Здравствуйте, как поживаете? – еще издали кричал один из приезжих, моложавый мужчина, его очки весело блистали в лучах яркого солнца. Он был высок ростом и легко нес свое небольшое брюшко.

– Хау ду ю ду, Саша, – радостно говорила его спутница, протягивая руку самому высокому из встречающих.

– Хау ду ю ду, Фрэнсис, – приветливо отвечал он, и они долго трясли друг другу руки.

И когда она со своим: «Хау ду ю ду, Никола» – обратилась ко второму из встречающих, первый со словами: «Здравствуйте, Чарли, вы здорово говорите по-русски», – протянул руку ее мужу.

– Здравствуйте, здравствуйте, я очень плохо говорю по-русски, – отвечал тот, а третий из встречающих, чуть отступя в сторону, щелкал своим фотоаппаратом.

Потом подошел и он и получил свою порцию «Хау ду ю ду» и «Как поживаете», и все направились в холл.

Обычные фразы «Как летели?», «Как самочувствие?» и «Вы прекрасно выглядите» заполнили первые минуты, и вскоре всем казалось, что они расстались только вчера, и легкая напряженность исчезла, и уже со стороны нельзя было определить, кто из них только что совершил перелет, начавшийся далеко за океаном, а кто еще вчера заканчивал приготовления к встрече гостей.

Вы, конечно, уже догадались, что мы присутствовали при прибытии в Москву лауреата Нобелевской премии Чарлза Таунса и его супруги, которых встречали разделившие с ним премию Басов и Прохоров. С ними были их друзья и сотрудники Крохин и Барчуков, ученый секретарь ФИАНа.

Любезный пограничник вручил приезжим паспорта, которые он украсил традиционными штампами прибытия, и пожелал им хорошо провести время в Советском Союзе.

– Теперь мы в Москве, – сказала миссис Таунс, – хотя пока это и не бросается в глаза. Разве только в уши. Некоторые здесь говорят по-русски, – улыбнулась она.

– Действительно, – поддержал ее профессор Таунс, – аэропорт как в любом большом городе. Правда, не везде есть русские надписи.

Чемоданы приезжих легко поместились в багажнике «Волги». Сами они сели в разные машины, чтобы оба могли занять места на переднем сиденье, места, позволяющие лучше видеть и фотографировать.

Зеленые леса и горящие под солнцем золотые нивы проносились за открытыми окнами машины.

Перелетев через легкий мост и описав плавную дугу, машины спустились на Ленинградское шоссе. Две прямые широкие ленты дороги, разделенные поросшим травой газоном, были заполнены грузовиками, автобусами и легковыми автомобилями.

Вскоре слева появились большие дома и внизу под шоссе прошла такая же широкая двухпутная магистраль. Впереди показался высокий стальной мост с большими буквами «Москва».

– «Канал Москва – Волга», – прочитал приезжий на табличке.

– Хау ду ю ду, Москау, – сказала его жена. После того как машины углубились в город, какой-то светофор разделил их. А так как в суматохе встречи они не договорились о маршруте, их ждало первое приключение. Басов решил отвести Таунса прямо в издательство, чтобы он мог получить гонорар за перевод его книги. Но когда они достигли площади Маяковского, машину с Прохоровым и госпожой Таунс они не увидели. Лишь впоследствии выяснилось, что гостье так захотелось поехать прямо на Красную площадь, что она упросила Прохорова изменить маршрут. Так, вместо гостиницы, где для приезжих был приготовлен номер, они укатили в самый центр советской столицы. Волнения, вызванные этой короткой разлукой, еще долго давали пищу для шуток.

ФИАН

Профессор Таунс прибыл в Москву по приглашению Академии наук. Он стремился как можно больше увидеть и узнать о Советской стране и о той области физики, в которой он работает. Поэтому на следующий же день, оставив жену на попечении переводчицы, он прежде всего отправился в Физический институт Академии наук СССР. Да и как могло быть иначе? Ведь Физический институт, носящий имя Петра Николаевича Лебедева, замечательного ученого, впервые обнаружившего на опыте давление света и измерившего величину этого давления, стал одним из мировых центров физической науки. Недаром посещение «Лебедеф институт» стало заветной целью физиков всех стран. В нем бывали Нильс Бор и Поль Дирак, Раман и Неру, Фредерик и Ирен Кюри и много других выдающихся ученых. И

институт гостеприимно распахивает свои двери перед маститыми учеными и молодыми стажерами, приезжающими, чтобы набраться мудрости в теоретическом отделе – школе академика И. Е. Тамма, – или обучиться экспериментальному искусству в самых разнообразных областях современной физики. Удивительная многогранность и широта научных интересов является отличительной чертой и основой научного потенциала этого института.

Таунс видел немало физических институтов во многих странах, и все же его неотразимо привлекал ФИАН.

Ведь институты, как и отдельные ученые, обладают своим, зачастую неповторимым научным почерком, специфическим стилем, даже вкусом, проявляющимся в выборе тем исследований и методов работы. Институт – это сложный организм и, как живое существо, он рождается, развивается и, к несчастью, может умереть.

Кто не знает институтов-однолюбов, преданных одному, иногда двум направлениям. Таков, например, Институт физических проблем в Москве. Таков Институт теоретической физики в Копенгагене.

Институт физических проблем ограничил свою деятельность главным образом проблемами, связанными с исследованиями в области сверхнизких температур. И здесь он добился выдающихся успехов. Конечно, его вдохновители академики П.Л. Капица и Л.Д. Ландау и другие сотрудники получили первоклассные результаты во многих других областях физики, но этот институт в первую очередь – царство низких температур.

Упоминание о копенгагенском Институте теоретической физики немедленно вызывает ассоциации с квантовой механикой. И не мудрено. Копенгагенский дух в течение десятилетий доминировал в квантовой теории. И в будущие годы, пока на Земле сохранится род людской, квантовая теория, конечно усовершенствованная, несомненно развитая много дальше, останется мощнейшим оружием человеческого познания. И люди, вспоминая историю ее возникновения, будут с благодарностью и восхищением думать

об интеллектуальной мощи копенгагенского Института теоретической физики.

Институты как люди. А люди не похожи друг на друга. Нильс Бор отдал все свои силы квантовой теории. Альберт Эйнштейн – теории относительности.

Эрнест Резерфорд – экспериментальному исследованию атома и атомного ядра. Это ученые-однолюбы. Конечно, и они иногда изменяли, сходили с основного пути. Так, Эйнштейн походя родил фотоны – кванты электромагнитного поля – и заложил основы квантовой статистики. Но это, быть может, плоды случайного увлечения. Он всегда возвращался к основной цели своей жизни.

Наряду с узкими специалистами всегда жили гениальные универсалы, великие энциклопедисты, подобные Ломоносову или Леонардо да Винчи. Мы встречаем и научные учреждения широчайшего охвата, каким является и всемирно известный «Лебедеф институт» в Москве. Сила таких людей и таких научных коллективов не в предельной сосредоточенности, а в широком живом обмене, во взаимном дополнении. И несомненно, замечательные открытия, сделанные в стенах Физического института, в значительной мере обязаны коллективному стилю, характерному для этого института.

Профессор Таунс знал многие труды его первого директора академика Сергея Ивановича Вавилова, всю свою жизнь работавшего в области оптики. Он специализировался главным образом на исследовании явления, казавшегося во времена его молодости одним из наиболее таинственных. В природе оно проявляется в свечении многих насекомых – светлячков, в мерцании морских волн или гнилушек, в холодном блеске желтого фосфора. Эти и многие другие явления охватываются близкими по сути понятиями люминесценции, флюоресценции и фосфоресценции. Но, сосредоточив свои личные способности в узкой области, Сергей Иванович оставался по своей натуре энциклопедистом. Он создал и развивал не институт люминесценции, даже не оптический институт, а физический институт. Он привлек в него

молодых одаренных специалистов многих областей физики, и это принесло свои плоды. Эти особенности Вавилова, стремление не замыкаться в облюбованной области, забота об общем развитии науки привели к его избранию на высшую научную ступень – на пост президента Академии наук СССР.

Но ведь ученый – это еще и человек. Особенно такой ученый, каким был Сергей Иванович Вавилов! Его портрет висит в конференц-зале Физического института рядом с портретом Петра Николаевича Лебедева. Школа Вавилова разрастается, как роща вокруг поверженного дуба. Многие помнят, как ежедневно в 9 часов он входил в лабораторию, работал сам, вникал в затруднения сотрудников, учил аспирантов и студентов. В двенадцать он становился директором. После обеда президентом. То, что мы называем свободным временем, уходило на написание книг, редактирование Большой Советской Энциклопедии... Раз в месяц он уезжал в Ленинград. Огромный Оптический институт считал его своим научным руководителем. Он помогал прокладывать курс корабля. Он многие годы спланировал и обучал его команду. И команда была достойна своего штурмана. От капитана до юнги.

Знал Таунс труды и других ученых, имена которых тесно переплелись с историей ФИАН. И прежде всего здесь нужно назвать академика Григория Самуиловича Ландсберга – замечательного экспериментатора, специалиста в области оптики, открывшего вместе с академиком Леонидом Исааковичем Мандельштамом замечательное явление комбинационного рассеяния света. Ландсберг по научным интересам был, пожалуй, ближе всех к Вавилову. Сейчас школа Ландсберга и школа Вавилова переплелись, как кроны двух стоящих рядом деревьев. Издали это одно целое. Нужно подойти к подножью огромных стволов, чтобы определить, от какого из них идет тот или иной сук. И любимые детища обоих замечательных ученых – люминесценция и комбинационное рассеяние – слились и обрели новую жизнь в квантовой

электронике, толчок к развитию которой дали Басов и Прохоров в ФИАНе и Таунс, работавший в Колумбийском университете в Нью-Йорке.

Таунс, конечно, хотел увидеть академика Владимира Иосифовича Векслера, независимо и одновременно с американцем Мак-Милланом выдвинувшего идею автофазировки. Как и с мазерами, это был еще один случай, когда советская и американская наука шла нога в ногу. Идея автофазировки позволила изобрести синхротрон, синхрофазотрон и другие типы ускорителей заряженных частиц. Эти гигантские машины буквально родили десятки новых элементарных частиц и своей нарастающей плодovitостью заставили физиков пересмотреть само понятие элементарности. Это была одна из причин, приведшая физику к новой ломке, к новой великой революции.

Американец, конечно, знал и имя Павла Алексеевича Черенкова. Ведь счетчики Черенкова – эти полпреды советской науки – помогли открыть много неведомых частиц на Брукхэвском космотроне. Они летают на американских космических ракетах и спутниках... Открытие Черенкова вызвало резонанс во всем мире. Число работ в новой области продолжает возрастать.

Интересно, рассказывал ли кто-нибудь заокеанскому гостю о том, как молодой аспирант, сидя в темном подвале, изучал люминесценцию чистых жидкостей? У нас об этом не раз писали, и вы уже догадываетесь, что подвал принадлежал лаборатории С. И. Вавилова, а аспирант – его ученик. Добавим, что время действия – начало тридцатых годов, а аспиранта зовут Павел Черенков. То, что он видит, не укладывается в неоднократно проверенную теорию учителя. Черенков после долгих и трудных опытов приходит к выводу, что наблюдаемое им свечение не люминесценция. Эксперименты, их обсуждение, их осмысливание занимают месяцы и годы. Но опыты Черенкова приводят только к увеличению количества утверждений, начинающихся на «не». То, что он наблюдает, не люминесценция, не

тормозное излучение, не..., не..., не..., но ничего более определенного сказать нельзя.

В игру включаются теоретики – И. Е. Тамм и И. М. Франк. Они бесспорно доказали, что Черенков открыл новое, совершенно неожиданное явление, ставшее с тех пор известным всему миру под названием «эффект Черенкова». Вместе с Вавиловым они разработали строгую и ясную теорию этого эффекта, получившего теперь широкое применение как новое орудие исследования микромира.

Вряд ли профессор Таунс когда-либо слышал эту историю. Но он, несомненно, знал, что П. А. Черенков и И. М. Франк и академик И.Е. Тамм были его предшественниками в Стокгольме. Ведь они в 1958 году получили Нобелевскую премию за открытие и объяснение эффекта Черенкова. Я не знаю другого института, кроме ФИАНа, где одновременно работают пять лауреатов Нобелевской премии!

Итак, Таунс прежде всего устремился в ФИАН, как называют его наши физики. Коротко и динамично. В устах иностранца это слово звучало особенно певуче и таинственно. Пусть говорят что хотят враги сокращений. ФИАН – красивое слово. Конечно, бывают сокращения-монстры, сокращения-сорняки. Но ФИАН вошел в наш язык так же прочно, как фотон, фонон или термояд. Да здравствует ФИАН – Мекка физиков!

С Петровских линий, в которых помещается «Будапешт», одна из старых московских гостиниц, ставшая временной обителью супругов Таунс, машина въехала в узкую часть Петровки и, влившись в односторонний поток движения, покатила к центру.

У шумного Столешникова переулка улица вдруг расширилась, но, видно, недостаточно и, уступив пешеходам часть мостовой, отгородилась от них красным металлическим барьером. Справа один за другим в улицу спускались узкие переулки. У перекрестка показалась более широкая улица, круто поднимающаяся налево. «Кузнецкий мост», – прочитал профессор, но никакого моста не было.

Обогнув Большой театр с его толстыми белыми колоннами, уходящими выше, чем позволяла видеть крыша машины, они попали на обширную площадь. Справа, на широких ступенях между восемью колоннами, и слева на зеленеющем сквере бродили стайки туристов. Блестели объективы фотоаппаратов и кинокамер. За широким проездом на площади показался второй сквер. Величественная бородатая голова, высеченная из серого гранита, смотрела на площадь. Карл Маркс, узнал профессор.

Американский физик был в центре коммунистического мира. Что ждет его здесь? Он оглянулся. Теперь театр был виден целиком. На высоком фронте застыла знакомая по фотографиям квадрига вздыбленных коней. Слева показалось опоясанное балконами здание. Справа на строгом сером фасаде горели золотые буквы: «Совет Министров СССР». Впереди снова открылась залитая асфальтом площадь. Из-за гостиницы показались башни и стены Кремля. Далеко направо уходил широкий прямой проспект. В самом начале его виднелась строительная площадка, обнесенная белой дощатой загородкой.

Машина медленно катилась по гладкому асфальту мимо старинных и новых зданий. Кремль исчезал и проглядывал вновь. Вот он снова предстал перед приезжим во всей красе, когда машина поднялась на широкий мост. За мостом они свернули в узкую улочку, которая вскоре влилась в площадь и перешла в прямую широкую магистраль. Машина пошла быстрее. Наконец она развернулась и, описав петлю, подъехала к ажурной решетке перед стоящим в глубине небольшого сада зданием.

По обеим сторонам ворот располагались небольшие павильоны. Вывеска у дверей правого из них сообщала, что именно здесь расположен Физический институт Академии наук СССР. Посреди обширной клумбы на постаменте возвышался бюст Петра Николаевича Лебедева. Тяжелые оштукатуренные колонны придавали зданию торжественно-казенный вид. Холодный вестибюль с мраморным полом с равным успехом мог быть

вестибюлем и театра и банка. Две мраморные лестницы, устланные красными ковровыми дорожками, поднимались на второй этаж.

В небольшом холле второго этажа в глаза бросались два стенда. На одном под надписью «Импульс» виднелись рисунки, фотографии и тексты, напечатанные на пишущей машинке. Внимание привлекал крупный заголовок: «Что я видел и чего не понял в России».

– Это наша газета, – сказал сопровождавший профессора молодой ученый, – стенная газета. В нее пишут и сотрудники и наши гости.

Стенд справа был покрыт рядами фотографий. На некоторых из них были изображены знакомые профессору лица. Надпись на стенде гласила: «Доска почета». Этого он еще никогда не видел.

Таунс ожидал, что его примет директор института академик Дмитрий Владимирович Скобельцын. Благородные черты лица Скобельцына хорошо известны американцам по газетным фотографиям конца сороковых годов, когда он в качестве советского представителя в атомной комиссии Организации Объединенных Наций боролся против пресловутого плана Баруха. Плана, целью которого было установление атомной монополии США под вывеской Объединенных Наций. Американцы знали, что академик Скобельцын после смерти С. И. Вавилова был избран директором ФИАНа. Знали, что фамилия Скобельцыных записана в Бархатную книгу, что это древнейший боярский род. И когда Скобельцын бывал в Америке, кое-кто по-своему пытался льстить ему, уверяя, что у него внешность сенатора.

Американским физикам хорошо известен и Скобельцын-ученый. Во многих учебниках описано, как, задумав изучить передачу энергии от кванта света – фотона к электрону, Скобельцын поместил камеру Вильсона в магнитное поле. Так он мог не только видеть следы электронов, но и измерять их энергию. Комптон, патриарх американской науки, прочитав его статью, прислал тогда еще совсем молодому ученому поздравительную телеграмму. Сейчас такой метод широко применяется во многих областях физики. При его помощи в начале двадцатых годов Скобельцын впервые

увидел след космической частицы. Увидел и на всю жизнь увлекся изучением физики космических частиц. Увлекся и увлек за собой многих. Его ученики и ученики его учеников в ФИАНе и в десятке других институтов составили самую мощную, самую передовую школу исследователей космических частиц. Эта школа дала многочисленные побеги, проросшие в других областях физики, прежде всего в области ядерной физики и физики элементарных частиц.

Таунсу, однако, не повезло – Скобельцына не было в Москве. Но нет худа без добра. Его встречал заместитель Скобельцына, которым оказался не кто иной, как Басов. Поэтому они смогли, не мешкая, перейти к самому, с их точки зрения, главному – к знакомству с работами в области квантовой электроники. Правда, до этого Басов ознакомил Таунса с подготовленной для него программой. Посещение лабораторий Басова и Прохорова в пятницу и субботу. Лекция профессора Таунса и посещение Института радиотехники и электроники Академии наук в понедельник. Осмотр других лабораторий ФИАНа – по его выбору и физического факультета МГУ во вторник. Поездка в Ленинград, поездка в Новосибирск, поездка в среднеазиатские республики, поездка в Ереван и Тбилиси. Наконец возвращение в Москву и заключительный визит в Институт кристаллографии Академии наук.

Кроме научной программы, предусматривались посещения театров, осмотр Кремля, экскурсии по городу и Подмосковию.

Таунс был явно поражен. Он, конечно, слышал о русском гостеприимстве. Но, несомненно, кто-то внушал ему мысль о «замкнутом обществе», о духе недоверчивости и секретности, о «железном занавесе». И вот он встретил радушный и доброжелательный прием, попал в атмосферу делового и искреннего сотрудничества.

Однако программа есть программа, и ее надо выполнять. Снова через холл мимо фотографий и потом налево по длинному коридору они прошли в крыло, в котором помещается лаборатория квантовой радиофизики, руководимая Басовым.

Еще несколько лет назад Басов и Прохоров работали вместе. Но за эти годы молодая квантовая электроника так развивалась, приток молодежи стал настолько большим, что работать в рамках одной лаборатории оказалось невозможным. Произошло организационное разделение. Так родилась Лаборатория квантовой радиофизики, «Басов-лэб», как ее называют иностранцы. Прохоров сохранил за своей старое название – лаборатория колебаний.

Итак, профессор Таунс входил в святая святых, к алтарю того бога, которому он и его спутники служили верой и правдой, в лабораторию квантовой радиофизики.

Отстанем от них. Они сейчас зайдут в небольшой кабинет Басова и начнут говорить о вещах, для нас, простых смертных, слишком сложных. Лучше подождем немного и присоединимся к ним, когда начнется осмотр лаборатории.

БАСОВ-ЛЭБ

Вот открывается дверь, и из кабинета Басова выходит Таунс. За ним Басов и его сотрудники. Они направляются в лабораторию. Пойдемте за ними. Квантовая теория нам не мешает. Наоборот, она поможет нам многое понять. Конечно, мы не будем пытаться изучить ее так, на ходу. Это невозможно, и не стоит пробовать. Но мы по мере необходимости будем пользоваться ее плодами. Ведь срывая яблоки с древа познания, не обязательно нагибаться к его корням, изучать движение жизненных соков, проникать в тайны фотосинтеза и строение хлорофилла.

Лаборатория! Велик русский язык. Но, как и другие языки, он далек от совершенства. Один из его пороков – многозначие слов. Вот, например, слово «лаборатория». Оно обозначает учреждение или часть учреждения, в котором ведутся исследовательские работы. Оно же обозначает и помещение,

приспособленное для научной работы, для проведения специальных испытаний или учебы.

Не больше пятнадцати лет прошло с тех пор, как Басов и Прохоров работали в помещении, состоящем из одной-единственной комнаты. Теперь их лаборатории – это большие творческие коллективы, работающие в прекрасно оборудованных помещениях. В них более сотни сотрудников. Уже многие из них стали кандидатами и докторами наук. В этом году к защите намечены двадцать диссертаций! Да и сами Басов и Прохоров приобрели солидность. Звание академиков – пока набиралась книга, их избрали в АН СССР, – ленинских и нобелевских лауреатов обязывает. Некоторые их ученики уже руководят большими коллективами в других институтах. И нам придется потрудиться, если мы хотим вместе с Таунсом познакомиться со всем, что делается здесь, в лабораториях. Ведь Таунс специалист, он понимает своих коллег с полуслова. Но не будем падать духом и пойдем за ним.

В комнате, в которую они вошли, стоял первый молекулярный генератор. Нет, он уже не работал. Сделав свое, он превратился в музейный экспонат. Как паровоз Черепановых, он уступил дорогу своим потомкам, которых теперь успешно вытесняют тепловозы и электровозы. Трудно сказать, к какому поколению относятся молекулярные генераторы, которые с интересом рассматривал Таунс. Во всяком случае, они успели изменить специальность. Они уже не отсчитывают точное время, а помогают ученым изучать тончайшие детали строения молекул, атомов и атомных ядер. Они вновь превратились в радиоспектроскопы, от которых они происходят, замкнув цикл эволюции.

Спектроскописты стремятся все более подробно изучать строение спектральных линий. Но спектроскопы, как и телескопы или микроскопы, не могут быть безгранично зоркими. Тонкие, но важные подробности ускользают от нас вследствие несовершенства существующих приборов. Теория строения атомов и молекул говорит, что многие спектральные линии

состоят из нескольких линий, сливающихся воедино только по вине спектроскопа. Именно эти недоступные наблюдению линии должны стать ступенями на пути к еще не покоренным вершинам науки. Для проверки теории и уточнения наших знаний крайне важно рассмотреть по отдельности эти слившиеся линии.

Изучение свойств молекулярных генераторов с двумя резонаторами открыло фиановцам еще одно свойство их приборов. Оказалось, что при медленном изменении расстояния между резонаторами на ленте самописца одна за другой появляются неразличимые ранее линии спектра аммиака. Те самые, предсказанные теорией линии, увидеть которые еще недавно считалось невозможным.

Этот результат особенно заинтересовал гостя потому, что он почувствовал здесь рождение новой главы спектроскопии. Он отлично понимал, что новый метод позволит увидеть незримые подробности спектра не только в аммиаке, но и во многих других молекулах.

Басов, Ораевский и Страховский сказали Таунсу, что ветеран квантовой электроники – молекулярный генератор еще не отказался от борьбы за звание эталона частоты. Им не надо было объяснять гостю, что все надежды ветерана в соревновании с молодым соперником – водородным генератором – в том, чтобы сбросить излишнюю полноту со своей спектральной линии. Ведь в аммиачном генераторе она примерно в три тысячи раз толще, чем в водородном. Все они знали и путь к похудению. Нужно было увеличить время пребывания молекул в резонаторе.

Но то, что удалось в случае атомов, не подходило для молекул аммиака. Пока не известно ни одного вещества, столкновение с которым проходило бы для аммиака так же незаметно, как это бывает при соударении атома водорода с пленкой парафина или тефлона. Поэтому создать для аммиачного генератора накопительную колбу пока невозможно. Басов и Ораевский, зная это, давно предложили несколько путей к заветной цели. Все эти пути должны были привести к одному результату – получению очень

медленных молекул аммиака. Таких медленных, чтобы они не проскакивали через резонатор за тысячные доли секунды, а спокойно летели бы в нем как можно дольше. Они мечтали о секундах или хотя бы десятых долях секунды.

Свыше десяти лет назад американский ученый Захарайс стремился получить медленные атомы цезия для увеличения стабильности атомнолучевых трубок. Он предложил создать для этой цели атомный фонтан. Идея была удивительно простой и изящной. Все знают, что в любом газе атомы (или молекулы) движутся хаотически. Некоторые очень быстро, другие медленно. Как масса атомов распределяется по всевозможным скоростям, вычислил еще Максвелл. Захарайс решил направить пучок атомов вверх наподобие струи воды в фонтане. Конечно, атомный фонтан можно создать только внутри установки, из которой тщательно откачан воздух. Тогда быстрые атомы, он имел в виду цезий, ударятся в верхнюю крышку установки и прилипнут к ней. Медленные, не долетев до крышки, замедлятся под действием притяжения Земли и повернут обратно. Если источник пучка немного наклонен, то медленные атомы опишут плавную дугу, изгибающуюся подобно пучку переспевшей ржи. Чем медленнее атомы, тем круче их путь. Теперь остается поместить резонатор там, где к нижней части установки опускаются атомы, скорость которых привлекает экспериментатора.

Захарайс соорудил высокий вакуумный колпак и расположил под ним свой фонтан. Насосы откачали воздух, источник пучка атомов нагрелся до нужной температуры и... никакие атомы не возвратились в нижнюю часть установки. Результат потряс не только Захарайса, но и всех, узнавших о странном поведении его фонтана. Природа нарушала закон Максвелла! Именно так говорили все, ибо до сих пор закон Максвелла правильно описывал все, с чем встречались люди в природе и в специально поставленных опытах. Понадобилось большое время и упорный труд, чтобы реабилитировать природу и Максвелла. Ведь никто серьезно не обвинял природу. Все понимали, что ее законы не зависят от людей. Во всем был

виноват фонтан. Оказалось, что канал, формирующий струю атомов, не пропускает медленных атомов. Вылетающий пучок в отличие от газа в сосуде, содержит преимущественно быстрые атомы, медленных там почти нет. А раз они не вылетают вверх, их нечего ожидать и внизу.

Басов и Ораевский предложили другие способы получения медленных молекул. Большинство из них были основаны на том или ином способе замедления тех быстрых молекул, которые составляют большинство в молекулярных пучках. Но экспериментальные трудности не позволили пока реализовать ни один из этих способов.

К приезду Таунса действовал лишь один, простейший способ. Его простота не позволяла рассчитывать на многое, но важно было, как говорят физики, зацепиться. Вместо обычной сортирующей системы в молекулярном генераторе стояло то, что механики лаборатории окрестили «кривым ружьем». Это была сортирующая система в виде ряда колец, предложенная двумя учеными, Крупновым и Сиворцовым из Горького. Но в отличие от того, что делалось раньше, воображаемая ось, проходящая внутри колец, была прогнута. Электрические силы заставили медленные молекулы следовать вдоль искривленной системы, а быстрые молекулы, преодолевая действие этих сил, вырывались наружу. Так, в отличие от Захарайса, в резонатор должны были попасть не только молекулы, имеющие вполне определенную малую скорость, а все молекулы, скорость которых меньше какой-то избранной.

Расчет оправдался. На экране осциллографа можно было видеть, как по мере понижения напряжения, подаваемого на «кривое ружье», из пучка вырывались все более медленные молекулы и спектральная линия на глазах «худела». К сожалению, медленных молекул было так мало, что генерация не начиналась. Но ни фиановцы, ни Таунс не сомневались в том, что для получения генерации достаточно заменить резонатор другим, имеющим меньшие потери.

В связи с предстоящим улучшением резонатора Таунсу рассказали еще об одном интересном проекте – моделировании лазера при помощи молекулярного генератора. Ученые всего мира испытывают трудности в связи с тем, что ширина спектральных линий, на которых работают лазеры, очень широка. Это мешает исследованию важных, характеристик лазеров. Молекулярный генератор работает на спектральных линиях, ширина которых в сотни тысяч раз меньше. Но применить молекулярный генератор для моделирования лазера не удастся из-за различия их резонаторов. Резонансная кривая в случае оптического резонатора много уже, а в случае радиочастотного резонатора много шире, чем соответствующая спектральная линия.

Прекрасная экспериментальная база ФИАНа позволяет выйти из затруднения чрезвычайно оригинальным, хотя и не простым путем. Стоит заменить обычный резонатор сверхпроводящим, и ширина его резонансной кривой уменьшится в миллионы раз. Так будет создана радиочастотная модель лазера.

ЭФФЕКТ ИЛИ ДЕФЕКТ?

В заключение знакомства с семейством советских молекулярных генераторов Таунсу предложили загадку. Вопрос гласил: может ли частота молекулярного генератора зависеть от направления магнитного поля? Таунс ответил: нет, не может. Этот ответ соответствовал наиболее точным теориям.

Каково же было изумление гостя, когда хозяева показали ему, что такая зависимость в действительности существует. В течение долгого времени удивительное явление изучали и в ФИАНе и в одном из метрологических институтов. Провели массу измерений и проверок. Необъяснимое явление действительно существовало. Горячая дискуссия не дала ничего нового. Ее вывод гласил: очень интересно и совсем непонятно.

Кстати, и через полтора года, положение не изменилось. Загадка осталась загадкой. Недавно в Москве гостил один французский ученый; он был так взволнован увиденным, что прибегал в лабораторию по несколько раз в день – эффект или дефект?

В соседних комнатах Таунс увидел сверхстабильные водородные генераторы. Они, по-видимому, с наибольшим основанием претендуют на роль эталонов частоты. Поэтому становится особенно важным изучить их свойства так же подробно, как это уже сделано для молекулярных генераторов.

Таунс долго и увлеченно обсуждал со своими коллегами различные новые возможности проверки предсказаний теории относительности о неодинаковом течении времени, которые могут быть осуществлены при использовании молекулярных и водородных генераторов. Оживленная дискуссия была прервана телефонным звонком. Из соседней комнаты напоминали о том, что расписание давно нарушено.

Снова возник безнадежный вопрос о том, как объять необъятное. Решили не пытаться. Гость будет сам регулировать скорость и направление своего движения, выбирая то, что его больше привлекает. А привлекала его в тот момент одна фантастическая, почти фантастическая вещь. Таунс уже слышал о том, что Басов с молодыми сотрудниками В. С. Зуевым, П. П. Крюковым, В. С. Летоховым и Р. В. Амбарцумяном заставляют импульсы от оптического квантового генератора бежать быстрее, чем световые волны. Но в это невозможно было поверить! Таунс по дороге с аэродрома даже подтрунивал над Басовым:

– Так во сколько раз скорость у вас больше скорости света?

– В десять, – невозмутимо отвечал Басов.

Так Таунс тогда и не понял, шуткой ли на шутку отвечал Басов или это было сказано всерьез.

И вот теперь в лаборатории он снова в нетерпении спрашивает, правда ли это, и если правда, то можно ли поподробнее?

– Пожалуйста.

И гость услышал даже его поразивший рассказ.

Лазер, при помощи которого наблюдался этот необычный эффект, давал гигантский импульс света мощностью в миллиарды ватт. Басовцы пропускали этот импульс через стержни возбужденного рубина, где он усиливался еще больше. Теория, развитая Сковилом и его сотрудниками, предсказывала, что при этом импульс, который первоначально длился всего несколько десятков миллиардных долей секунды, станет еще короче.

Однако точные измерения показали, что ожидаемого укорочения не получается. Длина и форма импульса остаются почти неизменными. Но совершенно неожиданно оказалось, что вершина импульса бежит вперед гораздо быстрее, чем распространяется свет в пустоте. Результат, казалось, противоречит основному положению современной физики о том, что скорость света в пустоте не может быть превзойдена.

Пришлось прервать опыты, рассказывал гостю Басов, и сесть за стол. Вот что сказали формулы, после того, как их допросили строже, чем это раньше сделал Сковил. Гигантский импульс, несмотря на свою кратковременность, содержит более миллиона световых колебаний. Они начинаются с очень слабых и лишь постепенно достигают колоссальных величин. По мере того как этот импульс пробегает через усиливающий кристалл, слабые колебания на переднем склоне импульса усиливаются, съедая всю энергию, запасенную в кристалле. На долю остальной части импульса уже ничего не остается. Эта часть бежит не усиливаясь, а может быть, даже немного ослабевая из-за рассеяния на неизбежных неоднородностях кристалла и из-за других потерь энергии. Поэтому по мере продвижения светового импульса вдоль кристалла его вершина быстро перекачивается вперед по самому импульсу.

– А так как мы измеряем скорость импульса по положению его вершины, – говорил Басов, – то, естественно, получаем величину большую, чем скорость света. Иными словами, сама волна бежит со скоростью света, а

вершина импульса перемещается быстрее, так как роль вершины импульса постепенно переходит от одного гребня волны к другому!

Я представляю себе цепочку спортсменов, бегущих один за другим с совершенно одинаковой скоростью. Пусть теперь один из них на бегу передает эстафетную палочку тому, кто бежит перед ним, а этот, в свою очередь, передает ее вперед. При этом эстафетная палочка будет двигаться вперед быстрее, чем сами спортсмены. Нечто подобное происходит и с вершиной импульса в опытах, показанных Таунсу.

«Сверхсветовой» импульс пока кажется неким физическим курьезом. Но, поняв механизм его возникновения, в этой лаборатории сумели добиться и получения сверхкоротких импульсов, предсказанных расчетом Сковила. Это было нелегкое дело. Условия расчета Сковила соблюдались только для тех импульсов, которые не имеют пологий передней части. Только если передний фронт импульса, попадающего на вход усилителя, очень крут, его вершина не сможет убежать вперед, а хвост будет постепенно обрезаться.

Ни одна система управления резонатором, применяющаяся для получения гигантских импульсов, не давала нужной крутизны переднего фронта. После упорных поисков пришлось ввести в лазер вторую систему модуляции, дополнительно обрезающую передний фронт гигантского импульса. Как только система была налажена, все пошло в соответствии с расчетом. Усилитель не только увеличивал высоту импульса, но и обрезал его хвост. Так были впервые получены гигантские импульсы света длительностью всего в несколько миллиардных секунды.

И опыт и его объяснение произвели на гостя большое впечатление. За обедом, который прервал обход лаборатории, он поднял тост за будущую Нобелевскую премию.

Но впереди были другие комнаты и не менее интересные работы. Здесь были и полупроводниковые оптические генераторы различных типов, и генераторы, работающие на всевозможных газах, и твердотельные генераторы,

дающие световые импульсы такой мощности, что они превращают газ в ослепительно сияющую плазму.

Гостю показали установку, при помощи которой физики совместно с астрономами проводили в Крымской обсерватории точную светолокацию Луны, сравнивали полученные результаты с тем, что в этом направлении сделано в США, где пока зафиксировали лишь факт приема световых волн, отраженных от лунной поверхности. И в лаборатории, и в коридорах, переходя из комнаты в комнату, и за обеденным столом говорили об одном и том же. Чего можно ожидать от лазеров в будущем? Где следует их применять? Конечно, прежде всего обсуждали, удастся ли при помощи сверхгигантских импульсов управлять термоядерными реакциями. Речь шла и о возможности применения мощного электромагнитного излучения для управления химическими реакциями. Ведь применив такой метод воздействия, можно избирательно разрушать химические связи и направлять течение реакции по новым путям, недоступным при обычных методах. Такие исследования уже начались, а возможность создания для этой цели специальных генераторов уже изучается в лаборатории Прохорова.

Очень важно было бы научиться включать и выключать лазеры при помощи сигналов других лазеров. Это открывает путь к созданию сверхбыстродействующих счетных машин. Особенно ценным была бы возможность применения света в таких машинах и для передачи и сохранения информации.

Полупроводниковые оптические генераторы, работающие при малых токах, могли бы составить основу таких вычислительных машин и других разнообразных сверхбыстродействующих схем, аналогичных радиосхемам.

От этих проектов, относящихся еще к будущему, беседа переходила к вполне реальным применениям лазеров. К оптическим системам связи и передачи телевидения, к лазерным дальномерам и гироскопам. Гости и хозяева сравнивали различные способы применения лазеров для обработки алмазов и твердых сплавов, для сварки самых тугоплавких металлов. Они

обсуждали детали того, как лазер помогает выполнять тончайшие операции внутри живого человеческого глаза, как его лучи производят филигранные исследования клеток живого организма, вызывая в них разнообразные изменения. Лазер... лазер...

Человек, по-настоящему увлеченный своим делом, думает о нем постоянно, вновь и вновь рассматривая его с различных сторон, отыскивая новые возможности, разрабатывая программу на завтра и планы на будущее. И только сон может прервать этот поток мыслей. Хотя некоторые считают, что отдельные части мозга трудятся и во сне, передавая сведения, полученные за день, в глубинные тайники памяти.

Оставим теперь наших друзей и их гостей. Ведь и завтра ему предстоит нелегкий день. День в лаборатории Прохорова,

ЛАБОРАТОРИЯ КОЛЕБАНИЙ

Приезд Таунса совпал с важной датой, лаборатория колебаний праздновала свое тридцатилетие. Праздновала, несмотря на то, что тридцать лет вовсе не принадлежат к числу дат, предусмотренных для юбилейных торжеств.

Это событие как нельзя лучше характеризует дух лаборатории, психологию ее сотрудников, внутреннюю жизнь ее коллектива. Непраздничная дата совпала с успешным завершением важных исследований. Научные достижения лаборатории получили высокую оценку, и коллективу была присуждена крупная денежная премия.

Теперь невозможно установить инициаторов, но общественные организации провели внутренний плебисцит. Подавляющее большинство высказалось против раздела денег, за то, чтобы использовать их на проведение коллективного вечера. Торжественного и неофициального вечера

с приглашением старых сотрудников лаборатории, по различным причинам работающих теперь в других местах.

В обширном колонном зале ФИАНа в виде огромной буквы «П» растянулся украшенный цветами и фруктами стол. Так стоят столы на бесчисленном множестве банкетов, и никто не придает этому никакого значения. Тут можно ждать обвинения в сентиментальности или в стремлении к философии на мелком месте, но факт остается фактом. Организатором лаборатории колебаний и ее первым заведующим был Папалекси. И Прохоров начал свой отчетный доклад с рассказа об идеях Мандельштама и Папалекси и о связи новых работ лаборатории с трудами ее создателей. Юмор и природный такт подсказали Прохорову, где ему следует от научных проблем перейти к застольной речи, которую он закончил тостом за процветание ФИАНа.

Бывший сотрудник лаборатории, профессор МГУ В.В. Мигулин напомнил о тех годах, которые кажутся древней историей многим научным работникам, родившимся после войны. О том романтическом периоде, когда Саша Прохоров вошел в его группу, чтобы делать науку в поле и в море. Вслед за ним С.М. Рытов рассказал об аспиранте Прохорове, и многие вместе с ним вспомнили полузабытые строки.

Вот Прохоров крошка –
Другим в пример –
Катает в колясочке дальномер
И кричит: «Господа и дамочки,
Смотрите на наши гаммочки!»

Они были написаны в первый послевоенный год, когда Академия наук праздновала свое двухсотдвадцатилетие. Гостям показывали работы института. И одним из наиболее интересных приборов был фазовый радиодальномер Мандельштама и Папалекси, дававший неведомую в то

время точность. На экране этого дальномера непрерывно деформировалась кривая, больше всего напоминающая греческую букву «гамма».

Старейший из сотрудников Мандельштама и Папалекси И. М. Борушко вспоминал об увлекательных походах, в которых эти дальномеры испытывались в самых трудных условиях.

А потом младшее поколение рассказывало о ненаучных путешествиях и байдарочных походах. И здесь Прохоров никогда не был отстающим. Ведь недаром один из заместителей директора советовал ему для солидности засовывать под костюм подушку.

Хорош тот учитель, которого обгоняют его ученики. Среди учеников академиков Мандельштама и Папалекси есть академики, много членов-корреспондентов Академии наук, а докторов наук трудно сосчитать. Мы понимаем, что только политические мотивы, довлевшие долгие годы над Нобелевским комитетом, были причиной тому, что Мандельштам и Ландсберг, открывшие комбинационное рассеяние света несколько раньше, чем Раман, не разделили с ним Нобелевскую премию. Но Нобелевская премия, полученная Прохоровым и Басовым, служит еще одним украшением славного знамени школы Мандельштама и Папалекси.

Эстафета поколений, пожалуй, нигде не играет такой роли, как в науке. Многие десятки студентов, сменяя друг друга, постоянно работают в лаборатории колебаний. Здесь почти с первого дня на каждого из них смотрят, как на равноправного сотрудника. И эта атмосфера доверия и требовательности дает свои плоды. Большая часть из сидящих за праздничным столом – бывшие студенты и аспиранты Прохорова или дипломники и аспиранты его бывших учеников, ставших уже уважаемыми учеными. Многие гости приехали из Баку, Еревана и Тбилиси, из более близких городов или из московских институтов, где они развивают традиции школы Мандельштама и Папалекси. При каждом удобном случае гости стараются приехать в ФИАН, и не когда-нибудь, а именно в субботу.

Суббота в ФИАНе – особый день. В другие дни большие двери института редко открываются после девяти часов утра. Все давно на местах и работают. Иное дело в субботу. Не успеет вбежать в институт последний из опоздавших сотрудников, как двери штурмует новая волна, непрерывно нарастающая еще целых полчаса. Это гости.

Ровно в девять тридцать уже много лет подряд начинаются объединенные субботние семинары лабораторий колебаний и квантовой радиофизики. Семинары, которые, по существу, превратились в бесконечную научную конференцию, собирающую несколько сот постоянных участников. Выступить на этом семинаре считает за честь каждый работающий в области квантовой электроники. Квантовая электроника постепенно вытеснила с этих семинаров другие разделы радиофизики, и эта целеустремленность отличает семинар от других популярных семинаров с более широкой тематикой.

И еще одним отличается этот семинар: непринужденной деловой товарищеской атмосферой. Открывает заседание семинара не Прохоров, а ученый секретарь, один из посменно назначаемых добровольных носителей тяжелого организационного бремени, «которое ведь кто-нибудь должен нести». На этих семинарах, если только докладчик не запросит прощения, его можно перебивать в любом месте любыми вопросами. А после окончания доклада град вопросов и буря дискуссии помогают обнаружить неточности и слабости, подтвердить истину и выбрать дальнейший путь. И каждый раз дискуссия заканчивается традиционной репликой секретаря: «А теперь предоставим слово Александру Михайловичу».

Но в эту субботу традиция была нарушена. Гость не был готов и, по согласованному расписанию, на субботу был назначен осмотр лаборатории колебаний, а доклад профессора Таунса был перенесен на понедельник.

Ставшие уже классическими исследования парамагнитного резонанса, давшие так много и физике и технике, не очень интересовали гостя. Он сам не работал в этой области и, естественно, стремился к тому, что его увлекало.

А увлекали его сложные проблемы квантовой электроники, таящие еще неизведанные пути.

И ему было что посмотреть у Прохорова.

Один из замыслов Прохорова недавно казался совершенно фантастическим. Теперь это полноправное направление. Новая просека в чаще неведомого. Прохоров обосновал возможность создания оптического квантового генератора, в работе которого участвует энергетический уровень, на самом деле не существующий. Не удивительно, что поначалу это казалось многим чисто математическим упражнением, так сказать, игрой ума. Но для Прохорова это, по-видимому, было развитием одной из идей, теперь общепризнанной, а ранее казавшейся безумной.

Речь идет о переходах через удаленные уровни. Началось это много лет назад. Исследования процессов установления равновесного состояния в кристаллах, предназначенных для работы в парамагнитных усилителях, во многих случаях заводили ученых в тупик. Зачастую такие процессы протекали гораздо быстрее, чем это можно было предвидеть. И все расчеты шли насмарку. Не избегли таких разочарований и советские физики, в том числе Прохоров и Маненков.

Квантовая физика обнаружила, что в природе существует множество запретов. И они соблюдаются гораздо строже, чем многие законы, созданные людьми для упорядочения человеческих взаимоотношений. Конечно, и в физике имеются законы, обладающие ограниченной сферой действия. Так, недавно было обнаружено, что казавшийся незыблемым закон сохранения четности неприменим к процессам, связанным с участием нейтрино. Но существуют и такие запреты, которые должны соблюдаться неукоснительно. Именно они запрещали переходы между некоторыми близкими уровнями энергии в парамагнитных кристаллах.

Несмотря на то, что соединенными усилиями были оценены все причины, хотя бы в малой степени разрешающие эти переходы, теория не сходилась с опытом. Переходы происходили несравненно быстрее, чем

предсказывали расчеты. Казалось, что природа знает какой-то неизвестный людям путь обхода незыблемого запрета.

Прохоров и Маненков решили обнаружить этот путь. И они нашли его. Оказалось, что частица, находящаяся на том уровне, с которого путь вниз запрещен, может с большой вероятностью подняться на более высокий уровень, а уже потом, практически мгновенно, свалиться вниз. Прохоров и Маненков проверили это предположение на многих примерах, и опыт подтвердил его. Уличив природу в таком обходе запретов, Прохоров и Маненков решили извлечь из этого пользу. Они разработали метод, позволяющий из наблюдения двухступенного процесса определять высоту вспомогательного уровня, играющего основную роль при таких переходах. Это был способ изучения уровней, для наблюдения которых прямыми методами в то время, а в некоторых случаях и теперь не существует нужной аппаратуры. Прохоров и Маненков обнаружили, что в некоторых случаях не прямые переходы между близкими уровнями, разделенными запретом, могут происходить через удаленный третий уровень, лежащий не только выше, но и ниже этой пары. Об этих работах я вспоминаю каждый раз, пересекая по подземному коридору близ ФИАН

Ленинский проспект, переход через который запрещен.

По-видимому, статьи об этих работах Прохорова и Маненкова несколько опередили время. Они не встретили резонанса. Но впоследствии аналогичные исследования были выполнены за рубежом Орбахом. Наверно, статья Орбаха появилась в очень подходящий момент. Почва для нее уже была подготовлена. Факт остается фактом – не прямые переходы в течение нескольких лет даже в нашей стране называли Орбаховским процессом.

Впрочем, Прохоров не рассказывал гостю о не прямых переходах, уже вошедших в учебники. Нужно было беречь время, и он начал с не менее парадоксальной идеи.

Речь шла о двухфотонном оптическом квантовом генераторе. Конечно, двухфотонное поглощение было известно и раньше. При очень интенсивных

полях атомные системы могут поглощать не только фотоны резонансной частоты, но и пары фотонов, суммарная энергия которых совпадает с разностью энергий соответствующих уровней.

О возможности противоположного процесса никто не думал. Но после того, как Прохоров и Селиваненко указали на возможность создания двухфотонного лазера, трудно понять, почему об этом не догадывались раньше. Конечно, в слабых полях вероятность двухфотонных процессов очень мала и их трудно наблюдать. Но если поля достаточно сильны, то при подходящих условиях вынужденный переход системы с верхнего уровня на нижний может сопровождаться рождением сразу двух фотонов. Таких, чтобы сумма их энергии равнялась энергии, выделяемой системой. На схемах, иллюстрирующих двухфотонный процесс, можно видеть верхний и нижний уровень, соединенные двумя стрелками. Но ни одна из них недостаточно длинна, чтобы перекинуть между ними мост. И они объединяются, стыкуясь между собой там, где нет никакого промежуточного уровня. Впрочем, физикам удобнее считать, что там есть виртуальный уровень (они почему-то не воспользовались русским словом «воображаемый»).

Конечно, Таунсу было любопытно узнать, при каких условиях можно осуществить такой процесс. Прохоров и Селиваненко набросали расчет. Оказалось, что для этого нужно поместить активную среду в резонатор, настроенный сразу на обе желаемые частоты, и принять меры для подавления генерации на частоте, свойственной самой атомной системе. Достаточно после этого воздействовать на систему коротким, но мощным импульсом одной из избранных частот, и процесс начнется. А начавшись, он будет продолжаться до тех пор, пока мы сможем поддерживать среду в активном состоянии. Самое интересное и важное здесь – это возможность плавной перестройки частоты. Если генерация началась, то резонатор можно перестраивать в широком диапазоне, соблюдая лишь одно условие: сумма двух его частот должна оставаться равной частоте прямого перехода между рабочими уровнями.

Расчеты показали, что осуществить перестраиваемый двухфотонный генератор далеко не просто. И он до сих пор не создан. Но такой генератор очень нужен для управления химическими реакциями, и он, несомненно, будет построен.

От обсуждения теоретических проблем гость перешел к знакомству с тончайшими опытами, в которых советским физикам удалось с большой точностью измерить температуру плазмы, образующейся в сфокусированном луче оптического квантового генератора. В этой работе, кроме Прохорова и его сотрудника П.П. Пашинина, участвовал руководитель спектральной лаборатории ФИАНа профессор Сергей Леонидович Мандельштам, сын Леонида Исааковича, и его сотрудница Н.К. Суходрев.

Таунсу не нужно было объяснять, что ни один из известных методов измерения температуры не позволял получить нужной точности из-за крайней быстротечности возникновения и исчезновения этой миниатюрной шаровой молнии. Долгие обсуждения и настойчивые опыты привели наших исследователей к выводу о том, что можно провести расчет, точно связывающий температуру плазмы в этом разряде с испускаемым ею рентгеновским излучением. Они осуществили это на практике. И рентгеновы лучи стали чувствительным органом нового невиданного термометра. При их помощи удалось установить, что температура в плазме, получаемой в фокусе луча лазера, достигает полумиллиона градусов!

В соседней комнате Таунс познакомился с Натальей Александровной Ирисовой, появлявшейся уже на первых страницах этой книги юной аспиранткой, а теперь ставшей опытным молодым физиком. Она руководит группой, ведущей сложные исследования свойств вещества в субмиллиметровом диапазоне радиоволн. Ее цель обеспечить смыкание радиоволн с оптическими волнами методами квантовой электроники. Для этого она и ее сотрудники создают все более совершенные приборы, изучают новые материалы, сообщают товарищам, среди каких веществ следует вести

поиски, изобретают все новые конструкции, добиваются увеличения точности и быстроты исследования.

Нельзя не залюбоваться тем, как уверенно действуют они в области, которая, по всеобщему мнению, превосходит по трудности все остальные. Здесь должны акклиматизироваться не только экспериментаторы, но и их приборы. И самыми жизнестойкими, совсем как в биологии, оказались гибриды, глядя на которые невольно думаешь о грани, отделяющей изящество от уродства.

Наталья Александровна с нежностью и осторожностью манипулирует с пустыми металлическими рамками. Только заметив недоумение зрителей, она поясняет, что рамки отнюдь не пустые. Они затянуты тончайшими незримыми проволочками. И образуют различные элементы приборов субмиллиметрового диапазона.

Прохоров поделился с гостем своими мечтами о новых типах оптических квантовых генераторов, о поисках новых активных материалов. Ведь коэффициент полезного действия большинства современных оптических квантовых генераторов очень мал. Он составляет доли процента, в лучшем случае несколько процентов. Прохоров убежден, что здесь можно достичь многого.

Лаборатория колебаний вместе с отделом монокристаллов ФИАН и с Институтом кристаллографии уже добились повышения коэффициента полезного действия рубинового генератора до нескольких процентов. Так, рубиновый генератор сравнялся с паровозом. Но это не предел. Один из генераторов, созданный в лаборатории, имеет КПД в 13 процентов. Прохоров считает это число счастливым. Ведь удалось догнать тепловоз!

Прохоров – прирожденный фантаст. И к нему тянутся фантасты. Один из «старых» молодых сотрудников Прохорова, В. Г. Веселаго, бывший студентом-дипломником еще в старом ФИАНе на Миусах, затратил массу сил на создание уникальной магнитной установки. В ней в очень большом объеме в течение длительного времени могут поддерживаться огромные

магнитные поля. Столь большие поля в других лабораториях создаются лишь в весьма малых объемах или на короткие мгновения. Это очень усложняет исследования. Здесь же Прохоров рассчитывает наблюдать то, что пока еще остается недоступным экспериментаторам. А может быть, при помощи новой установки они натолкнутся и на явления, о которых еще не думают и теоретики!

Знакомство с ФИАНом кончилось для Таунса своеобразным турниром. Он скрестил шпаги с молодым сотрудником прохоровской лаборатории Володей Луговым, который создал новую теоретическую модель комбинационного рассеяния, открытого Мандельштамом и Ландсбергом. Оказывается, и Таунс много работал в этой области (его можно считать заочным мандельштамовским учеником), и у него тоже есть своя модель. И результаты, полученные обоими учеными, совпадали. Казалось бы, о чем им спорить? Результаты-то совпадали, а модели были разные! И решить спор мог только эксперимент. И все присутствующие, захваченные азартом, обсуждали и предлагали свои варианты проверки. Все страшно спорили, пили кофе и спорили. Каждый защищал свою точку зрения, горячился, доказывал. Главные «бойцы» выпили уже по пятой чашке, а к соглашению все не пришли. Каждый остался при своем мнении. Кто прав – покажет время. Вернувшись к себе, Таунс, наверно, тут же засядет за работу. Этот диспут, по словам Таунса, был одним из самых его ярких впечатлений от посещения ФИАНа.

ПОНЕДЕЛЬНИК – ДЕНЬ ТЯЖЕЛЫЙ

Осмотр лаборатории колебаний не мог уложиться в сокращенный субботний день, но хозяева с удовольствием пожертвовали частью своего отдыха. Гостеприимство недаром считается характерным свойством нашего народа.

Но человеческие возможности ограничены. Это чувствуют даже гурманы. Субботний вечер и все воскресенье были посвящены отдыху. Вечером театр. Днем осмотр Москвы и ее окрестностей. Обед на маленькой даче Прохорова, во время которого женам то и дело приходилось прерывать разгоравшиеся научные дискуссии.

Понедельник начался докладом Таунса. Конференц-зал ФИАН был переполнен.

Вопросы затянулись, и Таунс должен был прямо из зала спешить в автомобиль, чтобы вовремя попасть на прием к вице-президенту Академии наук СССР академику М. Д. Миллионщикову. Предполагалось, что это будет короткий официальный визит вежливости, и программа предусматривала на него совсем мало времени. Но при составлении программы никто не подумал о том, что Миллионщиков не только вице-президент, но и физик. Уже в первые минуты выяснилось, что и в этом торжественном кабинете он прежде всего физик. И беседа приняла совсем не официальный характер. Незаметно пролетело время обеденного перерыва, и озабоченная секретарша, поняв, что ждать конца беседы безнадежно, принесла собеседникам чай, напомнив, что Таунса ждут в Институте радиотехники и электроники.

Директор Института радиотехники и электроники академик В. А. Котельников, автор теоремы Котельникова, на которую опирается вся теория связи, известен неспециалистам своими выдающимися работами по радиолокации планет. Он выразил сожаление, что не может показать гостю планетный радиолокатор, который незадолго до этого осматривал известный английский радиоастроном Ловелл. Для этого пришлось бы поехать в Крым, а Таунс предпочел посетить Сибирь, Среднюю Азию и Кавказ. Но в институте находится новый парамагнитный усилитель, предназначенный для применения в радиоастрономии. Впрочем, сказал Котельников, он вкратце расскажет гостю о работах института, и профессор Таунс может выбрать, с какими из этих работ он хотел бы познакомиться подробнее.

Мы не будем сопровождать Таунса по многочисленным лабораториям, ведущим исследования в разнообразных областях радиотехники и электроники. Только закаленный спортсмен и выдающийся ученый может безнаказанно пройти такой маршрут. Мы подготовлены только к посещению лаборатории квантовой электроники, которая, как мы знаем, отпочковалась от лаборатории ФИАНа и которую возглавляет бывший фиановец профессор Жаботинский.

В свое время эта лаборатория вложила немалый вклад в разработку и исследование молекулярных генераторов и цезиевых атомнолучевых стандартов частоты. Но все ее молекулярные генераторы давно переданы в Московский энергетический институт, где они попали в руки студентов и аспирантов, специализирующихся в области квантовой электроники. Часть атомнолучевых стандартов проделала подобный путь, лишь два из них задержались в лаборатории для окончания дипломных работ студентов, но тоже готовились к скорому переезду.

Таунс с интересом осмотрел парамагнитный усилитель, применявшийся при первых опытах по радиолокации планет, и непревзойденный пока по своим характеристикам парамагнитный усилитель для исследования радиоизлучения космического водорода.

Он выслушал рассказ об исследованиях новых материалов, дающих надежду на получение еще более совершенных усилителей.

Особенно заинтересовал гостя рассказ о неожиданных возможностях, предсказанных М.И. Родак, которая извлекла их из оригинального теоретического исследования процессов, происходящих в парамагнитных кристаллах. М.И. Родак совсем молодой девушкой попала на фронт и с честью прошла через горнило военных лет. Она самоотверженно боролась за свободу и счастье человечества, за свою мечту стать ученым. После войны она окончила университет и стала физиком.

Если можно говорить о «мужских» и «женских» специальностях, то, пожалуй, самой «неженской» является теоретическая физика. Известно

много замечательных женщин – математиков, химиков, 'биологов, филологов... Трудно даже перечислить области науки, в которых женщины продемонстрировали свое равноправие. Но когда Родак выбирала себе специальность, мир знал только одну женщину, добившуюся больших успехов в области теоретической физики. Такой пример мог только насторожить. Заставить подумать: а нет ли здесь в самом деле правила, какого-либо неведомого запрета? Поискать дороги полегче. Но Родак не испугалась. Возможно, ей помогла армейская закалка. Может быть, сыграла роль способность сосредоточиваться на поставленной цели, умение видеть за сухими формулами живую осязаемую природу.

Выбор оказался удачным. Способности и выдержка привели к успеху.

Родак сделала много интересных работ, но, пожалуй, только физик оценит все значение такой маловыразительной фразы: Родак нашла путь непрерывного поддержания инверсии между двумя электрическими уровнями в парамагнитных кристаллах без использования какого-нибудь третьего уровня. Вспомним, что в 1951 году Пэрселл и Паунд получили инверсию между двумя уровнями в кристаллах фтористого лития, но только на очень короткое время. В 1956 году Блумберхен, не видя другого пути, предложил использовать для непрерывной работы парамагнитного усилителя систему трех уровней. Сейчас эта восходящая к Басову и Прохорову схема применяется во всех существующих парамагнитных усилителях. Гипноз успеха был так силен, что о двухуровневых системах и не вспоминали.

Анализируя теорию взаимодействия парамагнитных ионов, Родак обнаружила, что при некоторых условиях должны возникать эффекты, о которых еще никто и не догадывался. Самым поразительным из них был такой. Если облучать парамагнитный кристалл радиоволной, частота которой лежит на склоне спектральной линии этого кристалла, то еще дальше на склоне этой же спектральной линии могут возникнуть условия для усиления радиоволн. Так впервые была обнаружена возможность непрерывного

усиления или генерации радиоволн при помощи одной спектральной линии, а значит, с использованием лишь двух энергетических уровней.

Таунс задал молодой женщине много вопросов, поясняя свои мысли кривыми. Родак отвечала на них при помощи уравнений, ибо для физиков зачастую строчка математического уравнения заменяет получасовую речь. В заключение беседы гость заметил, что, по его мнению, экспериментальные работы в этом новом направлении будут чрезвычайно интересными, и поздравил автора с большим успехом.

В марте 1966 года ученый совет института подтвердил высокую оценку, присудив Родак за диссертацию, посвященную этим исследованиям, ученую степень кандидата физико-математических наук.

Время летело так быстро, что знакомство с работами по созданию новых материалов для оптических квантовых генераторов, с исследованиями свойств их излучения и посещение других лабораторий уже в какой-то мере напоминало туристскую экскурсию. (Желая увидеть как можно больше, человек обычно переоценивает свои силы и прежде всего свою способность к самоограничению. Кто из нас, начав обход музея размеренным шагом, не задерживался перед какой-нибудь картиной, забывая обо всех планах, о советах путеводителя. А потом, перед самым закрытием, мы гимнастическим шагом пробегаем мимо не менее интересных экспозиций.)

Вы лучше поймете, в каком состоянии вышел Таунс из Института радиотехники и электроники, если вспомните, что в этот день он пренебрег обедом. А мне говорили, что, по оценкам врачей, ученый тратит во время работы примерно столько же энергии, сколько и землекоп. К счастью, от института до гостиницы, по московским масштабам, рукой подать. Впрочем, даже короткой поездки по улицам Москвы оказалось достаточно для того, чтобы Таунс предстал перед своей супругой таким свежим и бодрым, как будто не было ни доклада перед незнакомой аудиторией, ни длинных научных дискуссий, ни утомительного осмотра лабораторий.

А вечер, как и предыдущие вечера, тоже был занят. И вряд ли ученый, каким бы гостеприимным хозяином он ни был, может избавить своего коллегу-гостя от обсуждения сложнейших научных вопросов.

ПОСЛЕДНИЕ ДА БУДУТ ПЕРВЫМИ

Но у Таунса, оказывается, была еще одна заветная мечта – побывать в МГУ! Да и кто из гостей Москвы не томился тем же желанием? Кто не знает или не слышал о Московском университете на Ленинских горах? Устремив в небо тонкий шпиль и гордо неся на плечах изящные башенки, он широко раскинул свои блистающие сотнями окон крылья. Размноженные миллионными тиражами изображения этого здания стали символом прогресса науки и культуры. Подходя к нему от реки, любуясь его отражением в глади обширных бассейнов, зеленью тенистых рощ, привольно разбежавшихся в обе стороны, вдыхая переменчивый аромат цветников, трудно представить себе, что это не университет, а лишь символ университета, его небольшая, можно сказать, парадная часть.

Конечно, главное здание содержит главные ценности университета. Здесь живут люди. Профессора, преподаватели, студенты и аспиранты. Это в крыльях. В центральной части – обширный и прекрасный зал, украшенный колоннами, клубные помещения с меньшим, но более уютным залом. Подо всем этим нескончаемый вестибюль, а еще ниже – вместительные столовые. Одним словом, здесь помещается то, что принято называть «золотым фондом», и почти все, что нужно для поддержания его блеска. Здесь обычно проводятся научные конференции, пресс-конференции, торжественные заседания, просто вечера отдыха.

Наука, как таковая, занимает здесь сравнительно мало места. Конечно, вечером она проникает и в квартиры и в общежития. Ученые, да и большинство студентов – добровольные рабы науки. Они почти никогда не

сбрасывают ее нелегкие цепи. Но днем науке отдана лишь центральная башня, где расположен минералогический музей, и несколько аудиторий, занимаемых главным образом математиками и геологами.

По утрам туристы могут наблюдать поразительную картину. В университет идут одиночки. Зато густые потоки людей выливаются из многочисленных боковых подъездов и растекаются в разные стороны. Неужели здесь учатся по ночам, думает турист, не зная, что все эти люди спешат учить и учиться.

Войдем же и мы вместе с туристами по широким ступеням, пройдем через вестибюль, напоминающий первые станции Московского метро, минуем центральную часть с ее скоростными лифтами и через второй вестибюль выйдем с противоположной стороны здания.

Перед нами откроется широкий, поросший травой и деревьями плац. Слева и справа его замыкают два корпуса. Они похожи друг на друга не меньше, чем изображение в зеркале похоже на отражающийся в нем предмет. Это действительно братья-близнецы. Слева физический факультет, справа – химический. На них нет башенок и шпилей. Это здания-труженики. Сюда по утрам вливается часть людских потоков, так удивляющих туристов, томящихся у фасада. Сюда стремятся тысячи молодых людей со всей Москвы, со всех концов нашей страны и из многих других стран.

Сюда во второй половине дня во вторник приехал профессор Таунс, чтобы прочитать лекцию о квантовой электронике и познакомиться с исследованиями университетских физиков. Если мы хотим успеть на лекцию, придется отложить до более удобного времени знакомство с Московским университетом. Ведь только для того, чтобы обойти территорию, занимаемую «естественными» факультетами, от астрономов на левом фланге до биологов на правом, нам потребовалось бы около часа. И это не заглядывая внутрь. А есть еще гуманитарные факультеты, оставшиеся в старых зданиях в центре города. Да, отложим осмотр университета и зайдем к физикам.

Лекция заезжего профессора обычно не привлекает большого числа слушателей. Много ли скажешь за одну лекцию? Вот если бы курс, тогда открывай пошире двери. И умудренные опытом дамы из учебной части выделили для лекции профессора Таунса Малую физическую аудиторию.

Уже в половине третьего стало ясно, что дамы чего-то не учли. Малая, вмещающая сотни человек, была забита сверх предела, и прилегающие коридоры оказались запруженными грозно гудящей толпой студентов. Пришлось перенести лекцию в Большую физическую. При этом еще раз сработал бессмертный клич: «Последние да будут первыми». Толпившиеся в коридорах заняли первые ряды, а счастливы, занимавшие нижние скамьи в Малой, оказались в Большой на самой верхотуре. Но такие мелота не могут испортить настроение студента. В тесноте, да не в обиде! Слова «квантовая электроника» и перспектива увидеть сразу трех «нобелиатов» и услышать одного из них компенсировали все неудобства. Тем более что отличная акустика Большой позволяла всем хорошо слышать и без помощи микрофонов и усилителей.

Дар лектора – особый дар. И никакой конспект, даже написанный им самим книга не заменят непосредственного воздействия хорошего лектора. А профессор Таунс оказался хорошим лектором.

Я передам содержание этой лекции. Не для того, чтобы опровергнуть утверждение о неполноценности конспектов, – это не будет даже конспектом, – а для того, чтобы показать, в каком виде Таунс хотел показать свой предмет слушателям. Мы с вами достаточно подготовлены, чтобы понять ее.

– Внутренняя энергия атомов и молекул, – начал он, – может принимать целый ряд фиксированных значений, характерных для данного типа атомов и молекул. Не будем говорить о всех сразу, а ограничимся какими-нибудь двумя значениями или уровнями энергии. – И он нарисовал на доске одну над другой две горизонтальные линии.

– Переход атома с верхнего уровня на нижний сопровождается излучением фотона. Энергия этого фотона равна разности между энергиями атома в верхнем и нижнем состояниях. Если мы имеем дело с большим числом одинаковых атомов и эти атомы достаточно долго не испытывали каких-нибудь особых внешних воздействий, то атомы будут находиться в таком состоянии, которое можно назвать равновесным. Это значит, что, несмотря на хаотическое движение атомов, число атомов в верхнем и в нижнем энергетических состояниях не будет меняться. Такое равновесие будет сохраняться и в том случае, если система атомов находится внутри замкнутой металлической полости, стенки которой способны излучать и поглощать электромагнитные волны. И система атомов и электромагнитное поле придут со временем к единому равновесному состоянию.

Я слушала и думала, что для нас с читателем это не новость. Ведь помните, в равновесном состоянии, как заметил еще Больцман, число атомов, находящихся в нижнем энергетическом состоянии, всегда несколько больше, чем их число в верхнем состоянии? И каждый атом, находящийся в нижнем энергетическом состоянии, может перейти в верхнее, поглотив из электромагнитного поля один фотон. И каждый атом, находящийся в верхнем состоянии, может перейти в нижнее, отдав полю излишнюю энергию в виде такого же фотона.

Это же подтвердил и Таунс. Он продолжал:

– Вероятность таких противоположных процессов одинакова. Это значит, что атом, находящийся в нижнем энергетическом состоянии, имеет столько же шансов перейти в верхнее, сколько шансов у атома, находящегося в верхнем состоянии, перейти в нижнее под действием того же электромагнитного поля. Но при равновесии число атомов в нижнем состоянии всегда больше, чем их число в верхнем. Казалось бы, если каждый атом имеет одинаковое число шансов перейти вверх или вниз, то в среднем вверх будет переходить больше атомов, чем вниз. Если бы это было так,

равновесие должно было нарушиться и число атомов в обоих состояниях стало бы одинаковым.

(Сейчас он, наверно, заговорит об атомах-приемниках и атомах-передатчиках!)

– Эйнштейн объяснил, почему этого не происходит. Он показал, что наряду с переходами под действием поля, сопровождающимся поглощением и вынужденным испусканием фотонов, существует третий процесс – самопроизвольное излучение фотонов. Оно происходит независимо от поля и сопровождается переходом атомов из верхнего энергетического состояния в нижнее. Именно самопроизвольное испускание обеспечивает сохранение равновесного состояния. Все это вместе взятое объясняет, почему в обычных условиях все вещества поглощают проходящие через них волны света и радио. Но отсюда можно усмотреть и то, как заставить вещество превратиться из поглощающего в усиливающее.

(Вот, вот! Самое главное!)

– Для этого надо сильно нарушить тепловое равновесие, – заключил Таунс. – Так сильно, чтобы число частиц на верхнем из двух уровней стало большим, чем на нижнем. Теперь известно много путей достижения этой цели. Это пространственная фокусировка, примененная в аммиачном лазере. Это оптическая накачка, применяемая в рубиновом лазере. Это электрический разряд в газах или электрический ток в полупроводниках.

Но усиление является лишь одной частью задачи. Вторая, не менее важная часть – это генерация электромагнитных волн.

Для генерации нужна обратная связь. Осуществить обратную связь можно различными путями. В оптике и в диапазоне наиболее коротких радиоволн легче всего осуществить обратную связь, помещая рабочее вещество внутрь резонатора.

Любой квантовый генератор содержит рабочее вещество, находящееся в резонаторе, и устройство для приведения рабочего вещества в активное состояние. Фотон, испущенный вдоль оси резонатора, вызовет лавину точно

таких же фотонов. Излучение квантового генератора отличается большой монохроматичностью и направленностью. Это определяет разнообразные возможности его применения.

Профессор коротко рассказал о перспективах, открываемых созданием лазеров перед наукой и техникой. Единственное, для чего лазер не предназначен, закончил он, это для убийства и разрушения.

– Я надеюсь, – сказал профессор Таунс, – что килл-лазер (лазер-убийца) никогда не будет построен!

Эти слова вызвали бурный восторг присутствующих. Лекция очень понравилась слушателям своей лаконичностью и простотой. Таунс в нескольких словах как бы подвел итог достижениям новой, замечательной науки.

Поток вопросов, захлестнувший Таунса, был прерван только сообщением о том, что ректор университета уже ожидает гостя.

ЛАЗЕР РОЖДАЕТ ЛАЗЕР

После окончания приема началась научная часть визита. Профессор Таунс ознакомился с лабораториями физического факультета МГУ. Естественно, что особое внимание он уделил отделению радиофизики, возглавляемому одним из учеников Мандельштама и Папалекси, профессором Владимиром Васильевичем Мигулиным, тем самым, который еще совсем молодым ученым руководил первыми шагами начинающего Прохорова. Мигулин до сих пор сохраняет пристрастие к теории колебаний, особенно к параметрическим колебаниям, которые неожиданно тесно переплелись с квантовой электроникой. Однако основную тяжесть этих исследований нес на себе тогда совсем молодой профессор Рем Викторович Хохлов. (Впоследствии академик ректор МГУ)

И гость особенно заинтересовался главным направлением исследований кафедры, руководимой Хохловым, – нелинейными оптическими явлениями. Так называются разнообразные эффекты, возникающие, когда свойства вещества зависят от интенсивности действующего на него света. Как и в области радио, нелинейные явления в оптике становятся существенными только при очень больших электромагнитных полях. В долазерную эру оптики имели дело лишь с крайне слабыми полями, и для наблюдения нелинейных явлений приходилось создавать очень чувствительную аппаратуру.

Обсуждая эту ситуацию, академик Вавилов, введший в науку термин «нелинейная оптика», писал: «Физики настолько свыклись с линейностью обыденной оптики, что до сих пор нет даже формального строгого математического аппарата для решения реальных «нелинейных» оптических задач».

С появлением лазеров, особенно лазеров с управляемой добротностью резонатора, дающих гигантские импульсы света мощностью в миллиарды ватт, нелинейные явления приобретают большое, иногда решающее значение не только для физики, но и для технических применений. Кстати, именно Хохлов со своим сотрудником С.А. Ахмановым написали первую монографию в этой области, суммировав и значительно развив в ней и теорию и математический аппарат, который имел в виду Вавилов. Эта монография, хорошо известная за рубежом, несомненно, была одной из причин интереса Таунса к работам ее авторов.

В предыдущих абзацах мы уже несколько раз применили выражение «нелинейные явления». Иногда совершенно невозможно избежать научных терминов. Однако специальные термины, в том числе и научные, вовсе не засоряют язык. Наоборот, они делают его проще, яснее и позволяют достичь краткости. Одно-два слова заменяют целую фразу, а иногда и несколько фраз.

Представим себе, например, график движения поезда, идущего с постоянной скоростью. Изображая путь, пройденный им за какое-нибудь время, мы получим прямую линию. Опуская слово «прямая», физик говорит о «линейном» законе движения, имея в виду, что пройденный путь пропорционален времени. Если же график изображает путь, пройденный свободно падающим камнем, то мы увидим на нем не прямую, а изогнутую линию. Не вдаваясь в подробности, не уточняя истинной формы этой кривой, физик говорит, что она не прямолинейна. Для краткости он говорит: она нелинейна. Это значит, что путь, пройденный падающим камнем, не пропорционален времени, он связан со временем нелинейной зависимостью.

В воздухе, стекле, воде, в большинстве известных сред путь, пройденный светом, пропорционален времени. Это значит, что скорость света в этих средах постоянна. Для большинства веществ это верно при всех достижимых интенсивностях света, даже для лучей оптических квантовых генераторов. Но есть небольшое количество кристаллов, в которых скорость света меняется в зависимости от его силы. Более того, эта зависимость изменяется, если меняется направление света по отношению к ребрам кристалла и его граням. Такой закон распространения света естественно назвать нелинейным. Иногда слово «нелинейный» относят к самому кристаллу, имея в виду, что закон распространения света в этом кристалле отличен от линейного.

В радиотехнике давно применяют нелинейные зависимости тока от напряжения, наблюдающиеся в радиолампах и полупроводниковых приборах для умножения частоты. Это значит, что, имея ламповый генератор какой-то определенной частоты, можно, не меняя ничего в генераторе, получить колебания с вдвое, или втрое, или даже вдесятеро большей частотой.

Естественно, что после создания оптических квантовых генераторов физики решили получить нечто подобное и в оптике. Ведь до сих пор мощные квантовые генераторы работают только на двух длинах волн — квантовые генераторы с ионами неодима дают инфракрасные волны длиной

около одного микрона, и рубиновые генераторы с ионами хрома излучают красный свет длиной около 0,69 микрона. Между тем, удвоив частоту неодимового генератора, то есть уменьшив его волну вдвое – до 0,5 микрона, можно получить зеленый свет, а утроить его частоту – значит получить ультрафиолетовые лучи длиной в 0,33 микрона. И не какие-нибудь лучи, а почти идеальные! Лазер рождает лазер!

Аналогичный результат дает умножение частоты рубинового генератора.

Действительно, пропуская луч квантового генератора через специально выращенные кристаллы, Франкен и его сотрудники смогли зарегистрировать появление излучения удвоенной частоты. Однако коэффициент преобразования был очень мал. Лишь ничтожная доля энергии падающей волны превращалась в энергию волны удвоенной частоты.

Хохлов и его сотрудники глубоко проанализировали это явление и поняли, что причина лежит в различии скоростей обеих волн. В результате действия различных участков кристалла не складываются, а даже частично уничтожаются. Но уравнения подсказали Хохлову выход из положения. Оказывается, в кристалле можно найти направления, в которых падающая волна и волна с умноженной частотой бегут с такими скоростями, при которых все точки кристалла вдоль направления распространения волн действуют согласованно и результаты их действия складываются. При этом очень большая часть энергии падающей волны превращается в энергию волны с умноженной частотой. Так были созданы весьма эффективные оптические генераторы гармоник.

Нелинейные кристаллы могут служить и своеобразными оптическими микрофонами. При их помощи можно модулировать световые волны так же, как при помощи микрофонов модулируют радиоволны для передачи музыки или речи.

Нелинейные оптические явления – это та область, где отчетливо проявляется неразделимое единство двойственной природы света. Все, что

только что говорилось об умножении частоты света, выражалось при помощи привычных для радистов волновых понятий. Но все это можно выразить и иначе.

Действительно, с квантовой точки зрения удвоение частоты выглядит так. Кристалл, обладающий нелинейными свойствами, превращает два кванта малой энергии (два кванта инфракрасного излучения) в один квант вдвое большей энергии (квант зеленого света).

Нелинейные среды способны вызвать еще более удивительные явления. Они могут объединить энергию кванта света – фотона с энергией кванта тепловых колебаний – фонона – и породить фотон с энергией большей, чем первоначальная. Это значит, что, проходя через кристалл, луч света будет отбирать часть тепловой энергии кристалла. При этом энергия света увеличится, а кристалл немного охладится.

Нечто подобное было давно открыто Мандельштамом и Папалекси в Москве и Раманом и Кришнаном в Калькутте. Это известное комбинационное рассеяние света. Но при обычном комбинационном рассеянии одновременно возникают не только фотоны, более энергичные, чем падающие, но в еще большем количестве фотоны, энергия которых меньше энергии фотонов падающего света. В итоге свет передает кристаллу часть своей энергии, и кристалл нагревается. В отличие от давно известных явлений излучение, вызванное комбинационным рассеянием мощных импульсов оптических квантовых генераторов, обладает такой же направленностью и узостью спектра, которая свойственна излучению самих оптических квантовых генераторов. Оно отличается только длиной волны. И именно возможность изменять длину волны заставляет ученых искать все новые и новые среды, пригодные для создания комбинационных преобразователей.

Огромная интенсивность излучения оптических квантовых генераторов позволяет наблюдать много других поразительных эффектов. Но отложим это на будущее. Профессор Таунс должен закончить свой визит в МГУ и

спешить в аэропорт. Он улетает в Ленинград, а потом на восток и юг нашей обширной страны. Всюду его и его супругу любезно встречают коллеги, показывая не только лаборатории, но и достопримечательности своих городов и их окрестностей.

Меня очень удивляет, что некоторые круги в США с непонятной настойчивостью внушают американцам выдумки о «замкнутом» советском обществе, о том, что советские люди сторонятся иностранцев, относятся к ним недоверчиво и подозрительно. Тысячи ученых и сотни тысяч туристов, убедившись в лживости этих басен, рассказывают за границей правду о нашей стране. Эта правда, запечатленная в десятках книг и статей, еще и еще раз доказывает всему миру лживость пропагандистов «холодной войны».

Наше традиционное гостеприимство не обошло чету Таунсов. Они посещали не только театры, концерты и цирк. Их приглашали в рестораны и в Дом ученых. Все свободные вечера они проводили в семейном кругу, в квартирах своих старых и новых друзей.

И когда наступил час прощания, провожающие и улетающие желали друг другу не только здоровья и успехов, но и скорой встречи.

ГИПЕРБОЛОИДЫ И ГИПЕРБОЛЫ

Оптические квантовые генераторы в течение нескольких лет занимали главное место в моей жизни. Я не только изучала все, что имеет к ним хоть малейшее отношение, но при любой возможности беседовала о них с самыми разнообразными людьми. Конечно, больше всего с Басовым и Прохоровым и их сотрудниками в ФИАНе. Но иногда удавалось поговорить и с теми, кто делает эти приборы и применяет их в самых разнообразных областях науки и техники.

Вначале меня поразило одно обстоятельство. Я спрашивала об оптических квантовых генераторах, а мне отвечали о лазерах. Люди, которые

в книгах и научных статьях писали «оптический квантовый генератор», говорили «лазер». Я, естественно, недоумевала. Но мне сказали: это лабораторный жаргон. Мы знаем, что слово «лазер» – белая ворона в нашем языке. Нужно говорить «оптический квантовый генератор», а сокращенно «окаге». Мы и пишем ОКГ, а по привычке говорим «лазер». И я постепенно привыкла.

Сколько раз вы встречали в этой книге слова «лазер» и «мазер»? Но каждый раз, садясь к пишущей машинке, я, как и мои друзья-ученые, представляла себе указующий перст редактора. Книга подходит к концу. И я пишу «оптический квантовый генератор». И самое большое, на что я могу решиться, – это писать на последних страницах ОКГ.

Пожалуй, нет ничего более поразительного в истории науки, чем быстрота, с которой ОКГ получили путевку в жизнь. Они еще не вышли из пеленок, их еще не выпускал ни один завод, а в научных журналах и даже в газетах уже появились сообщения, одно сенсационней другого.

«Молодой ученый ослеп, попав на расстоянии в 10 миль под луч лазера».

«Окулисты применяют ОКГ для сложных операций по закреплению сетчатки, отслаивающейся от глазного дна».

«Невропатологи применяют сфокусированный луч ОКГ для операций на нервах».

«Хирурги экспериментируют с бескровным световым ножом». (Луч ОКГ, разрезая ткани, вызывает коагуляцию крови по краям разреза, препятствуя кровотечению.)

«Цитологи применяют лучи ОКГ для операции внутри живой клетки». «ОКГ меняет наследственные свойства простейших одноклеточных существ». (Ученые учатся нащупывать лучом ОКГ отдельные гены, несущие наследственную информацию, и, воздействуя на них, пытаются, пока в простейших случаях, управлять наследственностью.)

Это, так сказать, одно направление. А вот второе.

«Лазер испаряет алмаз».

«При помощи луча ОКГ сверлится отверстие в алмазном фильере» (фильер – тончайший глазок, через который выдавливаются синтетические нити или волочится проволока. Они изготавливаются из наиболее твердых материалов).

«Луч ОКГ сваривает металлы».

«ОКГ испаряет самые тугоплавкие вещества».

Но довольно заголовков. Их не перечесть. Поток их не иссякает, а разрастается, как лавина. Как снежная лавина в горах, как лавина фотонов внутри включаемого ОКГ.

Десятки и сотни ученых, прочитав первые сообщения, устремились в новую, неизведанную область науки. Сотни и тысячи инженеров, почувствовав разнообразнейшие возможности, открываемые лучами ОКГ, по собственной инициативе или по заказу начали разработку различных технических проектов – от вполне реальных до самых фантастических.

Но скоро горячие головы поостыли. Гиперboloиды оказались гиперболами и вернулись во власть фантастов. А острословы среди американских ученых начали упражняться в новых вариантах расшифровки слова «*MASER*». Вот некоторые из них:

More Applied Scientists Eat Regularen (больше ученых-прикладников едят регулярно).

Money Acquirion Scheme for Expensive Research (способ выколачивания денег для дорогих исследований) .

Military Application Seem Extremely Remote (военные применения кажутся крайне отдаленными).

А серьезные ученые и инженеры, те, кто, отдавая все силы, влечет за собой колесницу прогресса, продолжали разрабатывать все более фантастические и вместе с тем совершенно реальные проекты.

Вспомните, сколько раз вы читали о торжественной сбойке туннелей. Глубоко под землей, под городскими улицами или сквозь горный хребет

бесстрашные проходчики с двух сторон ведут туннель. И вот они соединились. Вместе с проходчиками торжествуют маркшейдеры. Обеспечить правильный курс горного щита, выдержать безупречную ось туннеля, пожалуй, труднее, чем привести корабль в порт назначения. Штурману помогают звезды и Солнце, а в сумрачную погоду его выручает радио. Под землей ничего этого нет. Есть лишь простейшие приборы и сложная наука, граничащая с искусством. Скоро труд маркшейдеров неизмеримо облегчится. Ось туннеля будет зримо отмечена лучом ОКГ. Если выработку ведет щит, то автоматы, покорные лучу, не дадут щиту отклониться ни на сантиметр.

Кто не видел девушек-геодезистов, переносящих тяжелые треноги своих нивелиров. Недалек тот день, когда портативные ОКГ облегчат и ускорят эту трудную работу не только в романтических экспедициях, но и в буднях бесчисленных строительных площадок. Луч ОКГ поможет железнодорожникам «по ниточке» ровнять железнодорожные рельсы, строителям – возводить стены зданий – словом, он поможет всюду, где нужна точность.

Предельная точность нужна метрологам, людям, посвятившим свою жизнь измерениям. Они стремятся по возможности заменить случайные, сложившиеся исторически системы измерения и рукодельные образцовые меры и эталоны научными системами мер и природными эталонами. Метр заменил фут и аршин. Метровые линейки, хранящиеся в Севре под Парижем и в палатах мер всех промышленных стран, заменили спектральные линии.

Сейчас значение метра выражено через длину волны спектральной линии одного из изотопов криптона с погрешностью, не превышающей одну миллионную. Оптический квантовый генератор на смеси гелия и неона с автоматической подстройкой резонатора способен уменьшить ошибку еще в десятки тысяч раз.

Но еще меньше будет погрешность после подробного изучения нового оптического генератора, созданного в ФИАНе.

Этот генератор работает с удивительным резонатором. Одно из его зеркал заменено рассеивающей матовой поверхностью. Такой резонатор почти не влияет на частоту генерации. Она определяется практически только самим активным веществом. Такой генератор может стать еще более точным эталоном длины.

Тысячу лет служит человеку компас. Но иногда он подводит. То точность мала, то нужны кропотливые работы по устранению девиации – мешающего действия больших масс железа на судах и самолетах. А в высоких широтах магнитный компас совсем выходит из строя. Попав слишком далеко на север или юг, он даже не чувствует, где же находится полюс. Здесь выручает гирокомпас или радионавигация. Но и они не свободны от ошибок. Хуже всего, что ошибка гирокомпаса все более увеличивается со временем. Самолету, который быстро прилетает к цели, это не страшно. Иное дело для морских тихоходов.

ОКГ и здесь не остаются в стороне. Правда, не обычные, а так называемые кольцевые. Впрочем, слово «кольцевые» здесь тоже от лабораторного жаргона. Может ли ревнитель языка согласиться с тем, чтобы кольцом называли треугольник или квадрат? А кольцевой ОКГ Прохорова имеет форму правильного треугольника. Другие ученые предпочитают делать «кольцо» квадратным. Впрочем, большинство инженеров теперь поддерживают прохоровский вариант.

Итак, кольцевой генератор образован тремя зеркалами, укрепленными на жесткой раме так, что каждое из них образует угол 120 градусов с другими. Если поместить между этими зеркалами трубку со смесью гелия и неона и пропустить через нее сильный электрический разряд, то под его воздействием молекулы начнут излучать свет. Только в отличие от обычного, ставшего классическим лазера на рубине, в котором световые волны бегают взад и вперед между параллельными зеркалами, здесь они будут бежать по замкнутому треугольнику, последовательно отражаясь от трех зеркал и вновь и вновь проходя свой путь. Так тоже осуществляется обратная связь,

необходимая для поддержания генерации. Ведь волна многократно пробегает один и тот же путь, связывая при этом между собой все молекулы газа, лежащие на ее дороге.

В обычном ОКГ две волны: та, которая первоначально побежала налево, и та, которая в это время побежала направо, объединяются в стоячую волну. В кольцевом ОКГ также объединяется волна, бегущая по часовой стрелке, с волной, движущейся в противоположном направлении. Частоты колебаний в волнах, бегущих в противоположных направлениях, строго одинаковы.

Положим теперь кольцевой ОКГ на вращающуюся платформу так, чтобы ее ось проходила через середину треугольника. При этом обнаружится, что частоты колебаний в обеих бегущих волнах перестанут быть равными. Причем разность частот окажется пропорциональной скорости вращения всей системы.

Именно это и имели в виду ученые. По измерению разности частот они могут очень точно измерять медленные вращения. Если кольцевой ОКГ поместить на корабль, то всякий поворот корабля приведет к появлению разности частот двух световых волн, бегущих внутри ОКГ. Так ОКГ позволяет измерять скорость поворота корабля. Объединив такой оптический измеритель с точными часами, отмечающими время поворота, можно автоматически определить угол, на который повернулся корабль, а именно это и делает компас.

Я предвижу два вопроса. Первый – как оптический гироскоп определяет направление поворота? Ведь он не может отличить поворот направо от поворота налево. Совершенно верно, простой кольцевой ОКГ не может этого сделать. Но если добиться того, чтобы частоты левой и правой волн с самого начала немного различались, то при повороте в одну сторону эта разность возрастет, а при обратном повороте она уменьшится. Добиться необходимого первоначального различия можно многими путями. Пожалуй, проще всего этого можно достичь, поместив на пути лучей кольцевого ОКГ

кусочек вещества, в котором при прохождении слева направо и справа налево укладывается различное число длин волн.

Такие свойства приобретают некоторые стекла и кристаллы под действием магнитного поля. Это же наблюдается в текущих жидкостях, которые, как заметил еще в 1857 году Физо, увлекают своим течением свет.

Второй законный вопрос состоит в следующем. Не обнаружит ли вращения и обычный ОКГ, если поместить его на ту же платформу, на которой лежит наш кольцевой ОКГ? Расчет показывает, что вращение действует и на обычный ОКГ, но это действие так мало, что обнаружить его практически невозможно. Ученые убедились, что вращение сказывается здесь не непосредственно, а через линейную скорость. И результат получается замысловатый, он зависит от квадрата отношения скорости движения ОКГ к скорости света. А в обычных условиях это величины, перед которыми стоят пятнадцать-восемнадцать нулей! Конечно, никто не станет в таком случае связываться с обычным лазером, если уже создан кольцевой.

Кто не слышал о термояде? Получение управляемых термоядерных реакций обещает навсегда избавить человечество от топливного голода, поможет решить такие злокозненные задачи, как управление погодой и даже климатом. Впрочем, об этом написано множество книг. Естественно, что ученые сразу задумались над применением ОКГ для разогрева плазмы. Мы уже знаем, об этом не раз писалось, что точные измерения Прохорова, Мандельштама и их сотрудников показали, что пока удастся достичь лишь полумиллиона градусов. Но еще не все резервы пущены в ход. Конечно, до вожаемых двадцати миллионов градусов предстоит еще нелегкий путь. Ученые, несомненно, пройдут его с честью, и мы еще услышим об их победе. Эта возможность использования лазеров очень важна, но мне, честно говоря, не терпится перейти к одной области, которая меня просто поразила. Впрочем, она поражает и выдавших виды физиков. Я говорю о голографии.

ЗАМОРОЖЕННЫЙ СВЕТ

Появление ОКГ позволило в полной мере реализовать возможности замечательного изобретения Д. Габора, которое он назвал голографией. Голограмма в буквальном переводе означает «подлинная запись», что чрезвычайно точно определяет суть изобретения. Голограмма сохраняет несравненно большую информацию о фотографируемом объекте, чем обычная фотография, даже чем ее стереоскопический вариант. При помощи голограммы можно видеть объемное изображение- предметов. Более того, если взгляд переходит от близких предметов, зафиксированных на голограмме, к удаленным, приходится менять аккомодацию глаз точно так же, как при рассмотрении самой натуры. Но и этого мало! Перемещая голову перед голограммой, можно осматривать предметы под различными углами и, таким образом, видеть удаленные предметы, скрытые за впереди лежащими.

Несмотря на то, что изобретению Габора скоро исполнится 20 лет, оно до последнего времени не имело широкого применения. Причиной было отсутствие достаточно ярких источников света, и не просто ярких, но таких, в которых молекулы излучают свет не вразброд, а все сразу, как по команде. Появление ОКГ, в которых световые волны рождаются строго в фазе и с очень точной частотой, привело к рождению голографии.

Принципы голографии настолько просты, что при наличии ОКГ и подходящих фотографических пластинок она доступна каждому.

Простейший фотографический аппарат, иначе – камера-обскура, – это просто темный ящик, в одной стенке которого проделано очень маленькое отверстие, а на противоположной (с внутренней стороны) укреплена фотопластинка. Световые лучи, рассеянные фотографируемым предметом и проходящие через отверстие, образуют изображение, фиксируемое фотопластинкой. Этот нехитрый процесс обеспечивается прямолинейностью распространения света. Если закрыть отверстие и проделать рядом второе, то соответственно передвинется и изображение на фотопластинке.

Открыв сразу оба отверстия, мы получим на фотопластинке наложение двух одинаковых, но смещенных изображений. Увеличивая количество отверстий или их величину, мы будем получать все более размытое изображение, которое в конце концов исчезнет, превратившись в равномерно освещенное пятно.

Роль фотографического объектива состоит в сведении в единое изображение света, проходящего через все отверстие объектива. Благодаря этой способности объектив дает более яркое изображение, чем точечное отверстие.

Голография не нуждается в объективе. Она основана на том, что вся информация о виде объекта уже содержится в рассеиваемых им световых волнах. Метод голографии покоится на возможности зафиксировать непосредственно особенности световых волн, рассеянных объектом. Фиксация самих световых волн, идущих от объекта, делает ненужным формирование изображения и его фотографирование. Идея голографии заключена в возможности последующего восстановления зафиксированных однажды световых волн. В том, чтобы затем получать при их помощи изображение объекта, даже если сам объект уже не существует.

Голография как бы замораживает световые волны с тем, чтобы в нужный момент разморозить их, но делает она это так, что «размороженные» световые волны можно получать сколь угодно долго и неограниченно много раз.

Хотя все это очень просто, мы так привыкли к обычной фотографии, что методы и результаты голографии представляются нам совершенно фантастическими. В самом деле, что может быть проще? ОКГ освещает два плоских зеркала, стоящих рядом и наклоненных одно к другому под небольшим углом. Каждое из зеркал отбрасывает свет ОКГ на экран. В той части экрана, на которой оба пучка света перекрещиваются, мы видим узкие чередующиеся темные и белые полосы, идущие параллельно одна другой.

Они возникают в результате интерференции, сложения лучей. Поместив вместо экрана фотопластинку, мы зафиксируем эти полосы.

Зеркала могут быть и отдалены одно от другого. Достаточно лишь, чтобы они были наклонены так, чтобы отбрасываемые пучки света ОКГ перекрывались на фотопластинке.

Если вместо одного из зеркал поставить какой-нибудь предмет, то свет, рассеиваемый им, частично попадет на фотопластинку и будет интерферировать на ней со светом, отброшенным оставшимся зеркалом.

Распределение темных и светлых участков, образующихся при этом и фиксируемых фотопластинкой, и есть голограмма. Это, конечно, не фотография. На ней нет знакомого предмета. Но... минуточку терпения. Поставив проявленную пластинку на прежнее место и убрав фотографировавшийся предмет, осветим пластинку при помощи ОКГ и оставшегося зеркала, не трогая их с места. Взглянув на освещенную так фотопластинку со стороны, противоположной зеркалу, мы с удивлением увидим сквозь нее предмет точно таким, каким он был при голографировании. Мы будем видеть его объемным. Рассматривая его, мы должны будем по-разному фокусировать глаза, желая рассмотреть близкие и удаленные части предмета. Перемещая голову, мы увидим предмет в различной перспективе точно так, как если бы мы смотрели через окно, подходя к нему из глубины комнаты. Голограмма преобразует волны света ОКГ в точное подобие световых волн, рассеивавшихся объектом, участвовавшим в образовании голограммы. И, воспринимая этот преобразованный свет, мы уже не можем отличить, исходит ли Он от голограммы или от самого объекта. Это уже не подобие жизни, запечатленной на обычной фотографии, а сама жизнь!

Результат покажется еще более поразительным, если мы рассмотрим голограмму при свете обычной лампы или при дневном свете. На ней действительно нет ничего напоминающего фотографировавшийся предмет.

Под микроскопом можно увидеть лишь хаотическое сплетение темных и светлых линий.

Чудо предстанет перед нами во всем объеме, если мы, случайно разбив голограмму, поставим на старое место небольшой обломок и снова включим ОКГ. Взглянув на уцелевший кусок голограммы, мы опять увидим отсутствующий предмет целиком! Не кусок предмета, как на разорванной фотографии, а весь целиком. Впечатление такое, как будто мы смотрим сквозь отверстие в ставне, закрывающем окно. Если «отверстие»-осколок очень мало, то, для того чтобы осмотреть весь предмет, придется перемещать глаза перед отверстием. Правда, если осколок слишком мал, то предмет будет виден менее четко.

Этот пример демонстрирует основное отличие голограммы от фотографии. В фотографии каждый участок изображения соответствует вполне определенному участку объекта. Напротив, каждый участок голограммы содержит информацию о всех окружающих объектах, отбрасывающих рассеянный свет на голограмму. Совокупное действие всех частей голограммы лишь увеличивает яркость и четкость изображения. Представьте себе будущее голографии! Можно . будет голографировать целые книги и вместо толстых томов хранить тоненькие листки. А один юрист с восторгом рассказывал, что таким способом можно будет создавать компактные архивы, состоящие из голограмм и позволяющие быстро и автоматически извлекать нужную информацию.

Голография открывает такие широкие перспективы, что просто не знаешь, о чем говорить раньше. Ну, во-первых, применив при получении голограммы и затем при восстановлении изображения три отдельных ОКГ, дающих, например, излучение красного, зеленого и синего цвета, можно получать цветное объемное изображение. И после того как производство ОКГ уже будет хорошо освоено и их цена достаточно понизится, можно ожидать очередной революции в телевидении и кино. Ведь фиксируя на киноплёнке не изображение предметов и сцен, а голограммы, можно

восстанавливать изображение в кинотеатре или, передавая голограмму по радио, восстанавливать ее в телевизионных приемниках. При этом восстановленное изображение будет цветным и не только объемным, как в стереокино, но сохранит все особенности голографической реконструкции. Перемещение глаз зрителя будет вызывать изменение перспективы, а контрастность изображения не будет портиться из-за ослабления радиосигнала.

Голография открывает новые возможности и в исследовательской работе. Оказывается, восстановление голограммы возможно и при помощи волн, длина которых отлична от той, при которой получена голограмма.

Поэтому можно, например, зафиксировать голограмму при помощи рентгеновых лучей, для которых не существует линз, а потом восстанавливать изображение в видимом свете. Более того, голограмму можно получить в электронном микроскопе, а потом рассматривать изображение глазом.

Первые успехи голографии, полученные при помощи обычных источников света, бледнеют перед тем, что уже теперь получается благодаря применению ОКГ. А будущее и представить трудно.

Кое-что можно, конечно, предвидеть и сейчас. Если голография способна в одной плоскости зафиксировать информацию о трехмерном мире, представьте себе, каким объемом информации может обладать трехмерная голограмма!

Для того чтобы сделать голограмму трехмерной, мало заменить тонкую фотографическую эмульсию толстым блоком светочувствительного материала. Нужно еще обеспечить участие всей толщи в записи голограммы и в восстановлении информации. Для этого, по-видимому, придется применить много лучей отдельных ОКГ, работающих на различных длинах волн, падающих на светочувствительный блок под различными углами. Так же будет осуществляться и считывание информации. Предельные оценки емкости такой системы записи просто фантастичны. Весь объем

информации, содержащийся в большой библиотеке, может быть в принципе зафиксирован в объеме, равном нескольким литрам. Конечно, для этого нужно решить множество задач, связанных не только с записью информации, но и с ее поиском и восстановлением. Но даже в миллион раз меньшие результаты будут намного превосходить современные возможности.

Развитие голографии делает возможным, например, такое. На одну голограмму фиксируется несколько десятков страниц, причем во время голографирования каждая страница располагается на различном расстоянии от голограммы. При восстановлении изображения можно рассматривать его через оптическую систему и, меняя ее фокусировку, последовательно читать все страницы.

Удивительные перспективы открывает сочетание голографии со специальными оптическими фильтрами, которые позволяют отбирать из всей информации, зафиксированной на голограмме, лишь то, что удовлетворяет определенным критериям. Таким путем можно будет отбирать все страницы, на которых содержится определенная химическая формула или заданное слово, облегчая работу библиографов и ученых.

Голография натолкнула ученых на одну любопытную гипотезу.

Работа мозга – одна из величайших загадок природы. Мозг животного, а особенно мозг человека, удивляет своей стойкостью, способностью заменять поврежденные участки другими. Механизм памяти, процессы мышления еще далеко не поняты.

Развитие электронных вычислительных машин дало повод трактовать мозг как большую машину из миллиарда элементов – нейронов. Но эта трактовка встречается с большими трудностями.

Голография позволила предпринять новый подход к тайне мозга. Ведь голограмма тоже очень устойчива. Каждый осколок ее хранит всю запечатленную информацию. При уменьшении размеров осколка теряются лишь детали. Основные контуры остаются. Разве не такова наша память? Сперва мы забываем детали, мелкие подробности. Какое-нибудь слово,

иногда запах пробуждают в нас яркую картину давно прошедших и, казалось, забытых событий.

Так не действует ли мозг подобно голограмме? Может быть, миллиарды нейронов одновременно участвуют в деятельности мозга, подобно массе элементов голограммы, а не работают один за другим, как элементарные ячейки вычислительной машины?

Это, конечно, гипотеза, но отнюдь не невероятная!

УПРЯЖКУ ТЯНЕТ ФОТОН

Голография – лишь один из разделов оптики, в который ОКГ вдохнул новую жизнь. Еще более удивительная метаморфоза произошла с оптической связью. Люди применяли световые сигналы уже в глубокой древности. Вспомните о том, как афиняне узнали о победе над персами. Эту весть донесли световые сигналы. Оптический телефон появился за 15 лет до изобретения радио, но постепенно радио победило своего старшего соперника.

В наши дни оптическая связь берет реванш. Она, конечно, не в силах вытеснить радио. Но в некоторых случаях световая связь оказывается предпочтительнее. Особенно там, где надо передать большой объем информации.

Световая связь естественно продолжает наступление в область коротких волн, начатое радистами. Это наступление вызвано не только теснотой в эфире, но и тем, что для передачи телевидения пригодны лишь метровые и более короткие волны. Ведь для создания четкого телевизионного изображения необходимо передавать миллионы сигналов в секунду. А это возможно только, если для передачи каждого сигнала используется по крайней мере десяток периодов радиоволны. Но десятки миллионов периодов в секунду соответствуют метровым волнам.

Применение дециметровых и сантиметровых радиоволн позволяет передавать одновременно несколько телевизионных программ и множество телефонных разговоров. Но этот путь связан с преодолением многочисленных технических трудностей. Так не совершить ли, подумали радиофизики, сразу скачок от сантиметровых радиоволн к световым волнам? Ведь пропускная способность оптических линий связи, в которых обычные источники света заменены ОКГ, поистине безгранична. Цифры, которые при этом часто называют – тысячи телевизионных каналов и сотни тысяч телефонных разговоров одновременно, – намного превосходят современную потребность.

Первые опытные линии оптической связи нового типа уже работают и у нас и за рубежом. Они подтверждают самые оптимистические прогнозы. Такие линии могут быть проложены между высокими зданиями или вышками. Чтобы защититься от помех при густых снегопадах или ливневых дождях, они могут проходить и в специальных защитных трубах.

Световые лучи ОКГ позволяют легко достичь многого, совершенно недоступного радиоволнам. Но это не значит, что радио потеряло значение. Так же как газета и журнал не заменяют, а дополняют друг друга, световые волны дополняют радио в тех областях, где применение радиоволн встречается с трудностями. Например, радиолокаторы и радионавигационные системы превосходно справляются с точным определением больших расстояний. Здесь они вне конкуренции, будь то самолеты, удаленные на тысячи километров, или планеты, отстоящие на десятки миллионов километров. Но если нужно точно измерить, сколько метров отделяет шасси садящегося самолета от поверхности аэродрома, то радио уступает место свету.

Если высокочастотные радиоволны, прогревая тело человека, исцеляют его от невралгии или помогают лечить другие болезни, то луч ОКГ приживляет отслоившуюся от глазного дна сетчатку или делает бескровные разрезы при тонких хирургических операциях.

Если высокочастотные радиоволны закаляют стальные изделия, плавят металлы, варят стекло, сушат керамику и древесину, то лучи ОКГ сверлят драгоценные камни и сверхтвердые сплавы, помогают при точнейшем контроле размеров ответственных деталей, позволяют проводить спектральный анализ мельчайших образцов...

Впрочем, этот перечень столь длинен, что легко может наскучить.

Может быть, пора сказать несколько слов и о том, чего еще не удалось достичь при помощи ОКГ, но что, вероятно, станет реальным в недалеком будущем?

Ученые уверены в том, что мощные лучи ОКГ позволят им по-новому управлять химическими реакциями, а может быть, и сложными биологическими процессами. Ведутся поиски возможностей использования огромных электромагнитных полей, возникающих в лучах ОКГ для ускорения микрочастиц. Биологи уже вторглись лучами ОКГ внутрь живой клетки. Но все это только начало. Начало, потому что квантовая электроника лишь вступает во второе десятилетие, а оптическим квантовым генераторам только недавно исполнилось пять лет.

Но уже теперь ученые заметили удивительную общность между квантовыми генераторами и живыми организмами.

Живые организмы в какой-то мере идут наперекор суровому второму началу термодинамики. Началу, которое выражает стремление природы двигаться от упорядоченного состояния к неупорядоченному. Молекулы газа не могут собраться в одном углу сосуда. Они хаотически заполняют весь его объем. Живой организм строит свои клетки из простых мертвых продуктов. Но стоит жизни прекратиться, и начнется распад, непреодолимый распад, предписываемый вторым началом. Сложные упорядоченные органические молекулы легко распадаются на более простые молекулы неорганических веществ.

В оптических квантовых генераторах энергия хаотического белого света лампы-вспышки преобразуется в чрезвычайно упорядоченное

одноцветное излучение. Такое же упорядоченное стабильное электромагнитное поле получается в молекулярном генераторе за счет хаотической тепловой энергии молекул. И в живых организмах и в квантовых генераторах царствует строгий порядок.

Что скрывается за этим сходством? Не поможет ли раскрытие истинной его причины проникновению в тайну жизни?

Новая область науки переживает пору детства. Можно лишь смутно предвидеть, что она принесет в период возмужания.

Еще недавно мы поражались тому, что люди заставили работать на себя атомное ядро. Теперь упряжку тянет и квант света – фотон. И уже в первых шагах квантовых усилителей и генераторов угадывается их многообещающее будущее.

...Химический завод, на котором сырье прямо из трубопроводов попадает в реактор, где под жгучими лучами ОКГ идет сложный синтез. Из реактора вытекает пластмасса, окончательно полимеризирующаяся в прозрачных формах непрерывного действия под лучами других лазеров. Вот с пульта управления подается команда. Гаснут одни ОКГ и зажигаются другие, дающие лучи другого цвета иной частоты, и из того же сырья образуется совершенно новый продукт...

...Механический завод, где лучи лазеров ведут точнейшую обработку самых твердых 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 объем ее памяти в тысячу раз превосходят существующие, а размеры много меньше...

...Автоматические телефонные станции, в которых нет ни одного реле. Там работает только свет и вместо толстых многожильных кабелей лежат тонкие жгуты светопроводов. И эти станции включены в глобальную систему связи, использующую серию спутников, радиоволны и лучи света, идущие по

трубам. Такая система обеспечит не только все потребности связи на Земле, но и связь с покорителями соседних планет...

Вырисовываются еще десятки самых неожиданных применений чудесного прибора. Мы можем спокойно дать волю фантазии. Ученых этим не удивишь и не испугаешь. Они уверены, что сухие формулы и лабораторные установки способны породить и более поразительные реальности.

Задумываясь о судьбе оптических квантовых генераторов, хочется надеяться, что ученые не пойдут по сумасбродному пути инженера Гарина, героя романа А. Толстого. Советские ученые рады, что их американские коллеги предпочитают расшифровывать слово «мазер» в фразу «военные применения кажутся крайне отдаленными». Пусть областями их применения останутся наука, промышленность и связь на Земле и в космосе.

В ПУТЬ!

Дорогой читатель! Книга подходит к концу. Мы познакомились с физиками, работающими в одной очень молодой области. Но это узкое направление связано неразрывными нитями с различными, порой весьма отдаленными частями науки и техники. Таким связям нет числа. Они выражают глубинное свойство науки – ее универсальность.

Но сколь ни всеобъемлюще человеческое мышление, способности отдельного человека ограничены. Он не может объять необъятного. Стремясь сделать свой кругозор возможно более широким, каждый из нас вынужден ограничить сферу своей деятельности, чтобы достичь в ней наилучших результатов. Так же поступают и ученые. И здесь наиболее рельефно проявляются индивидуальные черты, личные склонности, пристрастия, вкусы.

Вот что сказал об этом 11 декабря 1964 года, при вручении ему Нобелевской премии, Николай Геннадиевич Басов:

– В современной физике, как это, возможно, было и раньше, существуют два различных течения. Одна группа физиков видит свою цель в познании новых закономерностей и в разрешении существующих противоречий. Выходом своей работы они считают теорию, в частности, разработку математического аппарата современной физики. В качестве отходов производства появляются новые принципы построения приборов и физические приборы. Другая группа физиков, наоборот, стремится создать физические приборы, основанные на новом принципе, и, направляясь к этой цели, старается обойти неизбежно встречающиеся трудности и противоречия. Различные гипотезы и теории эта группа считает отходами производства.

Обе группы имеют выдающиеся достижения. Одна группа создает питательную среду для другой, и поэтому они не могут жить друг без друга, хотя их взаимоотношения довольно остры. Первая группа называет вторую «изобретателями», вторая обвиняет первую в абстрактности, а иногда в бесцельности.

С первого взгляда может показаться, что речь идет о теоретиках и экспериментаторах. Но это не так: и первая и вторая группы включают в себя обе эти разновидности физиков. В настоящее время разделение на эти две группы стало настолько резким, что целые направления в науке можно отнести к первой или второй группе, хотя имеются разделы физики, где обе группы работают сообща.

К первой группе физиков относится большинство исследователей по квантовой теории поля, теории элементарных частиц, многих вопросов ядерной физики, гравитации, космогонии, по ряду вопросов физики твердого тела. Ярким примером второй группы являются физики, занятые разработкой вопросов термоядерного синтеза, квантовой и полупроводниковой электроники.

Несмотря на то, что вторая группа физиков стремится в конечном счете создать физический прибор, весьма характерным для них является предварительный теоретический анализ. Так, в квантовой электронике были теоретически предсказаны возможности создания квантовых генераторов вообще, показана высокая монохроматичность и стабильность частоты излучения, предсказана высокая чувствительность квантовых усилителей, исследована возможность создания лазеров различных типов.

...Подавляющее большинство ученых, прошедших по страницам этой книги, принадлежат, если придерживаться классификации Басова, ко второй из указанных им групп. Поэтому в этой книге я рассказывала не только о проблемах, которые волнуют физиков, выбравших полем своей деятельности квантовую физику, но и о конкретных приборах, ими созданных. В конечном счете и промышленность и другие области науки нуждаются именно в лазерах и лазерах – приборах. Ведь они есть не что иное, как овеществление идей. А кроме того, тут, конечно, сказывается и пристрастие автора. Я всегда начинаю знакомство с ученым ознакомлением с его прибором, с его главным прибором. Мне кажется, что и десять страниц биографии ученого не скажут о нем больше, чем описание его любимого прибора.

Как можно говорить об ученых, об их труде, если не говорить о продуктах этого труда, о приборах? Речь идет, конечно, не о теоретиках, орудием труда которых является карандаш и бумага, а его выход – идеи, теории, гипотезы, в общем то, что пощупать никак невозможно. Но прибор для ученого-практика – это смысл его творческой деятельности, его мечта и его дело. Прибор для ученого – как картина для художника, партитура для композитора, выращенное дерево для селекционера. И так же отражает индивидуальность автора, его темперамент, его вкус.

И среди ученых я встречала таких, которые предпочитают не очень ломать себе голову, а применить готовое. Так же как есть портнихи, шьющие по готовым, купленным в магазинах выкройкам, и сшитые ими платья похожи на тысячи других. Таких портних женщины не очень-то любят, им

хочется, чтобы платье было красивым, чтобы оно было особенным. И идут к тем, которые не ленятся несколько раз прикинуть, померить, повертеть материал так и эдак, но уж сошьют так, что платье будет на славу!

Пусть ученых не шокирует этот приземленный пример. Все мы в любом деле немного портные: одни «шьют» мебель, другие «кроят» дома, третьи мозгуют над тем, из чего сделать искусственные органы для человеческого тела взамен сношенных. И пусть простят мне ученые, но я не думаю, что они какие-то особые существа. По-моему, они – как все. Конечно же, среди ученых есть разные люди. Только сфера их деятельности, может быть, самая сложная, самая головоломная, требующая от человека напряжения всех его сил и возможностей, всего его умения: и умения рук, и высшей зрелости разума.

Но и этому умению, как и всякому другому, можно научить. Физиком, конечно же, может стать каждый молодой человек. Но... «Но» здесь столько же, как и в любой профессии. И ученый может быть хорошим и плохим, удивительным, особенным или посредственным. Одни ученые идут проторенными путями, другие мучаются, горят, не спят. Ищут решения самого точного, самого прямого, самого изящного. (И прибор ведь может быть красивым и формула изящной.)

И когда ученые говорят: красивое решение, красивая теория – это значит: вопрос решен самым лаконичным, самым целесообразным путем, к этому нечего добавить, и от этого нечего отнять. Тут проявились и чувство меры ученого, и его вкус, и его знания, которые помогли ему выбрать из всего, что известно, самое нужное, самое необходимое.

Пока прибор или теория приобретет свой окончательный вид, ученый перебирает массу вариантов, он лепит свою идею из формул или материалов, и они в его руках становятся гибкими и податливыми, словно глина в руках скульптора. Этот процесс, наполненный напряжением, бессонницей, муками творчества, может длиться годами. Но что в этом удивительного? Ведь писал же известный русский художник Александр Иванов свою картину «Явление

мессии народу» свыше двадцати лет! Одни эскизы к ней занимают целый зал в Третьяковской галерее.

Настоящий ученый тоже не перестает думать о своей «картине» – приборе, идее в метро и за обедом, в театре и в гостях. Он мысленно набрасывает эскиз, ищет самое верное, самое красивое решение. И создает неожиданно новое из знакомых деталей и материалов, конденсаторов, стали, дерева. Или из невообразимо удивительных атомов и молекул, фотонов и нейтрино. И ничего не рассказать читателю о созданной им теории или приборе, о том пути, которым он шел к ним, – это значит ничего не рассказать о нем самом, ничего не сказать о смысле его жизни...

...Кстати, деление Басова, как и любая классификация, весьма условно. Прохоров мечтает начать исследования в нехоженной стране сверхсильных полей, а Таунс по-деловому обсуждает проблему связи с внеземными цивилизациями. Да и сам Басов стремится урвать хоть немного времени, чтобы попытаться обнаружить новые закономерности на стыке квантовой электроники и биологии. Его всерьез занимает мысль: не есть ли сама жизнь – лазер? Возьмите работу мышц. Вот руки спокойно висят вдоль тела, и вдруг они взмывают выше головы штангу весом, превышающим вес человека. Откуда мышцы черпают свою энергию? Не похоже ли это на работу лазера? Вот ионы хрома беспорядочно вспыхивают в рубине, и вдруг возникает цепная реакция, они дружно отдают свою энергию в виде мощного луча, перекрывающего космические пространства!

Для науки и ученых, конечно же, важно не разделение, не пограничные линии, которые тут весьма условны. Гораздо важнее для них глубокая общность, неуничтожаемые связи, проявляющиеся и в замечательной преемственности. В тесном сотрудничестве поколений. Здесь нет проблемы отцов и детей.

Физики развиваются очень быстро. Зачастую к научной работе приступают еще на студенческой скамье. Во многих советских высших учебных заведениях это стало правилом. Дипломная работа оказывается

зрелым научным трудом. Дипломник предъявляет экзаменаторам одну, а иногда и несколько статей в солидных академических журналах.

И, соскочив с пресловутой студенческой скамьи, способен работать сразу в полную силу.

Когда я знакомилась с молодыми героями моей книги, мне невольно вспомнились слова, которые история приписывает Юлию Цезарю: «Двадцать три года, а ничего не сделано для бессмертия!»

Конечно, в наш век этот возраст поневоле приходится поднимать на десяток лет – современная наука посложнее ратных цезаревых подвигов. И в двадцать три к ней только подступаются всерьез. Но у молодых физиков, о которых я рассказала в этой книге (их средний возраст будем считать лет тридцать), уже неплохие заявки на бессмертие в науке. И так же как об их учителях, Басове и Прохорове, о них еще будут написаны книги. Хотя многие из них уже кандидаты и доктора, они продолжают учиться. Но это их судьба. Они сами избрали ее. И будут учиться всю жизнь. Таковы их привычка и их потребность. С годами будут прибавляться знания, и опыт, и... тяга к работе, и влюбленность в нее, и удивление перед все нарастающим обилием загадок. Великий де Бройль как-то сказал: «Каждый успех наших знаний ставит больше проблем, чем решает». А совсем молодой, еще ничем не знаменитый физик выразил ту же мысль, по-моему, еще точнее: «О, физика – это тихий омут. А в тихом омуте черти водятся...»

И чтобы выловить этих чертей, одни ученые мастерят огромные сети-приборы, другим хватает клочка бумаги. Эйнштейну этого было достаточно. Он любил говорить, что инструмент, которым он исследует мир, – его голова, а лаборатория заключается в авторучке. Существует даже анекдот о том, как жена его, Эльза, осматривая вместе с ним гигантский телескоп в обсерватории Маунт-Вильсон, спросила: «Для чего нужен такой великан?» И после ответа директора обсерватории: «Для исследования вселенной» – удивилась: «Неужели? А мой муж обычно делает это на обороте старого конверта».

Физики, с которыми я познакомилась за годы, ушедшие на подготовку этой книги, отличаются удивительной особенностью. Это молодость. Трудно поверить, что здесь люди разных поколений. В байдарочном походе Прохоров беспрекословно подчиняется капитану – своему лаборанту. Мигулин, опережая студентов, завоевывает большую березовую медаль на неофициальных соревнованиях по слалому в альпинистском лагере «Алибек». Впрочем, рекорд такого рода побил человек, далекий от квантовой электроники, – лауреат Нобелевской премии по физиологии 1945 года Э. Б. Чэйн, ставший несколько – лет олимпийским чемпионом по парусному спорту.

У меня нет статистических данных, но в среде пенсионеров труднее всего встретить ученого.

Если вы хотите увидеть физиков вне стен исследовательского института, ищите их у туристских костров, в альпинистских лагерях, на стадионах. Не существует большего заблуждения, чем считать физиков людьми не от мира сего. Проблему «физиков и лириков» придумали отнюдь не физики.

Читатель вправе спросить автора, почему же он, с таким восторгом говорящий о физиках, не стал физиком? Дело в том, что человек может стать настоящим физиком только в юности. Физиком может сделаться каждый. Именно сделаться, то есть сделать себя! Конечно, не каждый будет Эйнштейном, нелегко попасть и в первую десятку. Но место в первой сотне гарантировано каждому, кто пристрастился к физике в школе и сохранит ей верность до двадцати лет. За дальнейшее я спокойна. После двадцати изменить физике нельзя. Впрочем, и начать в двадцать еще не поздно. Труднее, но не безнадежно.

Я узнала, что такое физика, позже. И могу лишь сожалеть об этом. Кому из нас при выходе из Эрмитажа не хотелось стать живописцем или скульптором? Большинство вскоре забывает это желание. Некоторые отдают

искусству свое свободное время. Но и те и другие продолжают при первой возможности заходить в музеи и картинные галереи.

Я получаю от физики не меньшее удовольствие, чем от живописи или кино. Этому я обязана своим друзьям-физикам. В том числе героям моей книги.

И больше всего я хочу спустя несколько лет написать о выдающемся физике, начавшем свой путь в науку с прочтения этой книги.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДЧУВСТВИЕ

Когда физики в цене
Корни
Спасение утопающих
Какая-то чертовщина
Где сидит фазан
Конфетка, а не молекула
Проклятый вопрос
Еще одна драма
А если... наоборот?
Дух изгнания
Штурм

СВЕРШЕНИЕ

Победа
За первой ласточкой
В стране сыра и часов

Люстра и атом
Ты задавал правильные вопросы?
От Раби до Эссена
Тупик без тупика
Закутаем атомы в вату
Мечты Агафьи Тихоновны
От часов к компасу
Три уровня
Меньше шума!
Венера с зеркалом

СОЛНЦЕ НА ЛАДОНИ

Ты изменил даже имя
Новый Гарин
Возможно ли это?
Возможно!
Пички-загадки
«Кушайте лучше мороженое!»
Газы, газы
Вероятно или наверняка?
Могильная плита и наука
Обед по полупроводникам
Темп нарастает

И снова... предчувствия

Хау ду ю ду!
ФИАН
Басов-лэб

Эффект или дефект?

Лаборатория колебаний

Понедельник – день тяжелый
Последние да будут первыми
Лазер рождает лазер

Гиперболоиды и гиперболы

Замороженный свет

Упряжку тянет фотон

В путь!