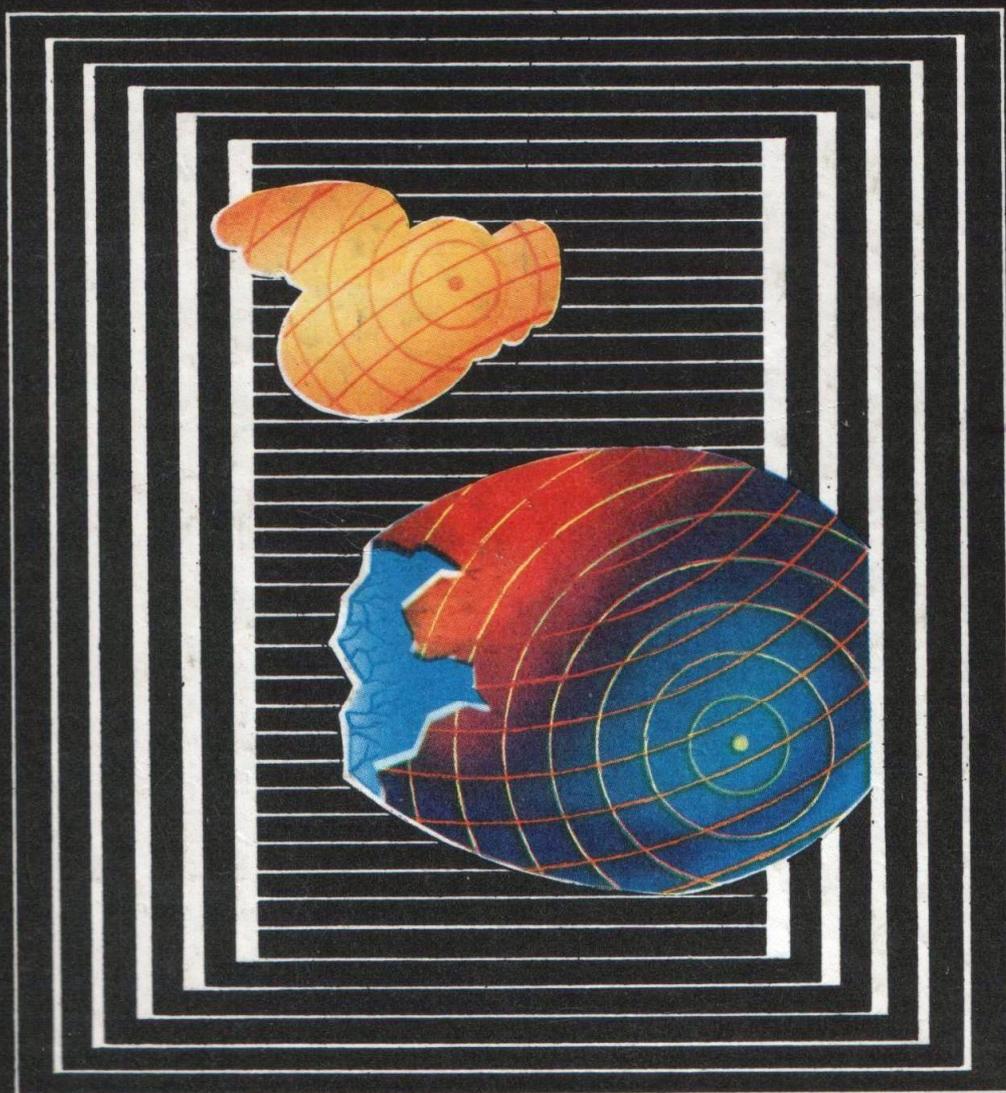


В. Родиков

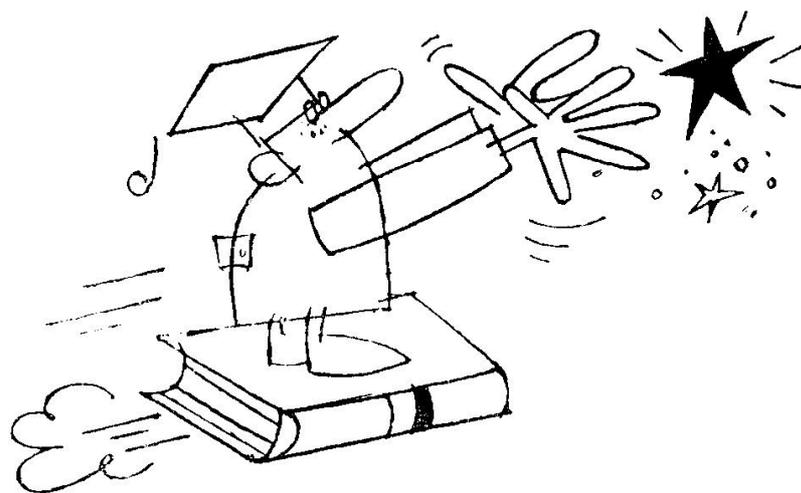
В. РОДИКОВ

ПРИКЛЮЧЕНИЯ
РАДИОЛУЧА



В.РОДИКОВ

ПРИКЛЮЧЕНИЯ РАДИОЛУЧА



МОСКВА
«МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ»
1988

ББК 32
Р 60

Рецензент
доктор технических наук И. Я. ИММОРЕЕВ

Родиков В. Е.
Р 60 Приключения радиолуча. — М.: Мол. гвардия, 1988. — 304 с., ил. —
(Эврика).

ISBN 5-235-00094-3

Книга об одном из великих открытий в истории человечества — радиоволнах, о прошлом, настоящем и возможном будущем обширнейшей научно-технической отрасли — радиоэлектроники. Читатель также узнает о причудах радиоволн: радиолокационных миражах - «призраках», «ангелах», «летающих тарелках»; о том, вредны ли радиоизлучения...

Р $\frac{2401000000}{078(02) - 88}$ **255 - 88**

ББК 32

© Издательство
«Молодая гвардия»,
1988 г.



ПРОГНОЗ ПОЭТА

Незадолго до первой мировой войны в США провели анкетирование о современных «чудесах мира», и на одном из первых мест оказалось радио. Уже в пору младенчества к нему пришло признание. Возможность мгновенно передавать и принимать известия без проводов поражала воображение.

История полна парадоксов. Такие известные специалисты, как Маркони и изобретатель триода Ли де Форест, поначалу считали радиовещание никчемным делом, зато поэт-будетлянин Велимир Хлебников увидел и нем огромные перспективы. В 1921 году он, работая ночным сторожем Дома печати в Пятигорске, часто посещал радиостанцию, живо интересовался техникой этого дела. Удивителен прогноз, который он сделал в тот год.

«Радио будущего — главное дерево сознания — откроет ведение бесконечных задач и объединит человечество.

Около главного стана Радио, этого железного замка, где тучи проводов рассыпались, точно волосы, наверное, будет начертана пара костей, череп и знакомая надпись: «Осторожно», ибо малейшая остановка работы Радио вызвала бы духовный обморок всей страны, временную утрату ее сознания.

Радио становится духовным солнцем страны, великим чародеем и чарователем.

Вообразим себе главный стан Радио: в воздухе паутина путей, туча молний, то погасающих, то зажигающихся вновь, переносящихся с одного конца здания на другой. Синий шар круглой молнии, висящей в воздухе, точно пугливая птица, косо протянутые снасти. Из этой точки земного шара ежедневно, похожие на весенний пролет птиц, разносятся стаи вестей из жизни духа.

В этом потоке молнийных птиц дух будет преобладать над силой, добрый совет над угрозой...

Советы из простого обихода будут чередоваться со статьями граждан снеговых вершин человеческого духа. Вершины волн научного моря разносятся по всей стране к местным станам Радио, чтобы в тот же день стать буквами на темных полотнах огромных книг, ростом выше домов, выросших на площадях деревень, медленно переворачивающих свои страницы...

Радио решило задачу, которую не решил храм как таковой, и сделалось так же необходимым каждому селу, как теперь училище или читальня...

Задача приобщения к единой душе человечества, к единой ежедневной духовной волне, проносимой над страной каждый день, волне, орошающей страну дождем научных и художественных новостей, — эта задача решена Радио с помощью молнии...

Железный рот самогласа пойманную и переданную ему зыбь молнии превратил в громкую разговорную речь, в пение и человеческое слово.

Все село собралось слушать.

Из уст железной трубы громко несутся новости дня, дела власти, вести о погоде, новости из бурной жизни столиц...

Но что это? Откуда этот поток, это наводнение всей страны неземным пением?..

На каждую сельскую площадь страны льются эти голоса, этот серебряный ливень. Дивные серебряные бубенчики вместе со свистом хлынули сверху. Может быть, небесные звуки — духи — низко пролетели над хаткой? Нет...

Мусоргский будущего дает всенародный вечер своего творчества, опираясь на приборы Радио, в просторном помещении от Владивостока до Балтики, под голубыми стенами неба...

Почему около громадных огненных полотен Радио, что встали как книги великанов, толпятся сегодня люди

отдаленной деревни? Это Радио разослало по своим приборам цветные тени, чтобы сделать всю страну и каждую деревню причастницей выставки художественных холстов далекой столицы. Если раньше Радио было мировым слухом, теперь оно глаза, для которых нет расстояния. Главный маяк Радио послал свои лучи, и Московская выставка холстов лучших художников расцвела на страницах книг читален каждой деревни огромной страны, посетив каждую населенную точку...

И вот научились передавать вкусовые ощущения — к простому, грубому, хотя и здоровому, обеду Радио бросит лучами вкусовой сон, призрак совершенно других вкусовых ощущений... Сытный и простой обед оденет личину роскошного пира... Это даст Радио еще большую власть над сознанием страны...

Даже запахи будут в будущем покорны воле Радио, глубокой зимой медовый запах липы, смешанный с запахом снега, будет настоящим подарком Радио стране.

Современные врачи лечат внушением на расстоянии по проволоке. Радио будущего сумеет выступать и в качестве врача, исцеляющего без лекарства.

И далее:

Известно, что некоторые звуки, как «ля» и «си», поднимают мышечную способность, иногда в шестьдесят четыре раза, сгущая ее на некоторый промежуток времени. В дни обострения труда, летней страды, постройки больших зданий эти звуки будут рассылаться Радио по всей стране, на много раз подымая ее силу.

И наконец — в руки Радио переходит постанова народного образования. Верховный совет наук будет рассылать уроки и чтение для всех училищ страны — как высших, так и низших.

Учитель будет только спутником во время этих чтений. Ежедневные перелеты уроков и учебников по небу в сельские училища страны, объединение ее сознания в единой воле.

Так радио скует непрерывные звенья мировой души и сольет человечество».

Часть предсказаний поэта стала уже реальностью, воплощение других, возможно, — дело времени. Перед нами еще один пример того, что фантасты в своих мечтах оказываются подчас прозорливее специалистов. Правда, молнии, о которых писал Велимир, иными словами, искровые передатчики, канули в Лету, а его задумки

удалось осуществить с помощью ламповых передатчиков, но это, как говорят, уже детали.

Хлебников мечтал о некоем информационном поле, которое охватит страну, затем и всю планету. И такое поле создано и продолжает развиваться и расширяться. В современном мире радиовещание и телевидение стали главными поставщиками оперативной массовой информации населению. Всего на планете насчитывается около 400 миллионов телевизоров и более миллиарда радиоприемников. По данным на 1982 год, передачи Центрального телевидения и Всесоюзного радио принимали 238 миллионов телевизоров, радиоприемников и трансляционных точек. Наша страна занимает ведущее место в мире по суммарной мощности радиостанций.

«Прямым опытом доказано, — писал академик Аксель Иванович Берг, внесший большой вклад в развитие отечественной радиотехники и кибернетики, — что человек может нормально мыслить длительное время только при условии непрекращающегося информационного общения с внешним миром. Полная информационная изоляция от внешнего мира — начало безумия. Информационная стимулирующая мышление связь с внешним миром так же необходима, как пища и тепло, мало того — как наличие энергетических полей, в которых происходит вся жизнедеятельность людей на планете».

Показательный случай произошел в войну. Из-за артобстрела нарушилась работа радиосети Ленинграда. «Это был самый страшный день», — говорили люди, жившие в нечеловеческих условиях блокады. «Без хлеба, без воды, без света трудно, но переживем, — заявили рабочие завода «Большевик», — но без радио жить немислимо, невозможно». И это понятно, истощенные от голода люди ждали сводок с фронтов, где решалась судьба Отечества.

Двадцатый век с полным основанием называли веком радио. Если поинтересоваться в кратком энциклопедическом словаре, что означает РАДИО, то можно увидеть: «часть сложных слов, указывающих на их отношение к радио или радиоактивности». Список тех слов, которые имеют отношение к радио, то есть к тому, где так или иначе используются радиоволны, даже в кратком словаре довольно обширен: радиоастрономия, радиоастрометрия, радиобуй, радиовещание, радиовидение, радиоволновод, радиоволны, радиотехнические войска,

радиофизика, радиофикация, радиочастота, радиочастотный кабель, радиочастоты, радиоэлектроника...

И этими терминами, а их в словаре более полусотни, далеко не исчерпан круг устройств, систем и даже областей науки и техники, где используются или предполагается использовать радиоволны. Радио быстро «сделало карьеру». Все, что связывается с этой частью сложного слова, зародилось и развивалось на глазах двух-трех поколений. Таково свойство нашего века НТР: сроки от появления научной идеи до ее массового внедрения неуклонно сокращаются. Обратимся к конкретным примерам. Практическое использование принципа, на котором основана фотография, началось более чем через столетие после его появления. В области телефонной связи для внедрения в производство лабораторных



установок потребовалось свыше полувека, в области радио — 35 лет. Становление радиолокации длилось 15 лет, телевидения — 12, путь от идеи до практики для транзистора, интегральных схем и лазеров был равен пяти годам. В будущем темпы увеличатся.

Разительные перемены специалисты предсказывают в близкой нам всем области — связи. И обязаны эти революционные сдвиги использованию современных ЭВМ. Во всяком случае, конечная цель связи ясна: чтобы любой человек, где бы он ни находился, без задержки установил контакт с любым интересующим его лицом.

По прогнозу ученых, к концу нынешнего века обычный телефонный аппарат станет единственным оконечным устройством ЭВМ. Текст и изображение будут воспроизводиться на экране, подключенном к телефону, а дополнительная информация — передаваться в виде речи, синтезированной электронным способом. Автомобиль будет оснащен не только телефоном, но и навигационной системой, позволяющей с помощью спутников определять с высокой точностью свое местоположение и разрабатывать оптимальный маршрут следования к месту назначения. Голография, базирующаяся на использовании лазерной техники, в сочетании с ЭВМ позволит создавать телевизионные изображения, мало отличающиеся от реальности. Автоматические электронные переводчики будут в считанные минуты переводить текст с одного языка на другие.

Пройдет время, и телефоны будут повсюду — в автомобилях, самолетных креслах, в общественном транспорте и даже в кармане пиджака. Каждый человек сможет иметь по желанию определенный телефонный номер на протяжении всей своей жизни. Это позволит связаться с ним в любое время независимо от местонахождения. Подобная сеть предоставит абоненту большой объем услуг, откроет доступ к самой разнообразной специализированной информации, и даже с помощью печатающего устройства отпечатает абоненту свежий номер газеты или журнала.

Еще одной технической новинкой, стоящей на пороге внедрения, является так называемая клеточная радиосвязь — новый вид телефона для транспорта. Автомобильные телефоны, конечно, не новинка: они известны уже много лет. Но связь с их помощью производится лишь со строго лимитированным числом абонентов.

В системе же клеточной связи есть ЭВМ, обеспечивающие более эффективное использование радиочастот. Появляется возможность создания тысяч новых радиотелефонных линий.

В такой системе город разбивается на квадраты-клетки. Компьютеры следят за каждым телефонным разговором и по мере передвижения автомобиля из одной клетки в другую переводят разговор с одного маломощного передатчика на другой, исключая всякие перебои в связи. Клеточные телефоны обеспечивают большую секретность переговоров по сравнению с обычной радиотелефонной связью. Вызов не требует ожидания, неизбежного, когда связь обеспечивается оператором.

Достижима ли цель: каждому — телефонный аппарат? Чтобы ответить на этот вопрос, приведу интересную статистику по темпам телефонизации планеты из книги Д. Л. Шарле «По всему земному шару» (М., «Радио и связь», 1985). На установку первых ста миллионов телефоном человечеству понадобилось целых 80 лет (1876—1956), а на вторую сотню — всего десять лет (1956—1966). Последующие сотни миллионов телефонных аппаратов были установлены соответственно за 6 лет, 4,5 года, 4 и 3 года. Народонаселение нашей планеты удваивается в XX веке примерно за 40 лет, а число телефонов — за 10—11 лет. Ежегодный прирост населения составляет во второй половине столетия около двух процентов (в последние годы снизился до 1,7 — 1,0), а количество телефонов — в среднем шесть процентов.

В сутки население Земли увеличивается на 220 тысяч человек, а количество телефонов примерно на 100 тысяч. К началу 1985 года население Земли достигло примерно 4,8 миллиарда человек, количество установленных телефонов — 630—640 миллионов. Следовательно, телефонная плотность, то есть число телефонов на 1000 жителей, равнялась в то время 13,2.

Демографы полагают, что в 1990 году на Земле будет 6,2—5,3 миллиарда людей, а к 2000 году — 6,1 — миллиарда. Исходя из неизменности шестипроцентного ежегодного прироста телефонов, можно рассчитать, число телефонов в мире достигнет к 1990 году миллионов, а к началу XXI века 1,5—1,6 миллиарда. Значит, за ближайшие 15 лет на Земле будет установлено в 1,5 раза больше телефонов, чем за предыдущие 110 лет, а телефонная плотность возрастет почти вдвое.

Как видим, поголовная телефонизация не так уж и фантастична.

Это лишь несколько примеров из близкой нам всем связи, но разительные перемены грядут во всех областях, где, так или иначе, используется радиотехника.

Уже сегодня благодаря микроминиатюризации аппаратуры во много раз увеличилось время приема радио- и телепередач. Возможности техники таковы, что телевизоры размещают в корпусе обыкновенных наручных часов, а одна западная фирма для любителей «непрерывной» музыки выпустила радиошарф. Он связан из эластичного полиуретанового волокна, и в него вмонтированы плоский радиоприемник с антенной и стереозвуковая система. Обвитый вокруг шеи радиошарф обеспечивает владельцу неплохое стереозвучание. Музыкальный шарф можно стирать обычным мылом, и это не отразится на качестве работы радиоустройства.

Правда, все хорошо в меру. Музыку слушают не только уши, на нее отзываются сердце, кровеносные сосуды, есть «музыкальный слух» даже у желудка. Недаром язва стала профессиональным заболеванием эстрадных музыкантов. Но звуком можно и исцелять. В Древнем Египте, например, бессонницу лечили... хоровым пением.

В ряде стран все чаще можно увидеть людей в наушниках. Прохожие, велосипедисты, бегуны трусцой, попутчики в метро и автобусе... Они какие-то тихие, словно живущие в ином, собственном мире. Глядя на них, невольно думаешь, что они как-то ненормально привязаны к своим мини-магнитофонам. Похоже, это действительно так. А, между прочим, последние исследования, проведенные специалистами по слуху, показывают, что постоянно звучащая в наушниках музыка, особенно громкая — пристрастие, разрушающее здоровье. Воздействие сильного звука ведет к значительному снижению слуха и в то же время вызывает опасное привыкание с теми же последствиями, что и при курении, употреблении алкоголя и наркотиков.

Известно, звук воздействует на мозг посредством слухового нерва. И неважно, какую музыку крутит магнитофон — Бетховена или рок. Наушники располагают источник звука слишком близко. Особенно опасны мини-динамики, вставляемые прямо в ухо: они разрушают непосредственно слуховой нерв. Человек становится невосприимчивым к обычному уровню шума, зато громкий

звук вызывает эйфорию, потребность в которой возрастает. Исследования английских специалистов показывают, что люди, слушающие громкую музыку, только привыкают к ней, но и ощущают тягу к более сильному эффекту. А если ухо постоянно подвергается Воздействию звука, уровень которого более 105 децибелов (что соответствует максимальному звучанию портативных мини-магнитофонов), то происходят необратимые изменения на клеточном уровне во внутреннем ухе, и в ряде случаев человек глохнет. Воздействие же на психику еще более разрушительно. После такой информации невольно вспоминается шуточное высказывание известного сатирика Ильи Ильфа: «В фантастических романах главное это было радио. При нем ожидалось счастье человечества. Вот радио есть, а счастья нет...»

Избыток радио- и телеинформации принесет скорее вред, чем пользу. А ее шум может заглушить шелест книжных страниц, без общения с которыми вряд ли можно ощущать себя духовно полноценным человеком. Кроме того, долгое пребывание у телевизионного экрана само по себе небезвредно. В развитых странах уже заговорили о поколении облученных телевизором детей, Да и безобидные на первый взгляд для здоровья электронные игры на телеэкране в больших дозах приводят и опасным последствиям. Как показало исследование, проведенное в одном из университетов, у 50 процентов японских детей, играющих каждый день, отмечены нарушения психики. Они становятся чрезмерно раздражительными, не слушаются родителей и учителей, порой впадают в полнейшую апатию. Пагубное влияние на поведение детей оказывает и тематика игр, в которой преобладают гангстеризм, войны с космическими пришельцами.

Бьют тревогу и родительские комитеты швейцарских школ: каждый ученик проводит перед экраном телевизора, по крайней мере, два или три часа в день. Такое Положение, по мнению психологов, дальше терпеть невозможно. К ним присоединяются врачи, которые говорят о том, что пассивное сидение перед телевизором заметно снижает двигательные способности растущего организма молодых людей, а также их творческую активность. Что же предлагают специалисты родителям? Прежде всего, стараться почаще приглашать к себе домой друзей вашего сына или дочери, переместить телевизор

на кухню и сделать так, чтобы дети не могли сами включать его. Если придерживаться некоторых из данных правил, то, по мнению экспертов, вы даруете своему ребенку от шести до восьми лет жизни.

Именно по этому поводу была пущена за рубежом такая шутка: «Радио и телевидение — прекрасные изобретения: одно движение руки, и... ничего не слышно и не видно».

Но бывает довольно непросто выключить радио. Например, тайландские студенты при поступлении в университет вместо обычных шпаргалок пользовались миниатюрными рациями. Администрации пришлось вызвать специальную установку для глушения «радиоконсультаций».

Журналисты-газетчики тоже не упускают случая по-иронизировать над своими конкурентами — «электронными» коллегами. Однажды солидный западногерманский еженедельник, начав с серьезного утверждения о том, что «ТВ — чудо XX века, поистине величайшее изобретение», завершил свою короткую, броско поданную заметку так: «Телевидение действительно замечательная вещь. От ТВ не только за какие-нибудь час-полтора просмотра получаешь жестокую головную боль, но и узнаешь из рекламы, какие таблетки ее лучше всего снимают».

Вопрос о дозе радиации, поступающей от телевизора, был тщательно исследован. Интенсивность слабого вторичного излучения экрана, возникающая из-за его бомбардировки электронным пучком, зависит от высоковольтного напряжения на кинескопе. Как правило, в черно-белых телевизорах используется напряжение 15 киловольт, и на поверхности экрана доза радиации составляет 0,5—1 миллирад в час.

В наш атомный век все мы более или менее знакомы с дозами радиации. Напомню, что рад — единица поглощенной дозы для любого вида ионизирующих излучений. Термин «рад» возник из сокращения английских слов radiation absorbed dose, что в дословном переводе означает: радиационная поглощенная доза. Представление о величине этой единицы дает следующее сравнение: чтобы нагреть грамм воды на один градус, нужна энергия в 420 тысяч раз большая, чем рад. Как видим, единица эта довольно малая, но для измерения дозы облучения живых организмов она широко используется,

прибегают даже к услугам в тысячу раз более мелкой единицы — миллирад.

После краткого экскурса вернемся к телевизионному экрану. Его мягкое излучение поглощается стеклянным или пластиковым покрытием трубки, и уже на расстоянии 5 сантиметров от экрана радиация практически не обнаруживается.

Цветные телевизоры работают при больших напряжениях. У приемников с большим экраном напряжение на втором аноде кинескопа — 20—27,5 киловольт. На расстоянии 5 сантиметров от экрана они дают радиацию от 0,5 до 150 миллирад в час. Напомню, что в среднем нормальную облученность человека от естественного радиоактивного фона считают равной примерно 100 миллирадам в год.

Предположим, вы смотрите цветной телевизор три-четыре дня в неделю по три часа и день. В год получим от 1 до 80 рад (не миллирад, а рад!). Данная цифра уже значительно превосходит естественный фон излучения. В действительности получаемые дозы значительно меньше (Кузин А. М. Невидимые лучи вокруг нас. М., «Наука», 1980, с. 62—63). Чем больше расстояние до телевизора, тем меньше доза облучения — она уменьшается пропорционально квадрату расстояния, и уже в двух метрах от экрана годовая доза радиации ниже той ежегодной нормы, которой оделяет нас окружающая природа.

Как мы убедились, при соблюдении рекомендуемых правил радиация от цветных телевизоров не должна нас беспокоить. Кроме того, телевизионные приемники непрерывно совершенствуются, внешняя их радиация снижается, а в телевизорах будущего она вообще исчезнет.

Тем не менее, даже не учитывая этот фактор, все равно нужна мера. Недаром парламент Исландии принял специальное решение: по четвергам телевидение не работает! Вечер отдан семье и полезному досугу, чтобы у людей была возможность побыть вместе, спокойно побеседовать, почитать, поиграть в шахматы...

Во времена Хлебникова таких проблем не было, и они — совсем не обязательные издержки, а порождение неразумного отношения к одному из великих открытий цивилизации. Поэт мечтал, что радио соединит человечество. Да, по своей сути эфир международен — радиоволны могут беспрепятственно пересекать государственные границы, океаны и континенты. Благодаря телевидению

мы становимся свидетелями событий, происходящих от нас на расстоянии многих тысяч километров.

Родилась телематика — симбиоз телевидения, космической связи и информатики. Примером телематики являются телемосты, приобретшие в последнее время особую популярность. Разделенные океанами люди видят, чувствуют, ощущают друг друга, словно между ними всего несколько шагов. Действительно, поверишь вдруг и в малость Земли, и в нерасторжимое единство человеческих судеб. Все мы — земляки и современники. Такие встречи — образец новой дипломатии без дипломатов. Участники встречи «по телемосту» как бы призывают в свидетели все человечество. По крайней мере, значительную часть ее. «Наедине со всеми», как теперь принято говорить, глядя прямо в глаза далекому собеседнику, лукавить и кривить душой не приходится. Рождается доверие, которого так не хватает в нашем сложном мире.

В отличие от телевидения телематика позволяет вести активное обсуждение, проводить дискуссии между людьми, находящимися в данный момент в разных частях планеты. Со временем, когда средства телематики станут дешевы и доступны, она сделается одним из важнейших средств просветительства и массового распространения необходимых знаний.

Чем дальше стрела времени уносит нас вперед, тем любопытнее возвращаться к истокам. Не этим ли объясняется теперешнее повальное увлечение историей, в том числе и историей науки и техники. Где же корень современных радиоустройств? Как было положено начало обширному радиосемейству, заполнившему мир? Чтобы ответить на эти вопросы, полезно вспомнить о таком всеобщем физическом понятии, как волна, и ненадолго заглянуть в прошлое. Исторические экскурсии очень поучительны, потому что новое — обычно хорошо забытое старое. Пример тому — полупроводниковые приборы. Появившиеся в начале века, они через некоторое время были признаны малопригодными и оказались вытеснены электронными лампами, а спустя примерно лет сорок началось их победное, вплоть до наших дней, шествие.

Как говорил Козьма Прутков: «Отыщи всему начало, и ты многое поймешь».



ВОЛНЫ ВОКРУГ НАС

УРОКИ КОЗЬМЫ ПРУТКОВА

Слово «радио» латинского происхождения. В переводе оно означает «испускаю лучи». Смысловое значение довольно точно отражает суть: радио имеет дело с выпущенными на волю радиоволнами. Они в зависимости от типа испускающих их антенн могут быть собраны в луч, а могут разбегаться во все стороны. Именно радиоволны явились тем корнем, из которого произросло радио, а затем и все производные от него ветви, столь густо опоясавшие наше сегодняшнее бытие.

Прежде чем войти в современный радиомир, остановимся на таком, казалось бы, простом вопросе — что такое волны? Эта остановка оправдана тем, что у волн самой разной природы есть нечто общее, а именно: на языке математики в самом общем виде они подчиняются одинаковым законам.

У Козьмы Пруткова есть классическое поучение: «Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые, иначе такое бросание будет пустою забавою». Может, таким образом, наши далекие предки и познакомились с волнами? Во всяком случае, возможностей для наблюдения волн у них было предостаточно. На воде волны возникают с необычайной легкостью, достаточно лишь дуновения ветерка. Взволнованная поверхность воды кажется нам естественной и очевидной. Поэтому,

наверное, при упоминании о волнах непроизвольно возникает навеянный тысячелетними наблюдениями образ волны на воде: нечто бегущее, регулярно повторяющееся в пространстве и времени. Воспользуемся и мы этой традиционной моделью волнового явления, чтобы уяснить основные его особенности.

Такой способ — изучение какого-либо явления с помощью модели — широко распространен. Например, авиаконструктор исследует аэродинамику самолета на уменьшенной его модели в аэродинамической трубе. Поэтому же принципу действует конструктор судов. Он изучает поведение модели проектируемого корабля в бассейне с водой. Ученые описывают и исследуют окружающий нас мир, создавая его абстрактные модели, называемые теориями. Научная теория — тоже модель. Так и волны от брошенных в пруд камней — наглядная модель волновых явлений разной природы, в том числе и радиоволн.

Почему образуется волна в эксперименте, который рекомендовал Козьма Прутков?

Ударившись о поверхность воды, камень вытесняет воду. Вытесненная вода вспучивается вокруг камня, образуя кольцевой холмик. Иногда вода выталкивается так быстро, что часть ее отрывается от поверхности и разбрызгивается во все стороны.

Водяной холм не остается неподвижным — вода вокруг места, куда упал камень, приходит в сложное колебательное движение. Каждый небольшой объем воды движется вверх и вниз и с некоторой задержкой во времени приводит в такое же движение соседние с ним объемы воды.

Не всякое колебательное движение является волновым. Например, маятник настенных часов совершает колебательное движение, но это отнюдь не волна. Физики относят маятники к системам с сосредоточенными параметрами. При анализе маятник можно заменить одной колеблющейся точкой. А для волны нужна среда, которую нельзя представить в виде одной точки. Она — непрерывная совокупность точек. Физики относят подобные среды к системам с распределенными параметрами. При волне соседние точки среды одна за другой последовательно приходят в движение. В этом главная особенность волны — она «бежит», то есть перемещается в пространстве. Если на поверхности водоема плавают какие-нибудь предметы, например щепки, то при

прохождении волны они будут подниматься и опускаться сначала те, которые поближе к месту падения камня, затем и те, которые подалеже, то есть волна «бежит» с определенной скоростью. В колебательное движение приходит не сразу вся поверхность водоема, а постепенно от места зарождения катится волна, сменяясь то гребнем, то впадиной. Как и всякую скорость, в учебных и научных изданиях скорость распространения волны часто обозначают латинской буквой V .

Скорость волны зависит от природы жидкости, в которой она возникла. В более вязких по сравнению с водой жидкостях типа меда или сиропа волна бежит с меньшей скоростью и затухает гораздо скорее, чем в воде.

Но почему же волна продолжает распространяться даже после того, как возбудивший ее камень уже покоится на дне? Камень нарушил равновесие воды и привел ее в колебательное движение, а оно уже продолжает существовать, независимо от вызвавшей его причины.

При первом взгляде на волну почти наверняка покажется, что частицы среды движутся, текут вместе с волнами. Однако начальное впечатление обманчиво. Волна бежит, а ее частицы остаются практически на своих местах. Щепки качаются на волнах, не приближаясь к берегу и не удаляясь от него.

Это свойство отметил еще в пятнадцатом столетии Леонардо да Винчи. Он писал о волнах: «Импульс гораздо быстрее воды, потому что многочисленны случаи, когда вода бежит от места своего возникновения, а вода не двигается с места, — наподобие волн, образуемых в мае на нивах течением ветров; волны кажутся бегущими по полю, между тем нивы со своего места не сходят». Ясно, Леонардо сознавал, что в то время как волна движется от одного места к другому, вода не идет вместе с ней. Волна — словно летящее известие: «Где-то что-то произошло». Она — возбужденное состояние среды. Сама среда, как и колосья нив из примера Леонардо, остается на месте, а бежит вперед лишь ее возбуждение.

Если подержать палец достаточно низко над поверхностью воды, то можно ощутить каждый проходящий гребень, волн, разбегающихся от места падения камня. Расстояние между двумя соседними гребнями или впадинами называют длиной волны. Ее обычно обозначают греческой буквой λ (лямбда).

Легко можно измерить и другую важную характеристику волны — частоту ее колебаний. Для этого нужно в момент касания пальца гребнем волны запустить секундомер и считать следующие набегающие гребни. Их количество за одну секунду есть значение частоты колебаний. Ее обычно обозначают латинской буквой f . Измеряют ее в герцах (сокращенное обозначение Гц). Единица измерения частоты названа так в честь немецкого ученого Генриха Герца, впервые экспериментально получившего радиоволны. Один герц означает, что за одну секунду гребень волны касается пальца один раз, два герца — два раза и так далее. Частота характеризует не только волны, но и любые колебания. Например, для маятника часов частота будет равна количеству колебаний маятника в секунду.

Есть еще одна характеристика колебаний, которой часто пользуются: это время, за которое совершится полный цикл одного колебания. Его называют периодом и часто обозначают буквой T . Для козымыпрутковского примера период равен промежутку времени, которое пройдет между двумя последовательными касаниями пальца гребнем волны. Для маятника настенных часов период — это время, за которое он вернется в первоначальное крайнее положение. Чем чаще колеблется волна, то есть чем выше ее частота, тем меньше период. Значит, частота и период — величины взаимосвязанные, а точнее — их зависимость обратнопропорциональная. Зная частоту, можно найти период колебания и наоборот. Математически их взаимосвязь выражается

просто $f = \frac{1}{T}$. Перейдя к волнам и памятуя о том, что длина волны есть расстояние между двумя гребнями, можно без труда написать формулу для ее определения $\lambda = vT$ или, иными словами, длина волны есть расстояние, которое волна проходит за один период колебания.

Кстати, шкалы радиоприемников, которыми мы пользуемся, градуируют по-разному: когда дают длины волн в метрах, а когда частоту в килогерцах (один килогерц равен тысяче герц, то есть тысяче колебаний в секунду) или в мегагерцах (мегагерц равен миллиону герц, то есть миллиону колебаний в секунду). Сопоставить эти две зависимые величины нетрудно. Из двух вышеприведенных формул легко получается полезная для нашей повседневной

жизни (ведь все мы пользуемся радио и телевидением) формула $\lambda = \frac{c}{f}$. Латинской буквой «с» обозначена скорость света в воздухе, ее мы поставили вместо V. Именно с такой скоростью, как мы знаем, «бегут» радиоволны. Для практических расчетов ее принимают равной 300 тысячам километров в секунду. Если мы хотим перевести частоту колебаний волн в мегагерцах в длину волны в метрах, то удобно пользоваться таким простым соотношением $\lambda(\text{м}) = \frac{300}{f(\text{МГц})}$.

Вот еще одна характеристика колебаний, а, следовательно, и волн, которая часто упоминается, — амплитуда. У моряков есть такой термин: «глубина зыби». Это вертикальное расстояние от впадины до гребня. Амплитуда — половина глубины зыби. Чем большего размера камень мы бросим, тем больше мы затратим энергии, тем больше будет и амплитуда волны.

Амплитуда, частота, длина волны — эти характеристики довольно наглядны, зримы. Но вот такое фундаментальное, можно сказать, понятие, как фаза, пожалуй, сложнее. Чтобы почувствовать его смысл, опять вернемся к нашему водоему и одновременно бросим в него два камня, только в разные места. От каждого камня по воде побегут волны, и, в конце концов, они, достигнут какой-либо щепки, выбранной нами для наблюдений. Щепка начнет качаться на волнах вниз вверх. Возникает вопрос: будет амплитуда качки больше или меньше, чем при бросании одного камня? Как мы знаем из опыта, может быть и так и этак: все зависит от того, и какой фазе придут к щепке обе волны. Если месторасположение щепки таково, что до нее доходят первые гребни от каждой волны одновременно, то к ней одновременно будут приходить и все последующие впадины, и гребни каждой из волн. Тогда амплитуда качаний щепки будет в два раза большей, чем при бросании одного камня. В этом случае говорят, что волны находятся в фазе. Строго ради надо сказать, что для упрощения ситуации молчаливо предполагалось условие: оба камня одинаковы и падают с одной и той же высоты. Тогда и вызванные ими волны одинаковы.

Но может быть и такое, что к щепке одновременно придут гребень одной волны и впадина другой. Поскольку мы посчитали волны одинаковыми, то гребень

и впадина погасят друг друга, и щепка не шелохнется. В этой ситуации говорят, что волны пришли в противофазе.

Между рассмотренными двумя крайностями — от двукратного усиления суммарной волны до ее полного погашения, разумеется, возможны промежуточные варианты, и суммарная волна может быть и сильнее и слабее каждой из волн. Что же определяет те точки, где волны встречаются либо в фазе, либо в противофазе? Очевидно, разность расстояний от щепки до мест падения камней.

Из приведенного примера понятно, что фаза — это состояние колебательного или волнового процесса в данный момент времени. Когда две волны прибегают в какую-либо точку в одинаковом состоянии, то есть в фазе, то говорят, что разность фаз равна нулю, и при наложении волн, как мы видели, амплитуда волны возрастает. Если их состояние противоположно, например, у одной волны — гребень, у другой — впадина, то разность фаз равна 180 градусам. Как и углы в геометрии, фаза измеряется в градусах или радианах.

То явление, что мы рассмотрели — усиление или ослабление волн (не обязательно двух) при наложении (или, по-научному, суперпозиции) в зависимости от разности их фаз, — называется интерференцией. Поскольку мы живем в мире волн, то часто с ней встречаемся. Например, в концертных и кинозалах, когда в результате интерференции музыка с некоторых мест практически не слышна.

Рассмотренная нами картина распространения волн на поверхности воды довольно приближенная, но ее вполне достаточно, чтобы напомнить о таких основных параметрах волны, как частота, длина волны, скорость распространения, амплитуда, фаза.

НА СУШЕ И НА МОРЕ

Обратимся к научному определению волны, данному в «Физическом энциклопедическом словаре»: «Волны — это изменения состояния среды (возмущения), распространяющиеся в этой среде и несущие с собой энергию... Основное свойство всех волн независимо от их природы состоит в том, что в волнах осуществляется перенос энергии без переноса вещества (последний может иметь место как побочное явление).

Волновые процессы встречаются во всех областях физических явлений, поэтому их изучение имеет большое значение...»

Да, мир полон волн! Рвущаяся наружу энергия недр нашей планеты разносится от эпицентра подземными волнами землетрясений и их морскими собратьями — цунами. Наш спутник Луна вызывает приливные волны. В октоне изредка прогуливаются «волны-людоеды». Еще в прошлом веке моряки передавали из уст в уста страшные истории. Будто без вести пропадают суда у африканских границ Индийского океана, а волны «пожирают» людей. Многие моряки недоверчиво посмеивались, считая, что это все сплетни, пока в 1979 году не произошла история с тяжелогрузным танкером «Синклер» у южных берегов Африки. Синоптики предсказывали, что через несколько часов танкер войдет в зону шторма, и команда крепила груз на палубе. Вдруг кто-то закричал. Все замерли в ужасе. Со стороны океана при полном безветрии на танкер надвигалась волна высотой в десятиэтажный дом. Люди ухватились, за что попало. Бежать было поздно, чудовищная волна надвигалась с огромной скоростью. Масса воды обрушилась на палубу. Танкер завертелся, как пробка в водовороте. Многих недосчитались тогда. И приведенная история далеко не единственная. Одним ударом такая волна может подмять под себя могучий сухогруз, переломить стальной хребет танкеру.

Волна высотой в 30 метров образует воронку, в которую может провалиться даже очень крупное судно. Волны-гиганты встречаются в разных районах Мирового океана, но у южных берегов Африки они достигают самых больших размеров. Специалисты считают, что подобные волны — отголоски далеких штормов. Они возникают также, когда большая волна идет против морского течения. Так образуются особо опасные гребни.

Волны бродят не только на поверхности, но и в глубинах океана. Там их амплитуда достигает сотни метров. Явление мертвой воды, когда судно вдруг, будто наткнувшись на какое-то вязкое подводное препятствие, резко теряет скорость, обязано своим происхождением внутренним волнам. Они составляют одну из важнейших проблем современной океанологии, поскольку познания их природы нельзя до конца понять динамику вод Мирового океана и связанные с ней процессы.

А волна, прозванная тягуном, когда вдруг без видимых

причин суда у причалов начинают совершать сначала медленные, а потом все более быстрые движения вперед-назад. Период таких колебаний обычно составляет одну-три минуты, амплитуда — пять и более метров. Скрипят кранцы, трещат борта, оглушительно лопаются швартовые тросы. Порой не выдерживает даже корпус, и судно тонет тут же, у причала. А на море может стоять полный штиль. Обычно тягун возникает внезапно и сразу захватывает всю акваторию порта. Особенно он опасен для танкеров: повисев идущие на берег шланги — и в море устремится нефть.

Хотя тягун давно известен морякам, изучать его природу начали только после второй мировой войны. И разобраться в ней до конца пока не смогли. Одной из причин зарождения тягуна считают так называемые длинные волны. Они могут возникнуть далеко в море и иметь небольшую высоту. Но вблизи берега картина меняется. По мере уменьшения глубины растет высота волн. Происходит своего рода отбор волн: некоторые из них подавляются, а другие, наоборот, растут очень быстро.

На подходах к большинству из портов, подверженных тягуну, существуют условия для концентрации волновой энергии. Рельеф дна, мысы нередко играют роль громадных линз, которые концентрируют энергию в пучок и направляют ее в гавань.

В межзвездных далях тоже «гуляют» волны — ударные. Они, хотя подчас и вызывают у людей страх, волнение и удивление, в отличие от землетрясений и цунами не приводят к катастрофическим для Земли последствиям. Жизнь на Земле вряд ли была бы возможна, если бы создаваемые в результате ядерных реакций ударные волны не поддерживали горение Солнца. До сих пор до конца не понятно влияние ударных волн, порожденных взрывающимися звездами и галактиками, на общую картину мироздания. Каков их вклад в заполнение огромных пространств разреженной плазмой и электромагнитными полями? Возможно, и наша Солнечная система обязана своим существованием космическому взрыву, когда ударная волна разметала повсюду элементы, из которых впоследствии образовались Земля и, в конечном счете, разнообразные формы жизни, развившиеся на ней. Да и все вещество вокруг нас и в нас самих — словом, всюду в природе — состоит из частичек, у которых есть второе лицо.

Они не только материальные частицы, но и волны. Это так называемые «волны материи». Когда в 1923 году французский физик Луи де Бройль заговорил о них, то большинство ученых не поверило. Однако опыты неопровержимо доказали: Крошечные кирпичики мироздания — электроны и протоны — не только частицы, но и волны.

Щебетанье птиц и шелест листвы, голоса людей и музыку, стук вагонных колес и рев автомобилей, в общем — все то, что заставляет колебаться воздух, мы слышим благодаря звуковым волнам. Когда через ушную раковину волны попадают в наше ухо, они вызывают колебания тонкой перепонки. Чем выше звук, то есть больше его частота, тем чаще колеблется эта перепонка, чем ниже звук, тем меньше колебаний. Однако нише ухо устроено довольно странно: самый низкий звук, который мы в состоянии услышать, должен иметь, по крайней мере, 16 колебаний в секунду. Если таких колебаний будет меньше, наша перепонка останется неподвижной, и мы услышим... тишину. Но тишина бывает обманчивой...

В начале тридцатых годов в одном театре ставилась пьеса. Чтобы усилить психологическое воздействие на зрителей в каком-то эпизоде, режиссер обратился за помощью к известному американскому физика Роберту Пуду. Ученый предложил применить обыкновенную органную трубу, но только таких размеров, чтобы излучался неслышимый человеческим ухом инфразвук. Когда заработала труба, зрителей охватила паника, и они бросились вон из театра. Им показалось, что началось землетрясение, и потолок вот-вот обвалится. Беспокойство охватило также жителей соседних домов.

Инфразвук возникает и в естественных условиях и действует на людей также трагически. Чаще он проявляет себя в прибрежных районах. Известно, что при зарождении и океане шторма на берегу резко ухудшается состояние больных, возрастает число самоубийств и дорожно-транспортных происшествий. Виновник — порожденный океаном инфразвук.

Загадкой происхождения инфразвука занимался академик М. В. Шулейкин. В 1935 году он выступил в «Докладах АН СССР» с теорией возникновения инфразвуковых колебаний в океане. При штормах и сильных ветрах над волнистой поверхностью моря рождаются инфразвуковые колебания. При скорости ветра в 20 метров секунду мощность таинственной неслышимой волны

может достигать трех ватт с каждого квадратного метра фронта волны. Сравнительно небольшой шторм становится как бы генератором инфразвука мощностью в десятки киловатт. Основное излучение инфразвука идет приблизительно в диапазоне 6 герц. опыты показали, что инфразвуковая волна слабо затухает с расстоянием. В принципе он может распространяться без значительного ослабления на сотни и тысячи километров, как в воздухе, так и в воде, причем скорость волны в воде в несколько раз превышает скорость волны в воздухе.

Некоторое время назад в печати появились сообщения об опытах профессора Гавро. Он получил новые факты о биологической активности инфразвука. Профессор предположил, что причиной неприятного воздействия на организм человека является совпадение частот инфразвука и альфа-ритма головного мозга. Инфразвуки определенных частот могут вызвать у человека ощущение усталости, тоски, морской болезни, привести к потере зрения и даже к смерти. Ученый пришел к выводу, что инфразвук с частотой 7 герц смертелен для человека и что, подобрав соответствующим образом фазу волны, можно остановить сердце.

«Голосом моря» назвали инфразвук, порождаемый водной стихией. Вполне возможно, что при определенных условиях частота колебаний «голоса моря» увеличивается всего на один герц — на одно колебание в секунду, — и тогда инфразвуковая волна становится смертельной.

Инфразвук вездесущ. Он почти одинаково распространяется в твердой, жидкой и газообразной средах.

Нередки инфразвуковые явления и в городах. Например, в Москве при замерах уровня шумов под автомобильной эстакадой в районе Савеловского вокзала рабочие, проводившие эти работы, жаловались на неприятные ощущения в ночное время, когда интенсивность движения по эстакаде, наоборот, спадала. После исследований, проведенных НИИ строительной физики, оказалось, что ночью в результате движения воздуха под эстакадой происходит усиление инфразвуковых колебаний — отсюда и ухудшение самочувствия. При проектировании современных строительных объектов стараются предусматривать и меры инфразвуковой защиты.

Инфразвуковые эффекты возможны и в космонавтике. При старте на активном участке траектории, когда

работают двигатели, и при вхождении возвращающего на Землю космического корабля в плотные слои атмосферы корабль испытывает низкочастотные вибрации значительной амплитуды. Размеры космических конструкций настоящего и будущего таковы, что в них возможно возникновение резонансных колебаний на биологически опасных частотах.

Хотя мы и не слышим инфразвуки, они, как выяснилось, воспринимаются нашим подсознанием. Летом 1986 года три японские компании выбросили на здешний рынок необычный товар — музыкальные магнитофонные кассеты с наложенным на пленку низкочастотным, неуловимым для слуха текстом. Новинка имела успех. Неслышимый голос убеждает человека бросить курить, соблюдать диету, спокойно спать, преодолевать стрессы и даже пробуждает нежные чувства.

На новый товар сразу обратили внимание менеджеры корпораций и фирм, видя в нем одно из средств повышения производительности труда служащих. Но есть и скептики. «Стоит ли увлекаться экспериментами над собственным подсознанием?» — ставят они вопрос. Ведь такой метод можно обратить и во зло, например для «промывки мозгов».

А если увеличивать частоту колебаний звуковой волны: 16, 100, 1000, 10 000 колебаний в секунду — звук становится все более пискливым... 13 000, 14 000, 15 000 — писк становится еще тоньше... 16 000 колебаний в секунду и вдруг тишина... Наша барабанная перепонка не в состоянии колебаться так быстро. Правда, некоторые люди воспринимают и более высокие колебания, но это исключение.

Интересное совпадение: то же самое число 16 определяет порог и зрительного восприятия. Наш глаз реагирует на раздражение примерно в течение $\frac{1}{16}$ секунды. Если наблюдаемое нами движение подразделяется на отдельные кадры, промежутки между которыми длится менее $\frac{1}{16}$ секунды, то мы не в состоянии различить кадры, и движение кажется нам плавным. На этом свойстве глаза основано кино и телевидение. В фильмах немного кино сразу бросаются в глаза угловатые движения людей, их подпрыгивающая походка. Ведь в первых кинокартинах проецировали лишь 16 кадров в секунду, и передаче более 16 кадров в секунду мы не заметим «пульсаций» перемещающихся на экране изображений: движение будет плавным и непрерывным. Поэтому в

кино и телевидении частоту кадров приняли с некоторым запасом — 25 герц.

Более 30 лет назад в Америке проводились опыты по воздействию на подсознание зрительных образов. Тогда в прокатные ролики, рассчитанные на 24 кадра в секунду, монтировали кадр, содержащий рекламу кока-колы. Глаз не замечал кадра с бутылкой, но подкорка срабатывала, и потребление напитка выросло на 58 процентов.

Подсознательная зрительная реклама вызвала много протестов и была запрещена как нарушение прав человека. Тогда обратились к звуковому варианту. Задача оказалась довольно сложной. На разработку магнитофонной аналогии ушло много времени. Только лет пять назад в некоторых американских супермаркетах стали прокручивать кассеты с неслышимым призывом — «не воруй». И действительно, число краж сократилось на 40 процентов. Но в США и к звуковому подсознательному внушению относятся с подозрением, а вот в Японии оно пока процветает...

Волновой механизм универсален. Волны огня, температурные и химические волны, волны в потоках транспорта, волны в биологических процессах, в частности в работе сердца и нервной системы, волны в популяциях — сообществах биологических организмов, волны эпидемических катастроф, автоволны... всюду волны!

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ «КОКТЕЙЛЬ»

Мы еще не коснулись самого обширного семейства волн — электромагнитного... А ведь окружающее Землю пространство, в том числе и та часть, непосредственно к ней прилегающая, в которой мы живем, подобно гигантскому «коктейлю» из электромагнитных волн. Правда, стало об этом известно сравнительно недавно — лет сто назад, хотя с рождения мы знакомимся с одним из компонентов смеси — видимым светом.

Нас окружает океан света, состоящий из множества тонов и оттенков. Тренированный глаз художника или красильщика в состоянии различить свыше 10 тысяч цветовых тонов. Мы обычно не задумываемся, что каждый цвет представляет собой электромагнитную волну со своей вполне определенной длиной.

И организм, как чуткий камертон, по-разному отзывается на каждую из цветовых волн. Реакция человеческого глаза и мозга на разные длины волн и дает нам ощущения, которые мы называем цветом.

Процесс цветового восприятия до конца не познан. Свидетельство тому — новая работа английских ученых. Согласно их теории цвет предмета «вычисляется» мозгом не только на основании длины волны отраженного от предмета света, но и в зависимости от соотношения интенсивности различных цветов, что, кстати, играет главную роль. Теорию удалось экспериментально проиллюстрировать. По их концепции, цвет — продукт «вычислений» мозга.

Но как бы ни происходила в мозгу «раскраска» окружающего мира, с древних времен было подмечено,



что красный цвет возбуждает, черный угнетает, зеленый успокаивает, а желтый создает хорошее настроение.

Цвет может и врачевать. Крупнейший русский невропатолог, психиатр и психолог Владимир Михайлович Бехтерев твердо верил, что будущее медицины — не в таблетках, а в натуротерапии, то есть в лечении природными факторами, в том числе и цветовыми волнами.

Доказано, что черный цвет может замедлить течение мозгового инсульта и малярии, красный помогает при лечении бронхиальной астмы, голубой замедляет пульс и понижает температуру. Больным глаукомой, как считают врачи, полезно носить очки с зелеными стеклами, а гипертоникам с дымчатыми. Исследования показали, что при красном освещении слуховая чувствительность человека понижается, а при зеленом — повышается. «Холодные» тона стимулируют белковый обмен, а «теплые», наоборот, тормозят.

Вот, оказывается, как много для нас значит цвет. Если школьный класс окрасить в белый, бежевый или коричневый цвета, то станет лучше успеваемость и дисциплина. В производственных помещениях, окрашенных в голубой и бежевый цвета, повысится производительность труда.

Интересно, что с помощью лишь правильно подобранной цветовой гаммы, без других ухищрений ученые увеличивали яйценоскость кур, продуктивность коров и рост шерсти у овец, повышали содержание полезных веществ в лекарственных растениях, заставляли цветы распускаться в нехарактерное для них время.

Интересную и важную проблему поставили перед собой сотрудники Всесоюзного НИИ оптико-физических измерений — создать государственный эталон цвета. Для этого надо дать четкую, однозначную цифровую характеристику, своеобразный стандарт, всем цветам, всем оттенкам, которые есть в природе, а их, как мы знаем, превеликое множество. У одного только черного цвета свыше тысячи оттенков, и все их можно различить. Правда, уловив различие, мы в большинстве случаев не можем объяснить, в чем оно состоит. Для начала в эталон планируется внести около десяти тысяч цветовых вариантов.

Конструктивно эталон цвета — комплекс точнейших электронных оптических устройств. Приборы эти найдут применение во многих отраслях промышленности,

медицине, сельском хозяйстве — всюду, где нужны точные измерения цвета.

Ведь цвет — не только внешний вид, так сказать внешнее восприятие, но во многих производствах он служит важнейшей характеристикой качества. Например, в нефтеперерабатывающей промышленности октановое число бензина легче всего определить по цвету. А в пищевой промышленности естественный цвет продукта напрямую зависит от его качества, идет ли речь о томатной пасте, хлебе, колбасе, разного рода напитках. В медицине такой прибор станет полезным помощником при массовой диспансеризации: за несколько минут по радужной оболочке вашего глаза ЭВМ даст исчерпывающую информацию о вашем здоровье.

Мы уже говорили о влиянии звуковых волн на организм человека. Радиоэлектроника смогла объединить цвет и звук в одном устройстве. Родилась цветомузыка — дитя двух муз. Совместное влияние цвета и звука на организм человека дает возможность направленно воздействовать на его состояние. Попыты по цветомузыке ставил еще Скрябин, ей отдали дань Римский-Корсаков, Кустодиев, Борисов-Мусатов... Композиторы и художники шли навстречу друг другу: их искусства роднит динамика, заключенная в цвете и звуке.

И вряд ли им были бы по душе цветные блики и грохот дискотек, подмигивающие в определенном ритме цветные фонарики в приставках для бытовой аппаратуры. Такая цветная музыка оглушает, ослепляет и опустошает. Но цветомузыка может ввести вас в мир прекрасной гармонии цвета и звука, а если вы устали и чем-нибудь взволнованы, то и успокоить.

В одной из московских больниц испытывали небольшой портативный прибор. На лицевой стороне его — экран, обрамленный раструбом, который изолирует пациента от внешних воздействий. Прибор создает цветозвуковые волны, приводящие человека в определенное состояние, например успокоенное, расслабленное. Представим себе на минуту возможное рабочее место будущего: интерьер, который воздействует на людей цветом, звуком, запахом, колебаниями температуры, движением воздуха, геометрией помещения. Все факторы при комплексном воздействии создают приятные впечатления, которые освежают восприятия, снимают усталость от трудовых операций.

Не об этом ли мечтал Велимир Хлебников?

А вот еще один пример синтеза света и электроники — лазерная арфа. Ее создал один французский инженер. Вместо струн в инструменте лучи лазера, прерывая которые пальцами, музыкант получает звуки различной высоты, регулирует их силу и продолжительность. В столь необычной арфе используются специальные фотоэлектрические датчики и система зеркал.

Видимый свет всего лишь малая толика из обширнейшего электромагнитного семейства, чьи волны простираются от самых «неповоротливых», которые колеблются с частотой всего несколько герц, до столь «шустрых», что частота их колебаний достигает 1023 (величина огромная — число 10, помноженное само на себя 23 раза) раз в секунду, что соответствует длине волны в миллиардные доли микрона. Напомним, что микрон равен одной миллионной доле метра. В настоящее время в связи с упорядочением единиц измерения микрон стали называть микрометром.

Для измерения столь малых величин шведским физиком и астрономом А. Й. Ангстремом в 1868 году была введена новая единица измерения длины в сто миллионов раз меньше сантиметра. Единицу так и назвали ангстремом (один ангстрем равен 10^{-8} см). Частоте 1023 герца соответствует длина волны в три стотысячные доли ангстрема ($3 \cdot 10^{-5}$ ангстрема). Длины волн видимого человеком света лежат в диапазоне от четырех тысяч до семи тысяч ангстрем.

Кроме видимого света, весь обширнейший спектр электромагнитных волн недоступен нашему непосредственному восприятию. Правда, результаты его воздействия на человеческий организм часто проявляются в косвенной форме и далеко не всегда тот же час. Например, невидимый глазу ультрафиолетовый свет, волны которого колеблются чаще, чем у его соседа по частотной шкале — фиолетового света, «окрашивают» нашу кожу загаром.

Ультрафиолетовый диапазон определяется приблизительно как область длин волн от 100 до 4000 ангстрем. Для удобства он подразделяется на более мелкие участки. Участок диапазона от 100 до 1800 ангстрем получил название вакуумного ультрафиолета, потому что эти волны сильно поглощаются в воздухе и изучать их можно лишь в вакууме. Участок 1800—2800 ангстрем

называется коротковолновым, или далеким ультрафиолетом. Он проходит сквозь кварцевое стекло. Область 800—3000 ангстрем называют средним ультрафиолетом. Именно ему мы обязаны загаром. Участок диапазона 3000—4000 ангстрем называют длинноволновым, или ближним ультрафиолетом. Его излучение пропускает обычное оконное стекло. Кстати, пчелы могут видеть в ближней ультрафиолетовой области, которая невидима для людей. Это позволяет им ощущать различие в цветах, которое людям недоступно.

Подобной же способностью обладают и муравьи. Причем еще в прошлом веке она была использована во благо науки для открытия невидимых звезд и туманностей, испускающих ультрафиолетовое излучение. Французские астрономы братья Анри приставили коробку с муравьями к окуляру телескопа, который направлялся на исследуемый участок неба. Как только муравьи начинали суетиться, это означало, что ими «открыта» новая звезда.

Все заявки братьев Анри, поданные на открытие новых звезд, были позднее подтверждены более точными исследованиями.

Ультрафиолетовые лучи, да и сине-фиолетовая часть видимого спектра, к ним примыкающая, далеко не безвредны для глаз. Ультрафиолет, попадая в глаза, может послужить источником глазных болезней. Синий же свет фокусируется несколько впереди сетчатки, а от этого изображение становится нечетким, мутноватым. Вот если с помощью специального светофильтра устранить сине-фиолетовую часть света и пропускать только видимые лучи, которые фокусируются непосредственно на сетчатке, то зрение будет более острым. Кроме того, если пользоваться днем специальными солнцезащитными очками, не пропускающими ни синих, ни ультрафиолетовых лучей, то улучшится и ночное зрение.

Но надо помнить, что речь идет о специальных очках. Обычные же солнцезащитные очки могут быть и вредны для глаз. Ведь наши глаза своего рода автоматическая система. При ярком свете зрачки сужаются, ограничивая поступление света, а ночью, наоборот, расширяются. Обычные защитные очки, уменьшая поступление света в глаза, способствуют расширению зрачков, в глаза попадает больше синих и ультрафиолетовых лучей, не очень-то желательных для наших органов зрения.

Земной поверхности в обычных условиях достигают ультрафиолетовые лучи, длины волн которых более 2900 ангстрем. Остальной более коротковолновый ультрафиолет гасится в озоновом слое. Ученые считают, что озоновая оболочка возникла около 420 миллионов лет назад. Ранее жизнь в относительной безопасности могла развиваться только в океане.

Наблюдения, проведенные с помощью искусственных спутников Земли, показали, что ежегодно в течение месяца над Антарктикой количество атмосферного озона уменьшается на 60 процентов, то есть образуется нечто вроде «озонной дыры», по площади равной территории США и простирающейся от Антарктиды до оконечности Южной Америки. Уровень озона в ней резко снижается в октябре, когда в Южном полушарии начинается весна. В последние годы это явление стало более выраженным. «Дыра» начинает исчезать в ноябре, когда заканчивается многомесячная полярная ночь.

Специалисты полагают, что защитный слой озона вокруг Земли разрушается быстрее, чем предполагалось. А это может иметь неприятные последствия. Озон в верхних слоях атмосферы отражает свыше 99 процентов ультрафиолетового излучения Солнца. По оценкам, потеря даже 2,5 процента озона может нанести ущерб растениям и животным и стать причиной полумиллиона случаев заболеваний раком кожи ежегодно.

Еще выше по частотной лесенке соседствуют с ультрафиолетом знакомые нам по рентгенкабинету рентгеновские лучи. Они легко проходят сквозь наше тело, только кости оказываются для них более серьезной преградой. Вот почему на рентгеновских снимках человек выглядит таким полупрозрачным. Сам рентгеновский свет, разумеется, невидим, а врач, просвечивая пациента с помощью рентгеновского аппарата, рассматривает внутренние органы человека на особом экране. В тех местах экрана, куда попадают рентгеновские лучи, он светится обычным светом.

Интересно, что первый в России рентгеновский аппарат сделал... изобретатель радио Александр Степанович Попов в феврале 1896 года, спустя месяц после выхода в свет брошюры Рентгена «О новом виде лучей». Благодаря деятельности Попова на кораблях русского военно-морского флота впервые в мире были установлены рентгеновские аппараты. Еще во время войны с Японией на легендарном впоследствии крейсере «Аврора»

старший врач В. С. Кравченко проводил рентгенографию раненым.

Четкой границы между ультрафиолетовым и рентгеновским диапазонами нет. Обычно считают, что длина самых низкочастотных рентгеновских волн доходит до 1000 ангстрем. Так что нижняя граница рентгеновских лучей вклинивается в вакуумный ультрафиолет. Длина волны самого высокочастотного рентгена принимается примерно равной одной десятитысячной ангстрема (10^{-4} ангстрема). Рентгеновское излучение с длиной волны больше двух ангстрем считается мягким, а с меньшей — жестким. То есть чем больше частота колебаний рентгеновских волн, тем жестче излучение, тем большей энергией оно обладает.

«Пахнут ли рентгеновские лучи?» — этот вопрос может показаться странным. Но оказывается, что способностью их унюхать обладают крысы. Они чувствуют малые дозы рентгена, совершенно безвредного для них. Каким образом? Косвенным. Их обоняние столь чувствительно, что они улавливают даже малые изменения запаха воздуха в результате его ионизации рентгеном.

Человек имеет в основном дело с рентгеновскими лучами, полученными искусственно: на Землю природный рентген, рожденный на Солнце или в глубинах Вселенной, не пропускается атмосферой — нашим спасительным зонтиком, защитницей от губительных космических излучений.

А ведь космический рентген может многое поведать о тех процессах, которые совершаются в глубинах Вселенной. Поэтому с началом космической эры из астрономии выделилась новая многообещающая область — рентгеновская астрономия. Действительно, вещими оказались слова К. Э. Циолковского: «Только момент применения реактивных приборов начнется новая великая эра в астрономии: эра пристального изучения неба».

До появления спутников рентгеновское излучение изучалось с помощью ракет с высотой подъема более 100 километров. Ни самолет, ни стратостат такую высоту не одолеют. Но время полета ракеты — минуты. Это ее главный недостаток. Много информации за такое время не соберешь.

Второй советский искусственный спутник третьего ноября 1957 года доставил в космос приборы, регистрирующие

рентгеновское излучение. Такие же эксперименты были начаты в США спустя три года.

Сразу было сделано интересное открытие — в отличие от более или менее постоянного ультрафиолетового излучения рентгеновский поток пульсировал. Спокойные периоды сменялись бурными, когда интенсивность излучения возрастала в десять раз.

Пядь за пядью «ощупывая» нашу звезду приборами, ученые определили, что рождается рентгеновское излучение над поверхностью Солнца в короне, вернее, в отдельных небольших областях короны, так называемых конденсатах. Конденсаты тесно связаны с солнечными пятнами: они одновременно с ними возникают и исчезают.

Температура в конденсатах очень высока — 3—5 миллионов градусов. Для сравнения: температура на поверхности Солнца — шесть тысяч градусов, в короне — миллион. Именно поэтому атомы в конденсатах теряют электроны и становятся источниками рентгеновского излучения. Так была найдена природа солнечного рентгена — его порождает разогрев небольших участков короны.

Исследователей особенно интересуют вспышки — гигантские взрывы в солнечной атмосфере. Для исследования вспышек в Физическом институте АН СССР имени Н. П. Лебедева была создана прецизионная аппаратура. С ее помощью ученые выяснили, что вещество вспышки нагревается до 30—50 миллионов градусов и порождает резкий всплеск жесткого рентгеновского излучения, в тысячу раз превосходящего рентгеновский поток от конденсатов.

Но где источник чудовищного взрыва, эквивалентного миллиарду водородных бомб? На Земле при современном уровне электродобычи такую энергию можно получить за 1000 лет. Ученые пришли к выводу, что вспышка черпает свою энергию из магнитного поля Солнца. При вспышке поле перестраивается таким образом, что в плазме солнечной короны возникают мощные электрические токи, подобно тому, как образуются они в динамо-машине. Эти-то токи и нагревают солнечное вещество до чудовищных температур. Но иногда при вспышке происходит как бы «разрыв» токовой цепи, и в этом месте частицы плазмы ускоряются до колоссальных энергий и вырываются в пространство. Некоторые из них — протоны, обладающие высокой проникающей

способностью, могут быть опасными для космонавтов.

Но не только Солнце источник космического рентгена, и настоящее время обнаружено более сотни галактических объектов — источников рентгеновского излучения.

За рентгеновским диапазоном лежат еще более жесткие, то есть несущие еще большую энергию, электромагнитные волны — гамма-лучи. Подчас гамма-излучение и рентгеновские лучи не отличишь друг от друга. Обычно те электромагнитные волны, которые порождаются ядрами, называют гамма-излучением, а те, которые атомами, — рентгеновскими лучами. Но если их частота совпадает, то физически эти волны отличить уже невозможно, каков бы ни был их источник.

За свою большую энергию гамма-лучи иногда называют гамма-квантами. Их энергия столь велика, что, пройдя сквозь наше тело, они могут повредить молекулы, из которых мы состоим. Благодаря атмосфере люди защищены от губительного воздействия гамма-излучения из космоса. Встречается оно и на Земле, часто сопровождая, например, радиоактивный распад. В качестве источника гамма-лучей служат такие радиоактивные изотопы с длительным периодом полураспада, как кобальт-60 и цезий-137. Волны более высоких частот получают на ускорителях.

Пассажиры международных линий, обслуживаемых американскими самолетами, поначалу очень беспокоились, когда на завтрак стали получать бифштекс в пластмассовой упаковке, на которой было написано: «Стерильность гарантирована лучевой обработкой». Но потом привыкли. Сейчас число стран, в которых в промышленных масштабах используются гамма-лучи для охраны пищевых продуктов, исчисляются уже десятками.

Гамма-излучение находит и другие применения: предпосевное облучение семян для улучшения всхожести и повышения урожайности, в птицеводстве — для повышения продуктивности, в рыболовстве — для улучшения искусственного оплодотворения икры, в медицине — в онкологической практике...

В последнее время выяснилась большая роль, которую играет гамма-излучение в космосе. Оно обнаружено Солнца и пульсаров. Гамма-излучение создают двойные звезды, одна из которых является нейтронной. Своим сильным гравитационным полем, нейтронная звезда как бы засасывает потоки газов со своего спутника.

В результате энергетического взаимодействия потоков газа с оболочкой нейтронной звезды и рождается гамма-излучение. Оно возникает в различных частях нашей Галактики. Как и в случае рентгеновских лучей, исследование и объяснение причин гамма-излучения выделилось в отдельное направление — гамма-астрономию.

Существует гипотеза, что когда-то космический ливень жестких электромагнитных волн все-таки проникал сквозь атмосферу (либо атмосфера была потоньше, либо энергия жестких волн была больше), и именно это «вмешательство извне» породило все сказочное многообразие растений и животных. Кстати, гамма-лучи взяли на вооружение селекционеры для получения новых сортов растений. Из облученных семян вырастают мутанты, и ученые отбирают те новые формы, которые обладают нужными свойствами.

Недавно получены данные, которые опровергают сложившееся представление о том, что облучение обязательно повышает частоту мутаций в генетическом аппарате животных. Исследователи из Дальневосточного научного центра АН СССР выяснили, что воздействие гамма-лучей в малых дозах, наоборот, уменьшало в несколько раз число случайных мутаций у горбуши. Они выбрали для экспериментов горбушу именно потому, что у нее случается много спонтанных нарушений генетического аппарата. Напоминает гомеопатию, не правда ли? Там тоже используют микродозы.

Мы познакомились с «этажами» электромагнитных волн, расположенными по частотной шкале выше видимого света. Теперь спустимся вниз. Снова, только в обратном порядке, последовательно проходим гамма-, рентгеновский и ультрафиолетовый «этажи». Оставляем за собой ступеньки видимого «этажа»: фиолетовую, синюю, зеленую, желтую, оранжевую, красную и попадаем на инфракрасный «этаж». Свое название этот диапазон получил за соседство с волнами красного света. Длины инфракрасных волн простираются примерно от 7400 ангстрем до одного-двух миллиметров, где уже начинается радиодиапазон.

Инфракрасное излучение невидимо, но, тем не менее, знакомы мы с ним давно. Оно испускается нагретыми предметами. Издревле человек ощущал его своей кожей, греясь у костра.

Пятьдесят процентов излучения Солнца приходится

на инфракрасный диапазон. Та часть этого излучения нашего светила, которая перехватывается Землей, замешает в основном в атмосфере. Поэтому исследование звезд, галактик, туманностей и других объектов в инфракрасном диапазоне производится с помощью спутников и межпланетных станций. Хотя первые наблюдения в длинноволновой части инфракрасного диапазона были проведены в начале XIX века английским астрономом У. Гершелем, который исследовал инфракрасное излучение Солнца с помощью призмы и термометра, только к концу 60-х годов XX века сформировался новый раздел астрономии — инфракрасная астрономия.

Приборы, использующие инфракрасный диапазон электромагнитных волн, довольно широко применяются в настоящее время. Уже девять десятилетий применяется инфракрасная спектроскопия для качественного и количественного изучения химического состава вещества.

В годы первой мировой войны начали разрабатываться тепlopеленгаторы и другие устройства обнаружения. В 30—40-е годы на основе достижений фотоэлектроники были созданы приборы ночного видения. Инфракрасное невидимое излучение объекта на фотодиоде становилось видимым. Современные системы ночного видения могут вести наблюдение и прицеливание в полной темноте. Как тут не вспомнить о человеке-невидимке Уэллса? В наши дни речь, правда, идет о невидимке в инфракрасном диапазоне. В одном английском журнале рассказывалось, что ведется поиск красителей для пропитки военной формы, которые сделают обладателя невидимым в инфракрасных лучах, поскольку ее отражательные свойства будут такими же, как и у окружающей растительности.

По инфракрасному излучению деталей различных устройств (например, двигателей или электронной аппаратуры) можно обнаружить места даже мизерных местных перегревов (до $0,01^{\circ}\text{C}$). При помощи инфракрасной фотографии удастся прочитать надписи и обнаружить опечатки пальцев, которые не видны глазом, а также выявить картины, скрытые под слоем краски.

В военном деле инфракрасная техника применяется широко. Тепlopеленгаторы определяют направления на корабли, самолеты, танки и другие цели, представляющие собой нагретые тела. Они могут обнаруживать объекты и по отрицательному тепловому контрасту, например

ледяные айсберги на фоне океана. Некоторые виды ракет, в частности противовоздушная американская «Стингер», снабжены инфракрасными головками самонаведения. Для обнаружения подводных лодок используется тепловой контраст кильватерного следа. Инфракрасные приемники, размещенные на спутниках, применяются для контроля за ядерными взрывами, для обнаружения запусков баллистических ракет и космических аппаратов.

Освоение космоса открыло новые области применения инфракрасной техники. К ним можно отнести прогнозирование погоды на Земле, связь в космосе, поиск жизни на других планетах, обследование ресурсов Земли, обнаружение лесных пожаров, ориентацию космических аппаратов, слежение за ракетами и спутниками...

Широкое поле деятельности для тепловизоров (так иногда называют приборы, преобразующие инфракрасное излучение нагретых тел в видимое) предоставляет медицинская диагностика. С помощью этих приборов можно получить «тепловой портрет» пациента.

Когда мы говорим, что у нас температура 36,6 градуса, это совсем не значит, что такая температура повсюду на нашем теле. Оказывается, на различных участках поверхности тела она неодинакова и меняется в зависимости от нашего состояния.

Распределение температуры у каждого пациента индивидуальное. Вместе с тем существуют температурные распределения и контрасты, типичные для человека. В частности, одна из важнейших закономерностей — симметрия «теплого портрета». На регистрации отклонений от специфических температурных контрастов, на выявлении нарушений симметрии тепловых изображений тела человека и основывается тепловизионная диагностика. Отклонения от типичных распределений и контрастов температур связаны с заболеванием органов и тканей, прилегающих к кожному покрову. Есть предположения, что температуры определенных мест на поверхности тела человека через кровеносную и нервную системы связаны с состоянием внутренних органов. По перепадам температур, которые могут составлять как доли, так и единицы градусов, устанавливается диагноз.

Этот метод отличается абсолютной безопасностью, простотой и быстротой обследования, отсутствием каких бы то ни было противопоказаний.

Перечисленные примеры, конечно, не исчерпывают тех областей использования инфракрасных лучей, но дают представление об их больших возможностях.

КРАЙНЕ НИЗКИЕ... ГИПЕРВЫСОКИЕ

И наконец, последний диапазон электромагнитных волн — радиоволны. Самые короткие из них граничат с инфракрасными, а частота колебаний самых низких частот достигает трех герц, что соответствует длине волны в сто тысяч километров. От долей миллиметра до ста тысяч километров — вот сколь разные по длине волны, а, следовательно, и по особенностям их поведения обобщены одним словом «радиоволны».

Чтобы как-то разграничить их, Международный комитет по радио разделил радиоволны на 12 диапазонов и каждому дал два равноправных названия: по частотному признаку и по метрическому (когда за основу классификации берется единица измерения длины — метр).

Если идти по частотному спектру снизу, от нуля, то первый диапазон начинается с трех герц и кончается 50 герцами, или в длинах волн от 100 тысяч до 10 тысяч километров. Это диапазон крайне низких частот (КНЧ), или декамегаметровых волн. Их длина, как мы видим, сравнима с размерами земного шара, поэтому, чтобы излучать их, нужны и антенны космических размеров. Пока диапазон используется только в научных целях. Ученые выступают здесь в качестве наблюдателей: фиксируют радиоволны, которые возбуждаются в огромном резонаторе, образуемом Землей и ее ионизированной оболочкой — ионосферой. Порождают декамегаметровые волны молнии, вспышки солнечной активности и другие возмущения.

Второй диапазон — сверхнизкие частоты (СНЧ) — простирается от 30 до 300 герц или от 10 тысяч до тысячи километров. Его метрическое название — мегаметровый. Он используется для связи с подводными лодками. Конечно, речь передать нельзя: слишком уж узок диапазон — всего 270 герц, а для передачи речи нужна полоса частот, по крайней мере, раз в 10 больше. Но приходится мириться: такие многокилометровые волны в отличие от более коротких слабо затухают в воде.

Американские инженеры разработали систему связи для передачи на подводные лодки команд только из трех знаков, в которых содержится информация о времени и безопасном месте всплытия лодки на перископную глубину для поднятия на поверхность выдвижной антенны, чтобы получить более подробные инструкции через спутник связи. Передача команд ведется на длине волны примерно 4000 километров. На однократную передачу сообщения уходит около пяти минут. Антенной служат участки земной поверхности длиной в десятки километров. Из одного миллиона ватт мощности передатчика в эфир уходит всего лишь два ватта, а остальная мощность рассеивается в земной коре. Правда, у сверхнизкочастотной системы появился в последнее время удачливый соперник — лазерная спутниковая связь. Оказалось, что луч сине-зеленого лазера способен проникать под воду на глубину до 200 метров.

Пройдем один, пока «неинтересный» для практики диапазон — инфранизких частот (ИНЧ), простирающийся от 300 до 3000 герц, или, по-иному, гектокилометровые волны: от 1000 до 100 километров.

Следующий, четвертый диапазон, — очень низкие частоты (ОНЧ) — от 3 до 30 килогерц. Метрическое его название — мириаметровые волны. Их длина от 100 до 10 километров. Раньше они назывались сверхдлинными волнами.

Это рабочий диапазон. Хотя у него еще все те же недостатки, что и у предыдущих трех — нужны огромные антенны, большие мощности, малая скорость передачи данных, сильные атмосферные помехи, но сказываются они уже в меньшей мере. Зато преимущество сохраняется. Радиоволна мириаметрового диапазона, огибая Землю, достигает противоположной точки на поверхности нашей планеты. И главное — условия распространения стабильны. Не зависят от времени суток, мало подвержены капризам ионосферы, к которым чувствительны более короткие волны. Диапазон используется для глобальной связи с объектами, находящимися на любом удалении от передатчика, в том числе и с подводными лодками в погруженном состоянии, в общем, когда надо передать очень небольшое количество важной информации с очень высокой надежностью на очень большое расстояние. Кроме того, из-за стабильности условий распространения ОНЧ на них передаются сигналы точного времени, эталонных частот,

сигналы радионавигационных систем. Раньше этот диапазон был более оживлен: здесь работало поколение доламповых передатчиков. Как видим, чем короче длина волны, тем более информативным становится диапазон.

Далее идут всем нам знакомые названия диапазонов: длинные (от 10 до 1 километра), средние (от 1000 до 100 метров), короткие (от 100 до 10 метров) волны. По современной классификации они соответственно звучат так: низкие частоты, или километровые волны, средние частоты, или гектометровые волны, и высокие частоты, или декаметровые волны.

Участок от 3000 до 800 метров отдан под длинноволновое радиовещание. Здесь можно слушать первую программу Всесоюзного радио. Большинство местных радиостанций тоже работают на длинных волнах. Когда-то диапазону прочили большое будущее, но оказалось, что выгоднее вести передачу на более коротких волнах.

Средние волны на шкале нашего приемника занимают участок от 600 до 200 метров. В самой нижней части — на волнах около 600 метров передаются сигналы бедствия SOS. Любые другие передачи на этой волне запрещены. Вечером диапазон средних волн буквально забит, а днем тут поймаете лишь две-три станции. Причиной тому поведение ионосферы — ионизированной оболочки нашей планеты. Она несколько напоминает слоеный пирог. Слои в ионосфере — это области, где наблюдается максимумы ионизации. Обозначают их латинскими буквами D, E, F. Слой D — самый нижний, занимает высоты от 60 до 90 километров. Его порождает солнечная радиация. Концентрация ионизированных частиц в слое D не столь велика, чтобы отразить средние (и тем более короткие) волны и направить их обратно к Земле, зато поглотителем средних волн он служит отменным.

Именно слой D и уничтожает днем, так называемую ионосферную волну, а земная, или поверхностная, волна распространяется вдоль земли на небольшие расстояния. Поэтому и слышны днем на средних волнах лишь местные станции. С наступлением сумерек слой D начинает исчезать и в приемник врывается ионосферная волна. Ее и называют ионосферной оттого, что не сразу она попадает в приемник, а отразившись от ионосферы, от слоя E, который существует круглосуточно.

Дальность приема в ночное время резко возрастает.

И наконец, мы подошли ко всем нам хорошо знакомым коротким волнам. Диапазон этот раньше считали бесперспективным. Своим открытием он обязан радиолюбителям 20-х годов. Осваивая диапазон, они столкнулись с парадоксальной ситуацией. Передатчики, которые не были слышны уже за несколько десятков километров, почему-то уверенно прослушивались за многие тысячи километров. Причина тому — в основном слой с максимальной концентрацией ионов — слой F. Именно он служит верхней стенкой незримого шара, который запирает короткие волны в околоземном пространстве. И они путешествуют в нем, попеременно «отскакивая» от ионосферы и от поверхности Земли. Из-за скачков возникают зоны молчания. Ионосферные волны как бы перешагивают через некоторые районы, а земная волна туда не доходит.

Существование слоя F было предсказано еще в 1902 году английским ученым Хевисайдом и его американским коллегой Кеннели, но лишь через два десятилетия оно было подтверждено экспериментально.

Есть еще один недостаток у коротких волн — фединги, или замирения. Дело в том, что в приемник одновременно приходит несколько ионосферных волн по разным путям: и длинными, и короткими скачками волна даже может «проскакать» вокруг земного шара и быть принята повторно. В этом случае, как мы знаем, будет наблюдаться явление интерференции: сигнал то ослабнет, даже может пропасть, то усилится.

Но, несмотря на недостатки, короткие волны нашли широкое применение из-за одного важного достоинства. В отличие от сверхдлинных волн коротким достаточно небольшой мощности передатчика, не больше обычной электролампочки, чтобы они «убежали» за тысячи километров. Благодаря этой замечательной способности радиосвязь стала доступной для любой точки земного шара. Без коротковолновой станции не отправится в путь ни один корабль, ни один самолет.

Еще выше начинается диапазон УКВ — ультракоротких волн. К ним относят все радиоволны короче 10 метров. Особенность его в том, что ультракороткие волны распространяются в пределах прямой видимости. Однако и здесь возможны исключения.

О причудах волн, в том числе и из «семейства» радио, речь пойдет дальше.

Термин УКВ сейчас уже устарел. Официально этот участок спектра разделен еще на пять диапазонов:

- очень высокие частоты (ОВЧ), или, иначе, метровые волны — от 30 до 300 мегагерц (от 10 до 1 метра);
- ультравысокие частоты (УВЧ), или дециметровые волны — от 300 до 3000 мегагерц (от 100 до 10 сантиметров);
- сверхвысокие частоты (СВЧ), или сантиметровые волны — от 3 до 30 гигагерц (от 10 до 1 сантиметра);
- крайне высокие частоты (КВЧ), или миллиметровые волны — от 30 до 300 гигагерц (от 10 до 1 миллиметра);
- гипервысокие частоты (ГВЧ), или децимиллиметровые волны (их раньше называли субмиллиметровыми) — от 300 до 3000 гигагерц (от 1 до 0,1 миллиметра).

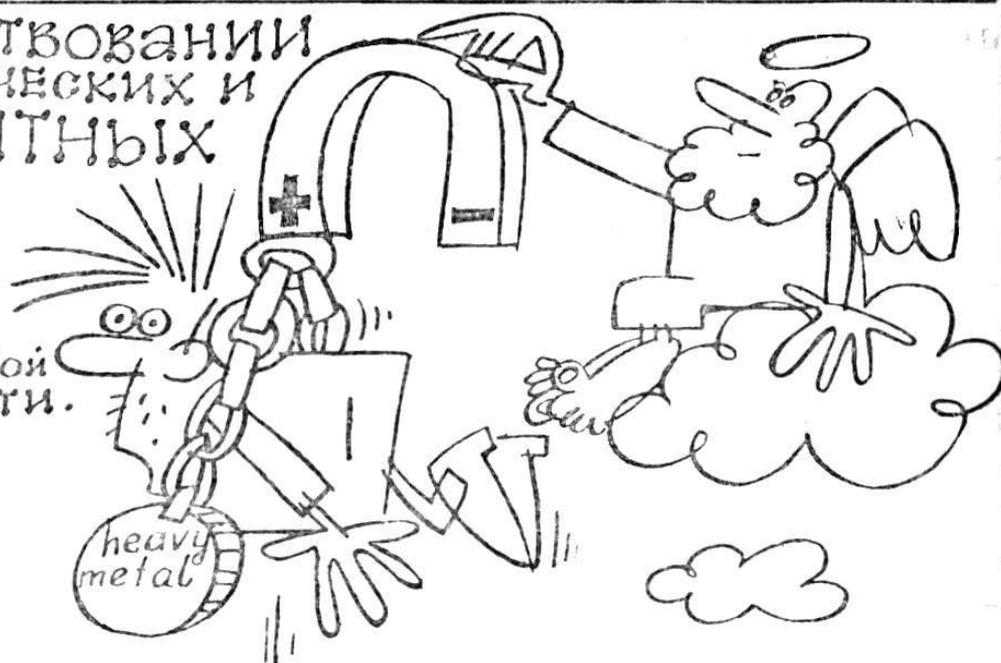
Американские инженеры часто пользуются термином микроволны. Он постепенно прививается и у нас благодаря переводной литературе. Под понятием микроволны подразумеваются радиодиапазоны, длины волн которых менее одного метра.

Именно с диапазонами УКВ связан расцвет радиотехники. Область УКВ настолько просторна, что в ней помещается и радиовещание, и телевидение, и радиолокация, и спутниковая и радиолинейная связь, и разного рода промышленная, медицинская, научная радиоэлектроника...

Помимо своей информационной вместимости, диапазоны УКВ экономичны. Они позволяют сконцентрировать энергию волны в узком луче, и чем короче волна, тем уже и информативнее луч.

Как же удалось человеку найти радиоволны и овладеть ими — этим богатством, которое мы почти не замечаем, но без которого современное бытие уже невозможно?

О СУЩЕСТВОВАНИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И
МАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ
ЛЮДИ
ЗНАЛИ
ЕЩЕ
В ГЛУБОКОЙ
ДРЕВНОСТИ.



*«НЕ БОГ ЛИ ЭТИ ЗНАКИ
НАЧЕРТАЛ?»*

ОТ ФАЛЕСА ДО ФАРАДЕЯ

Истоки радио восходят к открытию единства и взаимосвязи электричества и магнетизма. О существовании электрических и магнитных явлений люди знали еще в древние времена.

Вспомним легендарного грека Фалеса из Милета, жившего в VI веке до нашей эры. Говорят, у его златокудрой дочери было янтарное веретено. Она будто и заметила электризацию янтаря — его свойство притягивать пылинки, нити, кусочки папируса при трении о шерсть. Может быть, это и сказка, но историки свидетельствуют, что янтарь был тогда в большом ходу и на столь необычное свойство наверняка обратили бы внимание. Не исключено, что именно история с янтарным веретеном много веков спустя подарила миру новое слово — «электричество». Ведь обработанный янтарь по-гречески — электрон, что значит «притягивающий к себе».

Столь же древнюю историю имеет и магнит. Три тысячи лет назад в Китае уже пользовались простейшим компасом — указателем юга. А вот еще одно древнее применение магнита, сильно напоминающее современный прибор, с помощью которого в аэропортах определяют наличие у пассажиров металлических предметов.

Как утверждают китайские ученые, нечто подобное уже было двадцать два века назад в городе Чан-Яне (нынешнем Сиане). Там ворота перед дворцом правителя были сделаны из магнитного железа. Ни один злоумышленник не мог пронести тайком через эти ворота оружие. Невидимая сила «вытаскивала» нож или меч из-под одежды, и стража уводила преступника в темницу...

По утверждению Платона, название «магнит» дано Еврипидом. По версии Плиния, свое имя магнит получил в честь сказочного пастуха Магнаиса, у которого к сандалиям и к палке прилипали странные камни. В сандалиях были железные гвозди, а у палки железный наконечник.

Тит Лукреций Кар в своей поэме «О природе вещей» утверждает, что слово «магнит» происходит от названия провинции Магнезия (теперешнее название Манисса). Есть там гора, где до сих пор встречаются магнитные камни.

Впервые связь между электричеством и магнетизмом обнаружил Ганс Христиан Эрстед — профессор химии Копенгагенского университета. А точнее не он, а студент, имя которого не вошло в историю. Как-то Эрстед читал лекцию, по ходу которой он демонстрировал свойство электрического тока нагревать проволоку. Рядом с проволокой лежал компас, никакого отношения к опыту не имевший, и один из студентов заметил движение стрелки компаса в тот момент, когда Эрстед включал и выключал ток.

Говорят, что случайность — дополнение неизбежности. За несколько лет до опыта Эрстед писал: «Следуетт испробовать, не производит ли электричество... каких-либо действий на магнит...» Данное открытие, пожалуй, еще одна иллюстрация к словам Луи Пастера: Случай помогает лишь умам, подготовленным к открытию». Так было положено начало новой отрасли физики — электромагнетизму.

«Памфлет» Эрстеда с описанием опыта попал к французцу Араго. Тот повторяет опыт и докладывает о новом явлении 4 сентября 1820 года на заседании академии в Париже. Доклад слушает Ампер. Он чувствует, то пришел, наконец, миг, которого он неосознанно ждал всю жизнь. Две недели напряженной работы, и его имя вошло в историю. Все мы знаем, что ампер — единица измерения электрического тока. Именно Ампер первым произнес слова «сила тока». Но не в том главная

его заслуга. «...Я свел все магнитные явления к чисто электрическим эффектам» — эти слова Ампера сохранились в протоколе заседания академии от 18 сентября 1820 года. Ампер показал, что два проводника, по которым течет электрический ток, притягиваются или отталкиваются подобно магнитам. А катушки с током взаимодействуют друг с другом как настоящие магниты. Он определил и направление действия электромагнитной силы в своем знаменитом «правиле пловца»: «Если дана проволока и направление идущего по ней тока, то следует представить себе наблюдателя, плывущего вместе с током и обращенного лицом к стрелке, тогда северный полюс стрелки отклонится в ту сторону, где находится левая рука наблюдателя». Так родилась электродинамика Ампера, сводящая все магнитные явления к электрическим.

Прошло 11 лет, и англичанин Майкл Фарадей решил обратную задачу: получил электричество с помощью магнита. 17 октября 1831 года он, быстро вдвигая намагниченный железный сердечник в катушку, убедился в том, что в какой-то момент времени в цепи катушки возникает импульс тока. Вот как писал сам Фарадей: «Я взял цилиндрический магнитный брусок и ввел один его конец в просвет спирали из медной проволоки, соединенной с гальванометром. Потом я быстрым движением втолкнул магнит внутрь спирали на всю его длину, и стрелка гальванометра испытала толчок. Затем я также быстро вытащил магнит из спирали, и стрелка опять качнулась, но в противоположную сторону. Качания стрелки повторялись всякий раз, как магнит вталкивался или выталкивался. Значит, электрическая волна возникает только при движении магнита, а не в силу свойств, присущих ему в покое».

До Фарадея такие же опыты проводил Ампер. Но он работал без помощника. Пока он после вдвигания сердечника шел в другую комнату (во избежание ошибок, связанных с сотрясением приборов, они были разнесены в разные комнаты), ток, возникавший только во время движения магнита, уже исчезал. Так Ампер пропустил открытие электромагнитной индукции.

Независимо от Фарадея примерно в то же время индукцию наблюдал американец Джозеф Генри, преподаватель гимназии в Олбани. Генри проводил опыты с электромагнитами, в конструировании которых достиг больших успехов. «Мне следовало напечатать это раньше,

— сокрушался он впоследствии. — Но у меня было так мало времени! Хотелось свести полученные результаты в какую-то систему». Фарадей же отчеты о своих опытах публиковал регулярно.

Налицо была явная связь между электричеством и магнетизмом: электрический ток создает магнитное поле, а движущийся магнит создает электрическое поле.

Когда Фарадей продемонстрировал английскому королю Георгу IV свой опыт, тот, нахмурившись, спросил:

— Почему ваше изобретение не приносит практической пользы?

— Ваше величество, — ответил физик, — а какую пользу приносят дети, только что появившиеся на свет?

Фарадей интуитивно чувствовал, какую пользу в будущем принесет его открытие. Интересно, что уже у Фарадея возникла мысль о бегущих электрической и магнитной волнах. Но мысль была тогда так кощунственна, что он не осмелился опубликовать ее. Правда, приоритет свой все-таки решил зафиксировать. 12 марта 1832 года он передал для хранения в архив Королевского общества конверт в запечатанном виде с надписью «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества».

Конверт был вскрыт через 106 лет — в 1938 году.

«Я пришел к заключению, — было написано на пожелтевшем листке бумаги, — что на распространение магнитного воздействия требуется время, которое, очевидно, окажется весьма незначительным. Я полагаю также, что электрическая индукция распространяется точно таким же образом. Я полагаю, что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебание взволнованной водной поверхности... По аналогии я считаю возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции... В настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня, не имеет подобных взглядов».

В то время в физике господствовала концепция дальнего действия» — представление о мгновенном воздействии одного тела на другое на расстоянии без помощи какой-либо промежуточной среды. Она утвердись со времен Ньютона. Полагали, что сила тяжести передается мгновенно на любое расстояние. Уже Ньютону такое предположение виделось рискованным. Как можно представить себе воздействия, распространяющиеся без задержки на фантастические расстояния? Однако

работы французских физиков Кулона, Ампера, Био, Савара, Араго в области электричества и магнетизма, основанные на принципе «дальнодействия», составили стройную, математически изящную теорию, которую, казалось, невозможно опровергнуть. Способность масс, электрических зарядов и магнитов воздействовать друг на друга мгновенно, без посредства среды признавалась свойством самой материи. Считалось, что силы взаимодействия направлены по прямым линиям, которые можно провести от тела к телу, от одной частицы к другой, причем силы действуют мгновенно, как бы перепрыгивая через расстояния.

Реалисту Фарадею трудно было примириться с «дальнодействием». Он был убежден, что «материя не может действовать там, где ее нет». Ему мыслилась какая-то среда, заполняющая даже пустоту, через которую последовательно от точки к точке передаются электрическое и магнитное воздействия.

Среду эту Фарадей назвал полем. Он считал, что поле пронизано электрическими и магнитными силовыми линиями. Силовые линии не какая-то абстракция. Можно воочию убедиться в их существовании. Вспомните школьные опыты с железными опилками. Если их рассыпать по бумаге, а снизу поднести магнит, то они «нарисуют» нам картину магнитных силовых линий. Кстати, впервые представление о силовой линии появилось у петербургского академика Эпинуса. Потом их использовал немецкий физик Зеебек в работе «О магнетизме электрической цепи» (1822 год). Именно Зеебек проделал опыт с железными опилками, только вместо магнита он взял согнутую в дугу стальную ленту, по которой был пропущен ток.

Нетрудно увидеть наглядно и силовые линии электрического поля, возбуждаемые в окружающем пространстве электрическим зарядом. Если продолговатые частицы какого-либо диэлектрика, то есть вещества, не проводящего ток, взболтать в вязкой жидкости, например в касторовом масле, и поместить их в электрическое поле, то частички ориентируются по направлениям силовых линий. Так поведут себя, например, легкие пробковые крошки.

Созерцание этих картинок наводит на мысль, что и вблизи магнита, и вблизи электрического заряда состояние окружающего их пространства изменено. Пространство перешло в напряженное состояние или, иными

словами, как считал Фарадей, в пространстве возникло поле.

Всякое воздействие передается не мгновенно, а через поле — от точки к точке, словно через невидимую жидкость. (Вспомним наши опыты с волнами на пруду.) Такой механизм передачи сил через среду называли «близкодействием». И он принят современной физикой. Поля стали универсальным ее инструментом.

ВСЕГО ЧЕТЫРЕ СТРОЧКИ...

Фарадеевская идея поля пришлась по душе английскому физику Джеймсу Клерку Максвеллу. Интересно, что он родился всего на несколько месяцев раньше открытия Фарадеем электромагнитной индукции. Максвелл связал воедино электричество и магнетизм, создал теорию электромагнитных волн, на что ему потребовалось около 20 лет.

Итак, какие исходные данные, если выразить их на понятном нам всем языке, послужили основой для новой теории?

Во-первых, в пространстве вокруг неподвижных электрических зарядов существует электрическое поле;

во-вторых, в пространстве, окружающем магнит, есть магнитное поле;

в-третьих, движущиеся электрические заряды, то есть электрический ток, порождают магнитное поле;

в-четвертых, взаимное перемещение магнитного поля и проводника наводит в последнем электричество. Максвеллу было 24 года, когда он начал свою работу в области электромагнетизма. В то время (как мы знаем) фарадеевская концепция поля электрических и магнитных силовых линий не принималась всерьез. «Я никак не могу себе представить, чтобы кто-нибудь, имеющий понятие о совпадении, которое существует между опытом и результатами вычисления, основанного на допущении закона дальнего действия, мог хотя бы один момент колебаться, чему отдать предпочтение: этому и ному и понятному действию или чему-то столь неясному и туманному, как силовые линии», — писал один из виднейших физиков того времени королевский астроном Джордж Эйри. Действительно, когда теория имеет дело с неподвижными зарядами и магнитами, в понятии поля нет особой нужды, хотя силовые линии упрощают

решение задач, позволяют обходиться без «высокой» математики, как это делал Фарадей.

В 1864 году Максвелл закончил работу «Динамическая теория поля». В ней он привел знаменитые уравнения, названные впоследствии его именем. Уравнения — начало нового этапа в физике. Они имеют такое же значение для электромагнетизма, как законы Ньютона для механики. Их можно назвать фундаментом физики.

Ведь последующие достижения физики — теория относительности и квантовая механика — включают в себя и законы Ньютона, и уравнения Максвелла.

В 1873 году увидел свет знаменитый двухтомник Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме». Книги содержали все его знания и раздумья об электричестве и магнетизме. Он стремился дать систематическое изложение всего известного о данных явлениях, и так получилось, что его собственные исследования оказались разбросанными в общем потоке текста.

Лишь немногие физики поначалу оценили значение Максвелловой теории электромагнитного поля. Один из них, Людвиг Больцман, восхищенный уравнениями Максвелла, процитировал по их поводу строки из «Фауста»:

Не бог ли эти знаки начертал?
Таинственен их скрытый дар!
Они природы силы раскрывают...

Всего четыре строчки содержат уравнение Максвелла. Но из этих четырех уравнений вытекают, или, во всяком случае, им не противоречат, любые электрические и магнитные явления. Электромоторы, электрогенераторы, радио, телевидение, локаторы, электробритвы, телефон, линии электропередачи, ЭВМ, трансформаторы, плазма, ускорители заряженных частиц, процессы при управляемом термоядерном синтезе и в глубинах Вселенной... — все, что, так или иначе, связано с электричеством и магнетизмом, подчиняется уравнениям Максвелла.

Хотя форма записи уравнений кратка и на первый взгляд довольно проста, но чтобы применить их и решить для конкретного случая, нужна подчас высокая инженерная и математическая квалификация, выдумка, интуиция. Тем не менее, физический смысл уравнений понятен.

Первое уравнение (нумерация условная) гласит, что электрическое поле образуется зарядами и его силовые линии начинаются и кончаются на зарядах.

Второе уравнение описывает магнитные силовые линии: они не имеют ни начала, ни конца, поскольку свободных магнитных зарядов нет. Это кольцеобразные замкнутые линии.

Казалось бы, магнитные заряды должны существовать. Ведь магнитное поле между полюсами постоянного магнита очень похоже на электрическое поле между двумя разнесенными электрическими зарядами разного знака. Естественно было думать, что магнитное поле имеет свои источники, которые связаны с ним таким же образом, как электрический заряд связан с электрическим полем. Тогда, например, «северный полюс» стрелки



компаса был бы местом скопления магнитных «зарядов» одного вида, а на «южном полюсе» был бы избыток зарядов другого вида.

Природа по некоторой причине не использовала такую возможность. Мир вокруг нас оказался совершенно несимметричным в том смысле, что магнитных зарядов не существует. Во всяком случае, их никому не удалось обнаружить. Высказывались предположения, что пары магнитных полюсов, подобно парам элементарных частиц, могут возникать и разлетаться в ядерных взаимодействиях, происходящих при больших энергиях. Поиски таких частиц, названных магнитными монополями, производились в последнее время, но без успеха. Полагают также, что монополи существовали сразу же после Большого взрыва.

Так или иначе, вопрос о том, могут ли существовать монополи, остается открытым. Если же когда-нибудь кто-либо открыл бы монополь, то это событие не порушило бы Максвеллову теорию. Просто в той области, где будет найден монополь, второе уравнение не будет соблюдаться. Как бы там ни было, говоря языком математической логики, высказывание: «обычное вещество «сделано» из электрических, а не магнитных зарядов» — всегда останется истинным.

Третье уравнение — общий случай закона электромагнитной индукции Фарадея: любое изменение магнитного поля генерирует в соответствии с этим уравнением вихревое электрическое поле.

Но вот последнее уравнение содержит нечто новое. Раньше была известна только часть его, которая годилась для постоянных токов, — закон Ампера, утверждающий, что текущие по проволоке электрические заряды (а точнее постоянный ток, то есть движущиеся заряды, среднее число которых, в единицу времени проходящих через сечение провода, одно и то же в любой момент времени) создают определяемое уравнением Ампера магнитное поле.

Связав воедино с помощью уравнений открытые до него законы, Максвелл увидел, что система несовместна. Значит, как мы помним из школьного курса, она не имеет решения. Чтобы сделать систему совместной, ученый добавил в последнее уравнение всего одно слагаемое, коему и обязано радио своим происхождением.

Что это была за «добавка»? К току движущихся зарядов (или, как его еще называют, току конвекции, или проводимости)

Максвелл прибавил воображаемый ток смещения. Так он назвал меняющееся во времени электрическое поле. Оно, подобно электрическому току, рождало точно такое же магнитное поле, поэтому Максвелл назвал его тоже током — током смещения. Почему смещения?

Причины носят исторический характер, и история очень долгая. Подробно ее касаться не будем. Истоки ее восходят к громоздкой механической модели Максвелла из шестеренок, на которой он изучал электромагнитные явления. Модель, возможно, и привела его к великому открытию. Как-то он изучал диэлектрики. Известно, что диэлектрики не проводят электричества. В них, в отличие от металлов, нет зарядов, могущих перемещаться на значительные расстояния и переносить электрический ток. Максвелл заметил, что определенные шестеренки в его модели смещались, когда он имитировал на ней включение и выключение электрического поля. Он прозорливо усмотрел в этом следующую аналогию: под действием внешнего электрического поля заряды, входящие в состав диэлектрика, не срываются полем со своих мест, а лишь несколько смещаются. То есть сами молекулы остаются неподвижными, однако электрические частицы противоположных знаков (протоны и электроны), входящие в состав молекул диэлектрика, должны под действием сил поля смещаться в противоположные стороны. Молекула деформируется, или иначе — поляризуется.

Большая научная смелость потребовалась Максвеллу, чтобы отождествить смещение связанных в молекуле зарядов с электрическим током. Такого тока ранее ни кто не наблюдал. Максвелл признал за ним право создавать собственное магнитное поле, сделал его в этом отношении равноправным с обычным током, текущим по проводнику.

Если рассматривать последнее уравнение отдельно, то само по себе введение тока смещения мало бы что дало. Но в совокупности с остальными тремя уравнениями эта добавка, можно сказать, произвела революционный переворот в физике.

Максвелл так и не отрешился полностью от механической модели. Для своей теории электромагнитного поля ему понадобился эфир — неощутимый вид материи, которым заполнено все мировое пространство. Ток смещения — смещение частиц эфира. И действительно,

если в какой-нибудь вакуумный сосуд поместить две пластины и соединить их с источником переменного тока, то на помещенную поблизости магнитную стрелку будет воздействовать переменное магнитное поле так же, как если бы в пространстве между пластинами протекал поток электронов, или иначе конвекционный ток. Впоследствии теория эфира отмерла, но уравнения Максвелла от этого нисколько не пострадали. Название тока смещения стало историзмом, а его дублер — переменное от времени электрическое поле — ничуть не хуже выполняет функции колебания частиц эфира.

«Нельзя изучать эту удивительную теорию, не испытывая по временам такого чувства, будто математические формулы живут собственной жизнью, обладают собственным разумом — кажется, что эти формулы умнее нас, умнее даже самого автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них заложено», — писал об уравнениях Максвелла немецкий физик Генрих Герц. Ему первому удалось экспериментально доказать правильность Максвелловой теории.

Именно Генрих Герц, а точнее — англичанки Оливер Хевисайд и Генрих Герц (приоритет Хевисайда признал сам Герц) придали уравнениям тот изящный вид, в котором они и представлены в современных учебниках и научной литературе.

ОЗАРЕНИЯ ОЛИВЕРА ХЕВИСАЙДА

С именем Оливера Хевисайда связаны многие открытия в области физики, прикладной математики, телеграфии. Это был гениальный самоучка, namного определивший свое время.

В частности, за 15 лет до Эйнштейна он получил знаменитую зависимость между энергией и массой $E = mc^2$, известную ныне как формула Эйнштейна.

Он был одним из создателей векторного исчисления. Теперь начала векторного исчисления преподают в школьном курсе математики и физики, но в то время, около ста лет назад, хотя понятие вектора и было известно, им практически не пользовались для описания физических явлений. Векторный способ представления уравнений Максвелла сделал их более наглядными и более доступными.

Курсы теоретических основ электротехники и радиотехники

для студентов вузов электротехнических и радиотехнических специальностей начинаются с операторного метода расчета цепей, созданного Хевисайдом.

Для исследования переходных процессов в электрических цепях, то есть для изучения того, что в них происходит после подключения или отключения питания, при импульсных воздействиях Хевисайд ввел специальную функцию, которая получила название функции Хевисайда.

В приложении к электрическим цепям это, по сути, единичный скачок напряжения, а математически — такая функция равна нулю во все отрицательные моменты времени и равна единице во все положительные моменты времени.

Хевисайд пользовался в своих расчетах еще одной функцией. Он назвал ее импульсной. Для его современников-ученых функция казалась, по меньшей мере, странной. Она равнялась нулю во всех точках, кроме одной, где ее значение взлетало в бесконечность, но таким образом, чтобы интеграл от нее был равен единице. Хевисайд подробно разобрал свойство такой функции, которую он использовал для изучения импульсных воздействий на электрические цепи. Его работа была забыта, и через тридцать лет импульсную функцию переоткрыл и ввел в обиход физики английский ученый Дирак. Теперь она носит название дельта-функции Дирака.

Хевисайд внес большой вклад в теорию передачи электрических сигналов по линиям связи. Уравнения Хевисайда принесли огромные барыши телеграфным компаниям, а сам их создатель жил в бедности. Хевисайд пыл горд. Он не принимал пожертвований.

В 1902 году (одновременно с американским электротехником Кеннеди) Хевисайд указал на существование высоко над поверхностью Земли ионизированного слоя, который должен отражать короткие радиоволны. Специалисты не сразу поверили открытию. И только в 1924 году, за два месяца до смерти Хевисайда, было получено подтверждение существования слоя. Его раньше называли слоем Хевисайда. В современной, даже узкоспециализированной литературе этого названия почти не встретишь. Тем удивительнее было увидеть его в стихах...

За слоем Хивсайда, за легкой пылью
Земной атмосферы безмолвье звучит.

Холодная вечность, дремучие крылья
Расправив в мирах, беспредельно парит.
 Планеты плывут по орбитам с шуршаньем,
 И где-то кометы, хвосты распустив,
 Летят по путям громовым мироздания.
 Маршруты, как шпаги стальные, скрестив.
Дороги еще не изведаны эти,
Но время идет непреклонной судьбы,
Придет человек — от планеты к планете
Протянутся вдаль верстовые столбы.

Автор строк, датированных 1946 годом, поэт Сергей Орлов, фронтовик. Я недавно наткнулся на них, просматривая вышедший посмертно (в 1982 году) сборник его стихотворений. Забытое название — «слой Хивсайда» — привлекло мое внимание. Прочел стихотворение и восхитился: «Первый послевоенный год — и такая вера в будущее!» Спустя пятнадцать лет сквозь «слой Хивсайда» проложил трассу и отмерил первые космические версты Юрий Гагарин.

Кстати, Оливера Хевисайда Максвелл упоминает в своем знаменитом «Трактате об электричестве и магнетизме». Приведенные Максвеллом в главе «Измерения электрического сопротивления» результаты Хевисайда, пожалуй, самое малое, что сделал Хевисайд в области электромагнетизма.

Хевисайд купил «Трактат» Максвелла вскоре после его выхода. Можно сказать, что он определил всю его дальнейшую жизнь.

Чтобы осилить книгу, а она оказалась для него очень трудной, Хевисайду пришлось самостоятельно изучить высшую математику. На это ушло несколько лет. Но годы самоотверженной работы окупились сторицей. Ему, как и Герцу, удалось свести двенадцать уравнений, которые дал Максвелл в своем «Трактате», лишь к четырем (о них мы упоминали).

Многое из того, что сделал Хевисайд, входит в учебники по электричеству без всякого упоминания о его имени, хотя не только теоретические основы электротехники, но и ее язык, терминология в значительной мере созданы Хевисайдом. «Импеданс», «индуктивность», «проницаемость», «затухание», «отрицательное сопротивление», «линия без искажений»... Эти общепотребительные сегодня термины введены Хевисайдом.

«...Он исследовал влияние земли, моря и верхней атмосферы на распространение радиоволн и объяснил, каким образом энергия распространяется между двумя

удаленными точками, огибая кривизну земной поверхности...» — было написано в статье, посвященной памяти Хевисайда в журнале фирмы «Белл систем».

Статья появилась не случайно. Американская фирма высоко оценила теоретические исследования Хевисайда для практики связи. А фирма была известна своей деловитостью.

Творчество Хевисайда многогранно и исследовано, видимо, еще не полностью. Об этом свидетельствует находка 1974 года. Она касается физического явления, названного свечением Черенкова — Вавилова. Суть явления в том, что заряженная частица при своем движении в какой-либо среде с постоянной скоростью, большей, чем скорость света, излучает в этой среде свет. Эффект обнаружил в 1934 году П. А. Черенков в серии опытов, предпринятых по инициативе академика С. И. Вавилова. Теория свечения была получена спустя три года в работах советских физиков И. Е. Тамма и И. М. Франка. Их выкладки были основаны опять же на уравнениях Максвелла. В 1958 году Тамму, Франку и Черенкову присудили Нобелевскую премию. Инициатора работы — Вавилова — в то время уже не было в живых. Он умер в 1951 году.

В середине 70-х годов из прошлого века вдруг «выплыла» на свет работа Хевисайда. В отечественном и зарубежном научных журналах в 1974 году была рассмотрена его теоретическая схема, в которой и возникает эффект Черенкова — Вавилова.

Предвидение Хевисайда намного опередило свое время и потому осталось без внимания. Открытие должно появляться вовремя, иначе о нем забудут. Небольшое упреждение необходимо, но именно небольшое, как в стрельбе по летящей цели. Конечно, вопрос о приоритете советских ученых не вызывает сомнения. Они экспериментально открыли и теоретически разобрались в загадочном свечении. Но нельзя не отдать должное и интуиции Хевисайда.

ОТ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА К ВЕЛИКОМУ ОБЪЕДИНЕНИЮ

Хевисайд получил некоторые результаты, которые предвосхитили формулы из теории относительности. И это не удивительно, если учесть, что электродинамика Максвелла

вошла полностью в специальную теорию относительности.

Можно даже сказать, что замечательные уравнения Максвелла и породили специальную теорию относительности.

Началось с того, что голландский ученый Гендрик Лоренц обнаружил интересное свойство уравнений Максвелла. Когда он определенным образом заменял в них переменные, то форма уравнений после подстановки не менялась. Выдающийся французский физик Анри Пуанкаре выражения для замены переменных так и назвал преобразованиями Лоренца. Кроме того, Пуанкаре впервые высказал мысль, что форма всех физических законов не должна меняться при замене переменных по формулам Лоренца. Эйнштейн, следуя этой мысли, изменил выражение для массы в механике Ньютона: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, где m_0 — масса неподвижного тела, v — скорость

движения тела, c — всем известная скорость света.

Благодаря такой подстановке и наступила гармония между уравнениями Ньютона и Максвелла. Конечно, это несколько упрощенное изложение истории теории относительности. Ведь нужно было еще и глубокое осмысление таких понятий, как пространство и время, чтобы постичь истинный смысл преобразований Лоренца.

Уравнения Максвелла объединили электрические, магнитные и световые явления. Да, и световые! То, что свет имеет электромагнитную природу, показал еще Фарадей в 1846 году. Он продемонстрировал, что обычный магнит воздействует на луч света. Потом возникла мысль, а нельзя ли силы гравитации и электромагнетизма связать едиными уравнениями, то есть создать единую теорию поля. Данной проблемой занимались многие выдающиеся умы, в том числе в последние годы жизни и Эйнштейн и Хевисайд.

Бывший инженер-связист, а впоследствии, писатель-фантаст А. Кларк в своей книге «Голос через океан» приводит некоторые подробности, касающиеся этого факта.

Результаты исследований по единой теории поля Хевисайд изложил в четвертом томе своего обширного

труда «Теория электромагнетизма». Три первых объемистых тома были опубликованы. А вот след рукописи четвертого тома потерялся, и, несмотря на усиленные поиски, ее обнаружить не удалось. Однако известно, что она существовала и что Хевисайд передал ее какому-то американскому издателю, отказавшемуся выдать ему аванс в сумме тысячи фунтов стерлингов.

«Здесь заключена мучительная загадка, — пишет Кларк, — одна из тех, которые никогда не будут разрешены... Безусловно, копия рукописи имела у Хевисайда дома, но, когда его поместили в больницу, никто, видимо, не подумал об этой стороне дела. Сообщение о смерти Хевисайда было немедленно передано Би-би-си. На другой же день предприимчивый вор-взломщик проник в пустой дом. Ценностей он там, конечно, не нашел, но украл много книг и рукописей. И вполне возможно, что современные физики бьются над какой-либо проблемой, решение которой было украдено февральской ночью 1925 года».

Конечно, утерянная рукопись вряд ли содержала результаты, изменившие наши современные физические представления. Наука пошла другим путем. Силы гравитации и электромагнитные силы оказались не единственными в природе. Физикам стали известны еще два вида фундаментальных сил — слабое и сильное взаимодействия. Если гравитация и электромагнитные силы дальнего действия, то сильное и слабое взаимодействия проявляются на микроскопических расстояниях, гораздо меньших, чем размеры атомного ядра. Казалось, задача создания единой теории поля еще более усложнилась. Ведь под крышей одних уравнений придется объединять уже не две, а четыре силы.

Но вот в последнее десятилетие незаметно для нас — нефизиков — в науке происходит бесшумная революция. Если сравнить дорогу исканий с длинным темным туннелем, то теперь в его конце забрезжил свет. Появилась надежда создать единую теорию всех четырех сил природы: гравитационных, электромагнитных, сильного и слабого взаимодействия — так называемое великое объединение (или теорию супергравитации). Ключом к решению проблемы стала квантовая теория поля, в которой в последнее десятилетие произошел большой прогресс.

Уже теоретически и экспериментально подтверждено единство электромагнитного и слабого взаимодействий,

которое назвали электрослабым. Создана модель, как называют физики, большого объединения, воедино связывающего сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия. Есть наметки, как распространить объединение на гравитационные силы.

Но в рамках теории большого объединения основной строительный материал нашего мира — протон — нестабилен.

На школьной скамье мы узнаем о протонах и электронах — электрически заряженных частицах атома. Протон — как бы его сердцевина, простейшее атомное ядро. Природа наделила протон устойчивостью, и благодаря этому счастливому обстоятельству существуем мы с вами и окружающий мир. Протоны — своего рода кирпичи материального мира, из которых построена вся природа, как живая, так и неживая. Только в человеческом теле их 1029. Журналисты любят записывать числа во всем их великолепии, но для данного числа не хватило бы строчки в газетном столбце, ибо 29 нулей подряд в ней не уместились бы. Число огромное, даже название для него не придумано. Представление о нем дает такое сравнение: размер нашей Вселенной больше толщины однокопеечной монеты в 1029 раз.

«А вечен ли протон?» Вопрос интересует ученых. И вовсе не из-за боязни «конца света». Наоборот, они даже заинтересованы найти следы его распада. Это, пожалуй, единственная пока возможность экспериментально подтвердить теорию большого объединения. «Экспериментом века» назвали ученые начавшийся в 80-е годы поиск распада протона.

Что можно предварительно сказать о времени жизни протона? Вся наша предыстория говорит о том, что протон стабильная частица. Во всяком случае, ее жизнь на много порядков превышает 10¹⁵ лет, или, иначе, миллион миллиардов лет. А это громадный временной интервал даже по сравнению с возрастом Вселенной, которая, по современным воззрениям, существует около десяти миллиардов лет. Если бы время жизни протона было меньше 10¹⁵ лет, то из 1029 протонов нашего тела за один год их распалось бы более ста тысяч миллиардов, или, иначе, 10¹⁴. Никакой потери веса мы бы не ощутили, но вот доза радиации от такого распада была бы для человека, да и для любых сколь-нибудь крупных животных, смертельна.

По теории же большого объединения, время распада

протона должно быть примерно 10^{30} — 10^{33} лет. Срок огромный, практически бесконечный по сравнению с тем, сколько уже прожила наша Вселенная с момента своего предполагаемого рождения — Большого взрыва. Именно тогда, как считают ученые, и родились протоны. По протон не обязательно живет столь долго. Это среднее время его существования. А вот, сколько проживет каждый конкретный протон, сказать нельзя. Если он все-таки распадается, то время жизни его случайно. Таковы законы микромира. Протон может погибнуть гораздо раньше своих компаньонов, а может и пережить их всех.

Идея «эксперимента века» проста. Надо взять огромную массу в принципе любого вещества и наблюдать длительное время, появятся ли в ней частицы, рожденные при распаде протона. Чем больше масса вещества,



тем больше в ней протонов, тем больше вероятность того, что хотя бы несколько из них погибнут. Протонов должно быть очень много, в сотни раз больше ожидаемого времени распада. Нужное количество протонов выражается числом более чем с 34—35 нулями, и чтобы обеспечить его, масса вещества, называемая детектором, должна быть более десяти тысяч тонн. (Современные детекторы имеют пока меньшую массу.) И из бесконечного числа «целых» протонов за год непрерывного наблюдения могут распасться несколько частиц, продукты распада которых надо уловить специальными счетчиками. Задача потруднее, чем найти без применения технических средств иголку в стоге сена.

Поиск погибнувших протонов осложняется еще и тем, что в огромной массе вещества из-за радиоактивных примесей и космического фона будут распадаться и другие частицы, и эти события могут быть приняты за распад протонов. Чтобы преградить путь космическому фону, огромные детекторы прячут под большой толщей грунта или воды.

Но даже большая глубина не задержит нейтрино, рожденных космическими лучами в земной атмосфере. А они могут имитировать распад протона и практически не поглощаются всей толщей земного шара. Представляют опасность и мюоны, элементарные частицы в 207 раз тяжелее электронов. Проникая глубоко под землю, они могут рождать в детекторе частицы с теми же энергиями, что и распавшиеся протоны. Чтобы отличить ложный след от истинного распада, нужны тонкие ухищрения. В поиски распавшихся протонов включились крупные научные коллективы. Одно из первых приближений для времени распада было получено на Баксанском нейтринном сцинтилляционном телескопе. Следов распада обнаружено не было, поэтому, исходя из характеристик приборов, сделан вывод, что время распада не менее $1,5 \times 10^{30}$ лет. Первая установка, специализированная для изучения проблемы, создана индийскими и японскими специалистами в Индии в золотоносной шахте на трехкилометровой глубине. Замеренное здесь время распада составило около 10^{31} лет. Впрочем, результату полностью доверять нельзя — впоследствии был найден еще один источник фона, связанный с мюонами, который мог бы дать такой же результат. Проводились наблюдения и на установках в США, Японии,

однако пока нельзя достоверно сказать, что распад протона обнаружен.

Планируется строительство детекторов большой массы. Веществом обычно служит очищенная вода, а подсчет числа распавшихся протонов должны вести счетчики, регистрирующие излучение Черенкова — Вавилова.

Американские физики обсуждают проект детектора с массой 40—60 тысяч тонн. Напомню, что масса столичной гостиницы «Москва» (кстати, определенная с помощью мюонов) равна примерно 45 тысячам тонн.

Новое поколение детекторов, возможно, в конце концов, обнаружит распавшийся протон. А если нет, значит, время его жизни превышает 10^{33} лет. Дальнейшие работы в этом направлении сложны и дороги. Может оказаться, что создать установку для измерения времени распада порядка 10^{34} лет легче на Луне, чем на Земле. Ведь на нашем спутнике нет всепроникающих атмосферных нейтрино, мешающих опытам. Кстати, проекты постройки детекторов на естественном спутнике нашей планеты уже обсуждаются учеными.

Обнаружат ли ученые распад протона, покажет будущее. Если нет, то тогда физики придумают другие эксперименты, косвенно подтверждающие теорию. На пути к большому объединению ожидаются и большие открытия. Физики настроены оптимистично. Они уверены, что будущие находки лишь подтвердят достигнутое. И кто знает, может, в недалеком будущем удастся проникнуть в святая святых природы — познать первооснову всех ее сил. Создаваемая теория великого без преувеличения объединения всех физических взаимодействий, как сказал академик Анатолий Логунов, «может произвести переворот в практической деятельности человека. Ведь с помощью одних сил можно будет управлять другими, превосходящими их во много раз».

А истоками современного поиска сути природных сил являются замечательные уравнения Максвелла, объединившие электричество, магнетизм и свет. И этим объединением мы обязаны интуиции Максвелла.

Мы живем в очень динамичное время. Чем глубже проникают физики в фундамент природы, тем больше «сногшибательных» новостей появляется на свет. Не всегда, правда, они подтверждаются...

В самое последнее время стройную концепцию о четырех

видах сил грозит нарушить возможное появление на физической сцене пятой силы. Основанием для сенсации послужили результаты некоторых экспериментов.

Со школы мы помним опыты Галилея, когда он бросал с Пизанской башни разные предметы. Ученый пришел к выводу, что без учета сопротивления воздуха все предметы вне зависимости от своей массы и характера материалов, из которых они изготовлены, падают на Землю с одинаковым ускорением. Спустя столетие Ньютон использовал результаты Галилея при создании теории всемирного тяготения. И вот фундаментальная основа принципа сегодня группой физиков из американского университета в Пердью ставится под сомнение. Высказывается предположение о существовании ранее неизвестной пятой силы, противодействующей силе тяжести, в результате чего различные по химическому составу предметы падают с неодинаковым ускорением. Правда, разница очень незначительна — на уровне одной стомиллионной, — и измерить ее сложно.

Для объяснения феномена физики предположили существование «антигравитационной» силы, которая зависит от гиперзаряда, или, иначе, барионного заряда. К барионам относятся протон, нейтрон и другие «тяжелые» элементарные частицы. Чем больше барионный заряд атома вещества (а он равен суммарному числу протонов и нейтронов в атомном ядре), тем сильнее силы «антигравитации». То есть чем больше протонов и нейтронов в ядре, тем сильнее они отталкиваются от протонов и нейтронов другого предмета.

Полагают, что пятая сила в сто тысяч раз слабее гравитации и действие ее проявляется на расстоянии не более 180 метров.

В результате действия пятой силы такие вещества, как железо, с большим числом протонов и нейтронов, будут сильнее отталкиваться Землей, чем, скажем, падающая вода, поскольку в молекулах воды меньше этих частиц. Отсюда: капля воды будет падать быстрее, чем кусок железа.

Эксперименты пока не могут ответить однозначно: быть или не быть пятой силе. Вопрос остается открытым...

О ПОЛЬЗЕ ИНТУИЦИИ

Согласно уравнениям Максвелла, изменяющееся магнитное поле создает меняющееся вихревое электрическое поле. И не только в окружающей среде, но и в Пустоте. Оказалось, что электрические силовые линии тоже могут быть замкнутыми, а не обязательно начинаться и кончаться на зарядах. Это означает, что электромагнитное поле может существовать без зарядов, электрические заряды требуются лишь для возбуждения поля, но в них нет необходимости, чтобы поддерживать его в дальнейшем. Если провести аналогию с волнами на воде, то заряды играют роль камня. Мы видим, как бежит волна по поверхности пруда, несмотря на то, что камень, вызвавший ее, уже покоится на дне.

Электрическое вихревое поле, в свою очередь, рождает магнитное. Таким образом, электрические и магнитные поля, генерируя друг друга, могут свободно распространяться в виде электромагнитной волны и в отсутствие каких-либо зарядов и токов.

Уравнения Максвелла вовлекли электрические и магнитные поля в своего рода общий танец — электромагнитную волну. Неразрывно, мертвой хваткой соединены поля друг с другом, вытаскивают один другого, можно сказать, с «того света». Они заботливо сохраняют друг друга. Допустим, исчезает магнитное поле, но, умирая, оно рождает электрическое поле. Такое же самопожертвование свойственно электрическому полю. Исчезая, оно воскрешает магнитное поле. И пока бежит волна, происходит непрерывная перекачка полей.

Волна может существовать вечно, если не будет, поглощена какой-либо средой, в которой рассеет свою энергию. Пример долгожительства электромагнитной волны — так называемое реликтовое излучение, порожденное Большим взрывом, создавшим Вселенную. Реликтовым оно названо именно потому, что несет информацию о давнем ее прошлом.

Когда Максвелл определил скорость распространения электромагнитной волны, то она получилась близкой к скорости света. Что это? Случайное совпадение? Максвелл не прошел мимо него... Ведь еще Фарадей показал, что магнит влияет на луч света. А еще ранее англичанин Юнг и француз Френель доказали волновую природу света. Значит, свет тоже электромагнитная волна!

Так Максвелл совершил одно из великих обобщений в физике.

Не просто было прийти к такому выводу. Дело в том, что скорость света была в то время определена ошибочно и принималась равной 193 118 миль в секунду.

Максвелл тоже счастливо ошибся и нашел, что скорость распространения электромагнитных колебаний в эфире равна 193 088 миль в секунду.

Да, дерзкой догадке улыбнулся случай. Не всегда он приходит на помощь в науке. Английский физик Джинс провел интересную историческую параллель между открытиями Максвелла и Ньютона: «Ситуация была сравнима по своей драматической напряженности с великим моментом, когда Ньютон впервые подверг испытанию свой закон всемирного тяготения путем вычислений, связанных с расстоянием до Луны. По несчастливой случайности Ньютон воспользовался неточным значением для земного диаметра, и это привело к настолько неудовлетворительному численному совпадению, что Ньютон отложил свою теорию почти на двадцать лет. С Максвеллом случилось обратное — оба числа, приведенные выше, совпадают с точностью до 30 миль в секунду. И особенно удивительно то, что оба числа ошибочны, с ошибкой большей, чем 60 миль в секунду... К счастью, Максвелл, по-видимому, осознал, что скорость света была найдена далеко не точно, и поэтому не дал обескуражить себя существенному расхождению в числах, как это случилось с Ньютоном».

И еще одно важное следствие Максвелл извлек из своей теории: он предсказал давление света и даже вычислил его величину: «В ясную погоду солнечный свет, поглощаемый одним квадратным метром, дает 123,1 килограмметра энергии в секунду, он давит на эту поверхность в направлении своего падения с силой 0,41 миллиграмма».

Таким образом, Максвелл сам указал, как экспериментально проверить свою теорию — получить электромагнитные волны, подобные свету, и измерить давление света.

Но осуществить предсказания Максвелла оказалось не так-то легко. Сам Максвелл, видимо, не предпринимал ничего, чтобы доказать правильность своей теории — получить электромагнитные волны. Правда, ряд исследователей был очень близок к открытию уже в конце 70-х годов прошлого столетия.

КАК ВЫПУСТИТЬ ДЖИННА ИЗ БУТЫЛКИ

Великие открытия требуют ученых особого склада. Такой исследователь должен обладать, можно сказать, особым экспериментальным инстинктом. Его мысль должна непрестанно интенсивно работать в исследуемой области. Без этих качеств можно пройти мимо нового явления, не заметив его, ведь подчас так невзрачны и незначительны его проявления.

Такие физики вскоре нашлись. Электромагнитные волны получил Генрих Герц, а давление света измерил Петр Николаевич Лебедев. Интересно, что знаменитый физик лорд Кельвин, изумленный изяществом опытов Лебедева, сказал К. А. Тимирязеву: «Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами...»

Довольно тонкий опыт провел американский физик Генри Роуланд за десять лет до экспериментов Герца. Результат его хотя и не был столь убедительно явным, как у Герца, но тоже сработал в пользу теории Максвелла.

До Максвелла не было полной ясности в том, будет ли механическое перемещение электрически заряженного тела так же вызывать магнитное поле, как и в случае постоянного тока. Экспериментально доказать этот факт было чрезвычайно трудно даже по современным меркам. Ведь ожидаемая величина магнитного поля составляла примерно стотысячную долю от магнитного поля Земли. Роуланд превосходно справился с задачей. Он зафиксировал магнитное поле, создаваемое при движении наэлектризованной поверхности. Его возникновение предвидел Максвелл в своем «Трактате».

Сорок восемь лет прожил человек, предсказавший существование электромагнитных волн. Еще меньше времени судьба отпустила тому, кто получил их экспериментально, — всего 37 лет. Но столь короткой жизни Генриху Герцу оказалось достаточно, чтобы обессмертить свое имя.

Более двух лет охотился Герц за электромагнитными волнами, но отнюдь не для того, чтобы подтвердить теорию Максвелла. В ее правильности ему довелось невольно убедиться, когда он ставил свои бесчисленные

опыты. Незамысловатыми были его приборы. Еще одно подтверждение изречения «до гениального просто». Возможные направления поиска были ограничены. На первый взгляд напрашивался самый простой путь, — каким пошел Роуланд — получить переменное магнитное или электрическое поле, а, следовательно, и излучение, осуществляя механические колебания магнита или электрического заряда. Но здесь возникли непреодолимые в то время трудности, и главная из них состояла в том, чтобы заставить магнит или заряженное тело механически колебаться очень быстро — сотни тысяч раз в секунду. Даже трепетные камертоны не могли дрожать чаще десятка тысяч раз в секунду. А мы помним, что длина волны равна скорости ее распространения, разделенной на частоту. Поскольку скорость распространения электромагнитных волн равна 300 тысячам километров в секунду, а частота возможных в то время вращательных и колебательных механизмов была порядка десяти тысяч колебаний в секунду, то и длина волны получалась равной 30 километрам — слишком большой, что бы исследовать ее в лабораторных условиях.

Нужно было изыскать какой-то иной способ. Задел в этом направлении уже имелся. Еще в 1826 году заметили, что если разрядить известную нам со школы лейденскую банку через проволоку, свитую в катушку, или, иначе, через индуктивность, то ток в цепи имел колебательный характер, то есть с определенной частотой он менял свое направление. В 1842 году Генри повторил опыт и дал ему объяснение. Впоследствии переходными процессами, в том числе и разрядом, занялся Уильям Томсон, будущий лорд Кельвин. Что происходит в ничтожную долю секунды между моментом подключения батареи к цепи и моментом, когда ток достигает своей полной величины? — задал он себе вопрос. В 50-х годах прошлого века экспериментально исследовать эти явления было не так-то просто. А в наши дни мы встречаемся с ними ежедневно в быту. Включая, например, в сеть электрический прибор, мы одновременно слышим щелчок в радиоприемнике. Так проявляет себя процесс установления тока в сети.

Будущего лорда от науки (знатным титулом были отмечены его научно-технические заслуги) разряд конденсатора (кстати, лейденская банка — это первый в мире простейший конденсатор) через индуктивность особенно заинтересовал. Томсон нашел удачную аналогию

для иллюстрации переходных процессов в электрических цепях — маятник, погруженный в какую-либо вязкую среду, создающую сопротивление. Если трение велико, маятник будет медленно опускаться и не перейдет за точку покоя. Наоборот, если трение незначительно, маятник, прежде чем перейти в состояние покоя, проделает ряд колебаний с затухающей амплитудой. В гипотетическом случае, когда трение отсутствует, колебания будут продолжаться бесконечно. Именно так поведет себя и электрический ток в цепи, содержащей заряженный конденсатор и индуктивность, когда цепь замкнута. За способность хранить электричество конденсатор также называют емкостью, которая, как и емкость бутылки, имеет свою, только электрическую единицу измерения, названную в честь Фарадея. Фарада — очень большая емкость. Если вообразить металлическую сферу размером с земной шар, то ее емкость составила бы всего лишь семь десятитысячных от фарады. Поэтому обычно пользуются единицами, в миллион раз и миллион миллионов раз меньшими — микрофарадами и микромикрофарадами.

Если вернуться к аналогии с маятником, то в момент замыкания цепи ему соответствует крайнее положение. Далее через катушку потечет постепенно увеличивающийся ток. Вокруг катушки появляется нарастающее магнитное поле, в которое переходит электрическая энергия, первоначально запасенная в конденсаторе. Сила тока достигнет максимального значения, когда конденсатор полностью разрядится и энергия сосредоточится в магнитном поле катушки. На нашей модели этому моменту соответствует нижнее положение маятника — кинетическая энергия его максимальна. Между прочим, энергию магнитного поля часто уподобляют кинетической энергии механической системы, а энергию электрического поля — потенциальной. Хотя электрическая энергия в конденсаторе оказалась исчерпанной, ток в цепи не прекращается. Он продолжает течь в том же направлении, поддерживаемый энергией магнитного поля, запасенной в индуктивности. Ток снова заряжает конденсатор, только полярность зарядов на обкладках Конденсатора меняется. Пластина конденсатора, которая была заряжена положительно, заряжается отрицательно, и наоборот. Таким образом, в цепи из емкости и индуктивности возникают колебания, сопровождающиеся превращением электрической энергии в магнитную и

обратно. Недаром такую цепь назвали колебательным контуром.

Сколько долго длятся колебания? Все зависит от потерь в контуре. Если вернуться к аналогии с маятником, то роль трения здесь играет активное сопротивление (то есть сопротивление проводника, из которого сделана катушка) электрическому току. На нагревание проводника теряется часть энергии. Есть и другие составляющие потерь, на которых мы не будем останавливаться. Это уже, можно сказать, специальные тонкости. В частности, в конденсаторе потери вызываются и током смещения в изолирующем друг от друга пластины диэлектрике. Если потери в контуре велики, то в нем произойдет плавный всплеск тока и конденсатор не перезарядится. Если потери не очень велики, то амплитуда тока будет с каждым периодом уменьшаться, пока рано или поздно колебания не затухнут. Если же потерь нет, то перекачка энергии из электрического поля в магнитное и наоборот будет продолжаться вечно. Именно для этого случая в 1853 году Томсон вывел

знаменитую формулу $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, где L — величина индуктивности, которая измеряется в особых единицах, носящих имя «генри» в честь уже знакомого нам американского ученого Генри, а C — значение емкости в фарадах. Формула подходит для большинства практических случаев, поскольку в радиотехнике обычно используются контуры с малыми потерями, которыми можно пренебречь при расчетах частоты колебаний.

Итак, возможность получить электромагнитные колебания была. Но недаром такой колебательный контур назвали «закрытым» — энергия электрического и магнитного полей перекачивалась друг в друга внутри контура: из емкости в индуктивность и обратно. Как раскрыть контур, как проторить электромагнитным колебаниям дорожку из него наружу?

И была еще одна трудность. Дело в том, что в лабораторных условиях можно было изучать только довольно короткие электромагнитные волны, длина которых была бы в несколько раз меньше размеров помещения. Как мы видим из формулы Томсона, чтобы уменьшить частоту, а, следовательно, и длину волны, надо уменьшить и индуктивность и емкость. Правда, здесь такая закономерность: если уменьшить емкость

и индуктивность одновременно, то падает амплитуда Колебаний. Она зависит от отношения индуктивности к емкости. Чем меньше отношение, тем слабее колебания. Так что для получения колебаний высоких частот такие контуры с сосредоточенными индуктивностью и емкостью не очень подходили.

И тут Герцу улыбнулась удача. «Счастливым случаем, — пишет Герц, — представился мне осенью 1886 года». Именно тогда он подметил, что в «коротких металлических проводниках могут быть возбуждены колебания, свойственные этим проводникам». Свойственные — значит, их длина определяет частоту возбуждаемых в них колебаний.

Гениальная интуиция Герца привела к новому виду контура — открытому колебательному контуру, где индуктивность и емкость не сосредоточены в одном месте, а распределены по каждому элементу контура.

Вид открытия имело простецкий: разрезанный посередине металлический стержень, обе части которого раздвинуты на небольшой промежуток. Впоследствии его назвали вибратором Герца. Лет тридцать назад, когда еще не было телевизионных антенн коллективного пользования, каждый владелец телевизора устанавливал на крыше свою антенну, именно вибратор Герца. Крыши были усеяны вибраторами и издали напоминали кладбище. Две горизонтальные металлические трубки, симметрично прикрепленные к вертикальному держателю — тот же крест, только со срезанной верхушкой.

Герцу пришла в голову мысль: а нельзя ли зарядить стержни зарядами противоположного знака, как конденсатор, а затем разрядить, то есть как-то замкнуть стержни. Он надеялся, что в них начнется колебательный процесс. Как осуществить это? Решение родилось как бы само собой во время демонстрации опыта с индукционными катушками в физическом кабинете технической школы.

И до Герца многие исследователи наблюдали искорки при работе с индукционной катушкой, сконструированной в 1852 году известным парижским мастером физических приборов Генрихом Румкорфом. Но, как по обыкновению бывает, лишь единицам дано извлечь из обыденного новую истину.

Почти без каких-либо принципиальных изменений дошла до наших дней индукционная катушка. Один из

ее примеров — известная всем автолюбителям бобина в системе зажигания автомобиля. Ее устройство довольно просто: катушка с двумя обмотками. Одна обмотка с толстым проводом и небольшим числом витков, вторая — с тонким проводом и очень большим числом витков.

С помощью бобины постоянное напряжение аккумулятора преобразуется в высоковольтные импульсы, для чего ток в первичной низковольтной обмотке прерывается и в результате во вторичной обмотке наводится высокое напряжение, которое и пробивает воздушный промежуток в свече зажигания. Сейчас мы знаем, что любой искровой разряд тоже источник радиоволн и в довольно широком диапазоне частот. Они подчас воспринимаются как помехи в радиоприемниках и телевизорах. В те времена такой чувствительной аппаратуры еще не создали. А для Герца искра была нужна как своего рода сверхбыстродействующая переключатель через воздушный промежуток, соединяющая стержни, чтобы разрядить их.

Итак, Герц подсоединил к своему вибратору вторичную обмотку катушки Румкорфа и получил простейший передатчик. Стоило прервать ток в первичной обмотке, как во вторичной возникало высокое напряжение, в результате стержни вибратора заряжались, через воздушный промежуток проскакивала искра. На время ее действия в вибраторе возникал колебательный процесс, такой же, как в закрытом колебательном контуре, с той лишь разницей, что электрическое и магнитное поля вырывались из мест своего заточения, из сосредоточенных емкости и индуктивности, в окружающее вибратор пространство и соединялись вместе.

Читатель вправе спросить: а где же в вибраторе, в этих двух кусках металлического стержня, индуктивности и емкости? А везде, в каждом их кусочке. Ведь что такое индуктивность? Это способность создавать магнитное поле. Если два стержня замкнуть и пропустить через них электрический ток, то вокруг возникнет магнитное поле. Вспомним опыт Эрстеда. Причем свой вклад будет вносить каждый маленький кусочек стержня. Значит, индуктивность распределена равномерно вдоль стержня. И каждый маленький кусочек одной половины стержня вместе со своим собратом, расположенным симметрично на другой половине, образуют конденсатор.

КАК УСТРОЕНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

За период колебаний тока в вибраторе вокруг него формируется и от него «отрывается» сгусток двух взаимно-перпендикулярно сцепленных вихрей, электрического и магнитного, и отправляется путешествовать. Это и есть электромагнитная волна. Причем электрические силовые линии лежат во всевозможных плоскостях, параллельных вибратору, а магнитные — в перпендикулярных. Картина излучения, представленная в силовых линиях, довольно сложная. Когда она мне попадает в каком-либо радиотехническом учебнике, то вспоминается одно остроумное высказывание видного специалиста-физика. На просьбу студента: «Профессор, дайте мне, пожалуйста, приближенное описание электромагнитных волн, пусть даже слегка неточное, но такое, чтобы я смог увидеть их, и я видоизменю эту картину до нужной абстракции», — американский ученый Ричард Фейнман, лауреат Нобелевской премии по физике за 1965 год за работы в области квантовой электродинамики, ответил: «Увы, я не могу этого сделать для вас... У меня нет картины электромагнитного поля, которая была бы хоть в какой-то степени точной. Я узнал об электромагнитном поле давным-давно, 25 лет тому назад, когда я был на вашем месте, и у меня на 25 лет больше опыта размышлений об этих колеблющихся волнах. Когда я начинаю описывать магнитное поле, движущееся через пространство, то говорю о полях E и B (векторные величины, характеризующие соответственно электрическое и магнитное поля. — В. Р.), делаю руками волнистые движения, и вы можете подумать, что я способен их видеть. А на самом деле, что я вижу? Вижу какие-то смутные, туманные, волнистые линии, на них там и сям написано E и B , а у других линий имеются словно какие-то стрелки... которые исчезают, едва в них взглядишься. Когда я рассказываю о полях, проносящихся сквозь пространство, в моей голове катастрофически перепутываются символы, нужные для описания объектов, и сами объекты. Я не в состоянии дать картину, хотя бы приблизительно похожую на настоящие волны. Так что если вы сталкиваетесь с такими же затруднениями при попытках представить поле, не терзайтесь, дело обычное.

Наша наука предъясвляет воображению немислимые

требования. Степень воображения, которая теперь нужна науке, несравненно превосходит ту, что была необходима для некоторых прежних идей.

Нынешние идеи намного труднее вообразить. Правда, мы используем для этого множество средств. В ход пускаются математические уравнения и правила, рисуются различные картинки. Вот сейчас я ясно осознаю, что всегда, когда я завожу речь об электромагнитном поле в пространстве, фактически перед моим взором встает своего рода суперпозиция всех тех диаграмм на эту тему, которые я когда-либо видывал. Я не воображаю маленьких пучков линий поля, снующих туда и сюда; они не нравятся мне потому, что если бы я двигался с иной скоростью, то они бы исчезли. Я не всегда вижу и электрические, и магнитные поля, потому что временами мне кажется, что гораздо правильнее была бы картина, включающая векторные и скалярные потенциалы, ибо последние, пожалуй, имеют больший физический смысл, чем колебания полей.

Быть может, вы считаете, что остается единственная надежда на математическую точку зрения? Но что такое математическая точка зрения? С математической точки зрения в каждом месте пространства существует вектор электрического поля и вектор магнитного поля, то есть с каждой точкой связаны шесть чисел. Способны ли вы вообразить шесть чисел, связанных с каждой точкой пространства? Это слишком трудно. А можете вы вообразить хотя бы одно число, связанное с каждой точкой пространства? Я лично не могу! Я способен себе представить такую вещь, как температура в каждой точке пространства: имеется теплота и холод, меняющиеся от места к месту. Но, честное слово, я не способен представить себе число в каждой точке.

Может быть, поэтому стоит поставить вопрос так: нельзя ли представить электрическое поле в виде чего-то, сходного с температурой, скажем, похожего на смещение куска студня? Сначала вообразим, что мир наполнен тонкой студенистой массой, а поля представляют собой какие-то искривления (скажем, растяжения или повороты) этой массы. Вот тогда можно было бы мысленно представить себе поле. А после того как мы «увидели», на что оно похоже, мы можем отвлечься от студня. Именно так многие и пытались делать довольно долгое время. Максвелл, Ампер, Фарадей и другие пробовали таким способом понять электромагнетизм.

(Порой они называли абстрактный студень «эфиром».) Но оказалось, что попытка вообразить электромагнитное поле подобным образом на самом деле препятствует прогрессу. К сожалению, наши способности к абстракциям, к применению приборов для обнаружения поля, к использованию математических символов для его описания и т. д. ограничены. Однако поля в известном смысле — вещь вполне реальная, ибо, закончив возню с математическими уравнениями (все равно, с иллюстрациями или без, с чертежами или без них, пытаясь представить себе поле въяве или не делая таких попыток), мы все же можем создать приборы, которые поймут сигналы с космической ракеты или обнаружат в миллиарде световых лет от нас галактику и тому подобное».

Пусть простит меня читатель за то, что привел столь пространный ответ профессора. Высказывание его, несомненно, поучительно. Как мы видим, непросто вообразить электромагнитную волну, и вполне возможно, что ее истинная картина совсем не такая, какой она предстает перед нами в различных моделях. Самый лучший и правильный путь — абстрактное представление электромагнитного поля. Надо просто, не ломая себе голову по поводу действительной картины, рассматривать поле как математические функции координат и времени. Вспомним, что Максвелл для объяснения физического смысла тока смещения прибегал к эфиру, от которого потом отказались. А математическая сторона явления оказалась независимой от тех физических одежд, в которую ее пытались, и небезуспешно, одеть. Так и мы прибегнем к абстрактной модели электромагнитной волны.

Чтобы применить математику к исследованию какого-либо явления, надо его как-то измерить. Как же измерить электромагнитную волну — неразрывную комбинацию электрического и магнитного полей? Со школы мы знаем, что электрические и магнитные поля проявляют себя в виде сил, действующих на электрический заряд. Вот эти силы могут быть непосредственно измерены. Через них и придем к характеристикам электрического и магнитного полей. Электрическое поле задается его напряженностью E — силой, которую оказывает поле на единичный электрический заряд. Магнитное поле характеризуется магнитной индукцией B . Она определяет силовое воздействие магнитного поля

на движущийся заряд. (На неподвижный заряд магнитное поле не действует.) E и B — величины векторные, то есть они определяют не только количественное значение электрической и магнитной сил, но и их направление.

А теперь рассмотрим одну из «конструкций» электромагнитной волны. Ее будет вполне достаточно и для радиолюбительской и даже для инженерной практики. Пример, можно сказать, классический — плоская электромагнитная волна. Ее «изобрел» еще Оливер Хейвисайд. Чтобы представить себе плоскую волну, обратимся опять к эксперименту с бросанием камня в пруд. Волна на поверхности воды от брошенного камня расходится в виде ряби — концентрическими кругами. Фронт ее, то есть самая передняя часть волны, — окружность. Плоская же волна распространяется всюду в одном направлении, и фронт ее передвигается, словно огромная плоскость.

Строго говоря, такие плоские волны создать невозможно. Но на очень большом расстоянии от места возникновения волны ее фронт можно считать плоским, точно так же как во многих задачах плоской полагают поверхность Земли. Солнечный свет — тоже плоская волна: слишком далеко она ушла от своего источника.

А теперь представим себе две взаимно перпендикулярные плоскости: горизонтальную и вертикальную, и вообразим, что каждая из них — это водная гладь. Конечно, непривычно мыслить водную поверхность вертикальной, но и не так уж трудно. Предположим, что мы и окружающий нас мирок незаметно для нас сместились на 90 градусов. Все осталось как прежде, только стороннему наблюдателю видится, что пол вертикален, и мы ходим по нему как по вертикали. В общем, уподобимся фантастам: будем считать, что у нас два пространства. Одно обычное, другое — повернутое на 90 градусов.

Проведем мысленный эксперимент. Бросим камень на линию пересечения водных поверхностей. И побегут волны по воде наших прудов: вертикального и горизонтального. Нас будет интересовать совместная картина волн на пересечении водных поверхностей. В любой точке они будут синфазны (совпадать по фазе), то есть иметь одно и то же состояние, в нашем случае амплитуду. Если в вертикальном пруду гребень, то в горизонтальном — тоже, если в вертикальном — впадина, то

соответственно в горизонтальном в таком же месте тоже впадина. Вот вам и аналог плоской электромагнитной волны. Линия пересечения водных поверхностей в спокойном состоянии — это линия распространения электромагнитной волны. Профиль волны горизонтального течения в вертикальной плоскости — аналог распространения электрического поля, то есть вектора E , а профиль вертикального течения в горизонтальной плоскости — аналог магнитного поля, то есть вектора B .

Получается двумерная картина. Электрическая волна бежит в одной плоскости, а синфазная с ней магнитная — в другой, взаимно перпендикулярной.

Электромагнитные волны принадлежат к семейству поперечных волн. Векторы напряженности электрического поля и магнитной индукции лежат в плоскости,



Частицы на поверхности воды
 совершают вращательное
 и чуть-чуть поступательное
 движение.



перпендикулярной к направлению распространения волны. То есть электромагнитное состояние среды совершает колебания поперек движения. В продольных же волнах свойства среды, в которой бежит волна, изменяются вдоль движения. Такой волной, например, является звук в воздухе, в жидкости или в твердом теле. Сила, породившая звук, вызывает периодические изменения давления в среде вдоль направления распространения волны. Волны на поверхности воды, к примеру, которых мы часто прибегали, являются более сложным видом волнового движения. Частицы на поверхности воды совершают не продольные и не поперечные колебания, а вращательное и чуть-чуть поступательное движение.

И чтобы закончить наше почти инженерное образование об электромагнитных волнах, расскажем о таком их параметре, как поляризация.

Поляризация — общее для всех волн понятие. Представление о ней дает такой простой опыт. Привяжем веревку к какому-либо предмету, скажем, к ручке от двери, и начнем дергать свободный ее конец вверх-вниз. По веревке побежит волна, то есть веревка придет в колебательное движение, причем происходить оно будет в вертикальной плоскости. Если же будем дергать веревку вправо-влево, то колебание ее будет совершаться в горизонтальной плоскости. В обоих случаях можно говорить, что получающиеся волны плоско или линейно поляризованы, поскольку волновое движение происходит в одной плоскости. В первом примере волна вертикально поляризована, во втором — горизонтально. Но можно конец веревки закрутить и по кругу, как будто вращая ручку швейной машины. Тогда веревка сойдет в виде движущейся спирали. Проследив за ее тенью на стене, мы заметим, что она почти повторяет вертикально поляризованные волны, а ее тень на полу похожа на горизонтально поляризованные волны.

Получается, что спиральную волну можно рассматривать как комбинацию двух плоско поляризованных волн или же в виде плоско поляризованной волны с вращающейся плоскостью поляризации. Такой вид поляризации называется круговой.

Поляризацию электромагнитных волн принято определять по направлению колебаний вектора электрического поля E .

(Можно и по направлению колебаний вектора магнитной индукции, поскольку она связана с вектором E , но это вопрос традиции.)

Для волн, излучаемых вибратором, плоскость поляризации определяется просто. Если вибратор горизонтален — поляризация горизонтальная, если вертикален, то вертикальная.

Высокие металлические башни — антенны радиовещательных станций — пример антенн, излучающих вертикально поляризованные волны. Металлическую башню можно рассматривать как половину вертикального диполя, а роль второй половины выполняет земля. Она — тоже проводник токов и зарядов. В СССР и США для телевидения применяют горизонтально поляризованные волны, а в Англии предпочитают вертикальную поляризацию. Поэтому у нас и в Америке приемные телевизионные антенны — горизонтальные вибраторы, а в Великобритании — вертикальные. Трудно однозначно сказать, какая поляризация лучше для телевидения. При вертикальной поляризации заводские трубы, столбы, шпили зданий и другие вертикальные объекты могут создавать помехи в виде переотраженных сигналов и мешать качественному приему. При горизонтальной поляризации сильнее сказываются помехи, вызванные переотражением сигналов от земли и от крыш домов.

Электромагнитные волны нетрудно сделать и с круговой поляризацией. Для этого надо два вибратора расположить крестообразно и подвести к ним высокочастотные колебания, сдвинутые по фазе на 90 градусов. Такой вид поляризации применяется в радиолокации для подавления помех от дождя.

ПОДАРОК ПРИРОДЫ

Мы познакомились только с одной половиной опыта Герца — генерацией радиоволн, которые сразу же называли «лучами Герца». Причем длина излучаемой волны превышала длину вибратора в два раза, поэтому довольно часто вибратор Герца называли также полуволновым.

Вибратор излучает радиоволны во все стороны далеко не одинаково, то есть обладает свойством направленности. Максимум излучения находится в плоскости,

перпендикулярной середине стержня, а минимум — в направлении вдоль стержня.

Но излученные волны надо поймать, как-то увидеть, зафиксировать. Герц справился и с такой задачей. Здесь явно напрашивалась аналогия со звуковыми волнами. Помните школьные опыты с настроенными камертонами? Если ударить молоточком по одному камертону, то в унисон с ним зазвучит и второй. То же самое происходит и в музыкальных струнных инструментах. Если настроить две струны, то на звучание одной из них будет отзываться и другая. Это явление резонанса решил использовать Герц для поимки радиоволн. Только вот как сделать «камертон» для электромагнитных волн?

Он взял металлический стержень и согнул его в виде дуги. И, как в вибраторе, на оба конца насадил по металлическому шарикку. Вот таким был резонатор, отзывавшийся на радиоволны, первый их приемник. Впоследствии ученые назвали резонатор Герца «электрическим глазом». Как наш глаз улавливает видимые световые волны, так и резонатор Герца дает знать о существовании невидимых электромагнитных волн.

Да, предельно простым представляется сейчас опыт Герца. На каждую искру в вибраторе резонатор откликался своей искрой. Вот оно, чудо рождения и ловли радиоволн. Волны, бегущие от вибратора, достигают резонатора, заставляют его «звучать» в унисон с вибратором, вызывают в нем такие же колебания электрического тока, какие на долю момента раньше существовали в вибраторе. И крошечная искра, проскакивавшая между шариками резонатора, возвещала: да, действительно есть в природе электромагнитные волны, предсказанные Максвеллом!

Во время экспериментов Герц уносил свой приемник в другую комнату на многие метры, но все равно в разрыве приемной рамки проскакивала искра. Волна слабо спадала с расстоянием.

Правда, и до открытия «лучей Герца» думали об использовании электрических и магнитных явлений для беспроводной связи. Но все они имели один существенный недостаток — сигналы очень быстро теряли свою силу с увеличением расстояния. В такой же зависимости, как и сила тяготения в законе Ньютона, — обратно пропорционально квадрату расстояния. А если еще учесть и влияние земли, над которой должны передаваться

электрические и магнитные сигналы, то ослабление будет еще сильнее — обратно пропорционально кубу расстояния. То, что затухание электромагнитных волн не подчиняется этим законам, и поразило больше всего Герца.

В своих воспоминаниях он писал: «Особенно приводили меня в изумление все большие расстояния, вплоть до которых я мог обнаружить действие. До тех пор привыкли считать, что электрические силы убывают по закону Ньютона и, следовательно, с увеличением расстояния быстро становятся незаметно малыми».

Добавка в виде тока смещения, введенная Максвеллом в уравнение Ампера, привела к тому, что в решении максвелловых уравнений, помимо членов, убывающих как обратный квадрат расстояния, то есть по известному нам со школы закону Кулона, к счастью, содержится еще один член, названный волновым. Он описывает часть поля, которая спадает гораздо медленнее, чем обратный квадрат расстояния, а именно как величина обратная расстоянию в первой степени.

Читатель может спросить: почему к счастью? Да потому, что этому подарку природы, предсказанному Максвеллом, и обязана своим рождением вся нынешняя радиотехника.

Кажется чудом, что человек, говорящий во Владивостоке, с помощью каких-то электрических воздействий может быть услышан через многие тысячи километров, например, в Бресте. И все благодаря тому, что электромагнитное поле спадает обратно пропорционально не квадрату, а лишь первой степени расстояния.

Мы уже говорили о том, как «отрываются» электромагнитные волны от рождающих их колебаний тока в вибраторе. Не сразу рвется «пуповина», поначалу связывающая волну с вибратором. На расстоянии, равном примерно длине волны, электромагнитное поле еще не разорвало своих связей с породившими его зарядами и токами. Это пока поле индукции. Сильны еще электрические силы, подчиняющиеся закону Кулона. Лишь на расстоянии нескольких длин волн силы индукции практически исчезают, и начинает главенствовать поле бегущей волны — поле излучения.

Герц много экспериментировал с электромагнитными волнами. Он убедился, что они, как и свет, распространялись прямолинейно. Металлический экран не

пропускал их, зато изолятор (как, например, закрытая дверь) не был помехой.

А будут ли новые волны преломляться подобно световым лучам в призме? Чтобы ответить на этот вопрос, Герц сооружает почти двухтонную призму из твердого битума. И призма действительно преломляет волны. Он даже определил коэффициент преломления, который оказался близким к 1,7.

Казалось бы, простые эксперименты, а сколько в них научных идей, породивших спустя десятилетия целые научно-технические направления. Герц придумал, как сконцентрировать электромагнитные волны. Он разместил свой вибратор в фокусе вогнутого зеркала, изготовленного из цинкового листа в виде параболического цилиндра. Вот вам и прообраз зеркальных антенн, чаши которых сегодня «рассыпаны» по нашей планете.

С помощью двух таких антенн, одна из которых была подсоединена к индукционной катушке, а в фокусе другой находился резонатор, Герц передавал и принимал электромагнитные волны на расстоянии 16 метров. Такой была первая «система» радиосвязи.

А вот другой опыт, в котором прослеживается принцип радиолокации — отражение радиоволн от препятствия. Герц установил рядом передающую и приемную антенны и направил их в одну точку. Там он поместил металлический лист. Электромагнитные волны отражались от листа и принимались приемной антенной. В разрыве приемной рамки проскакивала искра. Стоило убрать металлический лист — и искра пропадала.

Герц провел опыты с поляризацией. Он развернул одну из антенн на 90 градусов, и прием прекратился, сколь близко он ни приближал антенны. Объяснение простое. Горизонтальный вибратор излучал волны с горизонтальной поляризацией и, если приемную рамку поставить вертикально, то горизонтальный вектор напряженности электрического поля не сможет привести в ней электрические заряды.

И еще одно интересное наблюдение сделал ученый. Он заметил, что в некоторых экспериментах искровой разряд в зазоре приемника возникал лишь тогда, когда он освещался светом от искры передатчика. Теперь-то мы знаем, что свет искры содержит ультрафиолетовое излучение. Именно оно способствовало высвобождению электронов из шариков разрядника, тем самым облегчая появление искры в резонаторе.

Данное явление намыывают фотоэлектрическим эффектом. Его часто приводят в качестве подтверждения корпускулярной природы света.

Работал Герц неистово. Не многим дано испытать радость столь продуктивного труда и получить так много результатов, по существу, в одном эксперименте.

В декабре 1888 года вышла его работа «О лучах электрической силы», в которой были изложены результаты его исследований. Этот год считается годом открытия электромагнитных волн и экспериментального подтверждения теории Максвелла.

Напряженная работа, хотя и доставлявшая ему радость, подорвала его и без того слабое здоровье. Сначала отказали глаза — следствие долгого высматривания в полной темноте едва видимых искр. Затем заболели уши, зубы, нос, и наступило общее заражение крови, от которого он умер на пороге нового, 1893 года в возрасте всего лишь 37 лет.

За несколько недель до смерти он писал своей матери: «Если со мной действительно что-то случится, вы не должны огорчаться, но должны мной гордиться и думать, что я принадлежу к тем особо избранным людям, которые жили хотя и не долго, но вместе с тем жили достаточно. Эту судьбу я не выбирал, но я доволен ей и если бы мне предоставили выбор, я, может быть, сам избрал ее».

Вероятно, Герц и не предполагал, сколь триумфальной будет судьба его открытия. Бытует даже мнение, правда, не всеми разделяемое, что он не верил в будущность своего открытия. Как бы там ни было, его труд пробудил всеобщий интерес к идее беспроволочной связи.



ПОПОВ И МАРКОНИ

ВОДА И ЗЕМЛЯ... ВМЕСТО ПРОВОДОВ

И до открытия радиоволн думали об использовании электрических и магнитных явлений для беспроводной связи. «Быстрота, с которой распространяется свет, электричество и магнетизм представлялись всегда как средства, чтобы передавать известия, которые бы требовалось сообщить с возможной поспешностью», — писал в начале XIX столетия русский ученый и дипломат Павел Львович Шиллинг — изобретатель первого практически пригодного электромагнитного телеграфа. Уже в 1835 году телеграфные аппараты Шиллинга были установлены в кабинете Николая I в Зимнем дворце и на квартирах царских приближенных.

Шиллинг же первым в мире применил электрокодовые сигналы. Изобрести их ему помог опыт работы в области шифрования и тайнописи в период дипломатической службы. Даже с современных позиций его коды выглядят довольно эффективными. «Я нашел средство, — писал Шиллинг, — двумя знаками выразить все возможные речи». Нетрудно увидеть в этом предложении двоичную систему счисления, столь широко ныне используемую в ЭВМ, технике связи и обработке сигналов.

По-видимому, один из самых ранних опытов по установлению

беспроволочной связи провел американец Самуэль Морзе, имя которого известно всем нам по азбуке Морзе. Кстати, он был талантливым живописцем. За свою первую картину «Умиравший Геракл», выставленную в 1813 году в Англии, его наградили золотой медалью. Среди молодых американских художников он стал признанным лидером и одно время даже был профессором изобразительного искусства в Национальной академии художеств в Нью-Йоркском университете.

И вдруг совершенно неожиданный поворот: он бросает живопись ради изобретательских занятий. Ему не везло, приходилось голодать, и только к концу жизни к нему пришли слава и богатство (денежные отчисления за использование патента на телеграфный аппарат его конструкции).

Но вернемся к его опытам по беспроводной связи, которые он провел в 1842 году на Морском канале близ Вашингтона.

С обоих берегов канала на достаточное расстояние в воду были спущены большие металлические пластины, соединенные на одном берегу с батареей и телеграфным ключом, а на другом — с чувствительным гальванометром. Когда на одном берегу замыкали ключ, стрелка гальванометра на другом берегу отклонялась. Дальность связи такой «водяной» линии достигла 1600 метров.

Опыты Морзе заинтересовали англичанина Ландсея. Он ввел некоторые усовершенствования, в частности, электрическую батарею на приемном конце. В 1854 году Ландсей взял, пожалуй, первый в мире патент на «беспроволочный телеграф». В патентной заявке было указано, что ряд его приборов, размещенных «один относительно другого на расстоянии 20 миль, сможет связать беспроводной связью Американский и Европейский континенты.

Однако эту связь в опытах Морзе и Ландсея строго нельзя назвать «беспроводной». Проводник все-таки наличествовал. Им была соленая морская вода. И хотя идея «водяной» связи увлекала и других изобретателей, но практического применения она так и не нашла.

Вспомнили о ней в 1870 году во время осады Парижа пруссаками. Город оказался заблокированным. И вот, чтобы установить связь между штабом защитников города и предместьем Сен-Дени, два французских физика,

Бурбуз и д'Альмеида, решили использовать в качестве проводов не воду, а землю. Ведь почва, как и соленая вода, тоже обладает электропроводностью.

К концу января 1871 года приборы были изготовлены, и д'Альмеида вылетел на воздушном шаре, который ученые сами изготовили, из осажденного города в Сен-Дени для установки станции. На обоих концах, и в Париже и в Сен-Дени, приборы были соединены с металлическими пластинами, зарытыми в землю. Однако станции работали плохо и практической пользы не принесли.

Пытался решить задачу беспроводной связи и знаменитый американский изобретатель Томас Эдисон. В 1885 году он испытал систему телеграфной связи между берегом и кораблем и между движущимся поездом и станционным зданием. 14 мая 1885 года он подал заявку на «прибор для передачи без проводов сигналов азбуки Морзе», а в декабре 1891 года получил патент. «Корабли на океане, — писал в заявке изобретатель, — могут сообщаться между собой и с сушей: на вершине мачт будут устанавливаться металлические щиты, которые путем индукции вызывают электрические вибрации или электрические волны (подобные световым), действующие на электрический прибор на отдаленном судне, имеющем подобный же приемный металлический щит».

Максимальная дальность связи, которой удалось достичь Эдисону, составляла 200 метров. Но это была отнюдь не радиосвязь. Во вторичной цепи индукционной катушки эдисоновского передатчика не было искрового разряда, возбуждавшего, как у Герца, высокочастотные колебания в излучающем элементе — вибраторе, а, следовательно, и не было еще не открытых в то время «лучей Герца» — радиоволн. Связь получилась за счет наводки, вызванной индукцией. А поле индукции убывает быстро — квадратично, а не линейно, как при электромагнитной волне, поэтому Эдисону и не удалось добиться связи на большее расстояние. Правда, для железнодорожников данное обстоятельство не имело особого значения, поскольку индукционная связь осуществлялась между металлической крышей вагона и телеграфными проводами, натянутыми вдоль путей.

И хотя изобретение Эдисона фактически оказалось устройством индукционного типа и не использовало радиоволн, тем не менее, оно мешало итальянцу Гульельмо

Маркони — создателю первых линий дальней радиосвязи, в его намерениях монополизировать все, что к ней относится. И в 1903 году ему пришлось купить патент Эдисона.

Примерно в одно время с Эдисоном занимался беспроводной связью и главный инженер Британского почтового ведомства Уильям Прис. Он обратил внимание па то, что расположенные по соседству телефонные и телеграфные линии влияют друг на друга. Так, тележный разговор по одной линии хорошо прослушивал в других линиях на расстоянии до 400 метров, а в отдельных случаях до двух километров. Эти наводки, вызываемые электромагнитной индукцией, он попытался использовать во благо, и не совсем безуспешно. Его опыты легли в основу одного из способов морской навигации.



По дну бухты или залива прокладывался изолированный кабель, и по нему передавались опорные сигналы, которые улавливались проходящим над кабелем кораблем и служили ему как бы путеводной нитью.

Занимался вплотную беспроводной связью знаменитый ученый-электрик Никола Тесла и многие другие. Время настойчиво требовало связи без проводов, связи на большие расстояния, не зависимой от погоды. Особенно в ней нуждались мореплаватели: ведь в море за кораблем провода не протянешь. А впечатления, сколь трудно и дорого прокладывать кабель через океан и как не просто его эксплуатировать, были еще живы в памяти современников.

ОТ ИДЕИ К ИЗОБРЕТЕНИЮ

Часто считают, что главное в изобретении — идея, а осуществление ее — дело сравнительно второстепенное. Но это не всегда так, особенно когда речь идет об изобретении такого масштаба, как радио. Если посмотреть на опыты Герца с дистанции сегодняшних дней, то в них можно увидеть зародыши идеи радиосвязи и радиолокации. Теперь-то мы знаем, сколь длинен был путь от идеи до изобретения. В особенности это касается радиолокации.

В подтверждение сказанного приведу один любопытнейший отрывок из статьи Уильямса Крукса. Она и сейчас читается, словно популярный учебник по радиотехнике. Даже не верится, что статья опубликована почти сто лет назад, в 1892 году. Судите сами...

«До самого последнего времени мы серьезно не исследовали, не совершаются ли постоянно вокруг нас колебания эфира более длинные, чем те, которые воздействуют на нас как свет. Но исследования Лоджа в Англии и Герца в Германии говорят о почти бесконечном диапазоне эфирных колебаний или электрических лучей, от длин волн в тысячи миль до нескольких футов. Здесь перед нами разворачивается новый и удивительный мир, который трудно представить себе не обладающим возможностями передачи и приема мыслей... (Как видим, Крукс высказывает гипотезу об электромагнитном характере того, что сейчас называют телепатией. — В. Р.).

...Любые два друга, живущие в пределах радиуса

чувствительности их приемных аппаратов, выбрав предварительную длину волны и настроив свои аппараты для взаимного приема, могли бы таким образом сообщаться между собой столь долго и часто, как они того захотели бы, регулируя импульсы для образования длинных и коротких интервалов по обычному коду Морзе. На первый взгляд возражением против такого плана могло бы быть отсутствие секретности.

Если предполагается, что корреспонденты находятся на расстоянии одной мили друг от друга, то передатчик будет посылать волны во всех направлениях, заполняя ими сферу радиусом в одну милю, и поэтому любой человек, живущий в пределах одной мили от передатчика, сможет принять эти сообщения. Это можно было бы устранить двумя путями. Если точное месторасположение обоих, передающего и принимающего, аппаратов хорошо известно, лучи могли бы быть сконцентрированы с большей или меньшей точностью на приемник. Если, однако, передатчик и приемник находятся в движении и, следовательно, нельзя применить линзовые устройства, то тогда корреспонденты должны настроить свои аппараты на определенную длину волны, скажем, например, в 50 ярдов. Я полагаю, что прогресс открытий даст аппараты, способные перестроиться путем поворачивания винта или изменения длины проволоки так, что станет возможным принимать волны любой заранее предусмотренной длины. Таким образом, настроенный на пятьдесят ярдов передатчик мог бы излучать, а приемник принимать лучи с длиной волны от сорока пяти до пятидесяти ярдов и не принимать никаких других лучей. Считая, что полный диапазон длин волн, из которого можно будет производить выбор, простирается от нескольких футов до нескольких тысяч миль, можно будет иметь достаточную секретность. Ради любопытства даже самый настойчивый человек, наверное, отказался бы от просмотра миллионов длин волн с очень малым шансом найти длину волны, используемую его друзьями, корреспонденцию коих он хотел бы перехватить. Посредством «кодирования» сообщений даже этот отдаленный шанс тайного перехвата можно было бы предотвратить.

Это не просто грезы мечтательного ученого. Все необходимое для реализации этого в повседневной жизни находится в пределах возможностей открытия, и все это так разумно и так ясно в ходе тех исследований, которые

деятельно ведутся сейчас в каждой европейской столице, что в любой день мы можем услышать о том, как из области рассуждений это перешло в область неоспоримых фактов...»

Прочтя отрывок, специалисты скажут, что Крукс предугадал частотное разделение каналов связи и возможность их засекречивания.

В статье передана обстановка ожидания открытия. Основания были веские. Незадолго до ее публикации был придуман более чувствительный и удобный, чем у Герца, индикатор радиоволн. Сделал его французский физик Эдуард Бранли. В 1890 году он заметил, что мелкие металлические опилки обладают свойством резко менять свое электрическое сопротивление, когда неподалеку от них случался электрический разряд, который, как мы знаем, всегда сопровождается излучением радиоволн.

Бранли собрал лабораторный прибор для обнаружения электромагнитных волн, который назвал радио-кондуктором. Так впервые слово «радио» породнилось с электромагнитными волнами.

Прибор содержал стеклянную трубку с двумя металлическими электродами, между которыми были насыпаны металлические опилки, батареею и гальванометр. Когда радиоволна достигала прибора, опилки сцеплялись, их сопротивление резко уменьшалось, и стрелка гальванометра отклонялась. Но опилки сохраняли низкое сопротивление и после воздействия электромагнитной волны. Чтобы привести их в первоначальное состояние, стеклянную трубку приходилось встряхивать.

Справедливости ради следует сказать, что Бранли был далеко не первым, кто заметил необычное свойство железных опилок — изменять свое сопротивление под влиянием электрического разряда, но он сумел придать своему открытию форму законченной конструкции в виде радио-кондуктора.

Еще дальше пошел английский физик Оливер Лодж. В 1894 году он опубликовал описание усовершенствованного радио-кондуктора Бранли. У него трубочку с опилками встряхивал молоточек электрического звонка, приводимый в движение часовым механизмом. Кстати, Лодж впервые назвал стеклянную трубочку с опилками когерером, от латинского слова «сцепление».

Итак, канун открытия радио. Есть источник радиоволн,

есть более или менее их чувствительный индикатор. Идея радиосвязи, как мы видим из статьи Крукса, витает в воздухе. Нужен был человек, который обратил бы все содеянное его предшественниками в новое качество.

И тут в мой разум грянул блеск с высот,
Неся свершенья всех его усилий.

Наверное, так совершается научное озарение. Правда, из строчек Данте конкретные правила, как совершить научное открытие, вряд ли извлечешь. Творческий процесс по-прежнему загадка, до конца не разгаданная. Поэтому не ослабевает интерес к так называемым творческим лабораториям известных ученых, писателей, композиторов, художников...

Американский математик и педагог Д. Пойя составил что-то вроде общих правил, как делать открытия. Одно из них звучит так: «Не бросайте изучаемого вопроса, пока не иссякла надежда на появление какой-нибудь плодотворной мысли». Видимо, именно этому правилу интуитивно следовал скромный преподаватель физики Минного офицерского класса в сердце русского Балтийского флота, в Кронштадте, Александр Степанович Попов.

Как сотрудник военно-морского технического учебного заведения, Попов прекрасно сам прочувствовал, сколь велика потребность флота в беспроводной связи. С другой стороны, Александр Степанович воспроизводил опыты Герца в читаемом им курсе и не по наслышке, а «лично» ознакомился со свойствами радиоволн. По свидетельствам современников, «мысль о возможности использовать лучи Герца для передачи сигналов на расстояние» Попов высказывал еще до 1891 года. К этой идее он постоянно возвращался. Да и сама обстановка в Минном классе способствовала поиску. В его стенах не только шла учеба, но и велись серьезные научные исследования и разрабатывались новые образцы техники.

Проводя физические опыты, Александр Степанович убедился, что для сигнализации на небольшие расстояния в качестве передающего устройства вполне подойдет источник радиоволн, которым пользовался Герц, — вибратор с катушкой Румкорфа. Нужно только с помощью какого-либо включателя, например телеграфного ключа, подсоединять первичную обмотку индукционной

катушки к электрической батарее в соответствии с кодом передаваемого сигнала. Дело оставалось за приемником...

Своего рода катализатором послужила статья Лоджа. Попов заинтересовался схемой его приемника, увидел слабые места. Во-первых, нужен надежный когерер, и его удалось создать. И, во-вторых, главное — Попов сумел сделать так, чтобы сама радиоволна автоматически приводила когерер в исходное состояние. Именно радиоволна заставляла стучать молоточек электрического звонка. Здесь Александр Степанович применил еще один принцип, который в дальнейшем станет широко использоваться во многих приборах автоматики. Для подключения электропитания к звонку, а в этой цепи проходил довольно сильный ток, Попов применил чувствительное реле, обмотка которого была включена последовательно с когерером. Таким образом, слаботочная цепь управляла сильноточной — своего рода релейный усилитель!

Как же работал первый радиоприемник? В тот момент, когда приходила радиоволна, сопротивление когерера резко уменьшалось, ток через него увеличивался и становился достаточным, чтобы сработало чувствительное реле и замкнуло более мощную цепь электрического звонка. Молоточек звонка встряхивал когерер и вызывал разрыв цепи. Замыкание и размыкание цепи повторялись, и звонок звенел все время, пока на приемник действовали волны. Как только телеграфный ключ на передающем конце размыкал цепь питания первичной обмотки индукционной катушки, звонок приемника прекращал работать. Включая и выключая, передатчик телеграфным ключом, можно было получать на приемном конце звуковые сигналы соответствующей продолжительности и передавать нужные сигналы, например, при помощи азбуки Морзе.

Поскольку в цепи звонка течет довольно сильный ток, в нее можно дополнительно включить телеграфный аппарат и получить автоматически пишущий прием.

Много опытов весной 1895 года провел Александр Степанович Попов со своим ассистентом Петром Николаевичем Рыбкиным в саду Минного класса. К когереру подсоединили антенну: сначала двухметровый медный стержень, несколько позже детские шары подняли в небеса тонкую проволоку. Приемник сразу же стал чутче. Теперь он принимал не только сигналы передатчика,

по и сигналы грозových разрядов. Иногда они забивали приемник. Тогда звонок звонил непрерывно. Как-то Попов записал: «От 1 до 2 часов дня — сплошные звонки...» Так с первых шагов радиотехника столкнулась со своей основной проблемой — помехами. Если бы не было помех — ни естественных, ни искусственных, — не было бы проблем, но и не было бы таких научных дисциплин, как теория информации и оптимальный прием сигналов, статистическая теория радиолокации, без которой не создать современного радара, и целый ряд других научных направлений, смысл которых — обеспечить оптимальное действие в присутствии помех.

Видимо, эти встречи с помехами и привели Александра Степановича к мысли об искусственно создаваемых помехах. Именно он впервые в докладной записке русскому военному ведомству предложил способы ведения разведки и создания радиопомех средствам радиосвязи...

Но это было позже, в 1903 году, а тогда, весной 1895 года, закончив первый этап работ, Попов решает выступить с сообщением о своих опытах перед аудиторией ученых. 25 апреля (или 7 мая по новому стилю) на заседании физического отделения Русского физико-химического общества Александр Степанович продемонстрировал свой «прибор, отвечающий на электрическое колебание обыкновенным электрическим звонком и чувствительный к герцевским волнам на открытом воздухе на расстоянии до 30 сажен».

Всего около 60 метров была дальность первой линии радиосвязи. Так, внешне просто и обыденно, начало свой триумфальный путь великое изобретение. Доклад Попова — одно из примечательнейших звеньев в цепи событий, знаменовавших и итог развития русской культуры XIX века, и наступление нового столетия, новой эпохи. В тот памятный день ему было тридцать шесть лет...

Спустя пять дней, 12 мая, в морской газете «Кронштадтский вестник» было дано первое печатное сообщение об опытах и докладе Попова, а в январской книжке за 1896 год «Журнала физико-химического общества» увидела свет и статья Александра Степановича о своих работах. Попов был уверен в будущем радиосвязи. Статью он закончил словами: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче

сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией». Статью немедленно перепечатали журналы «Электричество» и «Метеорологический вестник».

Попов сразу же нашел практическое применение изобретению. Переоборудовав первый радиоприемник, снабдив его самописцем и барабаном с недельным оборотом, он передал аппарат на летнее испытание в лесной институт своему университетскому товарищу Геннадию Андреевичу Любославскому. Прибор отмечал грозу даже на расстоянии нескольких десятков километров. Эти данные нужны были, чтобы обезопасить электростанции от ударов молний. В то время в грозу станции выключали и распределительную сеть заземляли.

Связь без проводов была просто необходима флоту. И Попов продолжал работу, имея перед собой конкретную цель. Конец 1895-го и начало 1896 года были продуктивны. Он усовершенствовал передатчик, и дальность связи резко возросла.

В январе 1896 года Александр Степанович демонстрирует свои приборы на заседании Кронштадтского отделения Русского технического общества.

Присутствовали в основном моряки и руководящие лица Морского ведомства.

В марте 1896 года он выступает на заседании физического отделения Русского физико-химического общества, в тех же стенах, где почти год назад, 7 мая, впервые продемонстрировал передачу радиосигналов. Донельзя скупы строки официального отчета о заседании: «§ 8. А. С. Попов показывает приборы для лекционного демонстрирования опытов Герца». Причина тому: запрет Морского ведомства на широкую публикацию изобретения. Оно понимало, какое значение имела бы беспроводная связь в военно-морском деле. Ученому пришлось подчиниться.

В апреле того же года профессор В. В. Скобельцын демонстрирует радиосигнализацию с помощью аппаратуры Попова в электротехническом институте. Публикации об опытах Попова появились во многих русских печатных изданиях и стали известны специалистам.

Тем горше ему было узнать, что приоритет открытия радиотелеграфа бесцеремонно присваивает кто-то другой...

Осенью 1896 года в газетах многих стран прозвучало имя итальянца Маркони. В сообщениях, без каких-либо указаний на принцип работы приборов рассказывалось об установлении беспроводной связи на несколько километров.

Ранее, в июне 1896 года, Маркони подал в Британское патентное ведомство заявку на «усовершенствование в передаче электрических импульсов и сигналов на расстояние и в аппаратуре для этого». Обратите внимание — речь идет об усовершенствовании и не больше.

Год спустя, в июле 1897 года, он получил патент. Только после этого стало известно содержание заявки. За исключением второстепенных деталей аппаратура Маркони полностью повторяла приборы Попова.



Два изобретателя, два человека редкого таланта. Александр Попов из североуральского поселка Турьинский рудник, сын священника поселковой церкви, блестяще окончивший Петербургский университет, экспериментатор с «золотыми руками», сам до всего дошедший, сам всего добившийся невероятным трудом, но так и оставшийся бессребреником.

И Гульельмо Маркони, сын богатого землевладельца из солнечной Италии, получивший домашнее образование и прослушавший в Университете в Болонье курс об электромагнитных волнах у известного физика Аугусто Риги. Именно вибратор системы Риги использовал Попов в своем передатчике в 1896 году. Так же как и Попов, был Гульельмо Маркони блистательно одарен, от природы достались ему и изобретательская жилка, и дар экспериментатора. А еще чем обладал молодой Маркони, так это деньгами и деловой коммерческой хваткой.

Они идут почти параллельно: Попов в мае 1895 года демонстрирует первую передачу радиосигналов, Маркони — на родине своей матери в Великобритании не без протекции ее родственников летом 1896 года заинтересовывает идеей беспроводного телеграфа Почтовое ведомство и Адмиралтейство, а после получения патента в 1897 году организовывает крупное акционерное общество «Маркони и К⁰» с основным капиталом 100 000 фунтов стерлингов (около одного миллиона золотых рублей). Размах, как видим, весьма солидный.

Попов не стал брать патент, не стал коммерсантом. С ним приключилось то же, что было до него со многими русскими первооткрывателями, например Яблочковым и Лодыгиным. Коммерческой эксплуатацией «Русского света», изобретенного Яблочковым, занимались английские, французские, американские фирмы. Лодыгин тоже оказался без достаточных средств, чтобы поставить «свое дело», и вынужден был продавать свой талант зарубежным фирмам, проведя за границей свои лучшие творческие годы. А вот у Эдисона средства были. Усовершенствовав лодыгинскую лампочку, он пустил ее по свету.

Так случилось и с радио. Российское изобретение и в русско-японскую войну, да и в первую мировую пришлось закупать за границей.

Эта печальная «традиция» жива до сих пор. Сколько

еще случаев, когда отечественные изобретения, похороненные под бюрократическим спудом, возвращаются к нам в страну из-за рубежа за золото.

А в том, что приоритет в изобретении радио принадлежит Попову, сомнений нет. Это удостоверили и Бранли, и Лодж, которые были у порога открытия, но так и не сделали последнего, решающего шага. Сам же факт выдачи патента в Англии не означал признания за Маркони мирового приоритета. По английскому патентному законодательству экспертиза на новизну заявки производилась только внутри страны, и выдача патента Маркони свидетельствовала лишь о том, что до него в Англии подобной заявки никто не подавал. О признании лидерства Попова говорит и то, что в 1900 году на IV Всемирном электротехническом конгрессе в Париже, проводившемся в рамках Всемирной выставки, Попов за свои работы был удостоен золотой медали. И американцы вспомнили о его первенстве, когда Маркони во время первой мировой войны предъявил многомиллионные иски их промышленникам за использование его изобретения.

В 1897 году, в то время когда Маркони занимался организацией своей фирмы, Попов испытывал свои приборы на кораблях учебно-минного отряда Балтийского флота. Уже тогда его занимали и ныне актуальные заботы: как влияют многочисленные палубные надстройки и оснастка корабля на дальность связи. Эксперименты проводились на транспорте «Европа», где был передатчик, и крейсере «Африка», на котором находились 20-метровая антенна и приемник. Дальность связи между кораблями составила пять километров. Результат по тем временам совсем неплохой. Да вот только связь прекращалась, когда между кораблями проходил крейсер «Лейтенант Ильин», и восстанавливалась, когда корабли сходили с одной линии. Но нет худа без добра. Так был обнаружен радиолокационный эффект, но не привычный в нашем представлении, когда передатчик и приемник радара находятся в одном месте и имеют общую антенну, а относящийся к так называемым разнесенным радиолокаторам, когда передатчик и приемник находятся друг от друга на значительном расстоянии. Такие станции больше напоминают линии радиосвязи, нежели обычный радар. Но и линии радиосвязи тоже, оказывается, могут обнаруживать самолеты, о чем неоднократно сообщалось. Даже обыкновенный телевизор

может обнаружить самолет при его пролете над телевизионной антенной. На экране телевизора появятся помехи в виде «лишних сигналов», вызванных переотражением от самолета радиоволн, передаваемых передатчиком телецентра. Если бы не было самолета, они бы не попали в приемник. Вот вам и простейший «разнесенный» радиолокатор.

Обычно приемная и передающая антенны «разнесенного» радара неподвижны. Такая радиолокационная система применяется, чтобы обнаружить цель, проходящую через охраняемую зону. Кстати, «разнесенным» радарам сложнее поставить умышленные помехи. В этом их достоинство.

Конечно, чувствительности приемника Попова было недостаточно, чтобы принять на «Африке» переотраженную от крейсера «Лейтенант Ильин» радиоволну. В данном случае проходящий корабль просто затенял антенну приемника. Тем не менее, такой электромагнитный «обнаружитель» можно отнести к «разнесенным» радарам. Факт прерывания связи навел Александра Степановича на мысль о всепогодных радиомаяках. Он предполагал определять направление на такой маяк: «Пользуясь свойствами мачт, снастей и т. д. задерживать электромагнитную волну, так сказать, затенять ее». То есть уже тогда Попов думал о радионавигации, без которой сегодня немыслимы морские и воздушные странствия.

Американские инженеры Тейлор и Янг — пионеры радиолокации в США — столкнулись с данным явлением значительно позже, в 1922 году. Они проводили опыты по связи на декаметровых волнах (радиоволнах с длиной волны от 10 до 100 метров) через реку Потомак. Во время эксперимента по реке прошел корабль, и связь прекратилась. Тейлор и Янг отметили этот факт. Их еще раньше занимал вопрос — как защитить в темноте и тумане военные корабли от проникновения в их строй вражеских судов. Инженеры предложили установить на эсминцах радиопередатчики и приемники декаметрового диапазона. Если радиоконтакт между ними нарушится — значит, прошел какой-то корабль. Американцы считают, что Тейлор и Янг были первыми, кто задумался над применением радиоволн для обнаружения движущихся объектов. Но, как мы видим, они лишь переоткрыли уже известное явление.

Лето 1899 года принесло новое открытие. Сотрудники

Попова Рыбкин и Троицкий с помощью телефонных трубок проверяли исправность монтажа аппаратуры радиосвязи между фортами «Милютин» и «Константин». Что-то не срабатывал молоточек, встряхивающий когерер, видимо, мощности приходящих сигналов не доставало. А когда они подсоединили телефонные трубки непосредственно к выводам когерера, то услышали в них четкие сигналы, передаваемые с форта «Константин». Рыбкин и Троицкий сразу же послали телеграмму Попову, который в то время был в Швейцарии: «Открыто новое свойство когерера».

Теперь не надо будет встряхивать когерер. Оказалось, что он обладает чудесным свойством детектора — выпрямлять высокочастотную волну, то есть выделять переносимую ею звуковую составляющую. Значит, можно на слух принимать точки и тире. Возвратившись, Попов усовершенствовал когерер. Приемник стал проще и чувствительнее. На него Александр Степанович получил русскую привилегию — на принципиально новый тип «телефонного приемника депеш, посылаемых с помощью какого-либо источника электромагнитных волн I по системе Морзе». Наученный горьким опытом, он подобные же патенты получил во Франции и Англии.

А вскоре новое средство связи прошло суровое испытание на деле. Надо было спасти броненосец «Генерал-адмирал Апраксин», который осенью 1899 года сел на мель у острова Гогланд в результате навигационной | ошибки. Попов и его помощники соорудили радиотелеграфную линию между островами Гогланд и Кутсало. И первое же переданное по линии сообщение предназначалось командиру знаменитого ледокола «Ермак» — приказ оказать содействие в спасении 50 рыбаков, унесенных в море на льдине. Так радио открыло счет спасенным благодаря ему человеческим жизням. Неоценимую услугу оказало оно и спасателям броненосца. Известный флотоводец Степан Осипович Макаров прислал Попову телеграмму следующего содержания: «От имени всех кронштадтских моряков сердечно приветствую Вас с блестящим успехом Вашего изобретения. Открытие беспроволочного телеграфного сообщения от Кутсала до Гогланда на расстоянии 43 верст есть крупнейшая научная победа».

После гогландской эпопеи последовало официальное признание нового вида связи Морским министерством и введение его на русском военно-морском флоте.

РАДИО ОБРЕТАЕТ ИМЯ

Маркони всеми силами стремился к монопольному лидерству в области беспроводной передачи. В свою фирму он сумел привлечь талантливых инженеров и ученых. Их деяния работали на имя Маркони, принося ему известность, славу, деньги. Своим трудом они многое сделали для развития радиотехники и радиосвязи. Среди них были и уже известный нам Оливер Лодж и Джон Флеминг, изобретший впоследствии вакуумный диод.

Гульельмо Маркони думал: что же совершить такое, чтобы привлечь всеобщее внимание к продукции своей фирмы, а, следовательно, и к себе самому. Конечно же, установить беспроводную связь между Старым и Новым Светом. В декабре 1901 года он предпринял попытку послать сигнал через Атлантический океан. В Англии в Корнуолле была сооружена огромная по тем временам антенна, состоящая из 50 вертикальных медных проводов, укрепленных вверху на горизонтальном поддерживающем проводе, растянутом между двумя мачтами высотой по 48 метров, расстояние между которыми составило около 60 метров. Провода антенны, расходящиеся веером, сходились внизу и соединялись с передатчиком мощностью 15 киловатт. Длина радиоволны была 366 метров.

В Америке, в Ньюфаундленде, находилось приемное устройство с типом когерера, предложенным швейцарцем М. Томассином. Он поместил между двумя электродами из угля или латуни каплю ртути. При приходе электромагнитной волны на концах электродов в тонком слое окиси ртути сопротивление резко падало. При отсутствии сигнала пленка окиси восстанавливалась, и сопротивление возрастало. Приемной антенной служила проволока, прикрепленная к воздушному змею.

12 декабря после нескольких недель атмосферных помех удалось передать букву S. Она была выбрана потому, что в азбуке Морзе ей соответствует простейшая комбинация из трех точек.

Сенсация состоялась. Дальность передачи составила 3500 километров. Но пока это был только символ, подающий надежды на будущее. Пройдут еще многие годы, прежде чем трансатлантическая связь станет реальностью.

Первые удачные шаги радио внушали надежду. В разных странах, как грибы после дождя,

стали возникать компании беспроводного телеграфа. Их акционерам, не забывшим о двадцатилетней давности телефонном буме, мерещилось быстрое обогащение.

В 1903 году в Германии по приказу кайзера была создана объединенная фирма «Телефункен», ставшая главным конкурентом Маркони.

В России пионером отечественной радиотехнической промышленности послужила Кронштадтская мастерская, организованная в 1900 году А. С. Поповым по заданию Морского комитета. Хотя ее производственные возможности были скромными (поначалу в ней работали лишь пять человек), она многое сделала для оснащения российского флота радиостанциями. В 1910 году мастерская была переведена в Петербург, а год спустя стала именоваться «Телеграфным депо Морского ведомства». В 1915 году депо было преобразовано в Радиотелеграфный завод Морского ведомства. К 1917 году на нем работали более 300 человек. Это было уже настоящее радиотехническое предприятие, выпускавшее радиостанции мощностью 10 и 25 киловатт и прочую радиоаппаратуру. Многие видные деятели советской радиотехники и радиопромышленности прошли школу депо. После революции завод стал именоваться Радиотелеграфным заводом имени Коминтерна.

Проникли в Россию и филиалы иностранных фирм. Под вывеской предприятия «Сименс и Гальске» действовала компания «Телефункен», а под вывеской «Русского общества беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ) — «Маркони и К^о». При Советской власти после национализации завод «Сименс и Гальске» стал Радиотелеграфным заводом имени Козицкого, а на основе РОБТиТа был открыт электровакуумный завод и некоторые отделы Центральной радиолaborатории (ЦРЛ).

Уже с самого начала стало ясно, что в области беспроводной связи необходимо установить определенные международные правила. К этому побуждали и агрессивные действия Маркони. Первая радиоконпания оказалась и первым нарушителем общепризнанных этических норм. «Маркони и К^о», стремясь к мировому господству, не допускала обмена радиотелеграммами с радиостанциями, изготовленными другими фирмами. Таким образом, Маркони пытался вынудить судовладельцев закупать станции только своей фирмы. Даже тогда, когда запрашивались навигационные данные, запрет

оставался в силе. Вот один из примеров, которыми пестрели газеты тех лет. Американское судно «Лебанон», встретив в море немецкое судно «Фатерлайд», запросило его по радио, не встречало ли оно льдин, могущих угрожать безопасности плавания, и «Фатерланд», имевший оборудование фирмы «Маркони и К^о», не ответил.

В 1903 году в Берлине была созвана Международная конференция по беспроводному телеграфированию. Россию представляли три делегата. Среди них был и

А. С. Попов. Несмотря на противодействие сторонников Маркони, конференция все-таки пришла к следующему решению: «Береговые станции обязаны в отношении с судами, находящимися в море, принимать и передавать все телеграммы без различия системы беспроводного телеграфа. Для возможного облегчения судам сношения со станциями будут опубликованы все необходимые технические сведения. Преимущество в очереди передачи будет отдаваемо телеграммам о несчастиях на море и с требованием помощи с судов...»

На конференции был рекомендован термин «радиотелеграфия». С той поры стало употребляться и слово «радио» как обобщенное понятие, связанное с техникой беспроводной связи. Итак, радио обрело свое имя...

А его изобретатель прожил после этого события менее трех лет. Гении сгорают быстро. 13 января 1906 года (31 декабря 1905 года по старому стилю) в возрасте 46 лет Попов скончался. Диагноз врачей — кровоизлияние в мозг. В последние годы жизни он был профессором физики электротехнического института в Петербурге, а за несколько месяцев до смерти стал первым выборным его директором. Много сил отдал Александр Степанович подготовке инженеров, которым предстояло работать в области радиотехники.

Не бросал он и научной работы. В частности, думал о радиотелефоне. В 1903 году под его руководством была осуществлена радиотелефонная передача на расстояние двух километров. Живая человеческая речь впервые в мире была передана по радио.

За два дня до кончины Попов имел резкий разговор с министром внутренних дел П. Н. Дурново. Министр требовал допустить в институт агентов охраны. Она неспроста интересовалась этим учебным заведением. «В этом институте скрывался от царского самодержавия В. И. Ульянов (Ленин) в 1905—1907 годах.

Здесь же читал лекции по историческому материализму кружку студентов РСДРП» — такова надпись на небольшой мраморной доске, установленной у входа в электротехнический институт.

Попов категорически воспротивился требованию министра. Такого рода «встряски» у начальства были для него не редкостью в том мятежном 1905 году. Видимо, они внесли свою лепту в скорую кончину ученого.

Маркони пережил Попова на 31 год. Приумножил свое богатство. Шумная известность, безудержная реклама, достижения фирмы, в названии которой красовалось его имя, сделали свое дело. В 1909 году, когда Попова уже не было в живых, он вместе с немецким физиком Карлом Фердинандом Брауном был удостоен Нобелевской премии за заслуги в развитии радиотехники. Правила Нобелевского фонда не позволяют присуждать премий посмертно.

Есть, видимо, какая-то историческая логика и в том, что владелец английской фирмы Маркони оказывал финансовую помощь партии итальянских фашистов и даже входил в ее руководящие органы.

Другой Нобелевский лауреат, Браун (1850— 1918 гг.) — профессор Страсбургского университета, один из научных руководителей фирмы «Телефункен».

В 1897 году он сконструировал катодную трубку с магнитным управлением — предшественницу современных кинескопов. Много экспериментировал с разными схемами приемников и передатчиков, придумал несколько типов антенны, а в 1906 году обнаружил одностороннюю проводимость некоторых кристаллов и создал в результате этого открытия кристаллический детектор. В общем, на заре радиотехники делал необходимую и полезную для нее работу.

То, что лауреатов было двое, говорит о том, что Маркони и его фирме не удалось стать единоличным лидером.

В НАУКЕ УДАЧУ ПРИНОСИТ
НАБЛЮДАТЕЛЬНОСТЬ,
вооруженная
ЗНАНИЯМИ.



ОТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ ЛАМПЫ ДО МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

СЛУЧАЙНОЕ ОТКРЫТИЕ ЭДИСОНА

Где-то в середине 40-х годов на страницах газет, журналов, книг появилось слово «радиоэлектроника». Новый термин, можно сказать, формально утвердил уже давно существовавший союз радио с электроникой. Всем знакомое слово «электроника» имеет двоякий смысл. Это и наука об электронных процессах в вакууме, газах, жидких и твердых телах, плазме, и область техники, занимающаяся разработкой, производством и применением электронных приборов.

Электроника и радио почти ровесники. Правда, поначалу радио обходилось без помощи своей сверстницы, но позднее электронные приборы стали материальной основой радио, или, как говорят, его элементной базой.

Пожалуй, начало электроники можно отнести к 1883 году, когда знаменитый Томас Альва Эдисон, пытаясь продлить срок службы осветительной лампы с угольной нитью накаливания, ввел в баллон лампы, из которой откачан воздух, металлический электрод.

Скольким открытиям суждено было состояться благодаря такому, казалось, обыденному свойству человеческого ума, как наблюдательность. Конечно, в науке удачу приносит не просто наблюдательность, а наблюдательность,

вооруженная знанием. Именно она привела Эдисона к его единственному фундаментальному научному открытию, которое легло в основу всех электронных ламп и всей электроники дотранзисторного периода. Открытое им явление впоследствии получило название термоэлектронной эмиссии.

Внешне опыт Эдисона выглядел довольно просто.

К выводу электрода и одному из выводов раскаленной электрическим током нити он подсоединил батарею и гальванометр.

Стрелка гальванометра отклонялась всякий раз, когда к электроду подсоединялся плюс батареи, а к нити — минус. Если полярность менялась, то ток в цепи прекращался.

Эдисон обнаружил этот эффект и получил патент на открытие. Правда, работу свою он, как говорится, до ума не довел и физическую картину явления не объяснил. В то время электрон еще не был открыт, а понятие «термоэлектронная эмиссия», естественно, могло появиться лишь после открытия электрона.

Теперь-то каждый школьник знает, в чем ее суть. В раскаленной металлической нити скорость движения и энергия электронов повышаются настолько, что они отрываются от поверхности нити и свободным потоком устремляются в окружающее ее пространство. Вырывающиеся из нити электроны можно уподобить ракетам, преодолевшим силу земного притяжения. Если к электроду будет подсоединен плюс батареи, то электрическое поле внутри баллона между нитью накаливания и электродом устремит к нему электроны. То есть внутри лампы потечет электрический ток.

То ли Эдисон не догадался, как использовать явление, то ли занят был более волновавшими его в то время, финансовыми и другими проблемами — историки так и не пришли к единому мнению, — но в течение более : чем 20 последующих лет ни автору открытия, ни кому другому и в голову не пришло использовать электронный поток для нужд практики. Первый шаг был сделан Джоном Флемингом в 1904 году. Он изобрел вакуумный диод — первую двухэлектродную электронную лампу, получившую практическое применение. Лампа, представляла собой стеклянный баллон с впаянной внутри его, как и в осветительных лампах, нитью накаливания. Только в отличие от них она была окружена металлическим цилиндром, провод от которого выводился

через стекло наружу. Металлический цилиндр, к которому подсоединялся положительный полюс батареи, назвали анодом, а нить накала — катодом. Как мы видим, катод был заимствован у обычной осветительной лампы, так что в какой-то мере ее можно считать далекой прабабушкой современных радиоламп.

Но диод не мог усиливать возбуждаемых радиоволнами в антенне приемника высокочастотных электрических токов. Он мог их лишь выпрямлять: пропускать ток только в одном направлении, когда на аноде напряжение станет «положительнее», чем на катоде. Если мы представим себе высокочастотные колебания электрического тока в виде синусоиды, то диод пропустит только верхнюю ее часть и отсекает нижнюю.

Такое преобразование сигнала называется нелинейным. Вообще любая нелинейность, так или иначе, изменяет форму сигнала. А это не проходит бесследно для его частотного спектра: он «обогащается», в нем появляются новые частотные составляющие. Не всегда такое обогащение благо. Иногда новые частоты рассматривают как помехи, которые вызывают так называемые нелинейные искажения. Кстати, их наличие, а это случается в некачественных усилителях низкой, звуковой частоты, чутко улавливает наше ухо. А в других случаях новые частотные составляющие и есть полезный эффект. В частности, благодаря нелинейным свойствам диода в спектре принятого сигнала появляются звуковые частоты, которые в телефонных наушниках превращаются в телеграфные точки и тире, речь, музыку... Диод в данном случае выполняет роль знакомого нам со школьных лет детектора.

За несколько лет, прошедших со дня открытия радио, оно многого достигло. Но его возможности, особенно в части приемных устройств, были практически исчерпаны. Специалистам стало ясно: без электронных усилителей электрических сигналов не обойтись. Почему именно электронных? Да потому, что ток в проводнике есть движение электронов, а в большинстве случаев лучше иметь дело с самим первоисточником.

Если первый шаг на пути к электронному усилителю, можно сказать, сделал Эдисон, второй — Флеминг, то решающий, третий шаг был за американским инженером Ли де Форестом. 25 октября 1906 года он подал заявку на выдачу патента. Предметом изобретения была трехэлектродная лампа, названная Форестом аудионом

от латинского слова «аудире» (что значит в переводе на русский «слушать»). Такое звучное имя она получила потому, что стала главной деталью усилителя электрических сигналов звуковой частоты. Единой терминологии в то время не было. Наряду с аудионом, электронные лампы называли «вакуумными трубками», а в России — «катодными реле». Но потом для трехэлектродной лампы прижилось короткое слово «триод», которым мы и поныне пользуемся. Правда, вакуумные триоды теперь уже в подавляющем большинстве уступили свои места полупроводниковым.

Новую лампу называли в печати «чудесным маленьким гигантом» и даже «величайшим изобретением со времен огня, рычага и колеса».

Что же такое особенное сделал Ли де Форест, что привело к революции в области радио? Изобретатель всего лишь поместил в ламповый диод еще один электрод, названный им сеткой. (Недаром говорят: до гениального просто.) Изменяя напряжение на вновь введенном электроде, можно было изменять текущий через лампу ток, замыкать или прерывать его. Инженер заметил, что очень малые изменения напряжения на сетке приводят к заметным изменениям тока лампы, а это и есть эффект столь долгожданного электронного усилителя...

Правда, революция в радио совершилась не сразу. Первые аудионы Фореста имели настолько низкое усиление, что были не намного лучше диодов. Потребовались еще годы усилий многих ученых, чтобы из аудиона выпестовалась усилительная лампа, которую уже имело смысл широко применять на практике. С 1913—1916 годов и качалась по-настоящему эпоха радио. Открытия следовали одно за другим. Ламповая радиотехника набирала силу.

Наиболее заметные перемены произошли в технике радиоприема. Что содержал приемник доламповой поры? Резонансный контур, кристаллический детектор да наушники. Даже вакуумный диод Флеминга мало что изменил. Лампа-детектор нуждалась в источнике питания для разогревания нити накала, а срок ее службы был существенно меньше долговечности кристаллических детекторов.

И триоды тоже прибавили забот: для их работы нужна была не только батарея для подогрева нити накала, но еще и анодная батарея. Помню, в 50-х годах

на витринах магазинов лежали анодные батареи для батарейных радиоприемников напряжением вольт под сто. Обычная батарейка для карманного фонаря казалась на их фоне миниатюрной. Но все эти неудобства с лихвой компенсировались возможностью многократного усиления сигналов.

«ЭТО ОСКОРБЛЕНИЕ СМОЕТ ТОЛЬКО КРОВЬ!»

В опытах с ламповыми усилителями «выплыла» одна из важнейших для радиотехники проблем — проблема обратной связи. Она касается не только радиотехники, а имеет довольно общий характер. Суть ее в том, что результат какого-либо процесса из-за определенных связей влияет на его ход или, как говорят специалисты, выход влияет на вход. Если процесс усиливается, то обратная связь называется положительной, если ослабевает, стабилизируется, то отрицательной.

Врезалось мне в память забавное пояснение принципа обратной связи в одном из популярных журналов, которое довелось видеть лет двадцать назад. На рисунке был изображен мушкетер, которому наступают на ногу. Какова будет реакция мушкетера на такое внешнее воздействие? Положительную обратную связь художник изобразил следующим образом. Несмотря на извинение, мушкетер хватается за шпагу и кричит: «Это оскорбление смоеет только кровь!» Реакция довольно бурная. Мушкетер «загенерировал». При отрицательной обратной связи мушкетер подавил в себе раздражение, он сама любезность: «Ну что вы, это такой пустяк».

Многие скачкообразные и лавинные процессы, такие, как, например, взрыв — следствие положительной обратной связи. В разного рода автоколебаниях — незатухающих колебаниях, — возникших от внешнего толчка, тоже работает положительная обратная связь. Известные шимми и флатеры в авиации — пример автоколебаний.

На принципе положительной обратной связи зиждется и явление вынужденного излучения, на котором основана работа лазеров и мазеров. Химические и ядерные цепные реакции, смычковые инструменты и орган, депрессии и кризисы в экономике — вот только некоторые примеры, где работает принцип положительной обратной связи.

Перечисленные проявления — следствие так называемой внутренней обратной связи, свойственной самому процессу, взаимосвязям между его элементарными актами. Внешняя же обратная связь, как положительная, так и отрицательная, вводится специальной электрической цепью или каким-либо регулятором.

В системах автоматического регулирования обратная связь, как правило, отрицательная, ибо ее задача уменьшить отклонения от заданного режима работы. Автопилоты, системы наведения ракет на цель, радиолокаторы слежения за целью — лишь крошечная толика устройств, где используется отрицательная обратная связь.

Интересно, что и сам-то термин «обратная связь» возник при исследовании ламповых усилителей. Сейчас трудно точно сказать, кому первому пришла счастливая мысль электрически связать выход усилителя с его входом, или, иначе, как говорят радиоинженеры, охватить усилитель обратной связью. Да такой, чтобы сигнал на его выходе резко возрос, то есть положительной связью, что возможно в том случае, если сигнал, поступающий на вход усилителя с его выхода, по фазе совпадает с входным. Если сигнал будет в противофазе, то обратная связь будет отрицательной и усиление уменьшится.

Исследования велись одновременно и независимо в разных странах. В результате в 1912—1913 годах появились достаточно чувствительные радиоприемники регенеративного типа, которые широко применялись в первую мировую войну.

Положительная обратная связь достигалась в приемниках довольно просто. Надо было только подать часть сигнала с анода триода, который служил одновременно и детектором и усилителем, на его вход, то есть на сетку лампы. Усиление триода сразу же возрастало. Чем больше сигнал с выхода триода на его вход, тем чувствительнее становился приемник. Но было замечено: если переборщить с величиной сигнала обратной связи, подать его чуть больше некоторого, вполне определенного для данной схемы значения, то регенератор перестает усиливать принимаемые сигналы и сам начинает генерировать свои собственные колебания. Так был открыт ламповый генератор незатухающих колебаний. В 1913 году А. Мейсснер в Германии подал на него заявку

на изобретение. Правда, опубликован патент был лишь, после окончания войны — в 1919 году. В Германии многие материалы по радиотехнике засекречивались. Тем не менее, открытие уже вызрело само по себе, и никакими ограничениями на публикации его нельзя было отменить. Позже, в 1914 году, и в других странах появились сообщения о триодном генераторе, в частности, публикация все того же Фореста.

Интересно, что даже тогда выяснить, кто первым сказал А, оказалось непросто. Например, между двумя американскими компаниями судебная тяжба о приоритете на регенеративный приемник длилась весьма долго. С одной из компаний сотрудничал Ли де Форест, с другой — молодой способный инженер, оставивший след в радиотехнике, Эдвин Армстронг.

В 1913 году Армстронг опубликовал несколько схем регенеративных приемников, которые позднее широко использовали радиолюбители США. Одну из подобных схем запатентовал и де Форест. В результате 20-летнего судебного разбирательства право первенства было признано за де Форестом. Но решение суда убедило далеко не всех. И по сей день изобретение регенератора многие связывают с именем Армстронга.

В то время прямо-таки гнались за повышением чувствительности, усиления. Это давала положительная обратная связь. Отрицательную же обратную связь начали применять во второй половине 20-х годов, когда стали обращать внимание на качество воспроизведения речи, в особенности, когда получила распространение многоканальная связь. Радиолампа, усиливавшая одновременно несколько сигналов от разных каналов, при пиковых нагрузках (например, в те моменты, когда сразу говорят все абоненты) «залезала» в нелинейный режим. И тут же рождались новые частотные компоненты. Такое явление называли кросс- (или иначе — перекрестно) модуляцией. Из-за нее разговор между абонентами в одном канале прослушивается в других.

Отрицательная обратная связь позволила бороться с такой перегрузкой. Хоть усиление и уменьшилось, зато режим усилителя становился линейным, то есть сигналы усиливались без искажений. А уменьшение усиления компенсировалось увеличением числа усилительных каскадов.

МАВР СДЕЛАЛ СВОЕ ДЕЛО...

Электронная лампа в передатчиках прижилась не сразу. У нее, пока еще маломощной, была сильная конкуренция. Во-первых, со стороны дуговых генераторов, в которых высокочастотные колебания возбуждались электрической дугой. Они пришли на смену искровым передатчикам Попова и Маркони. Электрическая дуга в отличие от искры давала незатухающие высокочастотные колебания, поэтому и дальность связи сразу же возросла.

Хотя использовать электрическую дугу для получения высокочастотных колебаний предложил еще в 1900 году англичанин Дуддель, она, как и электронная лампа, не сразу была признана. Искровые передатчики были довольно просты, дешевы и надежны. От добра, как говорится, добра не ищут.

Оперативнее всех оказались немцы. В 1902 году датский инженер В. Паульсен предложил удачную конструкцию дугового генератора. Немецкое командование воспользовалось изобретением: установило новые генераторы на флоте. Но до особого распоряжения опечатало их. Пока же немецкие моряки пользовались искровыми передатчиками. Приказ пришел через... десять лет, когда началась первая мировая война.

Впервые же дни войны русские, английские и французские радисты были озадачены. Они не могли перехватить ни одно из сообщений противника. Немецкие станции будто исчезли из эфира. Между тем они работали на полную мощность.

Разобрался в причине таинственного исчезновения инженер-электрик (впоследствии академик) Михаил Васильевич Шулейкин. Он предположил (и его догадка оказалась правильной), что немцы стали использовать для связи незатухающие колебания. А приемники, рассчитанные на затухающие колебания искровых радиопередатчиков, на них не реагировали. В наушниках — либо тишина, либо какие-то трески, похожие на атмосферные разряды. Михаил Васильевич сделал специальную приставку, и приемник вновь обрел слух. Такие устройства называли тиккерами. Они прерывали ток в телефонной цепи со звуковой частотой, и во время детектирования незатухающих колебаний вместо постоянного тока (не воспринимаемого телефоном) появлялась звуковая частота.

Дуговые передатчики использовались довольно широко. Среди них были и небольшие — мощностью в несколько киловатт, и гиганты на тысячу и более киловатт. Последние были весьма громоздкими сооружениями. Так, на радиостанции в Бордо мощностью 1000 киловатт генератор Паульсена весил 80 тонн, а на радиостанции в Пирл-Харборе мощностью 500 киловатт — 54 тонны.

Всем нам знакома ажурная конструкция Шуховской башни, на многие годы ставшая эмблемой советского радио. Сооружена она была в первые годы Советской власти. 30 июля 1919 года Совет Труда и Оборона принял специальное постановление, подписанное В. И. Лениным: «Для обеспечения надежной и постоянной связи центра Республики с западными государствами и окраинами Республики поручается Народному Комиссариату почт и телеграфов установить в чрезвычайно срочном порядке в г. Москве радиостанцию, оборудованную приборами и машинами, наиболее совершенными и обладающими мощностью, достаточной для выполнения указанной задачи».

Именно во исполнение постановления и была построена на Шаболовке, в то время окраинной улицы Москвы, 150-метровая металлическая башня конструкции инженера Владимира Григорьевича Шухова.

Ушло на нее всего 240 тонн металла, да и его удалось собрать в запасах военного ведомства лишь с огромным трудом. Для своего детища Шухов разработал не только проект, но и удивительно простую технологию сборки. Металлические секции, а всего их было шесть, собирались на земле, а потом готовую секцию поднимали с помощью пяти ручных лебедок сквозь верхнее кольцо предыдущей секции и скрепляли их болтами. Есть свидетельства, что за строительством башни наблюдал из окна своего кабинета в Кремле В. И. Ленин.

Башня послужила одной из опор антенны Московской дуговой радиостанции мощностью 100 киловатт. Функционировать станция начала 19 марта 1922 года. Генераторных ламп большой мощности в то время не было, и потому был взят дуговой передатчик. Основное назначение новой станции — радиотелеграфная связь, поскольку, кроме ламповых, все остальные передатчики мало подходят для передачи речи.

Вторым, и более серьезным для лампы конкурентом

были машины высокой частоты. По существу, это обычные электромоторы переменного тока, но специально предназначенные для высоких частот. Чтобы получить ток высокой частоты, многополюсный стальной ротор генератора приводился во вращение с очень большой скоростью. Если частота оказывалась недостаточной, то ее умножали, как в самой машине, так и с помощью специальных трансформаторов.

Много оригинальных конструкций электрических высокочастотных машин создал русский инженер В. П. Вологдин. В советское время в Нижегородской радиолaborатории он построил к 1922 году машинный радиогенератор мощностью 50 киловатт, а в 1925 году — уже на 150 киловатт. Обе машины работали на Октябрьской радиостанции в Москве в 1924—1926 годах.

Именно 150-киловаттная машина обеспечивала радиотелеграфную связь Москвы с Нью-Йорком на длинных волнах.

Век машинных передатчиков оказался более долгим, чем дуговых. Еще до недавнего времени машины высокой частоты с успехом использовались для радиочастотной плавки и закалки стальных изделий. В 1952 году Вологдин был удостоен Государственной премии за участие в разработке... кузнечного цеха. Новинкой в кузнечном деле были его высокочастотные машины, которые с помощью индукционных токов разогревали кузнечные заготовки. Не надо было огнедышащих отравляющих атмосферу горнов. Грохочущие молоты заменили прессами.

Кроме этих двух конкурентов — дуги и электромашин, — был еще и третий — искровые передатчики. Они пока не ушли из радиотехники, их мощность была I достаточной по тем временам.

В истории науки и техники есть, видимо, своя неумолимая логика развития, и каковы бы ни были на первый взгляд причудливые ее зигзаги, все потом возвращается на круги своя. Не открыл бы триод Ли де Форест, это обязательно сделал бы в скором времени кто-нибудь другой. Или, например, кристаллический, или, иначе, полупроводниковый диод и его вакуумный собрат появились почти одновременно, но закономерно, что сначала прошла эра электронных вакуумных ламп, а потом пришла эра транзисторов. Причем подошла именно к тому времени, когда промышленность была подготовлена

к получению полупроводниковых материалов высокой частоты.

В конечном счете, дуга и электромашинка вынуждены были уступить свое место электронной лампе. Возможности их были ограничены, с ними радиотехника не вышла бы на новые рубежи. Как говорится, мавр сделал свое дело, мавр может уйти. Дуговые и машинные передатчики — своего рода динозавры в радиотехнике. Им неизбежно предстояло исчезнуть. Но дело свое эти передатчики действительно сделали. Радиоинженеры научились принимать незатухающие колебания, проникли в некоторые тайны распространения радиоволн... В этом и состоит историческая заслуга дуговых и машинных радиогенераторов.

СЕНСАЦИЯ НА ВЫСТАВКЕ В СТОКГОЛЬМЕ

А генераторные лампы, предназначенные специально для передатчиков, становились все мощнее. Внесли свою лепту в их развитие и отечественные ученые. Первую русскую генераторную лампу построил в 1914 году Николай Дмитриевич Папалекси. В 1915 году при помощи передатчика, собранного на «лампе Папалекси», была установлена радиотелефонная связь между Царским Селом и Петроградом.

В том же году Армстронг передал человеческую речь через океан из Арлингтона в Париж. Он использовал ламповый генератор и регенеративный приемник.

Многое сделал в области мощных генераторных ламп Михаил Александрович Бонч-Бруевич. В 1918 году он, бывший царский офицер-радист, стал одним из ведущих специалистов, а позднее и руководителем организованной при содействии В. И. Ленина Нижегородской радиолaborатории. Она, по существу, стала первым советским научно-исследовательским институтом в области радио.

2 декабря 1918 года вождь революции подписал «Положение о радиолaborатории с мастерской НКПиТ». В нем, в частности, говорилось: «Радиолaborатория с мастерской Народного комиссариата почт и телеграфов является первым этапом к организации в России Государственного социалистического радиотехнического института, конечной целью которого является

объединение в себе и вокруг себя в качестве организующего центра:

- всех научно-технических сил России, работающих в области радиотелеграфа;
- всех радиотехнических учебных заведений России;
- всей радиотехнической промышленности России».

Советская Россия находилась в кольце блокады, и работники лаборатории не имели никакой информации о новинках зарубежной радиотехники. Работать приходилось в условиях гражданской войны и разрухи. Дело, тем не менее, двигалось. В 1919 году сотрудники Нижегородской радиолaborатории собрали макет радиотелефонного передатчика. Хотя его мощность, отдаваемая в антенну, была всего 20 ватт, однако ее хватало, чтобы установить связь с Москвой. Необходимо было форсировать работы. Бонч-Бруевич обратился к Ленину с просьбой о помощи. Ленин сделал необходимые распоряжения и в невероятной круговерти горячей повседневности нашел время ответить. В письме, в частности, было сказано:

«Пользуюсь случаем, чтобы выразить Вам глубокую благодарность и сочувствие по поводу большой работы радиоизобретений, которую Вы делаете. Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаете, будет великим делом. Всяческое и всемерное содействие обещаю Вам оказывать этой и подобным работам.

С наилучшими пожеланиями, В. Ульянов (Ленин)».

Осенью 1920 года должен был состояться радиотелефонный диалог между Москвой и Берлином. В то время между столицами была только радиотелеграфная связь. И вот на Ходынском поле в эфир вышел изготовленный в Нижнем Новгороде тот самый макет радиопередатчика. Диалога не вышло, получился монолог. В Берлине голос Москвы слышали, но ответить не смогли. Директор фирмы «Телефункен», сославшись на неисправность, обещал ее устранить и ответить через две недели. Однако в 1920 году обещанная передача из Берлина так и не состоялась. Не хватило мощности у передатчика. Ответ пришел лишь в октябре 1923 года, а генератором волн служила не электронная лампа, а машина высокой частоты.

Владимир Ильич внимательно следил и за работами лаборатории, и за зарубежными новинками в области радио. Об этом свидетельствуют многие документы.

Вот, в частности, один из них, в котором ярко проявилась его заинтересованность и забота о новой области техники.

«Товарищу Сталину с просьбой вкруговую всем членам Политбюро.

Товарищ Сталин, прилагаю два доклада: первый — профессора Осадчего, специалиста по электричеству, радиотелеграфной и телефонной связи, второй — Бонч-Бруевича (не родственника известных братьев Бонч-Бруевич, из которых один был управдел СНК, а другой выдающимся царским генералом). Этот Бонч-Бруевич, доклад которого я прилагаю, — крупнейший работник и изобретатель в радиотехнике, один из главных деятелей Нижегородской радиолaborатории.

Из этих докладов видно, что в нашей технике вполне осуществима возможность передачи на возможно далекое расстояние по беспроводному радиосообщению живой человеческой речи; вполне осуществим также пуск в ход многих сотен приемников, которые были бы в состоянии передавать речи, доклады и лекции, делаемые в Москве, во многие сотни мест по республике, отдаленные от Москвы на сотни, а при известных условиях и на тысячи верст.

Я думаю, что осуществление этого плана представляет для нас безусловную необходимость как с точки зрения пропаганды и агитации, особенно для тех масс населения, которые неграмотны, так и для передачи лекций. При полной негодности и даже вредности большинства допускаемых нами буржуазных профессоров по общественным наукам у нас нет иного выхода, как добиться того, чтобы наши немногие коммунистические профессора, способные читать лекции по общественным наукам, читали эти лекции для сотен мест во всех концах федерации.

Поэтому я думаю, что ни в коем случае не следует жалеть средств на доведение до конца дела организации радиотелефонной связи и на производство вполне пригодных к работе громкоговорящих аппаратов.

Предлагаю вынести постановление об ассигновании сверх сметы в порядке экстраординарном до 100 тысяч рублей золотом из золотого фонда на постановку работ Нижегородской радиолaborатории, с тем, чтобы максимально ускорить доведение до конца начатых ею работ по установке вполне пригодных громкоговорящих аппаратов

и многих сотен приемников по всей республике, способных повторять для широких масс речи, доклады и лекции, произносимые в Москве или другом центре.

Поручить СТО установить особый надзор за расходом этого фонда, и, может быть, если окажется целесообразным, ввести премии из указанного фонда за особо быстрый и успешный ход работы.

Добавлю, что сегодняшние «Известия» сообщают об английском изобретении в области радиотелеграфии, передающем радиотелеграммы тайно. Если бы удалось • купить это изобретение, то радиотелефонная и радиотелеграфная связь получила бы еще более громадное значение для военного дела.

Ленин».

15 сентября 1922 года в газете «Известия» было опубликовано сообщение: «Центральная радиотелефонная станция послала следующую телеграмму: Всем, всем, всем!

Настройтесь на волну 3000 метров и слушайте!

В воскресенье, 17 сентября, в 3 часа по декретному времени на Центральной радиотелефонной станции Наркомпочтеля состоится первый радиоконцерт.

В программе — русская музыка...»

Этим концертом, который прошел с большим успехом, начались передачи Московской радиотелефонной станции, получившей впоследствии наименование Радиостанции имени Коминтерна. И передатчик, и сами радиолампы были разработаны Бонч-Бруевичем и изготовлены в Нижегородской радиолaborатории. Станция была самой мощной в мире. Ее мощность в радиотелефонном режиме достигала 12 киловатт. Радиостанция в Нью-Йорке в это же время имела мощность всего 1,5 киловатта, а станции во Франции и Германии — по 5 киловатт. Московскую радиостанцию слышали на очень больших расстояниях. Она также использовалась для передачи материалов РОСТА (Российского телеграфного агентства), которые принимались редакциями местных газет.

8 декабря 1922 года по радио впервые передавались речи Ленина, записанные на грампластинки. Вскоре после смерти Владимира Ильича Нижегородской радиолaborатории присвоили имя В. И. Ленина.

В 1925 году Нижегородская лаборатория и трест заводов слабого тока приняли участие в выставке в

Стокгольме. Все шведские газеты поместили статьи о советских экспонатах, отметили «высокое состояние русской радиотехники». В центре внимания оказалась большая 25-киловаттная лампа с водяным охлаждением. Никто из иностранцев и не подозревал, что Россия могла производить такие приборы.

В 1926—1927 годах на Шаболовке установили самый мощный в то время радиовещательный передатчик «Новый Коминтерн». Мощность, отдаваемая в антенну, составляла 40 киловатт. За его создание Нижегородскую радиолaborаторию наградили в 1928 году вторым орденом Трудового Красного Знамени. Вот некоторые цифры тогдашней статистики, которые показывают динамику обновления радиопередатчиков. В 1927 году из 58 действовавших в стране передатчиков 38 были искровыми, 11 — ламповыми, 8 — дуговыми и 1 — машинным. В 1933 году дуговые практически перестали существовать, искровых осталось только 3 процента, а 97 — были ламповыми. К концу второй пятилетки уже все радиопередатчики стали ламповыми и более мощными. В том же, 1933 году в строй вступила 500-киловаттная станция. К 1941 году в стране работало свыше 100 мощных радиовещательных станций. В суровое военное время в 1943 году была построена крупнейшая в мире средневолновая радиовещательная станция мощностью 1200 киловатт.

Не только большими мощностями славилось отечественное радиостроение. Наши инженеры, как правило, находили собственные оригинальные решения. Уже в начале 1920 годов фирма «Телефункен» заказала у Бонч-Бруевича мощные генераторные лампы. Позднее при строительстве американской радиостанции мощностью 500 киловатт близ города Цинциннати использовалась советская система построения сверхмощных передатчиков. В Нью-Йоркском телевизионном центре, когда потребовалось высококачественное широкополосное усиление, была применена разработанная в СССР система модуляции. Многие агрегаты и узлы, которыми оснащались передающие центры в СССР, оказывались новинками для американской радиопромышленности.

В 30—40-х годах широкое распространение получили разборные генераторные лампы. Дело в том, что катоды ламп были недолговечны, а все остальные довольно металлоемкие и дорогие конструкции — анод, сетка, система водяного охлаждения — служили долго.

Поэтому и родилась мысль сконструировать лампу так, чтобы иметь возможность менять вышедшие из строя детали.

В пятидесятых годах мощность таких ламп достигла 1000 киловатт. И если раньше большие радиостанции строились по блочному принципу (например, 500-киловаттное радиопередающее устройство, установленное на станции имени Коминтерна, собиралось из шести однотипных передатчиков по сто киловатт, и их мощности складывались), то теперь для тысячекилловаттной радиостанции достаточно было одного выходного каскада на такой лампе. Именно в мощных радиопередатчиках, будь то радиовещательные или радиолокационные, лампы пока не уступают своих позиций полупроводникам.

РОЖДЕНИЕ «СУПЕРА»

«Супер» — так жаргонно называли радиолюбители 40—50-х годов супергетеродинный приемник. Сейчас, за редким исключением, все радиоприемники, будь то бытовые, телевизионные, связные, радиолокационные и других назначений, строятся по супергетеродинной схеме. А в период зарождения радиовещания господствовали простые в изготовлении детекторные приемники.

Их основным элементом был кристаллический детектор, который выпрямлял электрические колебания радиочастоты, наведенные в антенне радиоволной и выделенные резонансным контуром. В выпрямленном напряжении содержались колебания звуковых частот, которые в телефонных наушниках превращались в звуковые сообщения.

Кристаллический детектор был первым в современном понимании полупроводниковым прибором. Он пришел на смену капризному и ненадежному когереру. Хотя точная дата рождения кристаллического детектора не установлена (примерно 1906 год), можно с полным основанием сказать, что появился он как нельзя вовремя. С его помощью значительно расширилась аудитория радиослушателей.

Помимо простоты детекторный приемник обладал еще одним немаловажным достоинством: для него не требовалось источника питания. Энергию приносила сама радиоволна.

С совершенствованием радиоламп, естественно, проявилось

давнее намерение услышать речь и музыку, как говорят, «во весь голос». Пристроили после детектора усилитель низкой частоты (или сокращенно УНЧ) и стали слушать уже не в наушниках, а из громкоговорителей (динамиков). Потекла живая человеческая речь по комнатам, залам, площадям...

Чтобы увеличить дальность приема, стали усиливать радиочастотные колебания и до детектора поставили усилители радиочастоты (УРЧ). Вот вам и знаменитый приемник «прямого усиления», где радиочастотный сигнал усиливается, затем детектируется и опять следует усиление, но только уже на низкой, звуковой частоте. Эти приемники были в ходу у радиолюбителей еще в 50-х годах. Названия их звучали несколько таинственно: 1 — V — 2, I — V — 1, 0 — V — 2. Первая цифра означала число ламп для усиления радиочастоты, последняя — число ламп для усиления низкой частоты, а буква V означала детектирование.

В таком приемнике избирательность, то есть способность отстраиваться от сигналов соседних радиостанций, достигалась настройкой входного колебательного контура прямо на частоту нужной станции, и основное усиление до детектирования тоже производилось на этой частоте. Оттого и назывался такой приемник приемником прямого усиления. Покуда радиостанций было мало, и использовались в основном длинные волны, особых проблем не возникало. Но как только началось освоение коротких волн, сразу же проявился недостаток схемы — стало нелегко отстроиться от других радиостанций, поскольку, чем выше частота, тем шире становится полоса пропускания резонансного контура. Таково уж его свойство. (С ним мы немного познакомились, когда речь шла об опытах Герца.)

Если уподобить радиоприемник стадиону, а колебательный контур — его воротам, то чем шире полоса пропускания контура, чем шире ворота стадиона, тем больше шансов у безбилетников, то бишь сигналов других, мешающих станций и прочих разных источников помех проникнуть в приемник.

Крутишь ручку настройки приемника: чем короче длина волны, тем труднее избавиться от мешающих «соседей». Мало того, и слышимость падает. Голос в приемнике слабее от того, что усиление каскадов УРЧ уменьшается с повышением частоты. Дело в том, что на более высоких частотах выводы электродов, сами электроды

ламп начинали вести себя как конденсаторы и тем самым уменьшали усиление.

Пробовали увеличить число каскадов УРЧ, чтобы компенсировать потери. Но на высоких частотах любые два близко расположенных проводника образовывали емкость. Через нее сигнал с выхода каскада попадал на вход. Возникла цепь положительной обратной связи, о которой уже упоминалось. Довольно легко усилитель терял устойчивость и начинал «генерить», то есть сам становился генератором.

Надо было сделать так, чтобы, независимо от частоты принимаемого сигнала, и избирательность приемника, и его усиление оставались практически постоянными. Этого удалось достигнуть в супергетеродине. Его проявление, если следовать хронологии, стало вторым



важнейшим событием в радиотехнике после изобретения электронной лампы.

Тем не менее, главным образом благодаря своей простоте и детекторные приемники, а схем их было превеликое множество, и приемники прямого усиления, и разные регенераторы еще долгое время применялись даже на коротких волнах. Да и сегодня в некоторых специальных устройствах нет-нет, да и можно наткнуться на приемную схему из далеких 20-х годов.

У супергетеродина, этого счастливого ребенка (а родился он в 1917 году), было сразу четыре отца: французский инженер Л. Леви, немцы Г. Арко и В. Шоттки и уже известный нам Э. Армстронг. Но закон остался на стороне Леви, и ему был отдан приоритет.

Армстронг тоже получил патент на супергетеродин, но в США. Он, капитан корпуса связи, находился в ту пору (шла первая мировая война) во Франции; 30 декабря 1918 года послал из Парижа в США заявку на патент и получил его в июне 1920 года. В Америке считают изобретение супергетеродина величайшим достижением Армстронга.

В чем же идея супергетеродина? Она, кстати, блеснула еще в 1902 году. Смысл ее в том, что сигнал радиочастоты переносится с помощью местного генератора — гетеродина — на другую, более низкую частоту, где нет проблем с усилением и где можно сделать фильтры с нужной формой частотной характеристики. И главное, чтобы эта более низкая частота, которую во всех странах Европы назвали «промежуточной», была бы постоянной. Тогда и усилительные элементы, и резонансные контуры будут работать на одной и той же частоте. Так что их контуры не надо будет перестраивать. В таких условиях намного проще получить требуемую форму частотной характеристики приемника, или, как говорят радисты, согласовать ее с частотным спектром принимаемого сигнала.

Слово «гетеродин» произошло от двух греческих слов: «гетерос» — иной, другой и «динамис» — сила. То есть принимаемый сигнал радиочастоты подвергается воздействию другого, местного сигнала иной частоты. Этот процесс переноса сигнала с одной частоты на другую называется гетеродированием. Осуществляется он перемножителем, который в приемнике обычно называют смесителем. Интересно: сигналы перемножаются, а частоты их вычитаются! А чтобы частота на выходе

смесителя была бы постоянной, равной промежуточной, надо подстраивать частоту гетеродина. Именно от качества усилителя промежуточной частоты, который сокращенно называют УПЧ, главным образом зависит чувствительность и избирательность приемника. Ведь независимо от длины волны принимаемой станции основная обработка сигнала происходит в УПЧ.

Смесителем же может быть любой нелинейный элемент: и диод, и электронная лампа, и транзистор. Мы уже знаем, что нелинейность обогащает частотный спектр сигналов, которые подаются на нелинейный элемент. Надо только среди рожденных нелинейностью новых частот отфильтровать интересующую нас разностную частоту.

«Суперы» не сразу покорили мир. Мешал французский патент, отчасти монополизировавший их промышленное производство. Правда, для радиолюбителей он не служил помехой, а в профессиональной сфере с ним вынуждены были считаться. Сложны были «суперы» и в настройке — приходилось крутить сразу две ручки: настройки входных контуров и гетеродина. Лишь потом их совместили.

В начале 30-х годов срок действия патента истек, и началось победное шествие супергетеродинов, которое продолжается и в наши дни...

ОТ ТРАНЗИСТОРА ДО ЧИПА

1 июля 1948 года, на следующий день после того, как фирма «Белл телефон лабораториз» объявила об изобретении нового прибора — транзистора, только газета «Нью-Йорк тайме» откликнулась на это событие. На предпоследней странице в колонке «Новости радио» самой последней стояла следующая короткая заметка:

«Вчера фирма «Белл телефон лабораториз»... впервые продемонстрировала изобретенный ею прибор под названием «транзистор», который в некоторых случаях можно использовать в области радиотехники вместо электронных ламп.

Прибор был продемонстрирован в схеме радиоприемника, не содержащей обычных ламп. Было также показано его применение в телефонной системе и в телевизионном устройстве, управляемом с помощью приемника, расположенного на нижнем этаже. В каждом

из этих случаев транзистор использовался в качестве усилителя, хотя фирма заявляет, что он может использоваться и в качестве генератора, способного создавать и передавать радиоволны.

Транзистор, имеющий форму маленького металлического цилиндра длиной около 13 миллиметров, не содержит полости (из которой откачан воздух), сетки, анода или стеклянного корпуса, предохраняющего от попадания в прибор воздуха. Он начинает работу мгновенно, без задержки на разогрев, так как в отличие от радиолампы в нем нет накала.

Рабочие элементы прибора состоят всего лишь из двух тонких проволочек, подходящих к кусочку твердого полупроводникового материала величиной с булавочную головку, припаянному к металлическому основанию. Вещество, помещенное на металлическое основание, усиливает ток, подводимый к нему по одной проволочке, а другая проволочка отводит усиленный ток».

Первый транзистор по внешнему виду напоминал радиолампу. Видимо, сказалась приверженность человеческого глаза к привычным формам. Не потому ли и первые автомобили были похожи на кареты и дилижансы?

Авторами изобретения были американские ученые Д. Бардин и У. Браттейн, получившие патент. Они работали под руководством Шокли, и его теоретические разработки сыграли не последнюю роль в открытии. Поэтому всем троим в 1956 году присуждена Нобелевская премия по физике за исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта. Кстати, Бардин в 1972 году получил и вторую Нобелевскую премию за работы в области сверхпроводимости, он также был удостоен высшей награды АН СССР — золотой медали имени М. В. Ломоносова за 1987 год.

Фирма только спустя семь месяцев объявила об открытии своих сотрудников. Во-первых, потому что сами изобретатели еще полностью не уяснили, что же такое транзисторный эффект. Во-вторых, надо было показать изобретение военным и решить с ними — следует ли его секретить. Затем подать заявку на патент и написать научную статью и еще оставалось сделать не менее главное — дать название новому прибору.

Бардин и Браттейн хотели подобрать термин, сходный с «варистором», «термистором» (полупроводниковые приборы, сопротивление которых меняется в

зависимости, соответственно, от напряжения и температуры), но не могли найти подходящего слова. Изобретателям помог известный специалист по радиоэлектронике и ее популяризатор Дж. Пирс. Он считал, что в названии должен найти отражение основной, как это казалось в то время, параметр прибора — его переходное сопротивление. По-английски оно звучит как «транзистенс». Поэтому Пирс и подсказал назвать новый прибор транзистором.

Если «транзистор» — термин, изобретенный в середине XX века, то слово «полупроводник» было в ходу уже в XIX веке. В учебнике 1826 года «Начальные основания опытной физики», написанном Иваном Двигубским, есть такие слова: «Английский физик Кавендиш Копытами доказал, что вода проводит электричество в 1400 миллионов раз хуже металла; невзирая на сие, она еще не совсем худой проводник электричества. Тела, кои в рассуждении способности проводить электричество, занимающие как бы среднее место между проводниками и непроводниками, обыкновенно называются полупроводниками».

А теперь откроем последний Советский энциклопедический словарь и прочитаем значение слова «полупроводники»: «Вещества, электропроводность которых при комнатной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов... и диэлектриков...» Как мы видим, несмотря на более чем 150-летнюю временную дистанцию, формулировки весьма схожи.

В 1821 году немецкий физик Томас Зеебек под впечатлением опытов Эрстеда провел следующий эксперимент. Он припаивал друг к другу два разнородных металла и соединял их медным проводником, а внутри петли, образованной проводником, помещал магнитную стрелку. При нагреве места спая магнитная стрелка отклонялась. Значит, нагретый спай служил источником электрического тока. Когда одним из элементов спая были теллур, сульфид свинца и некоторые другие материалы, стрелка реагировала более энергично. Через сто лет такие вещества станут называться полупроводниками. Пожалуй, это был первый сигнал о наличии у полупроводников необычайных свойств.

«Термоэлектрический эффект» — так окрестили впоследствии данное явление. На его основе в 1940 году в Ленинградском физико-техническом институте под руководством

Ю. П. Маслаковца была собрана и испытана первая экспериментальная полупроводниковая термобатарея. Материалом у нее (как и в опыте Зеебека) служил сульфид свинца.

В 1833 году Майкл Фарадей столкнулся с необычной ситуацией: он заметил, что электропроводность сульфида серебра растет с повышением температуры (у металлов все происходит наоборот). «...Если поискать, то можно будет найти немало таких веществ», — прозорливо заметил Фарадей. И действительно, впоследствии он обнаружил еще ряд образцов с необычной зависимостью сопротивления от температуры — одной из характерных особенностей полупроводников.

В 1873 году было открыто еще одно их свойство Инженер-электрик из Лондона У. Смит объявил, что при освещении селен, химический элемент, открытый еще в начале века, изменяет свою электропроводность. Сам инженер занимался испытанием подводного телеграфного кабеля, для изоляции которого применялся селен. В расплавленном состоянии он застывал, образуя стекловидную массу с очень большим сопротивлением. Наблюдательный помощник Смита заметил, что на свету сопротивление селена, становится меньше, чем в темноте. Сообщение вызвало живейший интерес. Физики бросились воспроизводить опыт и обнаружили, что селен, названный так в честь Луны, чувствителен даже к ее свету.

Свойству селена изменять свое сопротивление в зависимости от падающего света нашел интересное применение Грэхем Белл. Тот самый Белл, в честь которого названа логарифмическая единица отношений двух одноименных физических величин — бел. Правда, на практике мы сталкиваемся с более мелкой величиной: одной десятой бела — децибелом.

Так вот, Белл придумал прибор, передававший звук на большое расстояние при помощи светового луча, и назвал его фотофоном. Принцип действия прибора состоял в следующем. Гибкое плоское зеркало освещалось сильным источником света так, что отраженный луч попадал на приемном конце на линзу, фокусирующую свет на селеновую пластинку, соединенную с батареей и телефоном. При передаче звук, направленный на заднюю поверхность зеркала, заставлял его колебаться. В такт с колебаниями «дрожал» и световой луч, а от этого менялась и освещенность селеновой пластины.

В цепи телефона возникали колебания электрического тока звуковой частоты, и речь отлично воспроизводилась в наушниках. Но фотофон быстро сошел со сцены: не выдержал соперничества с другим, более удачливым детищем Белла телефоном.

Как говорят, все повторяется. Через сто лет на более высоком уровне — в лазерном исполнении — этот принцип возродился. В частности, в подслушивающих лазерных устройствах. Оконное стекло комнаты, где происходят переговоры, освещают снаружи лазерным лучом. Роль зеркала выполняет стекло, а вместо селеновой пластинки — лазерный приемник.

В 1874 году уже упоминавшийся К. Ф. Браун обнаружил выпрямляющую способность контакта металла и сернистого свинца: при одном направлении тока сопротивление контакта мало, при противоположном — очень велико. Позже, используя эту особенность, Браун создал детектор — полупроводниковый диод.

В последнее 20-летие XIX века полупроводники не были обделены вниманием ученых, и число опубликованных работ, им посвященных, исчислялось сотнями, так что уже в начале XX века сформировались правильные представления о природе электропроводимости «полупроводников». Потом с началом эры радиоэлектронной лампы интерес к полупроводникам упал. Это продолжалось вплоть до конца первой мировой войны.

В 20-х и особенно в 30-х годах полупроводники вновь стали объектами научного любопытства. На вооружении ученых появилась квантовая теория и уравнение Эрвина Шредингера, которые могли объяснить поведение электронов в твердых телах. Большой вклад в экспериментальные и теоретические исследования полупроводниковых приборов внесли и советские ученые О. В. Лосев, Б. И. Давыдов, Я. И. Френкель, А. Ф. Иоффе. А в 1931 году вышла первая в нашей стране книга под названием «Полупроводники» известного ученого Д. Н. Наследова.

Многие изобретатели бились над созданием полупроводникового усилителя. В 1925 году в США, а в 1935 году в Англии были выданы патенты на прибор, который впоследствии назовут полевым транзистором. Но экспериментально его воспроизвести не удалось.

И вот в 1947 году к тройке американских ученых пришел заслуженный успех. Их настойчивость была вознаграждена появлением транзистора.

Так же как и лампа, транзистор может быть и электронным переключателем, и усилителем. Только в отличие от лампы он управляется током, а не напряжением. В лампе через ее вход (участок сетка-катод) в большинстве режимов работы ток пренебрежимо мал, так что с ним можно было не считаться. А в транзисторе входной ток приходилось учитывать. Хоть небольшой, но есть. Он течет через определенную часть транзистора, и его изменения вызывают соответствующие изменения большего тока, текущего через весь транзистор. Поэтому транзистор иногда называли усилителем тока. И названия электродам в транзисторе придумали другие. Если провести аналогию с радиолампой, то роль катода в нем выполняет эмиттер (выпускает носители электрического тока), анода — коллектор (собирает их), а сетки — база.

В современной электронике получили распространение два типа транзисторов — биполярные и полевые. Кстати, прибор, созданный Бардиным и Браттейном, относится к биполярным транзисторам, а запатентованные в 1925 и 1935 годах — к полевым. Хотя запатентованы полевые транзисторы много раньше — применять их стали много позже: в конце 50-х — начале 60-х годов. Несмотря на различия между ними, принципы работы биполярного и полевого транзистора похожи. Правда, соответствующие электроды у последнего носят иные названия: эмиттер — это исток, коллектор — сток, а база — затвор. Проходящий через полевой транзистор ток между истоком и стоком управляется электрическим полем, возникающим в области, прилегающей к затвору, за счет поданного на него напряжения (поэтому и название — полевой транзистор), а затвор находится как раз на пути между истоком и стоком.

Электрическое поле может, как бы сужать диаметр канала в полупроводнике, по которому бегут электроны от истока к стоку, или вообще перекрывать его.

Похожая картина наблюдается в поливочном шланге, если наступить на него ногой. Можно уменьшить напор воды, а можно и совсем перекрыть воду. Роль ноги в полевом транзисторе и выполняет электрическое поле у затвора. Входной ток у полевого транзистора, протекающий в нем между истоком и затвором, может быть очень малым. В этом отношении полевые транзисторы приближаются к вакуумным лампам.

Поначалу американская и западноевропейская промышленность не проявили интереса к новому прибору. Трудно было в одночасье сбросить со счетов почти три десятилетия разработки и совершенствования радиоламп разных конструкций. А ведь транзисторы требовали абсолютно новых методов производства. Лампы же применялись не только в радиоприемниках и телевизорах, но и в передатчиках радаров, систем связи, телевизионных и радиопередающих станциях, словом, и там, где требуются большие мощности излучения. (Кстати, в этих областях лампы еще и по сей день не сошли со сцены.)

Да и хрупки из-за точечных контактов были первые транзисторы. Они так и назывались точечными. Область контакта между двумя веществами (или, иначе, область



электронно-дырочного перехода) была очень мала: только в местах соприкосновения с полупроводником двух заточенных металлических проволочек (почти так же, как в кристаллических диодах). Такие контакты были нестабильны. Эра плоскостных транзисторов, которая продолжается и сегодня, наступила позднее — с начала 1950-х годов, когда научились выращивать монокристаллы полупроводников промышленным способом. Несовременны и дороги были первые транзисторы. Их параметры сильно разнились от экземпляра к экземпляру.

Была еще одна причина, по которой американская промышленность встретила новый электронный прибор с прохладцей. Многие инженеры выросли в век радиоламп и потому отрицательно отнеслись к только что появившемуся транзистору. Было ясно, что речь идет не о простой замене радиоламп транзисторами. У новых приборов были другие напряжения питания, мощностные характеристики и даже принцип работы. (Его мы уже знаем — усиление по току.) Все это заставляло переучиваться, по-иному подходить к разработке схем. Но инженеры старой школы не хотели перестраиваться.

Чтобы привлечь внимание к транзистору, фирма «Белл» стала его усиленно рекламировать, устраивать семинары, предоставлять лицензии на него всем желающим. Она отказалась от всех лицензионных пошлин с транзисторов, используемых в слуховых аппаратах. Это была дань памяти Грэхему Беллу, который заботился о глухих.

Именно разработчики слуховых аппаратов оказались наиболее восприимчивыми к новому. Они сразу же ухватились за транзистор, несмотря на его дороговизну. (В начале 50-х годов транзистор стоил 15 долларов.) Еще задолго до появления транзистора производители слуховых аппаратов добились успеха в миниатюризации электронной аппаратуры. В общем, «новичок» пришелся им как нельзя кстати.

Первый транзисторный слуховой аппарат вышел в 1953 году. В нем было использовано пять транзисторов. Правда, потребовалась помощь двух миниатюрных ламп для входного и оконечного каскадов, поскольку сами полупроводники еще служили источником добавочного шума и их усиления было недостаточно.

Без «раскачки» отреагировали на новый прибор и военные. Они были заинтересованы в снижении веса и

габаритов радиоэлектронной аппаратуры, а дороговизна их не смущала (деньги ведь не свои, а налогоплательщиков.)

Вот один из многочисленных примеров, какую выгоду дало бы использование транзисторов в военном деле. В конце войны США имели самолет-бомбардировщик В-29, прозванный «летающей сверхкрепостью». Он развивал скорость 600 километров в час и имел полетную массу около 54 тонн. Электронное оборудование самолета весило одну тонну. Применение транзисторов позволило бы уменьшить его вес в 10 раз, в результате чего полетная масса убыла на 4,5 тонны. То есть каждый лишний килограмм оборудования увеличивает полетную массу самолета примерно на пять килограммов. Такая «плата» в пятикратном размере объясняется необходимостью дополнительного запаса горючего, усилением конструкции. А полетная масса — это и скорость, и маневренность, и потолок самолета.

Для ракет выигрыш еще ощутимее. Для них каждый лишний килограмм оборудования повышает массу ракеты на 40—50 килограммов. А если учесть, что стоимость электроники для современных ракет составляет около 70 процентов от стоимости ракеты, то нетрудно догадаться, что значат полупроводниковые приборы для ракетного дела.

Помимо военных новый прибор ждали и разработчики электронных вычислительных машин. Вспомним первые ЭВМ. Они покажутся сейчас мастодонтами.

В феврале 1945 года вступила в строй американская ЭВМ «Эниак-15». Ее первым практическим применением были расчеты для сверхсекретного проекта атомной бомбы. Задачи подготовил известный математик фон Нейман. Компьютер содержал 18 тысяч радиоламп. Занимала машина помещение в 135 квадратных метров, весила 30 тонн и потребляла 135 киловатт. Операция сложения длилась 0,2 миллисекунды, а умножения — 2,8 миллисекунды. (У современных быстродействующих машин — миллионные и даже миллиардные доли секунды.)

По существу, такую ЭВМ можно было уподобить огромному нагревательному прибору. Представьте себе помещение, где на каждом квадратном метре стоит по электрокамину мощностью чуть более одного киловатта. Охлаждать ЭВМ было весьма непросто. Но главная проблема заключалась в малой надежности.

Электронные

лампы имели срок службы около 500—1000 часов. За это время выходило из строя не менее двух процентов ламп. Через несколько часов работы надо было искать вышедшую из строя лампу, заменять ее и проверять работу машины с помощью тестов. А ведь для решения сложных задач требовалось ЭВМ с числом ламп, измеряемых не десятками, а сотнями тысяч.

Наиболее уязвимое место у ламп — нить накала и катод. Как и у осветительной лампы, нить накала с течением времени перегорает, а катод, подогреваемый теплом нити, теряет способность испускать электроны, или, как говорят, теряет эмиссию. У транзистора нет ни нити накала, ни подогревного катода, и потому нет и этих трудностей. Срок службы современного транзистора сравним с долговечностью обычного сопротивления. Сегодня же ЭВМ такого класса, как «Эниак-15», можно спокойно уместить в чемоданчике.

Первым полупроводниковым материалом для транзисторов был германий. Но как оказалось, германиевые транзисторы имели много недостатков, главный из которых — нестабильность. Никакие защитные покрытия не могли уберечь их на долгое время от контакта с внешней средой — пылью, влагой... По истечении некоторого времени параметры транзистора начинали «дрейфовать», работа электронных схем зачастую нарушалась. Плохо «вели» себя германиевые транзисторы и при повышенной температуре — тоже «дрейфовали».

В 1954 году появился первый транзистор из кремния — самого распространенного на Земле твердого вещества. Кремний — термостабилен, и что еще немаловажно — образует на поверхности пленку окисла, которая помогает надежно защитить электронно-дырочные переходы от внешних воздействий. Начался период кремниевых полупроводников, продолжающийся и в наши дни.

Еще в 1952 году на ежегодной конференции по электронным компонентам, проходившей в Вашингтоне, сотрудник Британского королевского радиолокационного управления Даммер в своем докладе произнес такие пророческие слова: «С появлением транзистора и работ в области полупроводниковой техники вообще можно себе представить электронное оборудование в виде твердого блока, не содержащего соединительных проводов. Блок может состоять из слоев изолирующих,

проводящих, выпрямляющих и усиливающих материалов, в которых определенные участки вырезаны таким образом, что они могли непосредственно выполнять электрические функции».

Предсказание начало сбываться уже в конце 50-х — начале 60-х годов: появились интегральные микросхемы, которым стало, суждено произвести переворот в радиоэлектронике, подобно тому, как это раньше сделал транзистор.

Главную роль в перевороте сыграла планарная технология (термин «планарный» образован от английского слова «планар» — плоский). Она дала возможность перейти от изготовления каждого прибора в отдельности к изготовлению на едином полупроводниковом образце, или, как говорят, кристалле, одновременно многих тысяч транзисторов.

Что же такое интегральная схема? Это какая-либо, чаще всего типовая, электронная схема, выполненная на едином кристалле. Например, берут кристалл кремния. В поверхностном его слое с помощью методов полупроводниковой технологии (очень изощренные по точности исполнения методы) формируют элементы электрической схемы, как то: диоды, транзисторы, сопротивления (или, иначе, резисторы), емкости, индуктивности и соединения между ними. Вот вам и полупроводниковая интегральная микросхема, или, как ее иногда называют за рубежом, «чип». (В переводе с английского «чип» — не то «ломтик», не то «дешевка».)

Интересно, что интегральные микросхемы так же, как и в свое время, транзисторы, встретили скептически. Критические замечания в основном были по делу. Например, нужный прибор можно было составлять только из имеющихся в наличии готовых «кирпичиков», то бишь микросхем. А это зачастую лишало возможности оптимально построить электрическую схему прибора. Здесь напрашивается аналогия с индивидуальным пошивом в ателье. Можно костюм подогнать по фигуре, не то, что в магазине — бери, что предложат.

Кроме того был при производстве микросхем большой процент брака. И еще — однажды созданную схему почти невозможно изменить. Многие недостатки потом устранили, а на другие на фоне огромных возможностей, которые сулила интегральная технология, можно было не обращать внимания.

Буму в области интегральных микросхем в США во многом

способствовали военные. Как всегда, они напугали налогоплательщиков «советской угрозой». Поводом послужили успехи СССР в области освоения космического пространства. Под эту шумиху они затеяли в 60-х годах модернизацию своих баллистических ракет «Минитмен». Наметили снизить с помощью микросхем массу электронного оборудования на ракете и тем самым компенсировать отставание в области ракетных двигателей. Программа потребовала организовать производство невиданными ранее темпами — по 4000 интегральных микросхем в месяц.

Мы часто слышим слово «микроэлектроника». Данному понятию есть вполне определенная количественная мера. Принято считать, что микроэлектроника начинается тогда, когда плотность монтажа превышает пять элементов (диод, транзистор, резистор и др.) на кубический сантиметр. На этом рубеже кончается миниатюризация электронной аппаратуры и начинается ее микроминиатюризация.

Но не только «плотность упаковки», то есть количество элементов на единицу площади или объема, характеризует микроминиатюрность чипа, но и такой показатель, как степень интеграции — количество элементов в одной микросхеме.

В так называемых больших интегральных схемах (БИС) содержится от 100—1000 до 10—100 тысяч элементов, а в СБИС (сверхбольших интегральных схемах) — свыше 10—100 тысяч. Есть уже название для чипов следующей степени интеграции — УБИС (ультрабольшие интегральные схемы), но число схемных элементов для них пока не определено...

«ЛЕГКИЕ ЭЛЕКТРОНЫ»

Одна из важнейших характеристик полупроводниковых приборов — их быстродействие. Лучшие из кремниевых микросхем могут переключаться с частотой три миллиарда импульсов в секунду, то есть работать на частотах три миллиарда герц. Быстродействие немислимое, трудно представимое. Но ненасытный прогресс требует большего. Если сумеет заставить транзисторы переключаться быстрее, можно повысить вычислительную мощность компьютеров, создать новые типы радиолокационных станций и спутников связи,

работающих как в диапазоне СВЧ, так и на более высоких частотах.

Быстродействие полупроводниковых приборов можно повысить, уменьшая их размеры, то есть, сокращая расстояние, на которое должны перемещаться электроны, участвующие в передаче сигнала.

Но есть и другой путь — использовать такие полупроводники, в которых электроны движутся быстрее, чем в кремнии. И такие вещества есть. К ним относятся материалы, полученные из элементов III и V групп таблицы Менделеева. Из них лучше всех изучен арсенид галлия (соединение редкого металла галлия и мышьяка).

Уникальные свойства электронов в этом материале объясняет квантовая механика. Электрон, как мы знаем, проявляет себя не только как частица, но и как волна. Когда электронные волны взаимодействуют с периодической атомной структурой полупроводникового кристалла, возникают необычные с точки зрения классической физики явления. Например, электрон в полупроводнике ведет себя так, будто его масса стала намного меньше, чем в вакууме. В кремнии уменьшение происходит в пятикратном размере, а в арсениде галлия — в пятнадцатикратном. Именно за счет эффекта большего, чем в кремнии, уменьшения массы электроны в арсениде галлия перемещаются быстрее. Скорость их дрейфа может достигать 500 километров в секунду, правда, на весьма короткой дистанции — всего лишь несколько долей микрометра.

Хотя арсенидгаллиевые интегральные схемы, несомненно, превосходят кремниевые в быстродействии (в 2—5 раз), вряд ли они их полностью вытеснят. Скорее всего, те и другие неплохо дополняют друг друга. Кремниевые чипы будут по-прежнему использоваться в недорогих универсальных компьютерах, поскольку их производство обходится значительно дешевле. Однако там, где требуется максимально возможное быстродействие, например, в блоках памяти суперкомпьютеров, предпочтение отдается схемам на арсениде галлия. Кроме того, в условиях повышенных температур и радиации они ведут себя лучше, чем кремниевые.

Арсенид галлия в недалеком будущем преобразует передатчики и приемники радаров, систем связи и других устройств сверхвысокочастотного диапазона. С громоздкими СВЧ, лампами и волноводами, используемыми

и по сей день, уже соперничают крошечные монолитные СВЧ-схемы.

Все мы не раз видели, хотя бы по телевидению, огромные чаши приемных антенн спутниковой связи «Орбита». Надобность в них отпадает. В будущем их заменят дешевые, небольшие по размеру (около одного метра) антенны. Это станет возможным за счет перехода на более высокие частоты. Недорогие приемники на арсенидгаллиевых СВЧ-схемах станут напрямую принимать телевизионные сигналы со спутника. Через спутник можно будет и поговорить по телефону с далеким абонентом.

Но, как не раз бывало и раньше, все наиболее передовое в науке и технике обращают на военные цели. Например, в одной из статей в зарубежном журнале набросали такой эскиз. Из ствола танковой пушки выстреливается снаряд, но не простой, а «разумный». В него встроен маленький радар, который наводит снаряд на цель. Малютка работает на миллиметровых волнах. Такая система возможна благодаря полупроводниковым приборам на арсениде галлия, способным как генерировать, так и принимать миллиметровые волны. Во всяком случае, посты патрульно-дорожной службы уже используют миниатюрные радары для контроля скорости движения автомобилей.

Полупроводниковые приборы на арсениде галлия и других перспективных материалах откроют новую страницу в освоении электромагнитного спектра. Недалеко то время, когда интегральные СВЧ-схемы станут широко использоваться и в бытовой радиоаппаратуре.

КРОШЕЧНЫЕ «СИЛАЧИ»

В 80-х годах появился новый тип интегральных микросхем. Несмотря на малые размеры, их называли «силачами». На одной пластинке кремния совмещается компьютерная логика со способностью управлять довольно сильным электрическим током. Эту операцию обычно выполняют батареи мощных транзисторов вкуче с тиристорами, диодами, конденсаторами и другими элементами. Всех их заменит «силач» — высоковольтная интегральная схема. Она работает при напряжениях, во сто крат больших, чем напряжения пятивольтовых чипов для компьютеров.

Интересна история создания новой схемы. В начале 70-х годов Джеймс Пламмер, профессор электротехники Станфордского университета, пытался повысить мощность портативной считывающей машины для слепой дочери своего коллеги. Ученый использовал уже известную технологию изготовления интегральных схем, так называемую технологию МОП-транзисторов, разновидности полевых, и сумел получить высоковольтный чип. (МОП — аббревиатура, составленная из первых букв названий слоев, составляющих структуру затвора: металл — оксид — полупроводник.)

На основе микросхемы был создан прибор «Опта-кон», включающий в себя миниатюрную фотокамеру, которая по буквам считывала тексты с обычных книг и газет. Новый чип преобразовывал начертания букв в электрические импульсы, с помощью которых автоматически составлялись знаки рельефно-точечной азбуки Брайля для слепых.

Если интегральные схемы произвели революцию в компьютерной технике, сделали ее доступной рядовому пользователю, то высоковольтные чипы произведут еще одну электронную революцию, только в иной сфере — в области промышленной и бытовой электротехники. «Силачи» могут переключать токи в десятки и даже более сотни ампер. Это стало возможным благодаря параллельному соединению десятков тысяч транзисторов в крошечном кристалле.

Особая польза ожидается от применения высоковольтных чипов в небольших электромоторах переменного тока, и их частота вращения жестко связана с частотой сети — 50 герц. Электромоторы расходуют в США около 60 процентов всей электроэнергии страны, и большая ее часть тратится впустую, так как они работают в режиме постоянной скорости.

«Силач» может электронно регулировать частоту вращения электродвигателей и, следовательно, потребляемую энергию. Например, число оборотов электродрели будет автоматически увеличиваться, а не уменьшаться, если сверло в процессе работы натолкнется на более твердый металл. А в недалеком будущем чипы станут применяться для управления и более мощными электродвигателями.

Высоковольтные чипы вскоре заменят все виды электромеханических реле и переключателей, особенно в бытовых приборах. В стиральных машинах ненужными

станут редукторы для изменения скорости вращения электромотора в различных режимах работы. Уже есть кондиционеры воздуха с высоковольтными чипами. Электродвигатель, оборудованный «силачом», не выключаясь, только замедляет или увеличивает скорость вращения, поддерживая тем самым постоянную температуру. Такой режим наиболее эффективен. У прежних кондиционеров электродвигатель при достижении определенной температуры отключался.

Применение чипов в люминесцентных светильниках поможет избавиться от неприятного мерцания лампы, назойливого жужжания дросселя, а также позволит регулировать яркость свечения люминесцентных ламп.

Широкое распространение получают «силачи» в автомобильной промышленности. В современном автомобиле много потребителей электроэнергии, а в будущем их число еще более возрастет. От каждого потребителя к источнику питания тянутся провода. Специалисты подсчитали, что в среднем в каждом автомобиле вес проводов составляет 32 килограмма. Применение высоковольтных чипов даст возможность использовать совсем иную, более экономичную схему электропроводки. Только один-два провода протянут через весь автомобиль по замкнутому контуру. Все электрическое оборудование подключат к ним подобно лампочкам, украшающим новогоднюю елку. В месте подсоединения каждого потребителя будет вмонтирован «силач», который, например, не только включит задний фонарь, но и подаст сигнал на переднюю панель в случае, если лампочка неисправна.

Правда, и сейчас многие автомобили оснащены индикаторами неполадок, но они работают на датчиках и другой дорогостоящей электронике, а с применением дешевых чипов такой контроль получит более широкое распространение. По подсчетам специалистов, применение высоковольтных чипов в авиалайнере «Боинг-747» поможет снизить вес электропроводки более чем на четыре тонны.

Нажимая на клаксон, можно будет подавать чипу разные команды. Легкое нажатие — предупреждающий слабый сигнал, сильное нажатие — громкий гудок.

«Силачи» уже работают в плоских дисплеях некоторых компьютеров. Такие экраны построены на принципе газового разряда. Изображение получается более

совершенным, чем на обычных жидкокристаллических дисплеях.

Технология производства высоковольтных чипов совершенствуется, цены на них на международном рынке падают. Если в 1984 году стоимость «силача» составляла 45 долларов, то в 1987 году уже 6,5 доллара, и эта тенденция будет продолжаться.

ЭВМ НА ОСТРИЕ ИГЛЫ

Чтобы получить представление о достигнутом уровне микроминиатюризации электронных схем, нью-йоркский журнал «Бизнес уик» в своем выпуске, вышедшем где-то в середине 1985 года, советовал сделать следующее:

«Вывите у себя волос. Его толщина равняется приблизительно ста микронам. Представьте себе теперь, что вы уместаете в сетку из 400 транзисторов, каждый из которых состоит из линий, толщиной в один микрон, на кристалле кремния размером с сечение вашего волоса. Теперь сожмите эти линии до толщины в полмикромметра, и вы сможете примерно на той же площади разместить почти 1500 транзисторов-полупроводников. Еще раз разделите все пополам. При толщине четверть микромметра каждый транзистор по размеру будет приблизительно равен крупному вирусу, и вам хватит места для 4500 транзисторов».

Данный пример лишь приблизительная оценка, которая дает представление и об уже имеющемся и о том, что уже почти на выходе. Но и это не предел. В 1987 году в печати сообщалось, что сумели сделать транзистор, где толщина линии 0,1 микрона (или в новых терминах — микромметра), то есть одна десятая от миллионной доли метра. А линиями как раз и «рисуют» с помощью литографических приемов на пластинке кремния, арсенида галлия или другого материала транзисторы, соединительные провода и все прочие детали электрической схемы. Чем тоньше линия, тем меньше элементы схемы, тем плотнее ее электронная начинка. Поэтому не только количество транзисторов в кристалле характеризует микросхему, но и толщина линии.

Весьма показателен следующий пример, демонстрирующий фантастические успехи микроминиатюризации. Все мы имеем более или менее ясное представление о магнитных головках. С их помощью в магнитофонах

происходит запись на магнитную ленту и воспроизведение с нее. В вычислительных машинах магнитная лента, а чаще магнитные диски, используются в качестве памяти. Так вот, создана головка для записи информации на магнитный диск размером... с точку в конце этого предложения. Причем она более чувствительна к электромагнитным полям, чем головка с проволочной катушкой, что позволяет записывать на магнитный диск информацию с большой плотностью.

Есть такая английская притча — вариант лесковского Левши. Будто один мастер-виртуоз послал другому булавку. На ее головке он выгравировал слова: «Как тебе это нравится?» Последовал ответ: «Ничего особенного». Написано это было на той же булавке, но... внутри одной из букв. Что-то подобное происходит в микроэлектронике.

Начиная с 60-х годов, число элементов в наиболее сложных интегральных схемах каждый год примерно удваивалось, а ширина линии соответственно уменьшалась. В 1960 году ширина типичной линии в обычных схемах составляла 30 микрон. К 1970 году степень интеграции увеличилась настолько, что кристалл площадью 1,5 квадратных сантиметра стал вмещать больше электронных элементов, чем самое сложное электронное устройство, которое могло быть создано в 1950 году. В настоящее время в основном в ходу микросхемы с микронной линией, хотя получены кристаллы, у которых линия в два раза тоньше.

Современные чипы для запоминающих устройств содержат более двух миллионов элементов. С другими кристаллами каждый из них соединяют пять миллионов проводников, и такие чипы не единичны, они выпускаются в большом количестве. Менее трех десятилетий назад, до возникновения микроэлектроники, радиомонтажнику пришлось бы потратить 10 лет на установку двух миллионов дискретных элементов такой схемы. Только зарплата рабочего за это время составила бы сотни тысяч долларов. Теперь же такое изделие стоит на рынке лишь десятки долларов, а в перспективе его цена упадет до нескольких долларов.

Мало найдется мест более чистых, чем завод полупроводников. Ведь одна пылинка может безнадежно испортить микросхему. Создать условия такой стерильности, с которой не сравнится ни одна больничная операционная, очень непросто. Судите сами.

В одном кубическом метре обычного городского воздуха содержится около 50 миллионов пылинок. В зеленых зонах их содержание падает до 2 миллионов в одном кубометре, а при изготовлении наиболее сложных БИС запыленность воздуха в основных помещениях не должна превышать 3000 пылинок на кубометр, причем на рабочем месте, возле обрабатываемой пластины, запыленность должна быть не более 30 пылинок. Конечно, брак все равно будет, но с ним приходится мириться, как с неизбежным злом.

О том, зачем нужна такая чистота, дает представление следующий пример. Если в помещении запыленность достигнет 50 тысяч пылинок на кубометр, то на поверхности в один квадратный сантиметр за один час осядет около 40 пылинок размером в несколько микро-



метров и гораздо больше более мелких частиц. Неумолимая статистика свидетельствует: при такой запыленности на каждый квадратик поверхности со стороной 1,4 миллиметра придется не менее одной пылинки размером 1—3 микрометра и пять-десять пылинок размером 0,3—0,5 микрометра. Такие условия гарантируют стопроцентный брак.

Приведу еще несколько цифр, чтобы окончательно убедить читателя, что мы живем в пыли и сколь трудно от нее избавиться. Даже в состоянии покоя человек каждую минуту создает до 100 тысяч пылинок, а если еще начнет энергично двигаться, число «генерируемых» им пылинок возрастает в 10 и более раз. Если в помещении площадью сто квадратных метров в отсутствие людей в одном кубометре насчитывается 10 000 пылинок, то при наличии здесь же 12 человек запыленность возрастает до 3,5 миллиона пылинок в одном кубометре.

А вот еще одна статистика, свидетельствующая о том, что курильщик — потенциальный источник брака в полупроводниковом производстве. Оказывается, любой курящий выдыхает в течение примерно часа после курения частицы, загрязняющие среду.

В экспериментах, проведенных одним американским исследователем, воздух, выдыхаемый курящим и некурящим, направлялся в устройство, подсчитывающее количество содержащихся в нем частиц. Устройство устанавливалось на расстоянии 25 миллиметров от рта испытуемых. В первую минуту после выкуренной сигареты курильщик выдыхал (в пересчете на один кубометр) более 800 тысяч частиц, в то время как некурящий — 27 тысяч частиц. Через 10 минут количество частиц в воздухе, выдыхаемом курильщиком, снижалось до 160 тысяч. Большинство частиц оказалось клетками эпителия, покрывающими полость рта. Размер частиц — в пределах от 0,2 до 12 микрометров.

В другом эксперименте в промежутках между замера пили кофе. По-видимому, курильщики вместе с напитком проглатывали большую часть клеток эпителия. Число выдыхаемых ими частиц сократилось, но и спустя 63 минуты все же была видна существенная разница в замерах для заядлого курильщика и некурящего. Даже когда некурящий съел 12 крекеров, количество выдыхаемых им частиц не увеличилось.

Правда, экспериментатор нашел довольно простое

решение, как частично нейтрализовать курильщика: дать ему выпить стакан воды, прежде чем он вернется в цех.

Эти данные еще раз подтверждают, что находиться рядом с курящим далеко не безвредно. Курильщика можно уподобить микровулкану никотиновой пыли.

Что только не делают, чтобы избавиться от пыли. Изолируют помещение от внешней среды, рабочие облачаются в белоснежные халаты, маски и перчатки, причем из «непылящих» материалов (на поверку вышло, что самая гигиеничная одежда, из хлопчатобумажных тканей, сильно пылит). В течение часа воздух в рабочем помещении сменяется несколько сот раз.

Однако для изготовления схем с толщиной линии в доли микрометра даже такие цехи покажутся безнадежно грязными. Для их производства в одном кубометре допускается не более 10 частиц размером 0,2 микрометра. Такой степени обеспыленности можно достичь только в герметичных камерах с особым микроклиматом в атмосфере инертного газа. Присутствие человека в производственной зоне, конечно, исключается.

Пожалуй, одна из самых больших трудностей состоит в том, как отпечатать запутанные тончайшие схемы из миллионов элементов на полупроводниковую пластинку. Причем процесс печати повторяется не единожды, и каждый раз надо точно совмещать новую «картинку» с предыдущей. Самое крошечное несовпадение, и — брак. Схема работать не будет.

При толщине линии 1—2 микрометра схема отпечатывается на кристалле с помощью ультрафиолетовых лучей. При более тонких, субмикронных линиях копирование исходного оригинала под силу лишь рентгеновским лучам и сфокусированным пучкам электронов.

Чтобы создать чип, надо его спроектировать, изготовить и испытать. Эти задачи уже вышли за рамки человеческих возможностей. Разместить несколько миллионов деталей на крохотной полупроводниковой пластине — с такой задачей может справиться только компьютер. А под силу ли человеку проверить десятки, сотни тысяч схем в чипе? Тоже без компьютера не обойтись. В общем, наступает пора, предсказанная фантастами: чипы начнут производить себе подобных. Возникает естественный вопрос: где же предел малости? Где предел интеграции схем? А если конкретнее —

сколько все-таки можно будет разместить транзисторов на одном кристалле?

Грубую оценку можно дать, разделив наибольший практический размер кристалла на наименьший практический размер транзистора.

Чтобы транзистор устойчиво работал, число подвижных электрических зарядов в его кристалле должно быть не менее определенной величины. При меньшем числе зарядов он просто не сможет нормально выполнять свои функции по обработке информации на тех физических принципах, которые приняты в современной вычислительной технике.

Подвижными зарядами в транзисторе являются атомы примеси. Обычно один атом примеси дает один подвижный заряд. Чтобы число этих зарядов, например в кремниевом транзисторе, было достаточным, его линейный размер должен быть не менее 400 постоянных кристаллической решетки. (Постоянная кристаллической решетки — это линейный размер элементарной ячейки кристалла.) На практике приходится учитывать целый ряд других факторов, поэтому размер транзистора увеличивается еще в три раза. У кремния постоянная решетка равна $5,4 \times 10^{-8}$ сантиметра. Если умножим ее значение на 400, а затем еще на три, получим, что минимальный линейный размер транзистора равен примерно одному микрометру, а его площадь соответственно одному квадратному микрометру, или 10^{-8} квадратных сантиметра.

Предельный размер кристалла самого чипа определяется экономическими соображениями. Кристаллы нарезаются из одной пластины большого размера. В свою очередь, эта пластина, одна из многих десятков тонких пластин, на которые разрезан цилиндр монокристаллического кремния. Современная технология позволяет выращивать кристаллы кремния диаметром до 15 сантиметров, а в ближайшем будущем, возможно, удастся получать кристаллы диаметром до 20 сантиметров.

В большой пластине кремния неизбежно где-то есть микроскопические дефекты, и внутри и на поверхности. Чем на более крупные квадратики разрезается круглая пластина, тем больше вероятность того, что в исходную пластину для чипа попадет микродефект. В настоящее время считается, что нарезать кристаллы площадью более одного квадратного сантиметра неэкономно. Но специалисты надеются, что со временем предельная

площадь кристалла увеличится до 10 квадратных сантиметров.

Сколько же транзисторов можно расположить на пластине такого размера? К сожалению, большая ее часть (90 процентов) пойдет на соединения элементов схемы и изоляцию их друг от друга. И только около одного квадратного сантиметра может быть заполнено транзисторами. Если каждый транзистор будет занимать площадь примерно 10^{-8} квадратного сантиметра, то на одном кристалле уместится 100 миллионов транзисторов. Если учесть, что современные чипы уже содержат два миллиона транзисторов, то их сложность может быть увеличена в 50 раз, прежде чем кремниевая технология исчерпает себя.

При нынешних темпах научно-технического прогресса этот рубеж будет достигнут за десятилетие. Тогда один такой суперчип сможет выполнять всю работу сегодняшних стационарных ЭВМ. По имеющимся оценкам, мировой объем изделий электронной промышленности в настоящее время превышает 200 миллиардов долларов, что приблизительно равно объему валового национального продукта такой страны, как Индия. Не так уж и мало, если учесть, что она по этому показателю возглавляет вторую десятку государств. К концу нынешнего столетия объем продажи составит примерно один триллион долларов. Так что в перспективах электронной промышленности сомневаться не приходится.

Инженеры сейчас всерьез размышляют над тем, что еще недавно проходило по ведомству научной фантастики. Например, как уместить музыкальный синтезатор, способный играть за целый оркестр, в одном кристалле. Полагают, что в недалеком будущем появится «кремниевый секретарь», который сумеет говорить и понимать речь, составлять телеграммы, назначать совещания и в вежливой форме напоминать о делах. А к концу века ожидаются и личные роботы.

Уже сейчас начинается революция в телевидении. Передача сигналов в цифровом коде — метод, который при использовании суперсхем станет дешевым, обеспечит качество изображения, значительно превосходящее нынешнее. Появятся телевизоры, способные хранить понравившиеся передачи в своих запоминающихся устройствах на суперчипах.

Правда, мешает использование чипа в качестве долговременной

памяти пока одно «но», которое не всегда удастся обойти.

При выключении питания записанная информация пропадает, поэтому на них постоянно надо подавать питание. Но крошки-чипы потребляют не так уж и много, так что в стационарных условиях с этим недостатком можно примириться.

Пожалуй, не найти радиотехнических систем, которых не коснется «чипизация». Радары не столь уж далекого будущего, например, будут состоять лишь из антенны, которая опять же будет исполнена в виде множества интегральных СВЧ-микросхем (антенны такого типа называются фазированными антенными решетками, или сокращенно ФАР) и миниатюрной ЭВМ на суперчипе.

А остановится ли электроника на суперчипах? Какие пути ее развития намечаются уже сейчас, в наше время?

ЭЛЕКТРОНИКА ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Как мы видели, начиная с 1960-х годов, момента старта интегральной электроники, инженеры и технологи словно втянулись в марафонскую гонку: кто быстрее уменьшит в размере транзисторы и плотнее разместит их в одном чипе. Принцип был один: изготовить уже известную схему, только в меньшем масштабе, соответственно уменьшив напряжение питания.

При всей своей прогрессивности и достоинствах сама идея интегральной электроники не несла в себе ничего принципиально нового. Это был все тот же схемотехнический путь, то есть известные схемы, которые работали на дискретных полупроводниках, воспроизводились на кристалле кремния. Конечно, не обошлось и без взаимного влияния.

Само развитие интегральной технологии открывало новые возможности, рождались новые типы транзисторов, что, безусловно, отразилось и на принципах построения схем. Но все равно это путь безудержного роста числа элементов в микросхеме по мере усложнения выполняемых ею функций.

И вот виден финиш марафона — известны те пределы, до которых может быть уменьшен транзистор.

Хотя, чтобы дойти до финиша, надо преодолеть еще много преград. Но специалисты сходятся во мнении, что работать с линией тоньше, чем 0,1 микрометра, видимо, нет смысла. При таких размерах знакомые материалы ведут себя странно. Например, тончайшие полоски алюминия, которые соединяют транзисторы, извиваются как змеи, когда по ним проходят электроны. В этом тонком мире действуют уже и другие законы, и вполне вероятно, что там нас ждут неожиданные открытия.

Кроме того, не только физика накладывает ограничения, но и экономика. Возможно, что еще раньше, чем будет достигнут физический предел малости транзистора, наступит экономический предел. В последние два десятка лет стоимость чипов неуклонно снижается. При переходе на субмикронные размеры элементов микросхемы изменятся, и методы изготовления чипов и тенденция снижения их стоимости может обратиться вспять. Сверхмалые и сверхсложные чипы просто невыгодно будет производить. Как говорят: «Овчинка выделки не стоит». И наука ищет выход из ожидаемого, но еще не достигнутого тупика...

А что если отказаться от привычных электрических схем? Что если для обработки информации использовать непосредственно какие-либо явления в разных средствах — твердых, жидких, плазменных, полупроводниковых, магнитных, биологических... Функцию сложной схемы их транзисторов, диодов, резисторов и других элементов пусть выполняет непосредственно какой-либо физический процесс.

Такой принципиально новый подход получил название функциональной электроники. Понятие емкое, обширное. В нем множество направлений, каждое из которых заслуживает отдельной популярной книги. Здесь и оптоэлектроника, и магнитоэлектроника, и акустоэлектроника, и криогенная электроника, и биоэлектроника...

Особенно часто сейчас в газетах пишут о биоэлектронике. Вероятно, из-за экзотики. Еще бы, биологические системы — своего рода рекордсмены. Диву даешься и отказываешься верить, когда читаешь, что слуховой орган кузнечика чувствует колебания, амплитуда которых составляет половину диаметра атома водорода! Чувствительность слуха кузнечика столь высока, что, находясь, скажем в Подмоскovie, он может воспринимать

самые малые землетрясения, происходящие на Камчатке. Неудивительно, что творения живой природы, своего рода биологические «патенты», — постоянный источник новых идей для инженеров, конструкторов, ученых.

Отчасти особое внимание к биоэлектронике связано с такими заманчивыми идеями, как, например, имплантация в мозг биоэлектронного устройства для восстановления зрения у слепых или создания самостоятельно собирающихся биологических вычислительных машин. Представьте себе ЭВМ, синтезированную с помощью бактерий! Вполне возможно, что лет через 15—20 такая ЭВМ перейдет из мира фантастики в мир реальный. Уже многие научные коллективы в различных странах работают в этом направлении.

Одним из кирпичиков биологических ЭВМ может стать молекула белка с «памятью», то есть обладающая способностью находиться в одном из двух состояний, как и транзистор.

С переходом от кремниевых микросхем к «молекулярной электронике» на органических материалах, по-видимому, можно будет добиться плотности записи информации до одного миллиарда миллиардов (10^{18}) бит в одном кубическом сантиметре материала! Для сравнения отметим, что в человеческом мозге (его объем составляет 750 кубических сантиметров) можно записать информацию, эквивалентную одной тысяче миллиардов (10^{12}) бит (текст примерно нескольких сотен книг), а в одном кубическом сантиметре генетического материала «спрессовано» две тысячи миллиард миллиардов (2×10^{21}) бит информации.

Некоторые результаты уже получены. Например, в области активных биологических пленок. Их можно использовать в качестве оптических запоминающих устройств ЭВМ.

В институте биофизики АН СССР было обнаружено, что обезвоженный белок бактериородопсин может «останавливаться» на определенной стадии своего фотохимического цикла, или, попросту говоря, фиксировать записанное на нем изображение.

Бактериородопсин относится к так называемым фитопигментам, которые вступают во взаимодействие со светом. Особое место среди них занимает родопсин — светочувствительное вещество, входящее в состав клеток сетчатки глаза человека и животных.

Поглощая квант света, родопсин меняет свою окраску. Он содержится, например, в солелюбивых пурпурных бактериях. Их также называют «зрячими» за способность преобразовывать энергию света в электрохимическую энергию.

Удивительное превращение происходит с помощью родопсина, и в этом варианте он называется бактериородопсином. Светочувствительные молекулы именуют также хромофорами.

Первая пленка на основе бактериородопсина создана в 1978 году. С помощью лазера на нее записывают и с нее считывают информацию. Теоретически можно получить большую плотность записи: 10^{14} бит на один кубический сантиметр, ведь цвет меняет единичная молекула, а значит, каждая молекула может хранить информацию.

Создать молекулярный электронный переключатель — проблема сложная и пока еще не воплощенная в практическое устройство. Нужно, чтобы молекула могла изменять свое строение (например, конфигурацию электронных оболочек) и возвращаться в исходное состояние вполне определенным и контролируемым образом.

Возбуждать биомолекулу, или, иначе, переводить ее в одно из устойчивых состояний надо осторожно. В момент перестройки электронных оболочек она поглощает энергию, что приводит к ее тепловому разрушению. И ученые вспомнили об одном интересном явлении — о солитонах. Им-то и решили поручить эту работу.

Солитоны — устойчивые уединенные волны — порой возникают в самых разных средах: в кристаллах, магнитных материалах, в сверхпроводниках, в живых организмах, в атмосфере Земли и других планет, в галактиках...

Уединенная волна ведет себя как частица, хотя ею и не является, а представляет собой особое возбужденное состояние среды. Два солитона могут столкнуться и разлететься подобно бильярдным шарам, поэтому в некоторых случаях солитон рассматривают как частицу, движение которой подчиняется закону Ньютона. Иногда солитоны называют также «частицеподобными волнами».

Мы уже говорили о монополе — частице, несущей магнитный заряд. Его носителем мог бы быть и солитон. Во всяком случае, теория не отвергает такой возможности.

Интересный результат получил советский физик В. А. Рубаков: вблизи монополя вечный пока протон распадался бы мгновенно. Наше счастье, что монополи не обнаружены. Значит, их или очень мало, или вовсе нет.

Исследователи заметили, что в определенных условиях тонкие пленки органических веществ из белков и ферментов могут быть той средой, в которой распространяются солитоны за счет энергии, в ней запасенной. Замечательно, что при движении солитонов не происходит потери энергии. Это очень ценное свойство с точки зрения создателей нового поколения микросхем.

Была предложена такая модель молекулярного переключателя на органической основе. Белковая цепочка присоединена к светочувствительной молекуле — хромофору. Молекула хромофора переходит из активного состояния в пассивное и обратно при движении солитонов вдоль цепочки белка. Если она находится в возбужденном состоянии, то под влиянием падающего света в ней возникает электрическое напряжение. Если в спокойном, то при воздействии света напряжения не возникает. Используя такой переключатель как элементарную ячейку, можно составить более сложные переключающие схемы вплоть до устройств сложения и деления, применяемых в ЭВМ.

Ученых привлекают две заманчивые идеи конструирования органических материалов для будущих биосхем. Первая состоит в том, чтобы создать тонкую органическую пленку с помощью последовательного нанесения мономолекулярных слоев с поверхности жидкости на подложку. После высыхания слои можно скрепить электронным пучком. Вторая идея — более отдаленного будущего: использовать успехи генной инженерии, с тем чтобы «подправить» нужным образом белковые структуры, особенно те, которые обладают необычными свойствами.

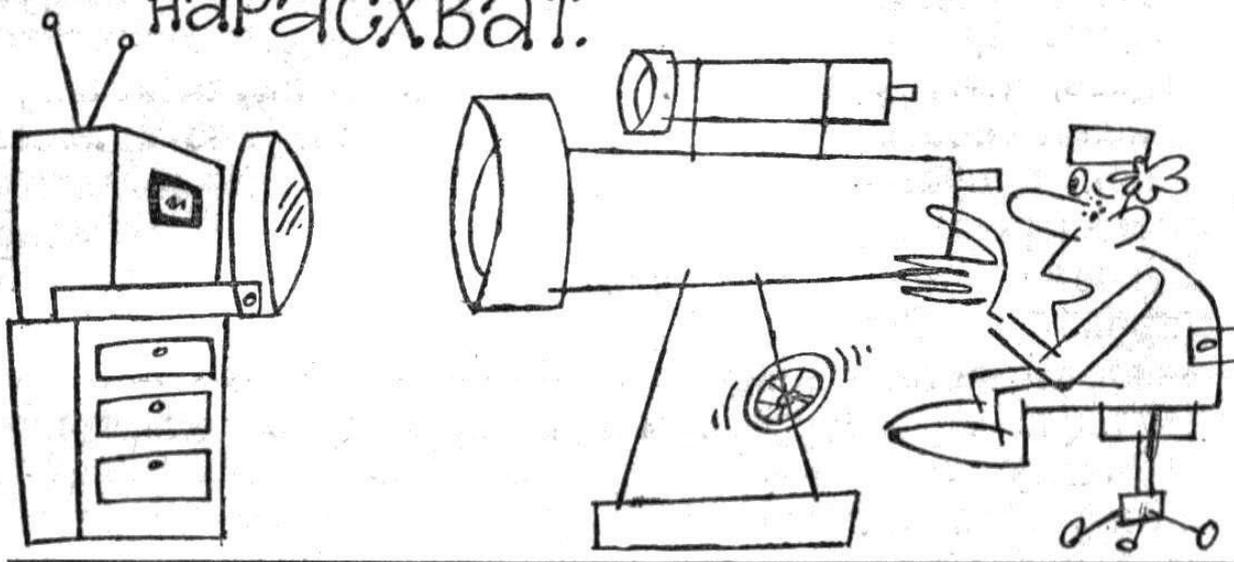
Ряд ученых прочат в качестве «памяти» будущих биологических ЭВМ молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты), в которых природа зашифровала код нашей жизни. Один из руководителей американской компании «Белл телефон» выразился так: «Первоначально наше внимание было обращено на то, каким образом природа создала исключительно эффективную сигнальную систему. Если рассмотреть все имеющиеся виды хранения и передачи информации,

нетрудно увидеть, что один из наиболее удачных способов, существующих в природе, осуществляется при помощи молекул ДНК. Мы еще не вполне готовы подключить телефонные провода к ним. Пока мы просто хотим посмотреть, чему у таких молекул можно научиться».

Специалист невольно отметил еще одну из проблем будущих биоустройств. Как электрически соединять молекулы-переключатели? Ведь молекула слишком мала; ее невозможно подсоединить к обычному электрическому проводнику. Ученые рассчитывают сделать это с помощью «химических проводов» — полимеров. Они имеют цепную структуру и могут проводить электрический ток.

Микротехника, создаваемая сегодня из биологических материалов, делает первые, пока еще робкие, шаги, и, возможно, лет через 10—15 информационные биоустройства станут нам столь же привычны, как и нынешние ЭВМ. А дальше, как говорится, чем черт не шутит, может, удастся создать робота на биоэлементах, похожего на нас с вами?

ТРЕХПРОГРАММНЫЙ ШЕСТНАДЦАТИЛАМПОВЫЙ КВН-49 — ПРОСТОЙ И ДЕШЕВЫЙ — БЫЛ НАРАСХВАТ.



РАДИОВОЛНА НА ЭКРАНЕ

**«ОТЕЦ АМЕРИКАНСКОГО
ТЕЛЕВИДЕНИЯ»
ВЛАДИМИР ЗВОРЫКИН**

Те, кому за сорок, еще помнят наш первый отечественный самый массовый телевизор КВН-49. Перед махоньким экраном помещалась выпуклая линза, о которой почему-то с гордостью говорили, что она наполнена дистиллированной водой. Увеличенное линзой изображение подчас напоминало зеркало из комнаты смеха. Тем не менее, телезрители той поры, затаив дыхание, следили за перипетиями действия, происходившего на голубом экране.

Трехпрограммный шестнадцатиламповый КВН-49 — простой и дешевый — был нарасхват в магазинах. Пережил он своих собратьев и выпускался аж до 1960 года. Завидное долголетие! Наделали его более одного миллиона трехсот тысяч. Кстати, он был единственным телевизионным приемником по схеме прямого усиления, все остальные телевизоры — супергетеродинного типа. Конечно, от современных красавцев с огромным экраном КВН отличается, как небо от земли, но заслуги его неоспоримы. Благодаря ему телевидение пришло во многие семьи.

Сколько труда было вложено в удивительное открытие

— телевидение! Сколько имен связано с ним! Об этом стоит хоть немного вспомнить.

Идея телевидения возникла раньше, чем были открыты радиоволны. Попытки передать изображение по проводам относятся к середине 70-х годов прошлого века. В самой идее передачи изображения нет ничего необычного. Любой наблюдаемый нами предмет «разбивается» на множество элементов, и они передаются не одновременно, а поочередно один за другим. Вернее, передаются не элементы, а сигнал об их яркости. Чем больше число элементов, тем больше четкость изображения, тем менее заметно для глаза разбиение.

Важна и скорость передачи. Надо, чтобы в момент передачи последнего элемента глаз еще «помнил» яркость первого. И этот промежуток времени не должен превышать 0,1 секунды. Так поочередно переданные элементы в силу свойств нашего глаза можно сложить в единую картину.

Последовательную передачу изображения по элементам называют разверткой изображения. Иногда мы слышим такую фразу: «Погорел строчник в телевизоре, нет развертки». Значит, вышел из строя генератор строчной развертки, который заставляет электронный луч в кинескопе обегать построчно весь экран, воссоздавая изображение.

К тому времени, о котором идет речь, то есть к середине 70-х годов прошлого века, было известно свойство селена изменять свое сопротивление в зависимости от количества падающей на него световой энергии, и, следовательно, можно было информацию о яркости каждого элемента представить в виде электрического сигнала. А изобретение телефона доказало, что сложные электрические сигналы можно передавать по проводам. Оставалось самое главное: практически осуществить развертку изображения и воссоздать его на приемном конце. Многие бросились придумывать способы «электрического видения». Так было названо будущее телевидение в одном из заголовков газет. (Кстати, возникновение термина «телевидение» относится к 1900 году. Впервые его употребил русский инженер-электрик К. Д. Перский в докладе «Электрическое телевидение» на Международном конгрессе в Париже.)

Какие только идеи не выдвигались, однако при том уровне техники они так и не воплотились, как говорят, «в железо». Среди них оригинальностью и глубиной

проработки отличалось устройство, предложенное 20-летним Порфирием Ивановичем Бахметьевым, ставшим впоследствии известным своими трудами в области физики и биологии.

В 1880 году Бахметьев, в ту пору студент Цюрихского университета, изобрел устройство, которое назвал «телефотограф». Изображение в нем разворачивалось рядом светочувствительных селеновых элементов, быстро оббегающих по спиральной траектории всю плоскость передаваемого оптического изображения. Сейчас такая траектория движения датчика широко применяется, в том числе в радиолокации, чтобы захватить цель на сопровождение, а также в разных оптических системах поиска.

Селеновые элементы преобразовывали свет от отдельных участков изображения в электрические сигналы, которые по проводам поступали на приемный пункт. Там картина воссоздавалась с помощью ряда газовых горелок, движущихся синхронно по такой же спирали, как и на передающем конце. Электрические сигналы, пришедшие на приемный конец, управляли заслонками, которые регулировали поступление газа в горелки. Так модулировалась яркость свечения. Скорость синхронного движения селеновых датчиков и горелок была небольшой — пять циклов в минуту. Так что телефотограф был рассчитан на передачу неподвижных и медленно перемещающихся объектов.

Закон спирали нашел свое продолжение в изобретении Пауля Нипкова, которое он запатентовал в Германии в 1884 году. Это, пожалуй, первое изобретение в области телевидения, принесшее практическую пользу.

Основной его элемент — разворачивающий диск из непрозрачного материала, известный ныне как диск Нипкова. Диск имел квадратные отверстия (у Нипкова их было 24) размером немногим более двух миллиметров. Они располагались по спирали на краю диска и были сдвинуты относительно друг друга на равные углы. Расстояние между ними и было как раз шириной кадра. Причем каждое последующее отверстие сдвинуто ближе к центру самого отверстия.

Передаваемое изображение фокусировалось на небольшом участке, на краю диска в пределах ограничительной рамки, которая и определяла размер передаваемого изображения. При вращении диска каждое отверстие поочередно прочерчивало дугообразную полосу,

называемую строкой, а за один оборот диска строки поочередно заполняли все пространство внутри рамки, образуя кадр. Число строк разложения равно числу отверстий в диске, а число кадров в секунду — скорости вращения диска.

Если смотреть сквозь отверстия быстро вращающегося диска на предмет, изображение которого нужно передать, то он виден целиком, тогда как на самом деле в каждый данный момент времени лишь один из его элементов появляется в одном из отверстий диска.

Блуждающие лучики света, рвущиеся из отверстия, собирала линза и фокусировала на селеновом элементе. Селен превращал их в последовательность токовых сигналов, каждый из которых был пропорционален яркости отдельных элементов изображения.

На приемной стороне Нипков предложил использовать магнитооптический модулятор света, который бы изменял его яркость в зависимости от величины проходящего тока. Обычная осветительная лампа не годилась. Она не могла менять яркость свечения с такой скоростью: слишком долго нагревалась и остывала ее нить. Принцип действия модулятора был основан на эффекте Фарадея. Мы уже упоминали о нем; постоянный магнит влияет на луч света, а конкретнее — он поворачивает плоскость его поляризации. Тем опытом Фарадей показал, что свет имеет электромагнитную природу. Не будем касаться устройства модулятора. Он не так уж и важен для истории телевидения, и не так уж и сложен сам по себе. Главное в изобретении Нипкова — его диск. Он нужен был и на приемном конце. Мало того, чтобы правильно расставить все сигналы яркости на свои места, диск должен был вращаться синхронно с диском в передатчике.

Разложение изображения с помощью диска Нипкова было настолько простым и удачным решением, что диск впоследствии использовали в большинстве практических систем так называемого механического телевидения.

Хотя главная деталь механического телевидения — диск Нипкова — изобретен в 1884 году, потребовались еще десятилетия, чтобы механический телевизор стал реальностью. Увы, другие элементы были еще несовершенны. Не умели пока изменять яркость источника света на приемном конце с требуемой быстротой, да и селеновые

элементы тоже не столь уж быстро реагировали на изменение света.

Только потом появятся безынерционные неоновые и другие газосветные лампы и фотоэлементы, работающие на принципе внешнего фотоэффекта (в изучении данного явления большую роль сыграли труды русского физика А. Г. Столетова в 1888—1890 годах). Спустя 40 лет после предложения Нипкова, в 1925 году, Д. Берц в Англии и Г. Джекинс в США почти одновременно продемонстрировали передачу движущихся изображений. Этот год считается рождением механического телевидения. У нас в стране первая демонстрация механического телевидения прошла в 1926 году на V Всероссийском съезде физиков.

Началась эра механического телевидения 29 апреля, и 2 мая 1931 года у нас в стране вышли в эфир на коротких волнах опытные передачи. Кстати, предложил использовать радиоволны для передачи телевизионных сигналов русский подданный М. Вольфке в своем патенте от 1898 года.

А с октября 1939 года в Москве на средних волнах начались регулярные передачи телевидения. На Никольской улице (ныне улица 25-го Октября) в доме номер 7 была создана студия, в которой работали первые телережиссеры и телеоператоры. Сначала телевидение было немым и заговорило лишь в 1934 году. В день открытия регулярных звуковых трансляций в передаче принял участие Иван Михайлович Москвин. Он прочитал чеховского «Злоумышленника». Помимо Москвы передачи велись в Ленинграде, Киеве, Томске, Одессе.

В 1932 году промышленность начала выпуск дисковых телевизоров для продажи населению. Сначала в Ленинграде была изготовлена первая партия — 20 штук, а позднее на заводе имени Козицкого был налажен выпуск массовой модели БТ-2. Выпускали даже комплекты деталей для сборки дисковых телевизоров самими покупателями.

В 1934—1935 годах механическое телевидение достигло довольно высокого по тем временам уровня. Были созданы системы развертки на 120—180 и даже на 240—270 строк. Но эти, можно сказать, отчаянные усилия улучшить качество изображения оказались, в конце концов, напрасными. Главный дефект механического телевидения, а именно — низкая чувствительность

передающей аппаратуры) — был неустраним по той простой причине, что из общего светового потока лишь ничтожная его часть, прошедшая через маленькое отверстие в диске, попадала на фотоэлемент. Основная же часть бесцельно терялась на поверхности диска.

Чем больше строк, то есть выше четкость изображения, тем меньше по размеру должно быть отверстие в диске, тем меньше света попадает на светочувствительный элемент, и сигнал от него тонет в электронных шумах на входе усилителя передатчика. Ни самые светосильные объективы, ни самые мощные источники света не спасли механическое телевидение. В нашей стране оно просуществовало до 1941 года.

Современное же полностью электронное телевидение имеет другое происхождение. Первые шаги сделал профессор физики Петербургского технологического института Борис Львович Розинг. Его приоритет признан во - всём мире, но почему-то имя его не столь широко известно, а между тем XX век — еще и век телевидения.

Родился Борис Розинг 23 апреля 1869 года в Петербурге в семье действительного статского советника, чиновника особых поручений при начальнике Главного штаба. В 1891 году после блестящего окончания Петербургского университета Борис Розинг был оставлен при кафедре физики «для подготовки к профессорскому званию». С 1893 года началась его преподавательская деятельность.

Он был среди 342 видных русских ученых, подписавших опубликованную в печати известную статью «О нуждах просвещения», прозвучавшую как обвинительное заключение царскому самодержавию накануне революции 1905 года.

В последние два года жизни Розинг работал в физической лаборатории лесотехнического института в Архангельске. Он занимался усовершенствованием своих фотоэлектрических аппаратов для людей, потерявших зрение, — «читающей машины» и прибора для ориентировки слепых. Смерть, последовавшая 20 апреля 1933 года от кровоизлияния в мозг, не позволила ему завершить работы.

Проблемой «видения на расстоянии», так тогда называлось телевидение, Розинг заинтересовался еще в студенческие годы. Его внимание привлекла электроннолучевая трубка, созданная в 1897 году немецким

физиком К. Ф. Брауном. Она предназначалась для осциллографа, прибора, с помощью которого можно было визуально наблюдать быстропротекающие электрические процессы.

Розингу пришла мысль использовать ее для телевидения. Пусть вместо диска Нипкова с модулируемым источником света безынерционный электронный луч нарисует на экране трубки изображение.

Трубка Брауна в том виде, в котором она существовала, не годилась для приема телевизионных изображений. В ней нельзя было мгновенно изменять яркость свечения экрана. А мы помним, что передаваемая картина представляет собой набор элементов с разной яркостью.

Розинг усовершенствовал трубку, ввел в нее новые электроды. Первые опыты он начал в 1902 году, однако только спустя пять лет, в 1907 году, когда у него не оставалось сомнений в правильности выбранного пути, он сделал официальную заявку на патент в России, Англии и Германии. В предложенной телевизионной схеме, названной им устройством «катодной телескопии», использовалась механическая развертка в передающем устройстве и электронно-лучевая трубка в приемнике. Пока это еще была смешанная механико-электронная система, но первый шаг был сделан: вместо диска Нипкова — прообраз кинескопа.

Сообщения об изобретении Розинга были опубликованы в ряде стран. Его работами заинтересовались за рубежом. Пробовали купить права на изобретение, обещали финансировать дальнейшие работы. Но безуспешно.

Спустя четыре года Розингу удалось изготовить аппаратуру, и 9 мая 1911 года он продемонстрировал группе физиков прием изображения на экране электроннолучевой трубки. Первая в мире телевизионная картинка имела вид четырех светлых полос на темном фоне.

Еще в 1910 году в VI отделе Русского технического общества Борис Львович сделал обзор оптико-механических систем передачи изображений и высказал твердую уверенность, что будущее за электронными системами телевидения. «...К счастью, наука знает один из таких идеальных механизмов — это катодный пучок, являющийся вследствие разряда электричества в круковой трубке.

Этот же пучок способен подавать и световые сигналы, образуя при падении на флюоресцирующий экран яркое пятно. Этим-то механизмом и следует воспользоваться для целей электрической телескопии».

Современное телевидение зиждется как раз на «идеальном механизме», о котором говорил Розинг, — электронном пучке.

Среди заграничных исследователей у Розинга был единомышленник — американец Кэмбелл-Свинтон. В своей статье, опубликованной 18 июня 1908 года в журнале «Нейчур», он предложил использовать электронно-лучевую трубку и в приемнике и в передатчике. Но все помыслы Кэмбелла-Свинтона остались на бумаге. Аппаратуру ему изготовить не удалось.

Свою твердую убежденность в будущем электронного телевидения Розинг передал своему ученику Владимиру Кузьмичу Зворыкину — талантливому изобретателю, человеку интересной судьбы. Он претворил в жизнь идеи своего учителя, но в... Америке.

Зворыкин родился в 1889 году в Муроме. В 1912 году окончил Петербургский технологический институт, где начал под руководством Бориса Львовича работу над электронными системами телевидения. «Особого интереса электронное телевидение в институте не вызывало, — вспоминал Зворыкин. — Мне говорили, что я пытаюсь заменить человеческий глаз. Я же спросил, в свою очередь: а вы можете увидеть своими глазами обратную сторону Луны?»

Далеко смотрел студент из старинного русского города Мурома...

После окончания института Зворыкин в Париже. Под руководством Поля Ланжевена исследует рентгеновские лучи в Коллеж де Франс. Первая мировая война прервала работу, Владимир Кузьмич вернулся на родину, вступил в армию офицером-связистом. В 1917 году эмигрировал. С 1919 года он в США, где спустя пять лет получил гражданство. В 1926 году защитил докторскую диссертацию в Питтсбургском университете.

Наиболее важным изобретением Зворыкина была первая передающая трубка типа иконоскоп, запатентованная им в 1923 году. Через год Зворыкин предложил кинескоп — телевизионную приемную трубку, став тем самым создателем основных передающего и приемного элементов электронного телевидения.

В 1929 году Владимир Кузьмич, работавший в то время в фирме «Вестингауз», продемонстрировал телевизионный

приемник на базе разработанного им кинескопа. Демонстрация имела шумный успех. На ней присутствовал Давид Сарнов, или, на американский манер, Дэвид Сарнофф, преуспевающий капиталист и предприниматель, основатель знаменитой фирмы «Радио корпорейшн оф Америка», тоже выходец из России, переехавший в США в 1900 году. Его называли «бароном технологии», по мнению американцев, он дал их стране больше, чем Эдисон.

Телевизор Зворыкина восхитил Сарнова. Он сразу понял, какие выгоды он сможет извлечь из изобретения Зворыкина, и тотчас же пригласил его в свою фирму. Сарнов решил превратить телевидение в коммерческую реальность.

В 1930 году Владимир Кузьмич стал директором Электронной исследовательской лаборатории, а в 1931 году существенно усовершенствовал свой иконоскоп. 30 октября 1931 года фирма смонтировала на самом высоком небоскребе «Эмпайр стейт билдинг» экспериментальную телевизионную антенну и начала пробные передачи. Правда, до коммерческой реализации электронного телевидения было еще далеко. Слишком сложно для массового производства оказалось устройство электронной развертки. В то время серьезную конкуренцию ей составляли дешевые механические системы развертки. Но фирма упрямо не принимала их. Зворыкин был уверен: будущее за электронным телевидением. Недаром в США его называли «отцом американского телевидения».

Наконец «в апреле 1939 года на Нью-йоркской международной выставке фирма «Радио корпорейшн оф Америка» продемонстрировала свои возможности. Ее радиопередатчик, установленный на «Эмпайр стейт билдинг», начал регулярную трансляцию телепередач. Выпустили небольшую партию телевизоров. Они были страшно дороги — по 626 долларов. Для сравнения: новый автомобиль в ту пору можно было купить за 900 долларов. Интересно, что в 1932 году автомобиль в среднем стоил 600 долларов, а стоимость автомобильного радиоприемника составляла 55 долларов.

Тотчас же к выпуску телевизоров подключились другие фирмы, и цены несколько снизились. В 1940 году телевизоры стоили от 125 долларов (двухканальная модель с размером экрана 7,6 сантиметра) до 595 долларов для модели с размером экрана 31 сантиметр, принимавшей

семь каналов телевидения и имевшей еще автоматическую радиолу. В том же году начались и экспериментальные передачи цветного телевидения, но вторая мировая война задержала работы в этом направлении.

В годы войны Зворыкин занимался разработкой электронно-лучевых трубок для инфракрасных прицелов управляемых снарядов. В 1947 году он был избран вице-президентом фирмы «Радио корпорейшн оф Америка», а после ухода в отставку в 1954 году стал единственным в истории корпорации почетным вице-президентом.

Уйдя в отставку, Зворыкин занялся медицинской электроникой. Стал даже основателем-президентом Международной федерации медицинской и биологической техники. Он считал, что со временем рентгеноскопию заменят радиочастотные аппараты, и его предсказание начинает сбываться.

Более ста патентов получил Зворыкин, и до глубокой старости не иссякал в нем творческий интерес ко всему новому в области электроники. «Я все еще учусь», — любил повторять Владимир Кузьмич, когда ему уже шел десятый десяток. Страсть к познанию в таком возрасте достойна восхищения, если учесть, сколь стремительно в наше время развитие электроники.

Его тянуло на родину. Не раз приезжал в Союз, поддерживал научные контакты с ведущими советскими учеными...

В СССР проект передающей электронно-лучевой трубки предложили В. П. Грабовский, В. И. Попов и Н. Г. Пискунов в 1925 году. Передающая трубка была предложена не сама по себе, а вместе с системой полностью электронного телевидения, которую они назвали «радиотелефот».

Инженеры не ограничились подачей заявки на изобретение, но и заключили с Трестом заводов слабого тока договор на изготовление действующего макета полностью электронной телевизионной установки. Срок был предельно мал: три месяца. По нынешним временам — вообще смехотворный. В срок инженеры не уложились, и не только из-за сложности задачи. Мешали также и организационные неурядицы. Через три месяца договор был расторгнут. И как ни просил Розинг не прекращать работу, договор все-таки расторгли. На решение повлиял и отрицательный отзыв известного ученого в области

радиофизики, избранного через четыре года академиком, Леонида Исаковича Мандельштама, который был в числе экспертов, контролировавших работу.

Грабовский пытался пробивать свою идею, но безуспешно. Наступила эра механического телевидения, и интерес к их предложению иссяк. Правда, когда речь заходит о мировых приоритетах в телевидении, то на заявку трех инженеров обязательно ссылаются в специальной отечественной литературе.

В 1931 году С. И. Катаев предложил вариант передающей трубки, но не довел его до действующего образца из-за технологических трудностей изготовления светочувствительной мозаики. Точки над «и» поставил Зворыкин, когда он в том же году значительно усовершенствовал свой иконоскоп. Изобретение иконоскопа явилось поворотным пунктом в истории телевидения. Он длительное время широко использовался во всех телевизионных передающих камерах.

В конце 1934 года работающий иконоскоп был и у нас, а в следующем году, 2 февраля, состоялась первая в СССР публичная демонстрация системы электронного телевидения. Впоследствии появился целый ряд более совершенных передающих трубок, в создании которых зримый след оставили наши специалисты.

В 1936 году началось строительство телецентров в Москве и Ленинграде. Опытный ленинградский телевизионный центр (ОЛТЦ) оснащался отечественным оборудованием, рассчитанным на передачу с частотой 240 строк. Для приема передач ОЛТЦ по заданию Всесоюзного радиокомитета в НИИ телевидения под руководством Расплетина Александра Андреевича, ставшего впоследствии академиком, крупным ученым в области радиотехники и систем управления, создавался телевизор. Первому серийному электронному телевизору решили присвоить марку в честь заказчика — ВРК.

«...16 сентября 1937 года впервые в СССР состоялась публичная демонстрация высококачественного телевидения», — сообщила ленинградская вечерняя «Красная газета» о выходе в эфир Опытного телецентра. С началом регулярных передач телевизоры были установлены в Домах культуры, Дворце пионеров, красных уголках заводов и фабрик.

Для Московского телецентра аппаратура была закуплена в США. Она давала несколько лучшее качество

изображения — 343 строки. Телевизоры ТК-1 для приема московских передач делал завод имени Козицкого по американской документации. В нем было 33 радиолампы.

И ВРК и ТК-1 были громоздки, сложны в эксплуатации, а по стоимости недоступны рядовому покупателю. Их обслуживание требовало специальных навыков. Нужен был простой приемник невысокой стоимости. И такой телевизор был создан в начале 1940 года. Он выпускался заводом «Радист» под маркой 17ТН-1. Диаметр его трубки — 18 сантиметров.

17ТН-1 принимал передачи и Московского и Ленинградского телецентров. До начала войны в продажу поступило около 2000 телевизоров этой марки. Обычно передачи проводились два раза в неделю. Они собирали немало зрителей. Но смотреть их в большой компании было неудобно, а порой и невозможно: маловат экран.

Проблемой увеличения размеров экрана занимались А. А. Расплетин и И. М. Завгороднев (мы еще встретимся с ними, когда речь пойдет об использовании телевидения при обороне Ленинграда). На базе ТК-1 они разработали образцы проекционных телевизоров ТЭ-1 и ТЭ-2, в которых телевизионное изображение с кинескопа диаметром 10 сантиметров проецировалось с помощью объектива на экран размером метр на метр двадцать сантиметров. Эти телевизоры успешно демонстрировались в 1940—1941 годах. В начале 1941 года были созданы еще две модели телевизоров: 17ТН-3 и 23ТН-4. Диаметр экрана у последнего был уже 23 сантиметра.

В конце 1940 года у нас в стране утвердили новый стандарт — 441 строка. Такое же число строк было принято во Франции и Германии, в Англии чуть меньше — 405 строк, а в США с 1941 года — 525 строк.

Весной 1941 года началась реконструкция Московского телецентра с учетом нового стандарта. Но помешала война...

7 мая 1945 года, в День радио, первым в Европе возобновил работу Московский телецентр. Передачи шли еще по довоенному стандарту — 343 строки. В 1948 году, к 31-й годовщине Октября, Московский телецентр первым перешел на современный телевизионный стандарт — 625 строк.

В том же, 1945 году известный советский специалист

в области телевидения П. В. Шмаков, за 12 лет до начала космической эры, выдвинул идею использования искусственных спутников Земли для организации всемирного телевизионного вещания. Многим тогда эта мысль представлялась такой же фантастической, как и полеты к Луне.

Пройдет четырнадцать нелегких послевоенных лет — и в октябре 1959 года советский космический аппарат «Луна-3» сфотографирует обратную сторону нашего естественного спутника, по космическому телевидению передаст фотографии на Землю. Так Сергей Павлович Королев осуществит студенческую мечту Владимира Кузьмича Зворыкина...

Мы вспомнили, какими были первые телевизоры. С сегодняшними каждый из нас знаком лично. А каким будет телевизор в не столь уж далеком завтра, скажем, в году 2000-м?

«Прежде всего, телевизор станет плоским — так предсказывают специалисты. — Его, как картину, можно будет повесить на стену. В лабораториях уже есть телевизоры со стереоскопическим изображением. Разработаны проекционные приемники с большим экраном для коллективного просмотра в местах отдыха. А в других моделях экран изменится до размеров «карманного».

Расширятся функции телевизора: он станет источником оперативной справочной информации — через систему «Видеотекст» можно будет запросить из информцентра и увидеть на экране интересующие вас сведения. А «Телетекст» позволит выбирать из телевизионной справочной «книжки» нужные зрителю «страницы»: расписание самолетов, синоптическую карту с прогнозом погоды, сведения о новинках, поступающих в торговлю...

Главное место в квартире займет домашний информационно-развлекательный комплекс. С помощью дистанционного пульта можно будет управлять его работой, впрочем, можно заложить в память телевизора программу на много дней вперед...

Честно говоря, в таком деле, как электроника, предсказывать — дело не совсем верное. Неожиданное открытие может круто изменить облик целого направления. Так что и эти прогнозы к 2000 году могут стать уже вчерашним днем.

ЭТО НАЧАЛОСЬ ТАК...

Уже опыты Герца показали, что радиоволны способны отражаться от встречающихся на их пути предметов. Это явление и легло в основу радиолокации. Однако до умения определять по отраженным радиоволнам положение, скорость перемещения и другие характеристики какого-либо объекта науке и технике предстояло проделать долгий путь.

Главная сложность состояла в том, что лишь небольшая часть излучаемых волн попадает на объект локации. К тому же они частично поглощаются им, а частично рассеиваются в разные стороны. В результате в приемник поступает меньше одной миллиардной части от излучаемой энергии.

Идея радиолокации несколько моложе идеи радиосвязи. Еще в 1904 году немецкий исследователь Х. Хюльсмейер запатентовал в Англии и Германии устройство, которое с помощью герцевских волн обнаруживало бы металлические предметы, такие, как корабли и поезда. Оно предвосхищало некоторые черты будущих радаров: работу в УКВ диапазоне, использование параболических антенн... Был еще ряд интересных заявок, но ни одна из них так и не воплотилась в работающую аппаратуру. Слишком несовершенны были в то время передатчики и приемники. Перед нами еще один пример, как зачастую научная мысль опережает технические возможности. Техника обнаружения пошла по иному пути: улавливанию других волн — звуковых — от самолетных моторов.

Для этого строили огромные слуховые рупоры со сложной системой труб-резонаторов. В ясную безветренную погоду опытные бойцы-слухачи могли обнаружить самолет на расстоянии даже в 20 километров. На довоенных парадах на Красной площади можно было видеть, как впереди зенитных орудий везли таких «спрутов» из причудливо изогнутых звукоулавливающих труб. Такие звукоулавливатели в сочетании с прожектором получили у нас название «прожзвука».

Но «прожзвук» работал только при безоблачном небе, а вскоре выявился и другой дефект звуковых систем. При увеличившихся скоростях самолетов и высоте их полета направление прихода звука и направление на самолет стали так сильно различаться, что система оказывалась просто недееспособной. А появившиеся в начале

30-х годов дальние скоростные бомбардировщики становились очень опасными в случае прорыва противовоздушной обороны: увеличивалась их бомбовая нагрузка, резко возрастал возможный ущерб. Тогда и заинтересовались во многих странах идеей радиообнаружения. Можно, пожалуй, сказать, что изобретение радиолокации — своего рода реакция на появление мощной бомбардировочной авиации. Причем реакция довольно массовая: в 1934—1935 годах первые эксперименты по радиолокационному обнаружению были проведены в СССР, США, Франции, Германии, Италии и годом позже в Японии. Кстати, в Италии опыты ставил все тот же Маркони. Весной 1935 года он продемонстрировал, что с помощью радиоволн можно обнаруживать автомашины и... людей.

Действительно, каждое открытие ждет своего часа. Идея зрела... Инициаторами стали военные: один из энтузиастов нового дела П. К. Ощепков написал докладную записку народному комиссару обороны. Предложение заинтересовало маршала М. И. Тухачевского, заместителя наркома обороны, ведавшего в то время вопросами вооружений и новой техники. Он тотчас же распорядился включить в план научных работ на 1934 год проблему радиообнаружения самолетов, причем в числе первоочередных. Одобрил инициативу и К. Е. Ворошилов. Нарком рекомендовал привлечь к обсуждению проблемы видных ученых.

Такое совещание состоялось 16 января 1934 года в Ленинградском физико-техническом институте, где директорствовал академик А. Ф. Иоффе. Рассматривался вопрос: как создать прибор, способный обнаружить самолет на расстоянии 50 километров при высоте полета 10 километров. Все выступающие были за использование радиоволн, считали этот путь перспективным в принципе, но вместе с тем у большинства проскальзывали и осторожные нотки.

Например, специалист по акустике, профессор, будущий академик Н. А. Андреев считал, что еще рано отказываться от звукоуловителей и надо расширять исследования в области звукопеленгации. А академик Иоффе утверждал, что преждевременно проводить исследования на дециметровых и сантиметровых волнах (как раз в тех диапазонах, которые станут самыми ходовыми в радиолокации), и следует ограничиться лишь метровыми волнами. Абрам Федорович мотивировал

свой вывод тем, что, мол, более короткие волны будут отражаться от плоскостей самолета по оптическим законам («угол падения равен углу отражения»), и потому, отражаясь от самолета, такие лучи будут распространяться не в сторону наблюдателя, а от него, и весь ожидаемый эффект может быть сведен на нет. Как мы видим, даже академики не могли сказать ничего определенного. Вот сколь неизведанной была проблема. Сейчас это возражение выглядит несколько странным: видим же мы самолет в луче прожектора, хотя в глаз нам попадает рассеянный им свет.

Высказывались мнения и о преждевременности работ: дескать, нет технической базы для их осуществления. Говорилось также и о том, что надо бы расширить работы в инфракрасном диапазоне, чтобы обнаруживать



самолеты по тепловому излучению выхлопных газов.

Интересно, что такие работы проводились в 1932—1934 годах, но тогдашний теплоулавливатель, в отличие от нынешних, не годился ни для обнаружения самолетов, ни для обнаружения танков, а вот корабли он обнаруживал неплохо и был принят на флоте. Применялся в Великую Отечественную войну. Подводную лодку в надводном положении он обнаруживал за три-четыре километра, а эсминец — на дистанциях в пять раз больших.

Но вернемся к обсуждению. Горячо поддержал идею радиообнаружения директор Ленинградского электрофизического института академик А. А. Чернышев, причем он ратовал за постройку аппаратуры в сантиметровом и дециметровом диапазонах и даже предложил, чтобы работы вел его институт.

Совещание стало историческим для отечественной радиолокации. Отныне ее создание превратилось в государственную задачу.

В 1934—1935 годах были проведены опыты по радиообнаружению самолетов. Результаты обнадеживали. Но электрофизический институт, где проводились исследования, вдруг реорганизовали, руководство сменили, некоторые сотрудники устроились в другие институты. В частности, крупнейший физик-радиотехник Д. А. Рожанский и его сотрудник Ю. Б. Кобзарев ушли в физтех к Иоффе. Рожанский возглавил специально созданную лабораторию по проблеме обнаружения самолетов. Курс был взят на импульсную локацию. Рожанский вскоре умер, и работы возглавил Кобзарев. Лаборатории и удалось довести дело до конца.

15 апреля 1937 года можно считать днем рождения импульсной радиолокации в СССР. Именно в этот день под Москвой заработал макет импульсной станции. Немногочисленный штат лаборатории работал с задором, с выдумкой. Многие узлы были недопоставлены, приходилось изобретать замену тут же, на полигоне. Вместо запланированного мощного передатчика воспользовались подвернувшимся маломощным и все равно обнаружили самолет в 17 километрах.

К сожалению, путь от макета до промышленного образца затянулся из-за разного рода реорганизаций. Сложное тогда было время — 1937 год. Был отстранен от работы и репрессирован один из энтузиастов импульсного метода

локации П. К. Ощепков. Впоследствии, после десятилетнего отсутствия, он займется интроскопией — видением внутри непрозрачных предметов. Станет в 1954 году доктором технических наук, профессором. Одно из его увлечений — так называемая энергетическая инверсия — обращение вспять потока энергии, поиск условий, при которых без затрат можно извлечь тепло, рассеянное в окружающей среде. Подобные мысли были и у Циолковского.

Оппоненты, и довольно именитые, критикуют Павла Кондратьевича за эту идею. Она, по их мнению, противоречит второму закону термодинамики. Мысль — из хаоса извлечь энергию, хоть и представляется безумной, но сразу же вызывает аналогию — ведь и жизнь возникла из хаоса, а вот как это произошло — пока тайна...

Почти за год до войны, 26 июля 1940 года, станция была принята на вооружение под названием РУС-2 (радиоуправливатель самолетов). Ее чуть ранее изготовленный макетный вариант под названием «Редут» был установлен на Карельском перешейке, и всю финскую войну на нем шла боевая работа. Тогда же было принято решение построить под Ленинградом близ поселка Токсово стационарную установку с повышенной дальностью обнаружения. Кабины приемника и передатчика вместе с антеннами разместили на 20-метровых вышках. Но как ни спешили со строительством, финская война закончилась быстрее. А на токсовской станции начались эксперименты, в частности, по созданию такой важной системы, как автоматическое опознавание своих самолетов.

В физтехе сотворили «активный ответчик», который при контакте самолета с лучом радара генерировал импульс. Если всплеск на экране радара сопровождался приемом импульса, значит, отметка от цели принадлежит своему самолету, если же нет, то значит, самолет чужой. Так было положено начало работам по созданию радиолокационных систем «свой — чужой», определяющих государственную принадлежность самолетов. Задача опознавания — не из простых, и по сей день она одна из важнейших в радиолокации. В боевой обстановке порой трудно бывает разобраться, где свой самолет, где — чужой. А это важно, не то своего собьешь. В последние предвоенные дни такое устройство прошло испытание в реальных условиях под Москвой...

Началась Великая Отечественная война. С первым

же сигналом тревоги станция в Токсове перешла на боевое дежурство. Благодаря своим высоким антеннам она обнаруживала самолеты за 200 километров. По ее данным были уничтожены аэродромы на Карельском перешейке. Станция проработала всю войну.

Незадолго до войны первую Государственную премию за выдающуюся работу в области радиолокации получили создатели РУС-2 — Ю. Б. Кобзарев, П. А. Погорелко, Н. Я. Чернецов.

За месяц до войны, в мае 1941 года, были сделаны два образца станции «Пегматит», или, по-иному, РУС-2с, самой массовой в наших войсках во время войны. По своим характеристикам она была такой же, как и РУС-2, но занимала гораздо меньше места. Вся аппаратура станции перевозилась на одной автомашине. Она свободно помещалась в простой деревенской хате, а мачту антенны можно было прикрепить к дереву. Всего радиолокационных станций РУС-2 и РУС-2с за годы войны выпустили более 600.

Еще раньше — в 1939 году — была принята на вооружение радиолокационная станция РУС-1. Правда, работала она по другому принципу. Сигнал у нее был не импульсный, а непрерывный. Приемник и передатчик располагались на удалении 30—40 километров друг от друга. Передатчик своим излучением образовывал как бы «радиозанавес». Если самолет пролетал между приемником и передатчиком, то в приемник поступало два сигнала: один — прямо от передатчика, другой — отраженный от самолета.

Со школы мы знаем, что при отражении радиоволны от движущегося объекта ее частота изменяется на величину доплеровской частоты, которая зависит от скорости и направления полета самолета, а также от длины радиоволны. В месте приема два сигнала; прямой — от передатчика и отраженный — от самолета, складывались. Поскольку их частоты несколько отличались, то возникали так называемые «биения», то есть амплитуда суммарного сигнала «дышала» с частотой Доплера. Сигнал на выходе приемника записывался на бумажную ленту. Как начнутся такие «дыхания», значит, «радиозанавес» пересек самолет.

РУС-1 тоже работала на Карельском перешейке во время финской войны. Было выпущено 45 комплектов таких станций. Но используемый в них метод имел много недостатков, и во время Великой Отечественной войны

РУС-1 были перебазированы на менее ответственные участки — для охраны границы в Закавказье и на Дальнем Востоке.

Первые наши станции назывались радиоуправляемыми самолетами (РУС), английские же слова-синонимы — радиолокатор, радар — пришли к нам в грозном 1941 году вместе с закупленными станциями. Время было трудное, вооружений не хватало, производственная база на европейской территории страны была потеряна... И хотя английские термины прижились в нашем языке, это совершенно не значит, что прав Уинстон Черчилль, премьер-министр Великобритании в период второй мировой войны, который после ее окончания заявил в парламенте, будто именно англичане подарили миру радиолокацию — величайшее, по его словам, военное изобретение за последние 50 лет. Как мы убедились, это совсем не так.

ИЗ ТУПИКА...

За годы войны радиолокация сделала большой скачок. Особенно преуспели американские инженеры. У них и возможностей для исследований было несравненно больше, и главное — была мощная промышленная база. Американская станция орудийной наводки БСР-584 для зениток (такие станции назывались сокращенно СОН), выпущенная в 1943 году, оказалась настолько удачной, что не одно десятилетие использовалась по разным назначениям.

После войны авиация продолжала совершенствоваться, соответственно возрастали и требования к радарам, в частности, к дальности обнаружения. А она зависит от энергии сигнала. Чем больше его энергия, тем дальше, а, следовательно, и раньше можно обнаружить цель.

Энергия сигнала определяется просто: как произведение мощности сигнала на его длительность. Но оказалось, что мощность сигнала наращивать беспрестанно нельзя: не выдерживают ни передатчики, ни волноводы, подводящие сверхвысокочастотную энергию к антенне. Оставалось одно: увеличивать длительность сигнала. Тогда ухудшался другой не менее важный параметр — разрешающая способность по дальности. Это свойство радара наблюдать в отдельности следующие друг за

другом самолеты. Чем короче импульс, тем лучше раз решающая способность. Так, если длительность импульса одна микросекунда, то самолеты, летящие друг за другом на расстоянии ближе, чем 150 метров, будут на экране радара восприниматься как одна цель.

Ситуация в радиолокации складывалась тупиковая: чтобы иметь достаточную энергию, сигнал на передачу должен быть длинным, а при приеме, чтобы иметь хорошее разрешение и точность измерения дальности, — коротким. Как выйти из тупика?..

Спас радиолокацию от застоя новый вид сигналов. Их называют и сложными, и шумоподобными, и псевдослучайными, и широкобазовыми, и составными... В наш век всеобщей стандартизации попытка унифицировать терминологию здесь не увенчалась успехом. Такая разноголосица, видимо, не случайна, она отражает многообразие таких сигналов. Это могут быть и разнесенные во времени импульсы, каждый из которых излучается на своей частоте, и длинная синусоида, фаза которой меняется скачком через определенные промежутки времени, и отрезок высокочастотного шума... Главная их особенность в том, что произведение длительности сигнала на ширину полосы занимаемых частот, которое часто называют базой сигнала, больше единицы. Стараются сделать базу сигнала как можно больше. Для чего? Станет ясно чуть позже.

Итак, сложный сигнал чаще всего представляет собой длинный импульс со сложной внутренней начинкой: частотой или фазой, меняющимися по какому-либо закону. На приемном конце импульс надо укоротить, то есть сжать.

Интересно, что во время войны, как бы предвидя будущие осложнения, ученые уже подумывали о такой возможности. Правда, уровень техники тогда еще был не тот, чтобы изготовить подобную аппаратуру, да и особой потребности в этом не было. Так что засекреченные заявки остались лежать в досье патентных бюро как любопытные предложения, оставшиеся в наследство от военного времени.

В начале 50-х годов идея сжатия импульсов, несмотря на барьеры секретности, нашла свое аппаратное воплощение в разных странах и, причем в разных вариантах. В нашей стране одно из первых устройств сжатия сложных сигналов было создано радиоинженером Виктором Михайловичем Свистовым.

Первым сложным сигналом стал длинный импульс, частота заполнения которого изменялась со временем по линейному закону. Специалисты называют такой сигнал «импульсом с ЛЧМ» (с линейной частотной модуляцией). За рубежом есть еще и иное название: «чирп-сигнал». Любопытно происхождение термина. Специалисты фирмы «Белл» впервые использовали такой сигнал для передачи телеграфных посылок — «нулей» и «единиц». Если к линии подключали наушники, то в них прослушивалось нечто вроде щебетания птиц — «чирп-чирп-чирп...» Сегодня такой сигнал широко применяется в радарх.

Как же длинный импульс превратить в приемнике в короткий? Делается это так. По мере прихода длинного сигнала каждый его элемент запоминается на определенное время, а его частоту и фазу соответственно изменяют, чтобы она стала у всех элементов одинаковой. Затем в определенный момент времени все элементарные сигнальчики с одинаковой «начинкой» складываются, то есть, как бы выстраиваются вертикально один над другим. В результате длительность сигнала на выходе становится равной длине одного элементика, а его амплитуда резко возрастает. Интересно, что импульс становится короче в число раз, равное базе. Вот почему базу сигнала называют также коэффициентом сжатия, вот почему ее стараются сделать как можно больше.

Устройство, осуществляющее такую операцию, называют согласованным фильтром. Это понятие ввел в секретном докладе в 1943 году американский исследователь Норс. Такой фильтр строго индивидуален. То есть для каждого сигнала существует свой согласованный фильтр, на выходе которого амплитуда сигнала по отношению к мешающим шумам будет максимальной. Доклад был опубликован через 20 лет. Независимо от него идея, как мы видели, сама возродилась, но уже на новом уровне — для сжатия сложных сигналов. Сейчас почти все радиолокационные приемники строятся по схеме согласованного фильтра и близкой к нему.

Смысл согласованной фильтрации в том, что сигнал передатчика и фильтр в приемнике должны быть согласованы. На языке математики вышесказанное звучит так: амплитудно-частотные спектры сигнала и фильтра должны совпадать по форме, а фазочастотные спектры должны быть с разными знаками. Физически это, как

говорят, «прозрачно». Зачем усиливать все частоты и сигнале равномерно? Ведь одновременно мы усиливаем и вредные шумы, сопутствующие сигналу. Согласованный фильтр обрабатывает сигнал взвешенно. Он подчеркивает те частоты, мощность которых преобладает в сигнале. Ну а что касается обратного знака фазы — так это как раз и означает операцию задержки элементика сигнала и «подкрутки» его фазочастотной начинки таким образом, чтобы все частоты в сигнале в какой-то момент времени оказались в фазе и сложились бы. Тогда возникает узкий пик большой амплитуды, и чем больше частот в сигнале, то есть чем шире спектр сигнала, тем меньше длительность пика и тем выше он.

Вне пика сигнал как бы рассыпается, частоты гасят друг друга, но к великому сожалению, не везде полностью... Эти остатки, называемые «боковыми лепестками» (они располагаются по времени и спереди и сзади основного пика), причиняют много хлопот. Например, когда в луч радара попадает сразу несколько самолетов, «боковые лепестки» могут сбить оператора с толку.

Есть еще целый ряд причин, по которым от «боковых лепестков» надо избавляться. Появилось даже такое направление, как «синтез сигналов»: по требуемой форме сигнала на выходе согласованного фильтра надо найти, какой в данном случае будет сигнал у передатчика. Правда, удается получить нужный сигнал не всегда: порой задача не решается (просто физически не существует такого сигнала, чтобы получить какой бы нам хотелось отклик на выходе согласованного фильтра), порой требуются такие точности к реализации фазочастотной структуры сигнала, что их трудно выполнить.

В связи с развитием цифровой техники в современных радарах все чаще используется активный вариант согласованного фильтра — коррелятор. Это устройство с двумя входами. На один из них поступает сигнал с входа приемника, а на другой — копия излученного сигнала. Если принятый сигнал похож на копию, то на выходе коррелятора (коррелятор осуществляет две операции: умножение и накопление) появится сжатый сигнал, конечно, с боковыми лепестками, как и в пассивном согласованном фильтре. С точки зрения математики, согласованный фильтр и коррелятор — устройства

тождественные. В отличие от пассивного согласованного фильтра, корреляторов надо множество: на каждый элемент дальности, поскольку копия должна совпадать по времени с приходом отраженного от цели сигнала. Но сейчас, в эпоху микроминиатюризации, это не столь уж серьезный недостаток.

Зато коррелятор универсален. При смене сигнала не надо нового согласованного фильтра, а ведь современный радар имеет в своем арсенале, как правило, несколько разных сигналов. Чтобы перейти на новый вид сигнала, достаточно поменять копию.

В 50-е годы под радиолокацию была подведена и теоретическая база. Раньше, когда проектировали РЛС, полагались в основном на инженерный опыт. К счастью, он не противоречил разработанной теории, а скорее подтверждал ее правильность. Научной основой радиолокации стали теория вероятностей и математическая статистика. Плодотворность нового подхода показал в 1946 году в своей докторской диссертации будущий академик В. А. Котельников. Большую роль в распространении статистических методов среди инженеров-локаторщиков сыграла книга Вудворта «Теория вероятностей и теория информации с приложениями в радиолокации», вышедшая в 1953 году.

По теории, прием сигнала, будь то в радиолокации или в линии связи, сводится к угадыванию: присутствует на входе приемника сигнал вместе с шумом или только шум. В любой из этих ситуаций шум присутствует всегда. «Шум, как и бедность, являются неизбежным явлением», — невесело пошутил в годы Великой депрессии, охватившей Америку в конце 30-х годов, один известный американский радиоинженер.

Так что же шумит в радиоаппаратуре? Ну, во-первых, эфир сегодня всюду насыщен радиоволнами. Их источников великое множество: и молнии, и полярные сияния, и разного рода радиостанции, электромоторы... Перечисление всех источников радиоизлучений займет, пожалуй, не одну страницу, и постепенно открываются все новые источники помех...

Например, в результате исследований, проводимых американскими полярниками на радиостанции в Антарктиде, обнаружено, что магнитосфера, то есть та область, где магнитное поле Земли захватывает потоки заряженных частиц, сама является генератором всевозможных радиосигналов и шумов, всяких там свистов

и щебетаний. Мало того, эта область имеет свойство обогащать радиоволны, проходящие сквозь нее, новыми и довольно мощными частотными составляющими.

Складываясь в антенне, радиоизлучения от разных мешающих источников, как природных, так и естественных, и создают напряжение, маскирующее полезный сигнал. По-видимому, первые радисты, принимавшие морзянку, и назвали помехи, проявлявшие себя в виде щелчков, свистов, шорохов, тресков, завываний, шумом.

Но не только эфир поставляет шумы. Шумит и сам приемник, в основном его первые каскады. Это так называемый тепловой шум, вызванный хаотическим движением электронов в элементах схемы. Чем выше температура, тем интенсивнее движение электронов, тем сильнее шумит приемник. Специалисты применяют разные способы уменьшения теплового шума, вплоть до охлаждения первых каскадов приемника. Первых — потому что именно их шум усиливается последующими каскадами. Поэтому чем ближе усилительный каскад к входу приемника, тем большую шумовую лепту он вносит.

А для военных станций кроме уже упомянутых шумов есть еще и умышленные помехи, причем ассортимент их весьма разнообразен. И против каждого вида умышленных помех, как правило, придумывают специальную схему защиты.

Теперь, когда мы выяснили, что такое шумы, вернемся опять к обнаружению. Упрощенно оно производится так. В приемнике выставляется пороговый уровень. Если сигнал превысил порог, то считается, что цель обнаружена, если нет, то считается, что цель отсутствует. Поскольку шумы, да и сигналы тоже, суть случайные процессы (их поведение заранее точно предсказать невозможно, то есть нельзя сказать, каковы точно будут амплитуда и фаза полезного сигнала, какова будет величина шума в момент прихода сигнала, да и сам момент времени неизвестен), то при вынесении решения возможны ошибки.

Во-первых, может возникнуть такая ситуация. Цели нет, а шумовой выброс превышает порог. Все может быть в мире случая. Такая ошибка называется ложной тревогой, и она далеко не безобидна, особенно для автоматизированных систем, где нет оператора, контролирующего положение. Ложная тревога может привести к

несанкционированному пуску ядерных ракет, короче говоря, к войне. Сколько раз об опасных ошибках такого рода сообщалось в печати. Например, в докладе, опубликованном сенатской комиссией США по делам вооруженных сил в октябре 1980 года, говорилось, что за 1,5 года на командных пунктах штаб-квартиры командования ПВО от системы предупреждения поступило 3703 ложных сигнала о начале ядерной атаки на США. А в период с 1977-го по 1984 год компьютерные системы средств раннего предупреждения дали свыше 20 тысяч ложных сигналов о нападении на США, из которых пять процентов имели опасный характер и потребовали дополнительной проверки.

Ошибка другого рода — пропуск цели — тоже нежелательна. Цель есть, самолет или ракета летят, а сигнал, отраженный от них, не может превысить пороговый уровень. Почему так случилось? Причины тому могут быть разные. Например, в момент прихода сигнала так подобрались фазы, что шум подавил сигнал.

Поскольку мы имеем дело со случайными величинами: и шумом, и сигналом, то нельзя достоверно сказать, что если есть сигнал, то он обязательно превысит порог, а в его отсутствие превышения не произойдет. Мы можем говорить только о том, что эти события могут свершиться с некоторой вероятностью.

Конечно, и вероятность правильного обнаружения, и вероятность ложной тревоги зависят от порогового уровня. На вопрос, как его выбрать на все случаи жизни, единого ответа нет. Он определяется тем, что мы хотим или, говоря языком математики, тем, какой мы выбрали критерий. Можно, например, исходить из того, чтобы средний риск возможного от наших ошибок ущерба был минимален. Такой критерий называется байесовым. Есть еще критерии идеального наблюдателя, отношения правдоподобия и целый ряд других. Не будем в них углубляться — это уже область математической статистики, которая стала рабочим аппаратом проектировщиков радиосистем.

У разработчиков радаров наибольшей популярностью пользуется критерий Неймана-Пирсона. Выбранный согласно ему пороговый уровень при заданной вероятности ложной тревоги обеспечивает минимальную вероятность пропуска цели. Им пользоваться довольно удобно: не надо ломать голову, как оценить возможный ущерб от ошибок, не надо иметь предварительных

данных о том, как часто появляются цели. Задаются только вероятностью ложной тревоги и ею определяется пороговый уровень, потом находят энергию сигнала, достаточную, чтобы он с требуемой вероятностью превысил порог, а остальное, как говорят, дело техники...

Сложные сигналы оказались незаменимы в такой области, как радиолокационная астрономия. Именно там нужны сигналы с большой энергией и высокой разрешающей способностью, чтобы разглядеть с помощью радара как можно больше подробностей о наших соседях по Солнечной системе.

В 60—70-х годах получены радиолокационные карты Луны, Венеры, Марса, Меркурия. Плотный облачный покров, скрывающий поверхность Венеры от оптических наблюдений, оказался прозрачным для радиоволн. Локация Венеры принесла поразительные открытия: Венера в отличие от своих собратьев по Солнечной системе вращается «наоборот», а длительность венерианских суток длиннее, чем ее год. Радиолокационные наблюдения Меркурия в 1964 году развеяли заблуждения астрономов относительно длительности его суток.

С 80-х годов прошлого века астрономы были убеждены, что Меркурий всегда обращен к Солнцу одной и той же стороной, как и Луна при своем вращении вокруг Земли, и что сутки на Меркурии равны году. То есть за один оборот вокруг Солнца, который длится 88 земных суток, Меркурий совершает один оборот вокруг своей оси. Но радиолокация Меркурия показала, что за один меркурианский год он совершает полтора оборота вокруг своей оси. Астрономы-оптики отказывались верить: «Не может быть, чтобы заблуждались три поколения астрономов?!»

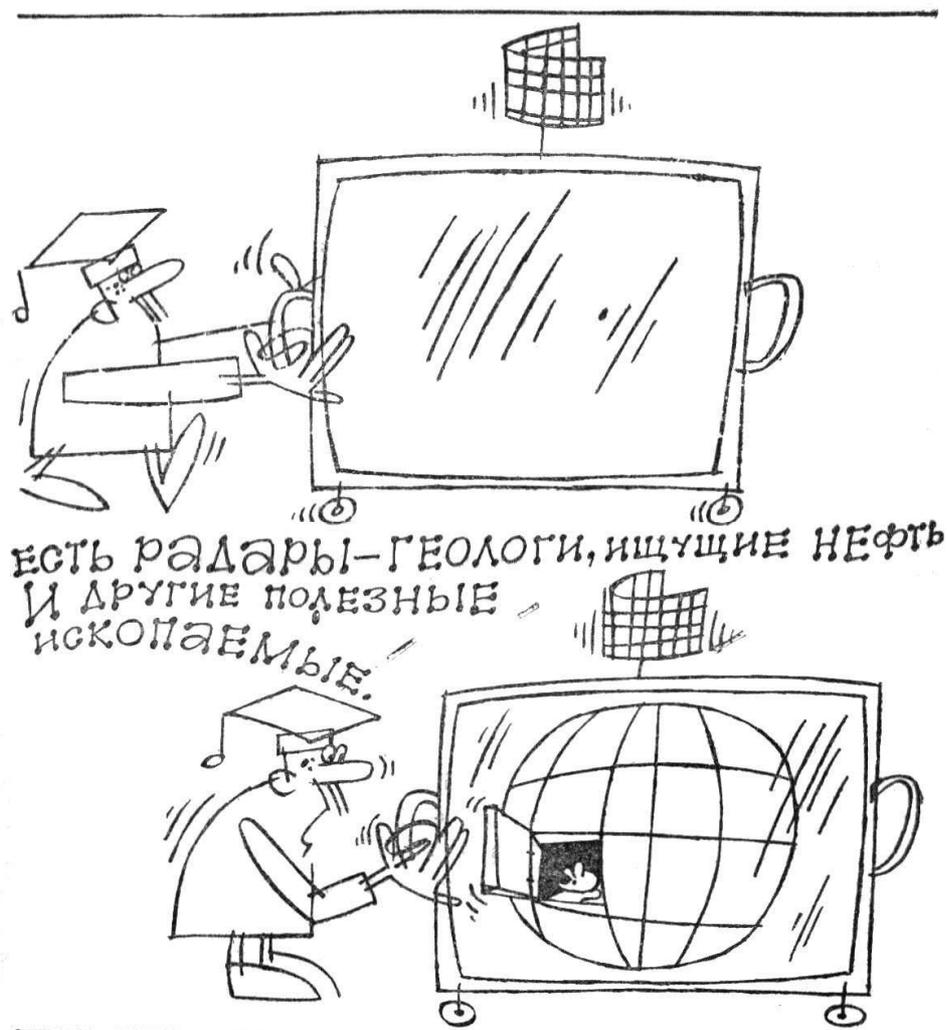
В 1973 году приняты радиолокационные сигналы от колец Сатурна. Такое огромное расстояние радиоволна пробегает за 2,5 часа.

Одно из самых важных применений радиолокатора в астрономии выглядит довольно скромно: измерение астрономической единицы с невиданной для оптических замеров точностью (с точностью до одной десятимиллионной). Но астрономическая единица (расстояние от Земли до Солнца) — основной масштаб астрономии, а при планировании космических полетов к другим планетам необходима именно такая точность. Например, если бы при полете советской межпланетной станции

«Венера-4», впервые опустившейся в атмосферу Венеры, было использовано прежнее значение астрономической единицы, то станция «промахнулась» бы и прошла мимо планеты на расстоянии трех ее радиусов.

Систематические радиолокационные наблюдения планет Солнечной системы используются учеными для разработки единой теории планет Солнечной системы, которая в десятки, сотни, раз будет точнее, чем существующая классическая теория, созданная на основе оптических измерений. Такая теория необходима для решения задач навигации межпланетных аппаратов.

Сложные сигналы используются и для связи с космическими объектами. А расстояния до них в буквальном смысле астрономические. Именно благодаря сложным сигналам при малой мощности передатчика на борту



космического аппарата удастся выделить глубоко сокрытые шумами послания из космических далей. Американский космический аппарат «Вояджер-2» с расстояния около трех миллиардов километров передал снимки планеты Уран. Мощность передатчика на борту «Вояджера» была 20 ватт, в месте приема она уменьшилась в 1018, или в миллиард миллиардов раз. А впереди предстоят еще съемки планеты Нептун, к которой «Вояджер» подлетит в 1989 году.

Фантастична также чувствительность устройств, принимающих сигналы из космоса, — радиотелескопов. В 1965 году на одной из научных выставок посетителю предлагали взять лежащий на столе небольшой листок бумаги. Перевернув его, посетительзнакомился с таким текстом: «Взяв со стола этот листок бумаги, вы затратили больше энергии, чем та энергия, которую за всю историю астрономии приняли все существующие в мире радиотелескопы».

СО СТОРОНЫ ВИДНЕЕ...

Радиолокация сегодня — обширная область техники, которая впитывает в себя все достижения электроники. С помощью радиолокации мы можем заглянуть не только в глубины космоса, но и в глубь Земли.

Казалось бы, какая связь между одной из самых таинственных загадок древней цивилизации майя и радаром? Историков давно занимал вопрос: каким образом удавалось прокормиться двум-трем миллионам индейцев майя в болотистых джунглях нынешних Гватемалы и Белиза в Центральной Америке, на территории которых находилось государство майя. Ведь в таких условиях не могут расти никакие зерновые культуры.

Совершенно случайно ответ был найден с помощью радара. Специалисты НАСА разработали его для изучения поверхности Венеры, а испытания проводили над Гватемалой. Радар обнаружил под густым пологом тропической зелени обширную сеть ирригационных каналов, выкопанных примерно в VIII—IX веках нашей эры. Только в Гватемальских джунглях сокрыты от глаз тысячи километров дренажных каналов.

Сегодня услугами радара пользуются археологи, и довольно успешно. Радары видят засыпанные землей фундаменты древних зданий и поселений.

Радиолокационные

изображения, полученные со спутника или самолета, помогают антропологам. Ведь на них бывают, видны исчезнувшие реки и озера, а древние предпочитали строиться ближе к воде.

Есть радары, измеряющие толщину льда, радары-метеорологи, радары-геологи, ищущие нефть и другие полезные ископаемые. Чтобы найти воду, не обязательно бурить скважину. Ее способен заменить все тот же радар. С помощью спутниковых и самолетных радаров создаются карты поверхностных вод, контролируется влажность почв, измеряется скорость ветра над морями и океанами, определяются границы районов вечной мерзлоты... Во льдах Антарктиды самолетные радары четко фиксируют метеориты поперечником всего лишь 15—20 сантиметров, ушедшие под лед на глубину нескольких десятков метров. В период вьетнамской войны американцы использовали радары для обнаружения 'подземных ходов партизан Южного Вьетнама.

Трудно перечислить всю ту информацию о Земле, которую можно получить и уже получают со спутников в радиоволновом диапазоне. Чтобы дать хоть какое-то представление о тех сведениях, прибегну к фантастическому приему. Попробуем представить себя на месте космонавта-инопланетянина, органы зрения которого воспринимают излучения нижней части СВЧ-диапазона. Тогда Земля не представлялась бы нам в таком виде, как нашим космонавтам, — голубой планетой, окутанной белыми облаками с зелеными вкраплениями полей и лесов, меняющей оттенки своей палитры с изменением погоды и солнечного освещения.

И днем и ночью мы видели бы стабильную картину, одинаковую и при облачной и при ясной погоде, и в полдень и в сумерках. Мы бы четко различали горы и поля, леса и пустыни, море и сушу, реки и озера, кварталы городов с их улицами и скверами... Вода — почвенная влага, болота, реки, озера, пресный и морской лед... — предстала бы перед нами во всем своем многообразии. Мы видели бы на несколько метров в глубь пустынь, находя под тысячелетним слоем песка следы высохших рек и погребенных городов, новые, неведомые нам прежде, детали подземного рельефа.

Затем, если бы могли перестроить свой «глаз» на более высокие частоты в СВЧ-диапазоне, то наблюдали еще и водяной пар, кислород, другие компоненты земной атмосферы. Мы бы увидели кухни погоды, как зарождаются

и скользят по океанским просторам тайфуны. В общем, перед нашими глазами предстала бы «живая» метеорология...

В последнее время в газетах нередко мелькают такие технические выражения: «боковая радиолокация», «радиолокатор бокового обзора», «синтезированная апертура». Эти понятия — часто синонимы.

Что же такое «синтезированная апертура»? Именно благодаря ей космические станции «Венера-15» и «Венера-16» смогли получить изображение поверхности Венеры. В течение восьми месяцев с октября 1983 года шла съемка.

Радиолокационные снимки получились довольно подробными, и по ним учеными Института геохимии и аналитической химии АН СССР составлена геолого-морфологическая карта северного полушария планеты от полюса до широты 30 градусов.

Оказалось, что ее поверхность во многом напоминает земную. Там есть и горные массивы, и отдельные кратеры. Удалось также найти и самую высокую гору высотой 11,5 километра. Полученные карты свидетельствуют о том, что формирование лика планеты еще не завершилось. Возможна крупномасштабная тектоническая активность.

Как удалось радару разглядеть с высоты одной-двух тысяч километров детали поверхности размером один-два километра? Ведь для этого необходима огромная даже по земным меркам антенна — диаметром около 70 метров. Вывести на венерианскую орбиту такую громоздкую конструкцию пока еще трудно. А инженеры обошлись антенной гораздо меньшего размера — всего лишь 6 на 1,4 метра.

Понятно, что чем уже луч антенны, тем больше деталей на поверхности можно различить. Ширина же луча зависит от размера антенны и от длины волны. Чем больше ее размер и чем меньше длина волны, тем уже луч.

Большую антенну на космической станции или самолете не всегда можно разместить. У самолета, например, в подобном случае резко ухудшаются аэродинамические свойства. Чтобы не портить аэродинамику, иногда в качестве антенны приспособливают фюзеляж самолета (такие системы также называются радиолокаторами бокового обзора). Но и тогда радиолокационным снимкам очень далеко до подробностей оптических фотографий. А длину волны тоже нельзя снижать до определенного

предела, не то начнут влиять метеоусловия.

И вот в конце 50-х — начале 60-х годов возникла такая мысль — сделать большую антенну искусственно: за счет движения самолета. Идея заключалась в следующем. Небольшая антенна радара «смотрит» в сторону, перпендикулярную движению самолета. Отраженный от земли сигнал записывается в цифровое запоминающее устройство. Например, на «Венерах» запись производилась на специальную металлическую ленту. Слово «земля» для Венеры звучит несколько необычно, но понятно, что имеется в виду поверхность планеты. В процессе съемки поверхности Венеры информация записывалась в память, а затем считывалась и передавалась по радиолинии на Землю.

Чтобы получить синтезированный радиолокационный снимок, запомненные сигналы складываются когерентно, то есть с учетом их фазы, которую предварительно корректируют на основании данных о скорости космического аппарата или самолета. Эту операцию называют «фокусировкой синтезированной апертуры».

Метод синтезированной апертуры использовался в радиолокаторе, установленном на борту космического корабля «Аполлон-17», для исследования поверхности Луны. Такие же радары были опробованы на американских челночных кораблях «Колумбия» и «Чэлленджер». На радиолокационных снимках пустыни на юге Египта четко видны русла высохших больших рек, погребенных Сахарой, и многие ранее неизвестные подповерхностные особенности рельефа. Видимо пустыня пришла сюда сравнительно недавно...

В радиоастрономии тоже нашел применение принцип синтезированной апертуры — для наблюдения за космическими источниками радиоизлучений. В этом случае она создается за счет вращения Земли вокруг своей оси.

Современный морской флот и авиация немислимы без радиолокации. Даже первые малосовершенные радары типа «Нептун» и «Створ», которыми оборудовались торговые и пассажирские суда в 50-х годах, позволили уменьшить аварии на море в 10 раз. Сейчас радары оборудованы все морские и многие речные

суда. Благодаря радарам повысилась не только безопасность, но и скорость движения судов.

Правда, и суда, оснащенные радаром, попадают в аварии. По сводке морских аварий 1958 года половина их произошла «при участии» локатора. Можно ли считать 50 процентов моряков-операторов разгильдяями? «Нет», — ответили ученые, изучавшие этот феномен. Многие аварии произошли из-за того, что усложнились взаимоотношения между человеком и техникой. При проектировании технических устройств не принимали во внимание «человеческий фактор». Оптимальным согласованием возможностей человека и техники занялась новая наука — эргономика. Сегодня ее значение особенно возросло. О сложностях взаимоотношений человека и техники в современном мире свидетельствуют крупные аварии на энергетических предприятиях, на море, на железных дорогах...

Многие читали роман Артура Хейли «Аэропорт» и получили представление о том, сколь велика психическая нагрузка диспетчера, когда на экране радара десятки самолетов. Малейшая ошибка может обернуться катастрофой. Немудрено, что не каждый может справиться с таким тяжким бременем. Поэтому и стараются автоматизировать процесс управления воздушным движением. Одна из отечественных систем — «Старт» — может следить сразу за 36 самолетами, находящимися в зоне аэропорта, давая о них нужные данные, которые позволяют управлять движением автоматически. «Старт» повысил пропускную способность аэропорта на 60 процентов, на 15—20 процентов сократилось время пребывания самолета в воздушном пространстве аэродрома. На первый взгляд скромные цифры. Но экономисты подсчитали, что годовая экономия на каждый самолет составила 2,5 миллиона рублей.

Антенны современных аэродромных радиолокаторов и радиолокаторов противовоздушной обороны представляют собой огромные сложные сооружения, насчитывающие до нескольких тысяч элементарных излучателей. Такие антенны называются фазированными решетками. Луч в них перемещается практически мгновенно из одной точки в другую по командам ЭВМ.

В обычных зеркальных антеннах, чтобы переместить луч, надо повернуть само зеркало, а на это уходят «дорогие» секунды. В фазированных решетках луч может выписывать в пространстве сколь угодно замысловатые траектории.

Там, где сложная помеховая обстановка, он задержится подольше; области пространства, где все спокойно, — осмотрит побыстрее. Иногда в шутку говорят, что с помощью современной техники, радиолокации об обнаруженном самолете можно узнать все, кроме фамилии летчика. Однажды довелось видеть художественный фильм о службе локаторщиков. Помню, удивил меня один кадр. По экрану радара ползет контур самолета. Постановщики фильма, конечно, перестарались. Цель на индикаторе кругового обзора будет все-таки в виде светящейся точки или дужки. Но, в принципе, в радаре может быть получено и изображение цели.

Одну из таких систем исследовали ученые Пенсильванского университета в США. Частота сигнала в подобном радаре изменяется скачком от импульса к импульсу, ступенчато. Каждая частотная ступенька-импульс, отразившись от цели, приобретает какую-то информацию о ее внешнем облике.

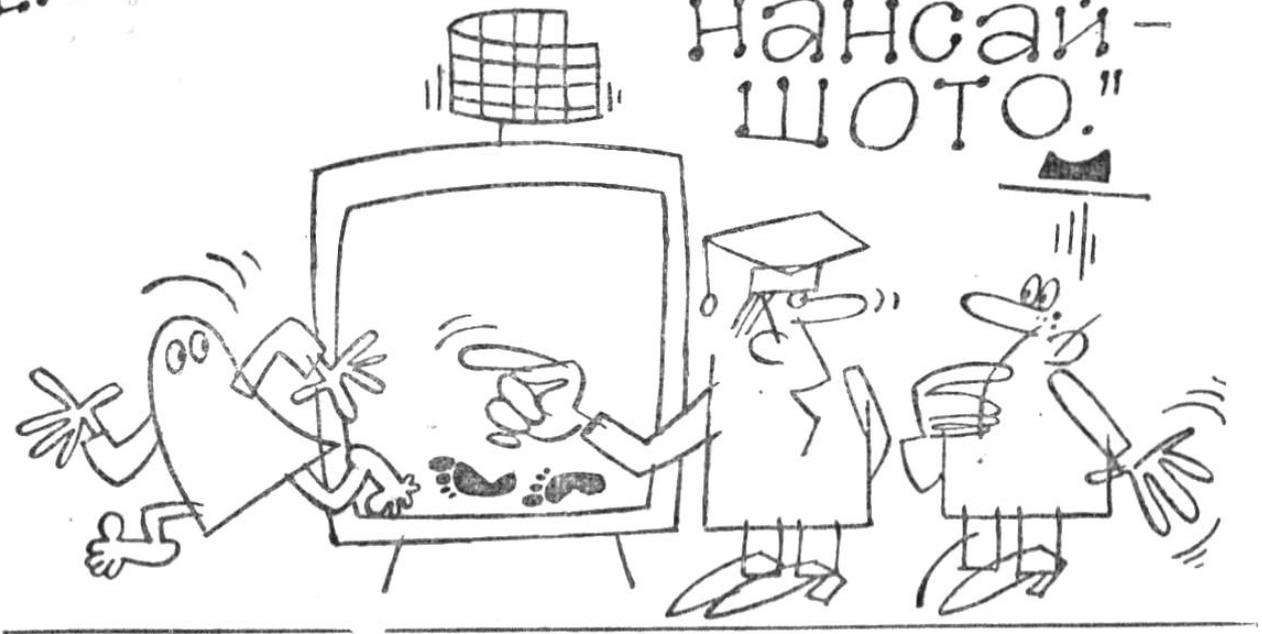
Но лишь по сигналу на одной частоте ничего определенного о форме объекта сказать нельзя. А вот когда частот будет много, несколько сот, то вся совокупность принятых сигналов, определенным образом скомбинированная в приемнике, превратится в радиолокационный портрет объекта, да такой, что на нем можно различить детали, отстоящие друг от друга на полметра;. Правда, для этого нужно не только разнести частоты, но и вместо одной большой антенны использовать несколько не больших, расположенных друг от друга на некотором расстоянии.

Полученный радиолокационный портрет сравнивается в ЭВМ с имеющимися в ее памяти стандартными «картинками» возможных воздушных объектов. Так происходит распознавание типа летательного аппарата.

Такой радар можно сделать и в миллиметровом диапазоне. Тогда он уместится в небольшом ящичке. Специалисты подумывают об использовании его в качестве «глаз» для ЭВМ, роботов и вместо рентгена в медицине.

Достижения радиолокации сейчас широко используются в разных областях радиоэлектроники: при создании систем навигации, телевидения, связи, в том числе радиорелейной и космической, в исследовательской аппаратуре. Так часто бывает — очень важная область техники, быстро развиваясь, становится мощным стимулятором развития целого ряда отраслей знания.

ЕГО ОКРЕСТИЛИ "СКАЧУЩИМ ПРИЗРАКОМ
НАНСАЙ-ШОТО."



ПРИЧУЛЫ РАДИОВОЛН

СКАЧУЩИЙ ПРИЗРАК НАНСАЙ-ШОТО

Поговорим теперь о загадках, а порой и курьезах, которые преподносили радиоволны и их собратья по «волновому семейству» — свет и звук. Хотя и несхожи они внешне, но проявляют себя часто одинаково.

Шла вторая мировая война. Внезапно на экране радиолокатора одного из крейсеров в Средиземном море появилась цель, находящаяся в пределах досягаемости его орудий. На вопрос о принадлежности ответа не получили. Капитан крейсера приказал открыть огонь по неопознанному кораблю. Артиллеристы палили всю, но безрезультатно: отметка о цели с экрана не пропадала. На крейсере ожидали ответного удара, его тоже не последовало. Цель по-прежнему оставалась неподвижной, а весь запас зарядов на крейсере уже исчерпали. Любопытство все-таки пересилило осторожность, и крейсер подошел к тому месту, где предположительно находилась цель. Перед наблюдателями простиралось бескрайнее пустынное море. И в момент, когда крейсер занял точно то место, где должен быть их таинственный «летучий голландец», отметка на экране радара вдруг исчезла.

В 1944 году американские подводные лодки вели боевые операции в японских водах. При выборе цели для

атаки подлодка всплывала к самой поверхности воды, и, выпустив антенну, проводила радиолокационную разведку. Очень часто на экране радара появлялись яркие точки, двигавшиеся наперерез лодке с явным намерением ее протаранить. Никакими маневрами подлодка не могла уйти от преследовавшего ее вражеского корабля. Когда столкновение казалось неминуемым, когда ожидали увидеть преследователя в перископ, яркая точка на экране исчезала, словно призрак. Его окрестили «скачущим призраком Нансай-Шото». Радиолокационные приборы, работавшие по принципу Допплера для выделения движущихся целей на фоне неподвижных предметов, оказались бессильными против таинственных сигналов. Они пропускали их на экран индикатора, словно это были эхо-сигналы от движущихся целей.

Исследование сигналов - «призраков» и причин, их вызывающих, началось в годы второй мировой войны. В военное время все, что касалось радиолокационных станций, тщательно засекречивалось, в особенности сведения о непонятных явлениях, которыми противник мог бы воспользоваться, чтобы затруднить обнаружение. Вопрос о радиолокационных «призраках» всячески замалчивался и в течение многих лет оставался лишь темой для обсуждения на закрытых совещаниях.

Американцы построили полигон для исследования «призраков» на пустынном засушливом юго-западе США. Выбор места не был случаен. Климатические условия полигона близки к условиям североафриканских пустынь, а в Северной Африке «призраки» довольно часто обманывали операторов и вводили в заблуждение командование союзников в 1943—1944 годах во время боевых действий. Для экспериментов создали несколько опытных радиолокационных станций.

Много усилий понадобилось, чтобы установить, что призраки — это радиолокационные миражи и имеют они такую же природу, как и миражи оптические. Сейчас может показаться странным, что не додумались сразу — ведь радио и световые волны из одного электромагнитного семейства. Оказалось, что провести такую аналогию не так-то просто. Да и сами оптические миражи — явление подчас довольно сложное, в то время не до конца понятное и привлекающее ученых своей таинственностью даже в наши дни...

ПРЕДВИДЕНИЕ РЭЛЕЯ

За полчаса до полуночи 27 марта 1898 года в Южной части Тихого океана вахтенный корабля «Матадор» из Бремена заметил на подветренной стороне на расстоянии двух миль большое парусное судно, борющееся со штормом. Оно несло прямо на «Матадор». При свете луны было видно, как днем. Огромные волны перекатывались через нос и бежали вдоль палубы незнакомого корабля. А между тем «Матадор» шел по спокойной воде. Стоял штиль. Матросы, пораженные необыкновенным, необъяснимым зрелищем, столпились на палубе в ожидании непоправимого. Неизвестный корабль внезапно переменял курс и оказался прямо перед носом «Матадора». Ужас сковал моряков. Столкновение казалось неизбежным. Но загадочный корабль вдруг изменил курс и метрах в двухстах прошел перед носом «Матадора». Экипаж видел, как яркий свет в капитанской каюте «незнакомца» вдруг погас, а через минуту загадочный корабль исчез.

Вскоре в порту Калатеа Буэна (Чили) дело разъяснилось. Это был удивительно отчетливый мираж одного датского судна, заходившего в порт за три недели до «Матадора». Капитан познакомился с рапортом с датского корабля, в котором сообщалось, что в ночь на 27 марта, около полуночи, во время сильного шторма в капитанской каюте произошел взрыв лампы. Несомненно, мираж был отражением этого датского корабля. Когда сличили время и координаты двух кораблей, оказалось, что расстояние между ними составляло тогда 1700 километров. То был один из самых «дальнобойных» миражей.

Случаи дальних оптических миражей известны с древнейших времен. Как выяснилось, они обязаны своим образованием возникновению в атмосфере природных волноводов. Явление волноводного распространения изучено сравнительно недавно. Оно характерно не только для света, но и для других колебаний — звука, радиоволн, сейсмических волн. Природа создает волноводы не только в атмосфере, они существуют и в океанских глубинах, и в толще Земли. Их можно формировать искусственно.

Процесс сверхдального распространения колебаний в естественных условиях во многом схож с передачей радиоволн по волноводам — полым металлическим трубам.

Незадолго до второй мировой войны они уже использовались в радиолокаторах для передачи сантиметровых волн. Новый способ передачи электромагнитной энергии вызвал много недоуменных вопросов со стороны инженеров. Еще бы, ведь ломались сложившиеся представления. Для передачи электромагнитной энергии совсем не обязательно, как, оказалось, иметь два проводника или коаксиальный кабель с центральной жилой — достаточно полый металлический цилиндр. Интересно, что уже Хевисайд в свое время не верил, что радиоволна способна распространяться в ней.

Волноводы — один из многочисленных примеров, когда теория намного обогнала потребность в техническом воплощении. На возможность передачи электромагнитной энергии внутри полых труб указал еще в



1898 году английский физик Рэлей. Впоследствии было установлено, что волноводным эффектом обладают и стержни из диэлектрика. Их назвали диэлектрическими волноводами.

ЗАГАДКА ЗЕМЛИ КРОКЕРА

Миражи, вызываемые образованием оптических волноводов, породили множество легенд и суеверий, их описания украсили художественные произведения.

В одном из залов Русского музея в Ленинграде висит картина Куинджи «Фата Моргана близ Оресунда перед шведским берегом». Фата Моргана — удивительный по красоте оптический мираж. На горизонте возникают города, башни, голубые озера. Волшебные картины непрерывно сменяют друг друга. Не удивительно, что они вдохновили Куинджи. Моргана, именем которой названы такие миражи, была легендарной феей, сестрой сказочного короля Артура. Она обладала магической силой мгновенно возводить воздушные замки.

Видения Фата Морганы лишены всякого сходства с объектами, из которых они возникают. Непрестанно движущийся атмосферный воздух, словно фантастический художник, создает из бесплодной снежной пустыни или необозримых водных пространств сказочные картины, не ведомые острова, земли...

Одно из первых описаний Фата Морганы содержится в письме итальянского священника Ангелуччи своему коллеге. Утром 14 августа 1643 года он вышел к Мессинскому проливу около города Реджио на самом юге Италии. Он увидел, что «океан, омывающий берег Сицилии, вздымался ввысь и был подобен темной горной гряде. Перед горами быстро возникала цепь из более чем 10 000 пилястр белесовато-серого цвета, которые затем уменьшались по высоте вдвое и образовывали арки наподобие арок римских акведуков. Прежде чем они исчезли, поверх акведуков возникли замки, каждый с башнями и окнами».

В сказке Гоголя «Страшная месть» есть описание чуда, которое очень похоже на сверхдальний мираж: «За Киевом показалось неслыханное чудо: вдруг стало видимо далеко во все концы света. Вдали засинел Лиман, за Лиманом разливалось Черное море. Бывалые люди узнавали и Крым, горою поднимавшийся из моря,

и болотный Сиваш. По правую руку была видна земля Греческая.

— А то, что такое? — допрашивал собравшийся народ, указывая на далеко мерещившиеся на небе и больше похожие на облака серые и белые верхи.

— То Карпатские горы! — говорили старые люди...»

Гоголь подметил интересную особенность — возможность неискаженной передачи на большие расстояния изображений реальных объектов при мираже.

Интересный мираж удалось сфотографировать весной 1972 года профессору метеорологии А. Фрэйзеру из США. Он с удивлением наблюдал, как два мальчика покинули сиэтлский пляж и прогуливались по воде между парусными шлюпками. По его словам, сцена была до такой степени неправдоподобно реальна, что после этого зрелища можно было легко поверить рассказам о людях, идущих по воде, тем самым рассказам, которые встречаются не только в Библии, но также и в буддистской литературе, и у греков эллинского периода.

Иногда миражи увеличивали число очевидцев исторических событий. Так, в июне 1815 года жители бельгийского города Вервье смогли наблюдать фрагменты битвы при Ватерлоо, которое расположено на расстоянии 105 километров от Вервье. Зафиксированы и другие случаи миражей-рекордсменов. В 1920 году служащие небольшой станции Багдад в США неоднократно наблюдали миражи калифорнийского городка Сан-Хосе, который находился на расстоянии 800 километров. Известны случаи, когда на восточном побережье США наблюдали миражи городов Северной Африки.

В старину «о суше, висящей в небе» поморы складывали легенды. Теперь туристы, посещающие известный историко-архитектурный заповедник на Соловецких островах в Белом море, могут воочию познакомиться с этой местной достопримечательностью. Во всяком случае, сотрудники островной метеостанции раз пятнадцать-двадцать за лето регистрируют парящие в небе острова.

А на острове Мадагаскар придумали даже специальный дорожный знак: «Внимание! Мираж!» Его установили на одном из поворотов шоссе, как раз в месте, где после захода солнца перед глазами водителей возникают поражающие воображение картины — светящиеся фигуры, замки, силуэты людей. Из-за миража разбились несколько десятков водителей.

Иногда миражи приводили к географическим «открытиям», особенно в полярных районах. В 1906 году Роберт Пири в одной из своих отчаянных попыток достигнуть Северного полюса поднялся на вершину мыс; Томаса Хаббарда, который расположен на северной окраине земли Акселя Гейберга. На северо-западе милях в 120 он увидел заснеженные вершины гор. Несколько позже он снова наблюдал неизвестные горы, но уже с одного из близлежащих островов. Достичь гор Пири не смог, но определил их местонахождение. Вскоре вышли карты, на которых была нанесена новая земля, которую назвали Землей Крокера.

Но Земля Крокера разделила участь Земли Санникова. Эти открытия пришлось «закрывать». Они оказались «миражами». Легенда о «Летучем Голландце» — призрачном корабле, в основном, обитающем у побережья Южной Африки, тоже обязана своим происхождением Фата Моргане.

Чем же объясняются такие причуды распространения световых волн? Один из основных оптических законов, о котором упоминается за 300 лет до нашей эры в сочинении Евклида, гласит — свет распространяется по прямым линиям. Однако воздушный океан, именуемый атмосферой, на дне которого мы живем, далеко не однороден. В неоднородной среде траектория светового луча искривляется. Еще ученые древности пытались постичь законы распространения световых волн в атмосфере. В трудах древнегреческих ученых I и II веков нашей эры Клеомена и Птолемея упоминается об искривлении (рефракции) светового луча в земной атмосфере, из-за которого звезды и планеты видны несколько выше того места, где они находятся в действительности. Они объяснили это явление преломлением света в атмосфере.

Слово «мираж» произошло от французского глагола *se mirer* — «отражаться в зеркале». Но, хотя многие миражи напоминают картины, которые можно увидеть в кривом зеркале, эффект отражения не является причиной возникновения миражей. Атмосфера порождает миражи, действуя как линза, а не как зеркало, то есть не благодаря отражению света, а в силу рефракции. Она, атмосфера, играет роль огромной воздушной линзы с малым показателем преломления. Его величина равна отношению скоростей распространения электромагнитных волн (в том числе и света) в вакууме и земной атмосфере.

Показатель преломления атмосферной линзы непостоянен. Он зависит от метеорологических условий (давления воздуха, температуры, влажности). При определенных метеорологических условиях создается как бы целая цепочка атмосферных линз, которая искривляет траекторию луча таким образом, что он движется почти параллельно земной поверхности. Происходит постоянная «перефокусировка» световых лучей к центру невидимой оси атмосферных линз. Теоретически, если бы такие метеорологические условия смогли возникнуть на всей территории Земли, можно было бы окинуть взглядом весь земной шар и увидеть... даже собственный затылок. Вероятность такого события, конечно, исчезающе мала. Однако бывают случаи, когда такие условия создаются на очень больших расстояниях. Тогда и наблюдаются миражи-рекордсмены.

Цепочка атмосферных линз работает подобно уже упоминавшемуся диэлектрическому волноводу. Волноводный эффект в диэлектрическом стержне обусловлен тем, что скорость волн в диэлектрике меньше, чем в воздухе. Чем ближе к центру стержня, тем скорость распространения меньше. Поэтому фронты волн прижимаются к стержню и энергия концентрируется внутри диэлектрика.

Атмосферные линзы далеки от идеальных, используемых в телескопах и фотокамерах. Последние сделаны из стекла и строго однородны по показателю преломления. Искривление траектории света и характер изображения определяются кривизной поверхности линзы. Атмосферные же линзы не имеют определенной формы, они расфокусированы и астигматичны. Характеристики таких линз меняются самым причудливым образом. Отсюда их удивительная способность создавать различные видения и искажать реальные изображения объектов до неузнаваемости. В этом причина таинственности миражей, послуживших основой для легенд и суеверий.

Уже упомянутый американский метеоролог А. Фрэйзер разработал подробную теорию Фата Морганы и ее математическую модель. Мираж, полученный на выходе ЭВМ, почти не отличается от реального миража.

Искусственные световые волны, генерируемые лазером, при миражах ведут себя так же, как и естественный свет — их дальность действия намного превышает прямую видимость. Известны случаи, когда лазерная система

связи устойчиво работала на расстоянии свыше 300 километров.

Создание мощных лазеров привело к фундаментальным открытиям в оптике. Родилось новое направление — нелинейная оптика, в которой показатель преломления среды распространения зависит от интенсивности пучка света. В 1962 году советский физик Г. А. Аскарьян теоретически предсказал явление самофокусировки светового луча. Луч лазера в среде распространения создает сам себе волновод! Он не разбегается в стороны, как обычный солнечный луч, а стягивается в тончайшую световую нить. Правда, это происходит при условии, если достаточна мощность лазера. Например, если среда распространения — сероуглерод, то требуется мощность лазера 10 киловатт, а в некоторых сортах оптического стекла достаточно одного ватта.

Новое открытие заинтересовало ученых многих стран. Его назвали сенсацией века. Открывалась возможность использовать самофокусирующиеся лучи для передачи энергии без потерь на большие расстояния. Но получить стабильный самофокусирующийся сигнал пока не удалось. Зато в самофокусирующемся луче была обнаружена... высокотемпературная плазма. Открылась еще одна тропа к овладению термоядерной энергетикой. Проблема самофокусировки ждет своего решения. Сейчас, даже трудно предугадать, какие новые возможности откроют перед нами самофокусирующиеся лучи. Ведь Аскарьян предсказал, что самофокусироваться могут не только световые, но и радиоволны, а также ультразвуковые, звуковые и гиперзвуковые волны, возбуждаемые мощными лучами лазеров в плотных средах. За открытие и исследование эффекта самофокусировки группе ученых, в том числе и Аскарьяну, присуждена Ленинская премия 1988 года.

ГРОМ ОРУДИЙ РАЗДАЕТСЯ...

В 1837 году в Лондоне в честь коронации королевы Виктории был произведен мощный артиллерийский салют. Гром орудий был услышан далеко на материке на расстоянии 200—300 километров, хотя ближе, на расстоянии 50 километров, его не было слышно. Такая же «сверхслышимость» наблюдалась при взрывах артиллерийских складов в Москве в мае 1920 года, при больших взрывах,

производившихся в Германии в 1923—1926 годах и, но Франции в мае 1924 года, когда уничтожались запасы боеприпасов, оставшихся после мировой войны.

Случаи столь дальнего распространения звука обязаны также природным волноводам, но только акустическим. Их иногда называют звуковыми каналами. Конечно, акустический и оптический волноводы различны, потому что длина волны световых колебаний в сотни тысяч раз меньше длины волны звука. Но принцип действия остается таким же — акустический волновод не дает «разбегаться» звуковым волнам, его невидимые стенки постоянно возвращают звук к воображаемой оси — туда, где скорость звука минимальна.

Между скоростью звука в атмосфере и ее температурой имеется прямая связь — скорость звука уменьшается с понижением температуры. Запуски метеорологических ракет в СССР и США позволили получить полную картину распределения температуры по высоте. Оказалось, что на высотах около 15—80 километров температура достигает своих минимальных значений. Здесь и проходят оси акустических волноводов — верхнего и нижнего. Для земных наблюдателей основную роль играет, конечно, нижний волновод. Звуковые волны от источников, расположенных ниже 50 километров, «захватываются» нижним волноводом и концентрируются им в пределах высот от 3 до 40 километров. Но при определенных условиях (например, при холодной погоде) они прорываются в некоторых местах сквозь «нижнюю стенку» волновода, и тогда там наблюдается эффект «сверхслышимости».

Звуковые волноводы интенсивно изучались и во время Второго Полярного года в 1932—1933 годах. Была проведена серия взрывов на Новой Земле. Звуки от взрывов зарегистрировали на Земле Франца-Иосифа. Изучение звуковых волноводов продолжили по программе Международного геофизического года в 1957—1959 годах. Во Франции в рамках программы было произведено более 630 взрывов, которые прослушивались на восьми станциях в радиусе 200—250 километров. Наблюдения подтвердили гипотезу о звуковом волноводе.

Мощные ядерные взрывы в атмосфере благодаря звуковому каналу могут быть зарегистрированы практически в любой точке земного шара. Так, мегатонный

ядерный взрыв был зарегистрирован на расстоянии 11 500 километров от места испытания.

В земных толщах тоже обнаружен волновод — слой с пониженной скоростью распространения сейсмических волн. Он залегает в верхней мантии на глубинах от 50—100 до 250—400 километров от поверхности. В нем сейсмические волны путешествуют не рассеиваясь, с малыми потерями. Геофизики считают, что вещество волноводного слоя находится в состоянии, близком к плавлению. Высказываются предположения, что в нем сосредоточена почти вся сера Земли. Так можно объяснить диспропорцию, которую заметили ученые: содержание серы в земной коре составляет 0,1 процента, а в метеоритах — в среднем 2 процента.

Мы уже упоминали о попытках использовать земную твердь для передачи электрических сигналов. Но тогда, в XIX веке, они окончились неудачей. В XXI веке эти замыслы, по мнению известного ученого в области радиоэлектроники В. Сифорова, станут реальностью. Оказывается, под землей пролегает еще и волновод для радиоволн. Верхний слой Земли обладает относительно неплохой электропроводимостью. Глубже идет слой, близкий по свойствам к диэлектрикам, а после него, как утверждают геологи, снова следует проводящий слой. Таким образом, получаются как бы две концентрические сферы из проводников, между которыми помещен диэлектрик. А это ведь своего рода диэлектрический волновод. Создана довольно детальная и строгая теория распространения радиоволн в такой среде. Ну а коль скоро есть теория, то открывается путь и к практике.

ЗВУКИ ИЗ ПОДВОДНОГО ЛАБИРИНТА

Это случилось в январе 1966 года. Над Испанией летели два военных американских самолета — реактивный бомбардировщик В-52 с водородными бомбами на борту и заправщик КС-135, баки которого были полны топливом, предназначенным для периодической дозаправки бомбардировщика.

Авария произошла на высоте шести миль. На В-52 загорелся один из двигателей. Бомбардировщик взорвался, причем от взрыва пострадал и КС-135. Оба самолета рухнули на землю. Погибло семь человек. С бомбардировщика В-52 упали четыре водородные бомбы

без взрывателей. Три из них найдены на суше. Четвертая упала в Средиземное море.

Для ее поиска у побережья Паломареса собралась большая группа кораблей, подводных лодок и глубоководных аппаратов. Впоследствии один из руководителей поисковых работ сказал, что наибольшие трудности во время работ у берегов Испании представляли проблемы связи и навигации под водой.

Приведенное высказывание весьма показательно. Это еще одно из многочисленных подтверждений сложности вопросов подводной связи и навигации. А ведь трудно исследовать глубины на специальных аппаратах без надежной связи с поверхностью. Радиоволны, служащие нам верой и правдой на Земле и в космосе, гаснут в воде, преодолев лишь десятки-сотни метров...



Древним была хорошо известна способность дельфинов и рыб издавать звуки, о чем упоминали в своих трудах Аристотель, Плиний Старший и другие античные ученые. «Те, кто обрекает всех рыб на молчание и глухоту, весьма мало знают природу рыб», — писал древнеримский философ Клавдий Элиан. Но постепенно их замечательные наблюдения были забыты и в науке надолго установилось представление, что океан — «мир безмолвия». Лишь сравнительно недавно богатый мир подводных звуков стал открываться вновь...

Неизвестные звуки порой казались сверхъестественными и ставили в тупик ученых. Нередко чуткие гидрофоны фиксировали, что в глубине, по соседству, чуть ли не рядом находятся неизвестные объекты. Но поиски были безрезультатными, и непрошенные пришельцы, словно в воду канули, хотя сигналы с глубин по-прежнему принимались. Порой они напоминали грохот отбойных молотков, скрежет большого числа фрезерных станков. А иногда это были звуковые импульсы, которые повторялись по времени с завидной точностью.

Случалось, что океанские голоса вызывали настоящую панику, сопровождалась сенсационными сообщениями в западной прессе. Американские газеты буквально кричали о «новой советской сверхмощной подводной лодке». Два месяца натовские системы обнаружения искали источник неожиданно появившихся в океане звуковых импульсов. Лишь впоследствии установили, что виновником «сенсации» был большой кит. Он периодически открывал пасть — своего рода звуковой излучатель, который как бы транслировал удары его огромного сердца на значительные расстояния. Сердце морского гиганта обладает огромной мощностью — 10—15 киловатт, ведь ему приходится перекачивать восемь тонн крови. Если всего 0,1 процента мощности превратить в акустические волны, то их можно услышать на расстояниях во многие сотни километров.

Можно назвать и другие подобные казусы. В число неопознанных объектов попали стаи волнистого горбыля, которые мигрируя на нерест, «шумели» не хуже целой армады подводных лодок. А вот еще один пример. В 1941 году при нападении на американские корабли в Пирл-Харборе японские подводные лодки выпустили гораздо больше торпед по шумящим скоплениям креветок и морских рачков, чем по боевым кораблям.

Попробуем разобраться в природе подводных звуков.

И в первую очередь в причинах, почему они в одном случае тут же затихают, а в другом — распространяются на сотни, а то и тысячи километров, практически не ослабевая за столь долгое путешествие? Вопросы эти носят далеко не праздный интерес. Ведь звуковые волны выполняют ту же роль при освоении Мирового океана, что и радиосигналы при изучении космоса.

Впервые удивительную способность звука пробегать огромные расстояния заметили советские моряки во время Великой Отечественной войны. Взрывы небольших зарядов в районе Кольского залива были зарегистрированы гидрофонами кораблей на расстоянии 180 миль.

В грозном сорок втором году под руководством заведующего лабораторией Физического института, члена корреспондента АН СССР (впоследствии академика) Н. Н. Андреева началось систематическое изучение актуальной проблемы. Необходимо было найти средства для борьбы с немецкими акустическими минами. Работы проводились на Черном море и вылились в конкретные практические результаты.

Вскоре после войны в 1946 году нашим ученым удалось найти и причину сверхдальних «звуковых путешествий». Оказалось, что в морских и океанических глубинах существует особый слой, который специалисты назвали подводным звуковым каналом. Аналогичное открытие сделали и американцы. Их работы проводились в обстановке строжайшей секретности, а результаты не публиковались.

Теория распространения звука в подводном канале разработана академиком Л. М. Бреховских, которому вместе с коллективом авторов монографии «Акустика океана» была присвоена Государственная премия СССР ' за 1976 год. В 1977 году советскому ученому Институтом акустики Великобритании присуждена также Золотая медаль выдающегося физика Рэля.

Уникальные эксперименты по изучению распространения звука в океане были проведены на научно-исследовательских судах «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев».

Подводный акустический канал также работает наподобие диэлектрического волновода — энергия колебаний фокусируется вокруг оси, где скорость распространения звука минимальна. В приповерхностных слоях океана профиль изменения скорости звука повторяет профиль изменения температуры, которая уменьшается

с глубиной. Чем глубже, тем изменение температуры становится все слабее, и на скорость звука решающее влияние оказывает уже гидростатическое давление, которое увеличивает скорость звука с глубиной. Таким образом, от поверхности до дна скорость звука сначала уменьшается, а затем увеличивается. Слой, в котором скорость звука минимальна, совпадает с осью подводного звукового канала. Этот слой довольно устойчив и находится обычно на постоянной глубине, например, 1274 метра в Атлантическом океане, 637 метров в северо-восточной части Тихого океана, 40—60 метров в морях северного полушария.

Подводный канал как бы «захватывает» звуковые волны, вышедшие из точки излучения под углом к его оси не более 10—15 градусов. Невидимые стенки канала концентрируют распространяющуюся звуковую энергию вдоль оси канала, не давая разбегаться звуковым волнам.

Академик Бреховских так образно объясняет подобное явление: «Вспомните, как ведет себя уставший путник. Он предпочитает держаться теневой, более прохладной стороны, нести на своих плечах как можно меньше груза и двигаться с минимальной скоростью. Ведь только так он может пройти максимальное расстояние. Звуковой луч в морской воде подобен этому путнику. Выйдя из источника, он уходит вверх от оси звукового канала. Чем выше, тем теплее, и луч заворачивает вниз, в «холодок» и углубляется до тех пор, пока не начинает «ощущать» тяжесть повышающегося гидростатического давления».

...В какие только дебри не заплывали научные экспедиции, изучая различные голоса «подводного царства». Чувствительная аппаратура, установленная на судах, позволила ученым выполнить сотни оригинальных экспериментов, отвоевать у морской пучины не одну тайну. Корабли науки — «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» явились фактически первыми плавучими лабораториями для всестороннего исследования Мирового океана.

Сейчас уже можно судить о «географии» звуковых подводных каналов, которые нередко поражают своими масштабами. Например, взрыв полутоннара килограммового заряда в Атлантике зафиксировали приборы на Бермудских островах, удаленные на 4500 километров. Для сравнения: в воздухе такой звук слышен всего на расстоянии четырех километров, а в лесу не далее 200 метров.

Открытие сверхпроводящего канала привело специалистов и к принципиально новой идее спасательной службы: достаточно взорвать сигнальную гранату на глубине подводного канала, чтобы на берегу определили место аварии и катастрофы и организовали помощь.

Американский вариант системы назван «софаром». С самолетов или кораблей, терпящих бедствие, сбрасывают небольшие заряды весом от 0,5 до 2,5 килограмма, которые взрываются на глубине звукового канала. Береговые станции принимают звуковой сигнал и определяют место взрыва. Софары предполагают использовать и для дальней навигации. Американские ученые из Ламотской геологической обсерватории с помощью софара передавали из глубины Индийского океана сигнал, который принимался на Бермудских островах на расстоянии 20 тысяч километров. Этот эксперимент продемонстрировал большие возможности систем, использующих подводный звуковой канал. Акустический волновод оказался очень полезным для метеорологов. Подводные акустические приемники могут улавливать шумы, возникающие в центральной очень бурной части тайфуна или урагана, находящегося за сотни километров. За движением тайфуна можно следить по направлению прихода звуков и по изменению их громкости. Пришедший по подводному каналу отзвук грозного цунами служит спасительным сигналом для жителей прибрежных районов от грядущей катастрофы. Цунами выглядит черепахой по сравнению со своим звуковым сопровождением — волна цунами, например, идет от Чили до Гавайских островов 10 часов, а от Чили до Японии 20 часов. Времени для принятия необходимых мер вполне достаточно.

Советскими учеными Г. А. Аскарьяном и Б. А. Долгошеиным найден еще один, довольно неожиданный источник акустических сигналов в океане — внеземной. Это космические частицы больших энергий.

Подводные звуковые феномены объясняют и некоторые биологические проблемы. Например, рыбий плавательный пузырь может по праву считаться одним из самых чувствительных акустических приемников. Вот почему рыбы всегда хорошо информированы о надвигающихся стихийных бедствиях.

Дружат с акустикой и морские животные, скажем, те же киты. Не исключено, что они пользуются и подводными звуковыми каналами, которые доносят до них шум прибора от дальних океанических островов. Именно по

таким звуковым маякам киты определяют свое мест положение во время миграций. По наблюдениям американского ихтиолога К. Кларка, благодаря подводным каналам киты могут «переговариваться» друг с другом на расстояниях до 1000 километров.

Дельфины также обладают сверхчувствительным звуколокатором. Они наверняка принимают сигнала сейсмических катастроф, подводных извержений, цунами и ураганов раньше, чем успевает зафиксировать и современная электроника. Но, несомненно, настанет день, когда человек будет столь же хорошо информировано происходящем в глубинах бескрайнего континента.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ... В БЛОКАДНОМ ЛЕНИНГРАДЕ

Об одной удивительной странице истории отечественной радиотехники рассказала в мае 1987 года газета «Советская Россия». Оказывается, в блокадном Ленинграде совершенно неожиданно увидели на экране телевизора кадры военной кинохроники из Лондона... Телевизор тот был предназначен для совершенно других целей. Но природный волновод опять подшутил над операторами. Это был первый зарегистрированный случаи сверхдальнего приема телевидения. А подробности таковы.

Незадолго до Великой Отечественной войны радиолокационные станции, получившие название «Редут», поступили на вооружение Красной Армии, в том числе и в части ленинградской ПВО. Дальность обнаружения «Редута» превышала сто километров, а опытные операторы по характеру перемещения отметки от цели по экрану индикатора даже могли определить, что за цель движется.

Армейские рационализаторы изобрели дополнительные приборы и смогли определять не только дальность до цели, но и ее высоту. Поначалу, когда радиолокаторы располагались на подступах к городу, все было вроде бы нормально. Баланса времени хватало, чтобы своевременно обнаружить цель и передать ее координаты летчикам на аэродром.

Но когда локаторы пришлось передвинуть дальше от линии фронта, сразу же выяснилось «тонкое место»

системе: слишком много времени затрачивалось на передачу данных на аэродром. Обнаружив цель на индикаторе, оператор зашифровывал координаты и передавал их в штаб ПВО. Там расшифрованную информацию сопоставляли со сведениями других радиолокаторов, опять зашифровывали и отправляли летчикам.

Раньше, пока локаторы были за городом, такая многоступенчатость не очень-то сказывалась. А теперь, когда рубеж обнаружения придвинулся к городу, цена каждой минуты резко возросла. За время, пока данные о целях обрабатывали, самолеты успевали пролетать несколько десятков километров, и для их перехвата оставалось слишком мало времени.

Надо было срочно что-то изыскать, что-то придумать, чтобы уменьшить время на передачу данных о вражеских самолетах летчикам. 11 января 1942 года в блокадном Ленинграде командование 2-го корпуса ПВО провело... конференцию изобретателей и рационализаторов. На ней военнослужащий 72-го радиобатальона Э. И. Голованский предложил создать телевизионную систему ПВО.

Горком партии буквально на следующий день включил создание блокадного телевидения в число первоочередных задач. Определенный задел у наших инженеров уже имелся, особенно в лаборатории телевидения одного из ленинградских научно-исследовательских институтов, которой руководил Александр Андреевич Расплетин.

В 1939 году сотрудник института Иван Завгороднев построил телевизор с огромным — почти два квадратных метра — экраном. Война прервала работы. Многие инженеры из лаборатории Расплетина ушли на фронт. В срочном порядке они были отозваны с передовой. Им-то и поручили сделать телевизионную систему передачи информации о целях для ПВО.

Участник работы Иван Завгороднев рассказывает:

— Уже 15 января в помещении НИИ, где мы трудились до войны, появились первые узлы и блоки будущего телецентра, собранные из разных организаций Ленинграда. Здесь же, в Лесном — так называется один из районов Ленинграда — установили и «Редут».

Электронный луч на приемном экране заставили вращаться по часовой стрелке, точь-в-точь как в современных радиолокаторах кругового обзора. На экран нанесли прозрачную карту Ленинграда и области, провели

линии — радиусы с делениями, обозначающими удаление цели, и окружности равных расстояний. Центр экрана обозначал место установки «Редута». Любой самолет, появившийся в ленинградском небе, немедленно давал о себе знать яркой светящейся точкой, а опера тор, пользуясь нанесенной на экран картой города и шкалами, мог тут же определить расстояние до него.

Над экраном радиолокатора установили, передающую телекамеру, сигнал от нее передавался на ультракоротких волнах с помощью направленной антенны в штаб ПВО города. На крыше построили радиорубку, приемную антенну разместили на наблюдательной вышке штаба. Ну а сами «телевизоры» стояли на главном командном пункте ПВО, на командных пунктах истребительной авиации и зенитной артиллерии.

Передача данных о предстоящем налете стала мгновенной. Круглые сутки работала телевизионная система, лишив врагов преимущества внезапности...

Не сразу поверили в новую систему. Слишком все было необычно. На экране возникали светящиеся скачкообразные перемещающиеся точки, глядя на которые трудно было вообразить реальные самолеты. Доходило до того, что дежурные сверяли показания индикатора с данными постов наблюдения. В этом нет ничего особенного. Новое подчас бывает необычным. А описываемые события происходили пятьдесят лет назад.

Но результаты говорили сами за себя: уже в первые месяцы блокады в окрестностях Ленинграда было сбито почти 750 многомоторных машин. Телерадиолокационная система стала неотъемлемой частью противовоздушной обороны города.

Однажды летом на экранах вместо привычной картинки операторы увидели танки в пустыне, солдат, бронетранспортеры... Как позже выяснилось, в Лондоне шли пробные телепередачи. Несколько раз в неделю экспериментальный телепередатчик транслировал военную хронику для лондонских госпиталей. Так получилось, что характеристики обеих телевизионных систем — лондонской и ленинградской — совпали. Такова необычная история первого сверхдальнего приема телевидения.

Инженеры не удовлетворились достигнутым. Нельзя ли оперативно передавать данные о воздушной обстановке на борт самолета? Над решением такой задачи работал А. А. Расплетин вдали от блокадного Ленинграда.

В Ленинграде аппаратуру с нетерпением ждал Иван Завгороднев. И такая система была создана и внедрена.

Даже с дистанции сегодняшних дней господства телевидения нельзя не восхищаться изобретательностью наших инженеров. Работала система так. На командном пункте авиации ПВО, на специальном планшете изобразили карту Ленинградской области с указанием основных ориентиров. Планшет был снабжен масштабными линейками и символическими изображениями самолетов. Наши самолеты по форме напоминали бабочек, а фашистские — тупорылых свиней (видимо, здесь сказалась историческая параллель с излюбленным боевым строем тевтонских рыцарей). Оператор по данным с экрана радиолокатора передвигал самолетики на планшете и на нем же писал дополнительные данные — высоту полета и команды летчику.

С помощью телекамеры, установленной над планшетом, обстановка, изображенная на нем, передавалась на борт истребителя Як-9. Маленький телевизор удалось удачно разместить в кабине летчика. После первого же испытательно-боевого вылета Герой Советского Союза подполковник Мациевич с похвалой отозвался о работе системы. Правда, отметил он единственный недостаток: слишком ярко светил экран. Ночью он мешал летчику, ослеплял его, подобно фарам встречного автомобиля. Но смекалка изобретателей и тут нашла выход из положения. На полуразрушенном складе кондитерской фабрики нашли цветной целлофан, оставшийся с тех времен, когда фабрика выпускала конфеты. Затянули экран телевизионной трубки целлофаном, и яркость уменьшилась.

Радиоэлектронная система ПВО, созданная в тяжелейших условиях блокады, на несколько лет опередила мировой уровень. Такова еще одна страница летописи подвига защитников города.

Итак, как же возникают радиоволноводы?

Мы знаем, что в свободном пространстве, например в космическом, радиоволны, как и свет, распространяются прямолинейно, но в атмосфере воздух немного искривляет их путь, или как говорят специалисты, «имеет место рефракция» (от латинского слова «преломленный»). Довольно часто над морем (реже над сушей) при определенных метеорологических условиях (в основном при повышении температуры с высотой или при резком уменьшении влажности воздуха с высотой) воздух

приобретает способность фокусировать радиоволны в пределах невидимого глазом естественного канала, который назвали природным волноводом. Радиоволны захватываются волноводом и распространяются в нем на феноменальные расстояния. Это явление называется сверхрефракцией. Высота атмосферного волновода обычно равна нескольким десяткам метров и редко превышает 150—180 метров. Благодаря атмосферным волноводам радиолокатор может «увидеть» цель далеко за радиогоризонтом (радиогоризонт лежит примерно на 15 процентов ниже геометрического горизонта из-за преломления радиоволн в атмосфере). При нормальных же условиях радар не «видит» объекты, расположенные ниже радиогоризонта.

Наибольшие дальности обнаружения наземных радаров были зафиксированы в Индийском океане во время второй мировой войны. Радиолокационная станция в Бомбее принимала в жаркое время года сигналы, отраженные от пунктов, находящихся на Аравийском полуострове, на расстоянии 2700 километров. Однако при нормальных условиях та же станция обнаруживала корабли на расстояниях не более 30—35 километров. Атмосферные волноводы довольно распространенное явление, особенно в морских районах и пустынях. Часто радиолокационные и оптические миражи возникают одновременно. Подобные же метеорологические условия приводят к сверхдальному приему телевизионных передач и сверхдальней радиосвязи. Известен случай переговоров по обычному судовому радиотелефону из бухты Тикси с кораблями, находившимися в районе Уэллена. Слышимость была такой, как если бы разговор шел с одним из кораблей каравана, стоящего в бухте Тикси.

Радиолокационный мираж и был причиной курьезной истории с крейсером в Средиземном море. Оказалось, что операторы радара на крейсере принимали эхосигналы от острова Мальта, который находился далеко от них, и безуспешно пытались его потопить. Масштаб экрана радара не был предназначен для приема сигналов со столь больших расстояний, и пришедший с опозданием эхо-сигнал, отраженный от острова, операторы приняли за расположенный неподалеку вражеский корабль.

«Скачущий призрак Нансай-Шато» — тоже радиолокационный мираж. Сигнал, излученный радаром подводной лодки, прежде чем попасть обратно в антенну,

многократно отражался от корабля, берега, других кораблей, а иногда и от корпуса самой подводной лодки, если она производила разведку в надводном положении. Радиоволна мало ослаблялась при каждом отражении из-за атмосферного волновода. В итоге скорость перемещения отметки на экране оказывалась равной сумме скоростей движения всех объектов, от которых отражалась радиоволна при своем многократном блуждании.

Дорого порой обходились ошибки операторов из-за радиолокационных миражей. Незадолго до конца второй мировой войны американцы готовились захватить остров Киска в Тихом океане, занятый японцами и имеющий важное стратегическое значение. Американский флот находился в 600 милях от острова и готовился к предстоящей операции. Неожиданно операторы радаров обнаружили всего в 40—50 милях таинственную эскадру. Была объявлена боевая тревога, флот приготовился для отражения вражеского нападения. Но через некоторое время неизвестные корабли исчезли с экранов так же внезапно, как и появились. Через несколько недель американская авиация и флот напали на остров. На нем никого не оказалось. Таинственная эскадра была японской, обнаруженной за несколько недель до нападения и уже эвакуировавшей войска с острова. Благодаря радиомиражу, операторы увидели ее на своих экранах, хотя она находилась на расстоянии 600 миль. Операторы ошиблись на 550 миль. Если бы они знали причуды распространения радиоволн, то американский флот смог бы провести успешную операцию.

Дальность связи по лазерному лучу при мираже тоже может во много раз превысить прямую видимость. Известны случаи, когда лазерная система связи устойчиво работала на расстояниях свыше 300 километров.

ПРИРОДНЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ?..

Естественные волноводы, которым обязаны оптические и радиомиражи, образуются вдоль поверхности Земли. Но возможно, существуют и вертикальные волноводы. На такую мысль наводит явление сверхзоркости, которое не раз наблюдалось у космонавтов на орбите.

«Это случилось, когда станция «Салют» пролетала над Бразилией, — вспоминает космонавт Юрий Глазков.

— Мне нравилось рассматривать через иллюминатор поверхность планеты. Я быстро научился, различен реки, озера, горные хребты. Мог с закрытыми глазами рассказать о ландшафте местности, над которой «приплывала» станция.

Так вот, летим над Бразилией... Вижу тоненькую ленточку. Через секунду сообразил — это шоссе, и по нему мчится автобус. Самый настоящий. Вроде даже голубого цвета. Я понимал, что с такого расстояния не вооруженным глазом увидеть его невозможно, но, тем не менее, я видел!

Уже после полета я рассказал об этом заместителю директора Института океанологии Академии наук СССР доктору географических наук А. А. Аксенову. Тот предположил, что «сработали» мои ассоциации. То есть я только представил себе автобус, а глаза уже видели».

Феноменальная сверхзоркость, которую пришлось испытать Юрию Глазкову на орбите, — одна из интереснейших психофизических особенностей зрительного восприятия в космосе.

Космонавт Виталий Севастьянов отметил, что вначале при кратком воздействии невесомости острота зрения может ухудшиться. Но проходит время, и начинаешь распознавать острова, моря, горные цепи. После второй недели полета стоило космонавту взглянуть в иллюминатор, и он сразу узнавал, где летит корабль. Стал замечать суда в океане, потом суда у причалов, а однажды обнаружил поезд, подходивший к мосту. Пролетая над своим родным городом Сочи, он даже увидел телевизионную вышку.

Было высказано предположение, что это результат домысливания. Ведь разрешающая способность зрения — одна угловая минута, а Юрий Глазков видел автобус с расстояния 300 километров под углом всего несколько секунд.

Обострение зрения в космосе отметили и американские космонавты. Гордон Купер при полете на «Меркурии» с высоты нескольких сот километров ясно видел трубы на домах в Тибете и грузовик на границе США с Мексикой. Позже с подобным же фактом столкнулся и космонавт Эдвард Уайт. С космического корабля «Джемини» он различал дороги, волны, создаваемые моторными лодками, и вереницы огней уличного освещения городов.

Наблюдал мелкие детали рельефа и летчик-космонавт

В. Коваленок. В течение небольшого промежутка времени у него несколько раз создавалось впечатление, что он видит поверхность Земли через увеличительное стекло. С ростом продолжительности полетов о таких случаях аномальной видимости космонавты докладывают все чаще.

Специалисты сделали расчеты и показали, что даже при обычных условиях слой атмосферы дает увеличение от 4 до 15 процентов в зависимости от высоты полета космического корабля. И космонавты подтверждают — зрение на орбите несколько обостряется.

— В первые дни полета, — рассказывает космонавт Владимир Соловьев, — когда еще не полностью адаптируешься к невесомости, может показаться — цвет поверхности океана везде одинаков. Но постепенно острота зрения усиливается — так свидетельствуют все космонавты, которые совершали длительные путешествия, — и начинаешь различать малейшие оттенки цветов.

Опыты, предпринятое для проверки этих утверждений, показали: действительно, в условиях невесомости реакция глаза на изменение яркости изображения значительно увеличивается. Некоторые ученые объясняют явление так: в обычных условиях глаз человека находится в постоянном движении, совершая от 20 до 150 перемещений в секунду, невесомость же облегчает движение глаза, и потому обостряется зрение. Но пока это гипотеза...

Да, человеку на данном этапе принадлежит важная роль в исследовании Земли из космоса. И не удивительно, ведь глаз космонавта — самый совершенный прибор, который есть на борту орбитального комплекса. Он способен различать разницу в цвете и освещенности воды всего на один-два процента, в то время как самые совершенные фотоаппараты «видят» в десять раз хуже, а телекамеры еще более уступают по чувствительности человеческому глазу.

Необыкновенна чувствительность нашего глаза к свету. Он способен воспринимать единичные его кванты: ясной ночью человек может увидеть пламя зажженной свечи на расстоянии 25 километров.

Но совершенством человеческого глаза все же нельзя объяснить космическую сверхзоркость. Правда, известно, что у некоторых людей глаза могут соперничать и с телескопом и с микроскопом. В литературе описан

случай остроты зрения в тридцать единиц. Человек невооруженным глазом видел спутник Юпитера, который астроном наблюдал только в телескоп. В данном случае глаз различал объекты, разнесенные всего на несколько угловых секунд.

А вот другой пример, о котором сообщалось в газетах, — женщина, прозванная «живым микроскопом». Разрешающая способность ее глаз столь высока, что ей даже трудно читать — мешает отлично видимое переплетение волокон бумаги. Цветной телевизор она вообще не может смотреть, потому что изображение распадается на множество точек. У женщины необычное хобби, под стать ее способностям. С помощью карандаша с особо прочным грифелем она наносит тексты литературных произведений на странички крошечных тетрадок. Последний ее «шедевр» — почтовая открытка, на которой уместилось 327 тысяч слов, что примерно равняется восьмистам страницам машинописного текста.

Таких уникалов среди космонавтов нет. Так в чем же причина космической сверхзоркости? Видимо, иногда случаются и особые условия, например такие, как вблизи горных хребтов, когда подветренные волны уже на высоте 100 метров образуют области с резким изменением коэффициента преломления. Такие локальные образования ведут себя как линзы с большим увеличением. Они-то и могут придавать столь неожиданную зоркость космонавтам.

В целом при наблюдении из космоса, по мнению некоторых специалистов, атмосферу можно рассматривать как самофокусирующуюся, увеличивающую газовую линзу различной толщины, в зависимости от того, где находится космический корабль — над зимним или летним полушарием. В линзе-атмосфере большое число неоднородных вкраплений. Большинство из них, такие, как облака, туманы, аэрозоли, густые дымки, ухудшают прозрачность атмосферы. Меньшая часть неоднородностей, как, например, возникающие иногда локальные области в горных районах, в несколько раз повышают зоркость космонавтов.

Не этими ли феноменами — сверхзоркими людьми и природными волноводами — можно объяснить некоторые исторические загадки астрономии. Например, известно, что четыре наиболее ярких спутника Юпитера — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — открыл знаменитый Галилей в 1610 году с помощью построенного им же

телескопа. А между тем недавняя находка китайских ученых свидетельствует, что об одном из спутников Юпитера было известно почти две тысячи лет назад. Специалисты случайно обнаружили записи одного из древнейших астрономов, датированные 364 годом до нашей эры, в которых указано, что за двадцать лет наблюдений ему удалось невооруженным глазом увидеть по соседству с Юпитером небольшую звезду. По всей видимости, это был Ганимед, самый яркий спутник Юпитера.

Сведения о четырех спутниках Юпитера, кольцах Сатурна и других астрономических объектах есть и в древних мифах африканского народа догонов, жившего на плато Бандиагар в республике Мали.

Или другой пример. Древние египтяне еще четыре тысячи лет назад связывали звездное скопление Плеяды со словом «тысяча», хотя человек с нормальным зрением видит в Плеядах всего шесть-восемь звезд. Тысячу же звезд в Плеядах обнаружили лишь в XVIII веке — разумеется, с помощью телескопа.

Не исключено, что в некоторых местах древние астрономы использовали телескопы. Ведь линзы были известны за 2500 лет до нашей эры. Но прямых доказательств этого нет, а потому официальным открывателем телескопа считается все тот же Галилей.

Ну а если действительно не было в древности телескопа и единственным оптическим прибором оставался человеческий глаз, так ли тогда удивительны столь древние знания о лунах Юпитера, кольцах Сатурна, фазах Венеры?

Нет, эти знания, как мы видим, не так уж удивительны, и получены они могли быть необязательно извне, от «космических пришельцев», как полагают сторонники палеоконтактов. Вполне реально, что они добыты только благодаря одной из совершеннейших биологических структур — человеческому глазу. В совершенстве его конструкции вы можете убедиться сами: в столь малом объеме природа сумела разместить прибор необычайной сложности. Сетчатка и зрительный нерв — это же вещество мозга! Сеть кровеносных сосудов почти в два раза гуще, нежели в любом другом органе. И, наконец, уникальный хрусталик. Недаром глаза наделялись волшебными свойствами, о них складывались легенды. Но как знать, может быть, их авторы были в некоторых случаях не так уж далеки от истины. Взять хотя бы историю о глазах жертвы убийства. Все мы наслышаны

о ней с детского возраста. Будто на сетчатке глаза, словно на фотопленке, фиксируется картина, увиденная в момент смерти. И все мы в детстве были уверены, что если у убитого не закрыты глаза, то милиция обязательно найдет преступника. Но как потом, с возрастом, выяснилось, сыщики почему-то не пользуются этим очевидным для нас, детей, методом.

Обосновать давнее поверье пытались еще в прошлом веке. Так, в 1881 году профессор Вилли Кун из Гейдельбергского университета утверждал, что в глазах только что умерщвленной им в ходе эксперимента лягушки сохранилось отражение пламени бунзеновской горелки, находившейся в лаборатории.

Далее Кун провел эксперимент с кроликом. Ученый поместил животное перед ярким окном, после чего в темной комнате умертвил кролика и извлек из его глаза сетчатку. На ней обнаружил отпечаток яркого прямоугольника. В то время научная общественность насмешливо отнеслась к открытию Куна, но сегодня она склонна взглянуть на дело более серьезно. После двух лет изысканий два западногерманских ученых заявили, что они не только обнаружили запечатленные образы в мертвых глазах, но и научились их проявлять как фотопленку. Вот, дескать, с закреплением изображения возникли трудности... Правда, исследователи не теряют надежды. Они полагают, что в расшифровке образа может помочь ЭВМ. Решение этой задачи было бы огромным достижением в криминалистике. Не позднее чем через полчаса после убийства можно было бы, например, иметь портрет убийцы.

Цивилизация подпортила нам зрение. Сегодня едва ли не каждый четвертый носит очки. Вполне естественно: за информацию надо платить. Через глаза в наш мозг, как установили ученые, поступает до 80—90 процентов всей информации. Прав был Горький, говоря, что потеря зрения отнимает у человека девять десятых мира.

Чтение, письмо, кино, телевидение — это зрительная информация и в то же время дополнительная нагрузка на глаза. А ведь они в основном создавались для высматривания удаленных предметов. Чем дальше направление взгляда, тем спокойнее мышцы глаз.

Предки наши были зорче. Добывая свой «хлеб насущный» охотой, рыбной ловлей, скотоводством, они не напрягали глаза. В подтверждение этого можно привести пример.

В джунглях Африки нашли небольшое племя, которого не коснулась цивилизация. И вот что интересно: никто из племени не страдал близорукостью.

Не исключено, что древние астрономы знали еще и секрет зелья, значительно улучшающего зрение. И такое возможно... Один из подобных препаратов был получен французскими учеными... Чудодейственным лекарством были пилюли из экстракта... обыкновенной черники, обитательницы наших лесов. На мысль использовать чернику для улучшения зрения натолкнула исследователей привычка английских летчиков во время второй мировой войны. Перед ночными полетами они интенсивно поглощали черничное варенье. Исследования, которые длились несколько лет, показали, что черника ускоряет обновление вещества сетчатой оболочки глаза, чувствительного к свету.

Интерес к изучению такого удивительного «прибора», как глаз, не ослабевает и в наши дни. И неудивительно: ведь глаз пока наиболее совершенный приемник электромагнитных волн светового диапазона, значение которого, особенно с развитием оптоэлектроники (области электроники, соединившей воедино оптические и электрические методы обработки передачи и хранения информации) все более возрастает.

Зрение начинается с преобразования порции электромагнитной энергии, называемой фотоном или квантом, в нервные сигналы, которые мозг умеет анализировать. Преобразователем являются фоторецепторные клетки глаза. Ими, словно мозаикой, выложена задняя поверхность сетчатки — тонкий листочек нервной ткани, выстилающий внутреннюю поверхность глазного яблока. Роговица и хрусталик глаза проецируют образы внешнего мира на слой фоторецепторов. Каждая клетка поглощает падающий на нее свет и генерирует сигнал, в котором закодирована информация о количестве поглощенного света. Сигналы передаются по сложной системе синапсов — так называют области контакта с нейронами — в сетчатке и мозге. В этих контактах сигналы от групп фоторецепторов объединяются и сравниваются, и в итоге зрительная система получает информацию о форме, движении и цвете объектов окружающего мира.

Примерно по такому принципу разрабатываются и приемники оптического и инфракрасного диапазонов. Роль роговицы и хрусталика выполняет оптика, фоторецепторов

— чувствительные элементы, превращающие свет в электрический сигнал, а роль нервной системы — ЭВМ.

Когда такое моделирование было еще не под силу, то прибегали к помощи живого глаза. Особое внимание исследователей привлек глаз голубя, его способность обнаруживать движение объекта в определенном направлении. Свойство глаза получило название «обнаружение направленного движения». Оно привлекало тем, что по такому принципу можно было бы создать радиолокационную систему, которая предварительно обнаруживала только объекты, движущиеся в интересующем направлении.

У голубиного глаза было и другое достоинство: он точно, с малейшими подробностями воспринимал изображение. Данное свойство как-то использовали на одном американском заводе. Тамошние контролеры иногда пропускали мелкие царапины на лакокрасочном покрытии радиодеталей. Казалось бы, пустяк, но незаметный брак обходился недешево: выходили из строя дорогостоящие ЭВМ.

И тогда контролерам дали в помощники дрессированного голубя. Его поместили рядом с конвейером в клетке, в которую были вмонтированы две стеклянные пластинки, соединенные с сигнализацией. Когда шли стандартные детали, голубь клевал одно стекло, а когда случался брак — другое, так сказать, «брачное». Его труд «материально поощрялся». За каждый выявленный брак он получал в награду зерно. Даже после десятидневной работы голубиная бдительность не притуплялась. Он замечал такие дефекты, которые не под силу было заметить контролеру. Как ни странно, голубь оказался «высокоосознательным». Он не клевал «брачное» стекло, если дефектов не было, не «занимался приписками».

А вот еще одно использование голубиного глаза. В 60-х годах на экранах кинотеатров шел заграничный фильм «Бей первым, Фредди!» Кажется, в заключительной сцене был такой эпизод: ракету на город наводит не пилот-смертник, подобно японским камикадзе во второй мировой войне (они наводили на цель не только самолеты, но и крылатые ракеты), а голубь. Хотя фильм был снят с изрядной долей фантазии, но то, что голубь может быть наводчиком ракеты — отнюдь не вымысел. Такая «голубиная система управления ракетами» проходила испытания,

начиная с 1945 года. Что поделаешь: электронные устройства в то время были несовершенны, а птичьи глаза природа «отрабатывала» миллион лет.

Как же выполнял голубь свои функции пилота? В носовой части ракеты устанавливалось оптическое устройство, которое проецировало на экране изображение объекта. У экрана помещался дрессированный голубь, который был приучен клевать любое появляющееся на нем изображение. Оптика действовала лишь тогда, когда ракета отклонялась от курса. Если ракета шла точно на цель, изображения на экране не было. Клюв голубя снабжался металлическим наконечником, а экран изготовлялся из специального токопроводящего слоя. При ударе клювом по экрану возникали электрические сигналы, которые подавались на управляющее полетом ракеты устройство. «Голубиная система наведения», хотя и успешно прошла испытания, но не понадобилась. Появились более совершенные системы управления.

Живая природа — мудрый советчик. На многочисленных примерах человек убедился в ее правоте. Недаром возникла даже специальная наука — бионика, занимающаяся изучением «подсказок» природы: как использовать принципы биологические для целей технических.

Это относится и к органам зрения человека и животных. Например, ученых привлек глаз подковообразного краба. Он обладает особенностью усиливать контраст изображения видимых объектов. Электронный аналог такого глаза, разработанный в США, помогал анализировать телевизионные изображения, аэрофотоснимки, фотографии Луны...

Требования к приемникам света и соседнего с ним инфракрасного диапазона все возрастают. В частности, в печати сообщалось об американских планах установить на борту космических аппаратов новейшую разведывательную оптическую аппаратуру для обнаружения малых целей по отраженному солнечному свету и их собственному, даже слабому тепловому излучению.

В первом случае получается как бы солнечный радар с разнесенными передатчиком и приемником. Роль передатчика выполняет само Солнце. Считается, что такая комбинированная система, работающая по отраженному солнечному свету и собственному тепловому

излучению, позволит хорошо различать и наблюдать одновременно большое число объектов в атмосфере, на земле, на морской поверхности, контролировать пуски ракет, следить за их полетом...

Правда, и для такой системы уже есть частичное противоядие. Например, специальная маскирующая окраска самолетов. Она снижает уровень отраженных солнечных лучей до 7 процентов, тогда как при обычной окраске отражается 60 процентов солнечного света. Существуют специальные покрытия и аэрозоли, сглаживающие тепловой контраст между целью и окружающим пространством. Можно также снизить и температуру выхлопных газов двигателей, примешивая к ним потоки воздуха.

Если такая система будет развернута, не исключено, что вертикальные природные волноводы зададут такие же загадки операторам, какими приземные волноводы порой терзали операторов радиолокационных станций.

РАДИО ЭХО ШТЕРМЕРА

На странные радиоэхо обратили внимание Тесла и Маркони еще на заре радиотехники. Потом их обнаружили при работе одной из первых европейских радиостанций, принадлежавшей фирме «Филипс» и работавшей на волне 31 метр. Каждые несколько десятков секунд в часы работы станция передавала в эфир определенные телеграфные символы. Вскоре специалисты заметили, что кто-то повторяет сигналы через несколько секунд после их излучения. Создавалось впечатление, будто некто в космосе (уж слишком, по земным масштабам, велика задержка сигналов) принимает символы и транслирует их усиленными на Землю, да еще по какому-то неизвестному правилу изменяет время задержки. Такой способ передачи сообщений в современной радиотехнике называется временной импульсной модуляцией. Кстати, Тесла впервые высказал мысль, что это не иначе как инопланетяне устраивают манипуляции с сигналами.

В конце 20-х годов изучением загадочных эхо занялись доктор Ван дер Поль, который систематически исследовал распространение радиоволн, инженер Йорген Халльс и профессор математики из Осло Карл Фредерик Штермер.

В декабре 1927 года сосед К. Штермера, инженер и радиолобитель Йорген Халльс рассказал ученому о явлении, свидетелем которого ему довелось быть. По его словам, через несколько секунд после сигналов мощной коротковолновой станции в Эндховене (Голландия) Появлялись сильные отголоски. «Как только я услышал об этом замечательном явлении, — писал впоследствии Штермер, — мне пришла мысль, что волны беспроводного телеграфа могли быть отражены теми токами и поверхностями электронов, на которые мысль моя была направлена с 1904-го по 1907 год при теоретическом Исследовании северных сияний».

В том же месяце К. Штермер договорился с Эндховеном о сеансах радиопередачи. Первые опыты начались в январе. Прием вели две станции: в Форнебо и Бигде. Обе станции располагались близ Осло. На станции в Бигде работал инженер Халльс. Радиопередатчик в Шндховене посылал сигналы каждые пять секунд. Они регистрировались с помощью осциллографа. Очень четко фиксировались импульсы из Эндховена. Тогда же было обнаружено и несколько других сигналов, «которые могли вызываться атмосферными пертурбациями или же эхом». Во время опытов Йорген Халльс часто звонил по телефону Штермеру, чтобы сообщить о своих Наблюдениях. Он слышал гораздо больше запаздывающих сигналов, чем отмечала станция в Форнебо. Это, по всей видимости, объясняется тем, что у него был очень чувствительный радиоприемник (Халльс вел прием сигналов на громкоговоритель).

Летом 1928 года состоялась встреча Штермера с Ван дер Полем, работавшим в Эндховене. Они договорились посылать стандартные телеграфные сигналы (три импульса — три тире). Период повторения таких тройных посылок составлял 20 секунд. От осциллографа решено было отказаться.

11 октября в квартире Халльса Штермер записал Промежутки между сигналами и отголосками: это и были те самые серии К. Штермера, которые впоследствии неоднократно публиковались в газетах и журналах. А вот свидетельство ученого: «Отмеченные мной периоды времени не имеют притязаний на точность, поскольку я не был достаточно подготовлен, но они дают, по крайней мере, качественное представление о данном явлении. По словам Халльса, он до моего прихода наблюдал несколько отголосков через три секунды».

25 октября Штермер зарегистрировал несколько сигналов с очень большой задержкой (до 25 секунд). За тем эхо исчезло. Но уже в феврале 1929 года оно снова наблюдалось. В мае французские инженеры Галла и Талон зарегистрировали около двух тысяч отголосков, причем задержка достигала 30 секунд. Подобные исследования проводили Э. Эплтон из Королевского колледжа в Лондоне и его аспирант Р. Барроу. Им тоже удалось получить «серии Штермера».

В последующие годы были получены новые данные об эхо. Время задержки менялось, но частота эхо-сигнала оставалась такой же, как у излучаемого радиостанцией сигнала. Некоторые эхо были размыты, а часть принятых сигналов поражала своей четкостью и силой.

С ростом числа станций принимать радиоэхо становилось все труднее, тем не менее, сообщения о нем появляются и в наши дни. Когда заработали телефонные коротковолновые станции, связисты, которым довелось услышать свой голос в присутствии эхо-эффекта, сравнивали его с «голосом из угла комнаты».

Предлагаемые объяснения явления столь большой временной задержки и малого ослабления сигнала были неубедительны.

Такую задержку сигнала мог дать, например, пассивный переизлучатель, находящийся где-то в районе Луны. Только величина сигнала была бы мизерной, а Штермер и другие наблюдатели порой принимали сигналы, ослабленные только в три раза по сравнению с прямым сигналом передатчика.

Много сторонников было у волноводной гипотезы необычного радиоэха. Будто причина явления — естественный волновод. Радиоволна, путешествуя в нем и многократно огибая земной шар, прорывается в разных местах и в разное время сквозь нижнюю стенку волновода, и тогда становится слышна на Земле. Таким же образом объяснялась и разная величина времени задержки сигналов.

Многие факторы могут быть причиной прорыва радиоволн из естественного канала. В частности, разного рода неоднородности, как естественные, так и искусственные, которые образуются, например, из-за ионизации ионосферы под воздействием мощного радиоизлучения или за счет химической загрязненности.

Могут вывести радиоволну из природного волновода и метеорные следы, от которых она отражается.

Для того чтобы волна циркулировала в волноводе полминуты (а иногда бывали задержки и больше), она должна обогнуть земной шар не менее 200 раз. После такого путешествия сигнал сильно ослабевал, что не всегда согласовывалось с экспериментом. Так до сих пор у ученых и нет ясности относительно странных радиоэхо.

В 60-х годах профессор Стенфордского университета Брейсуэлл выступил с гипотезой, согласно которой наши возможные соседи по Галактике посылают автоматические зонды к планетам иных звездных систем, такие зонды могли быть отправлены и к Земле, а также и к остальным планетам Солнечной системы.

«Если мы рассмотрим ресурсы биологического конструирования, — сказал Р. Брейсуэлл на одной из своих Лекций, — представляется правдоподобным, что некоторое отдаленное общество может послать космических Посланцев, имеющих мозг, но не имеющих тела, впитавших традиции своего общества и распространяющих их основном бесплотно. Однако некоторые из них окажутся средством распространения межгалактической Культуры».

Такой посланец следит за радиосигналами планеты: они оповестят его, что цивилизация достигла зрелости и можно устанавливать связь. «Будем ли мы удивлены, — спрашивал Р. Брейсуэлл, — если первым его посланием будет телевизионное изображение созвездия?» «Серии Штермера», по мнению Брейсуэлла, могли быть таким посланием.

Английский астроном Д. Льюэнн отметил на графике в виде точек интервалы между сигналами и эхом, на другой оси координат он отложил порядковые номера сигналов передатчика (они посылались через равные промежутки времени). Получилась карта созвездий северного полушария! Звезды на ней занимали несколько отличное положение от того, какое наблюдают астрономы сегодня. Но она довольно точно соответствовала одиннадцатому тысячелетию до нашей эры. Именно тогда, по мнению Льюэнна, прибыл космический посланец, оснащенный радиоаппаратурой.

Только одна из звезд — эпсилон Волопаса — была явно не на своем месте. Таким способом автомат выделяет звезду, пославшую его, решил Льюэнн.

Болгарские любители астрономии применили другой способ дешифровки и пришли к заключению, что зойл прибыл со звезды дзета Льва.

Существуют еще варианты дешифровки «серии Штермера». Мы видим: смысловое содержание, при условии, что такое имеется, трактуется далеко не однозначно. Кроме того — многие сообщения не полны, поскольку Штермер пропустил однажды начало передачи. Но есть ряд факторов, которые можно отнести в пользу гипотезы Брейсуэлла. Так, задержанные эхо неизменно появлялись при освоении новых диапазонов. В дальнейшем их интенсивность и частота появления падали и еще один факт — появление сильных радиоэхо связано с положением одной из либрационных точек системы Земля — Луна. Наиболее интенсивные сигналы наблюдались тогда, когда запаздывающая либрационная точка проходила через меридиан. В печати встречаются сообщения и о наблюдении в этих точках слабых объектов. Возможно, что инопланетный зонд находится там.

Точки либрации, их еще называют лагранжевыми, обладают уникальными свойствами. Если в нее попадет космический аппарат, то он сможет находиться в ней бесконечно долго, потому что гравитационные и центробежные силы в этих точках уравниваются. На практике, чтобы компенсировать разного рода возмущающие воздействия, может быть, придется иногда включать двигатель. Таких удивительных точек в системе Земля — Луна пять. Все они находятся недалеко от Луны. В проектах будущего им принадлежит видное место. В точках либрации предполагают разместить космические станции, лаборатории, ретрансляторы для создания системы земной глобальной связи и связи с обратной стороной Луны, промежуточные базы при полете на Луну, космические поселения.

Если принять гипотезу Брейсуэлла, то следует признать высокий технический и научный уровень цивилизации, пославшей зонд. Исключительны надежность и ресурс аппаратуры. Ее возраст, по крайней мере, несколько тысячелетий. Широкий диапазон длин волн, в котором наблюдались радиоэхо с космической задержкой, говорит об очень совершенных радиотехнических устройствах, к которым мы, земляне, только еще приближаемся. Высказано предположение, что зонд занимается сбором информации о земной цивилизации и

имеет большое число разведывательных устройств, а то, то принимается на Земле, есть обрывки связи между ними.

Идея установления контакта или обнаружения циклизации путем посылки автоматического зонда представляется более эффективным решением, нежели попытка поиска цивилизации из своего родного дома, о оценкам Брейсуэлла, шанс обнаружить внеземную цивилизацию при условии, что она активно ищет с нами контакта, составляет гораздо меньше, чем один из миллиона.

Зонд же во многом облегчает задачу. После того как он войдет в расположение соседней цивилизации, обнаружить ее сигналы уже не представит особого труда, более того, становится возможной обратная связь с цивилизацией, пославшей его. Таким образом, высшая цивилизация вооружает низшую техническими средствами для связи.

Вполне возможно, что цель зонда ограничивается только задачей обнаружения цивилизации, а не контакта с ней. Тогда зонд может быть защищен от наших попыток войти с ним в контакт. На первый взгляд эта логика кажется непонятной, но проблема контакта столь многогранна, что такое поведение не исключается.

К тем же выводам, что и Брейсуэлл, пришел и американский физик, и радиоинженер Деллинджер. В 1962 году он писал: «В 2012 году едва ли будут корабли, посылаемые к звездам. Человек, вероятно, не полетит в космическом корабле к звездам... Исследование осмоса в 2012 году будет производиться в основном не космическими кораблями, а специальным оборудованием с использованием радиоволн».

Как на деле проверить гипотезу Брейсуэлла относительно связи непонятных радиоэхо с инопланетным зонтом? По мнению специалистов, просто это сделать вряд и удастся. Можно, например, послать космический аппарат в точки либрации и проверить: не притаился ли там межпланетный посланец. Но такая проверка требует затрат и пока, кажется, не планируется. Заведующий лабораторией Института космических исследований. Л. Ксанфомалити предлагает поставить эксперимент на космических аппаратах, направляемых к планетам Солнечной системы. На аппарате должен быть установлен радиопередатчик сигнала с какой-либо модуляцией и

приемник с коррелятором, то есть рассчитанный на прием такого же по форме сигнала. За длительное время полета можно получить необходимую информацию разобраться, что к чему. Если исходить из реальности задержанных радиоэхо и из связи, с зондом, предположительно находящимся не намного дальше Луны, то эффект задержанного радиоэхо должен изменяться по мере удаления аппарата от Земли и полностью отсутствовать у других планет. Если же задержанные радио эхо будут иметь неизменные характеристики на любом отдалении от Земли, то феномен следует, скорее, связать с каким-то неизвестным явлением природы. «Та кое предположение достаточно фантастично, но под стать самому задержанному радиоэхо».

КАК ВОЗНИКАЮТ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МИРАЖИ — «ПРИЗРАКИ»

Ни одно техническое средство, ни один прибор (за исключением, пожалуй, телескопа) не способны заглянуть на такие большие расстояния, как это может радар. Естественно, его колоссальные возможности порождают немало загадок. Одна из них — радиолокационные «летающие тарелки». Их называют еще «призраками», «ангелами»...

Во многом благодаря радару и возникла проблема «тарелок», хотя отдельные сообщения о странных летающих предметах, в основном от летчиков, поступали и раньше. Но к радару доверие особое. «Ведь радар, — утверждали сторонники «тарелок», — лишен фантазии, он фиксирует объективную реальность, то есть какие-то материальные тела». Против такого довода трудно было поначалу возразить...

Их заметили уже давно — почти с момента появления первых радиолокаторов. Они ставили в тупик конструкторов радаров, беспокоили и заставляли ошибаться дежурных операторов. На экранах радаров появлялись отметки от неизвестных неопознанных целей, из-за чего и происходили ошибки. Порой эти отметки были похожи на сигналы, отраженные от одиночных самолетов; а иногда в виде ярких колец засвечивали экран. Загадочные отраженные сигналы принимались и при ясной атмосфере из областей, где, казалось, ничего нет.

Иногда «призраки» вызывали настоящую панику, как, например, в июле 1952 года в США. Газетные заголовки сообщали, что над Вашингтоном появилась армада «летающих тарелок», зафиксированных радарными, вашингтонское небо с ревом прочесывали реактивные истребители. Однако они ничего не обнаружили. Несколько летчиков, самолеты которых наводили наземные радары, сообщили, что видели быстро удаляющиеся световые точки. Некоторые сразу же сделали вывод, что «тарелки» очень пугливы, а глава одного добровольного общества по ракетной технике даже обратился к министерству военно-воздушных сил с просьбой не допустить враждебных акций по отношению к космическим пришельцам. Радиостанция города Индианаполиса обратилась к «тарелкам» со специальной радиопередачей, в которой заверяла их обитателей в своем дружеском расположении, гарантировала им полную свободу и приглашала приземлиться на одном из аэродромов штата.

Относительно вашингтонских «летающих тарелок» специалисты так и не пришли к единому мнению, а вот причиной многих «призраков», как мы уже знаем, являются природные волноводы. Оператор наблюдает на экране индикатора «радиолокационный мираж», хотя целей в зоне обзора нет. Миражи — отражения эхо-сигналов от объектов, расположенных далеко за пределами рабочих дальностей, на осмотр которых радар и не Предназначен. Но те далекие эхо-сигналы невольно попадают на экран радара, и подчас трудно определить: с рабочей или запредельной дальности пришел сигнал.

Посмотрим, как все происходит. Радиолокатор излучает зондирующий сигнал. На время излучения радиоприемное устройство радара электронно запирается, чтобы оно не перегорело от мощного сигнала передатчика, а затем открывается и начинает принимать эхо-сигналы. Причем поначалу чувствительность приемника ала, чтобы радар не «слепнул» от сильных эхо-сигналов, отраженных от недалеко расположенных объектов, увеличением промежутка времени с момента излучения зондирующего сигнала чувствительность приемника увеличивается и ко времени возможного прихода эхо-сигналов от целей на больших расстояниях становится максимальной. Это так называемая временная регулировка усиления приемника.

Как мы знаем, по промежутку времени между излученным импульсом и принятым эхо-сигналом (поскольку

известна скорость распространения радиоволн) автоматически определяется расстояние до цели. Зондирующий импульс запускает генератор развертки, который перемещает электронный луч на экране индикатора линейно со временем, подобно генератору строчной развертки в телевизоре, останавливает его незадолго до прихода следующего зондирующего импульса и к его началу возвращает луч в исходное положение, соответствующее нулевой дальности. Возвращение луча называется обратным ходом развертки. Когда приходит эхо-сигнал, то он дает всплеск на индикаторе в том месте, где в это время находился электронный луч. Развертки луча во времени проградуирована на экране масштабными метками в километрах, так что оператор может сразу по индикатору определить расстояние по цели. С началом каждого зондирующего импульса процесс повторяется.

Максимальная, или как еще ее называют, инструментальная дальность радара ограничивается периодом времени между двумя последовательно излученными импульсами передатчика. Она примерно равна (чуть меньше из-за времени, затрачиваемого на обратный ход развертки) произведению скорости распространения радиоволн на половину периода повторения импульсов передатчика. Половину периода — потому что за весь период повторения, излученный сигнал успевает «пробежать» расстояние до объекта, расположенного на максимальной дальности, отразиться от него и вернуться обратно, то есть проделать путь вдвое больший максимальной дальности. Например, если период повторения равен одной миллисекунде, то максимальная дальность равна 150 километрам.

Мощность зондирующего сигнала и чувствительность приемника выбираются такими, чтобы с требуемой вероятностью обнаружить цель на максимальном расстоянии. После излучения зондирующего импульса радаром и до момента излучения следующего импульса приемник при нормальной, стандартной атмосфере (то есть при отсутствии природного волновода) принимает сигналы, которые для нашего примера являются эхом, отраженным от объектов на расстояниях до 150 километров. Эхо-сигналы от предметов, расположенных дальше, придут уже после излучения следующего зондирующего импульса и могут дать всплеск, когда на индикаторе будет следующий ход развертки. Но радары проектируются

так, чтобы эти «опоздавшие» с запредельных дальностей сигналы были бы малыми. Например, чтобы их, по возможности, «не видела» антенна. Обычно трудно сделать так, чтобы радар сразу же «ослеп» после заданной дальности, в нашем случае дальше 150 километров, а потому на вход приемника все-таки поступают сигналы, отраженные от объектов, расстояние до которых превышает этот рубеж.

Например, на 160 километрах летит какой-либо большой самолет или находится высокая горная гряда, которую задевает диаграмма направленности антенны. Эхо-сигнал в таком случае попадает на индикатор на второй ход развертки в ее самое начало, соответствующее дальности в десять километров. В этом и заключается проблема для оператора: то ли эхо-сигнал отражен от цели на десяти километрах, то ли с дистанции, большей на 150 километров, то есть со 160 километров. Правда, в данной конкретной ситуации трудностей у оператора не будет: цель, вряд ли сможет пройти 140 километров незамеченной, да еще, как мы знаем, чувствительность приемника на малых дальностях затрублена, и поверхность цели, отражающая радиоволны, должна быть довольно большой, чтобы на экране радара возник всплеск, говорящий о ее обнаружении. Но если всплеск все-таки появится, то оператор, не раздумывая, скажет, что это «мираж», то есть «опоздавший» сигнал от предыдущего зондирующего импульса.

Парадоксально, но трудности возникают с увеличением дальности. Допустим, что далеко за пределами зоны обнаружения на поверхности земли расположены большие объекты, например горы или большой корабль, или самолеты, летящие не так высоко. В нормальных условиях они не попадают в диаграмму направленности антенны. Природный же волновод искажает «зрение» радара, делает его на малых высотах, или, как говорят локаторщики, под малым углом места, дальнотормит. Он «загибает» путь радиоволн, направляет их вдоль поверхности земли, и они облучают предметы, находящиеся далеко за радиогоризонтом, предположим, для нашего примера — на дальности 580 километров. Радиоэхо, отраженное от этого объекта, поступит на экран индикатора, когда там будет уже четвертый ход развертки, то есть после того, как были излучены три следующих зондирующих импульса. И такой сигнал дает всплеск на экране в месте, которое соответствует дальности в

130 километров (то есть разнице между истинной дальностью 580 километров и утроенной инструментальной дальностью $150 \times 3 = 450$ километров). А это уже в конце дистанции, где чувствительность приемника высока. Вот так оператор может получить на экране «призрак». Цели в зоне обзора в радиусе до 150 километров нет, а сигнал на индикаторе есть. Сама же причина столь запоздавшего эхо-сигнала находится за многие сотни километров. Так и был принят сигнал, отраженный от острова Мальта, за вражеский корабль, будто находившийся в пределах досягаемости орудий, хотя сам остров пребывал за многие сотни километров.

Не всегда волноводный эффект проявляет себя одинаково по всем направлениям, или, как говорят локаторщики, по всем азимутам. Это особенно заметно, если радар расположен на берегу моря или на корабле, стоящем на рейде. Часто бывает так, что над морем — волновод, а над сушей условия распространения радиоволн нормальные.

В настоящее время применяют разные типы радаров. Некоторые из них от «миражей» избавлены. Пришлось, конечно, усложнить аппаратуру. Но по-прежнему используются и простые, дешевые радиолокаторы, в которых возникают такого рода «призраки».

Природные волноводы нередко сопровождают грозу. На индикаторе внезапно увеличивается число наземных целей. И это понятно: радиоволны «пригнулись» к земле. Правда, долго такие условия не сохраняются — всего на протяжении получаса — часа. Но данное свойство радара все равно оказалось полезным — оно используется для обнаружения грозовых очагов.

Бывает, что природа и «перегибает палку». При некоторых условиях слишком сильно «загибаются» радиоволны: они уже бегут не параллельно поверхности земли, а где-то «упираются» в землю. Тогда, например, автомашина на шоссе может быть принята за «летающую тарелку».

Со времен войны, когда еще только делались первые попытки исследовать радиоволноводы над сушей и морем, инженеров не покидала мысль: а нельзя ли обратить па пользу данное явление или хотя бы научиться предсказывать его. Особый интерес был у моряков, ведь над морем волноводы возникают довольно часто. Например, в Восточном Средиземноморье и северной части Индийского океана вероятность их возникновения —

процентов. Сверхдальняя радиолокация и радиосвязь этих районах — не редкость. Появилась даже такая дисциплина, как радиоклиматология, которая занимается сбором и систематизацией данных, влияющих на процесс распространения радиоволн в разных климатических районах.

В наше время давние задумки первых локаторщиков али реальностью. В США создана система IREPS (аббревиатура первых букв английского названия, которое в переводе на русский язык означает: объединенная система прогнозирования рефракционных эффектов), основные ее потребители — моряки. Она прогнозирует появление радиоволноводов. В систему входит малая ЭВМ, на которой моделируется процесс распространения радиоволн при различных метеоусловиях (давлении, температуре, влажности воздуха) на трассе распространения. Данные замеряют с помощью воздушных радиозондов. Затем их вводят в ЭВМ, и машина дает ответ, как будет распространяться радиоволна — нормально или побежит по природному волноводу. Вероятность правильного ответа — около 85 процентов. Более достоверный ответ получается, если замеры проводить с самолета СВЧ-рефрактомером — прибором для измерения Коэффициента преломления электромагнитных волн атмосферой. Самолеты с такими приборами базируются на американских авианосцах.

ЭВМ выводит на дисплей интересующие данные: какова будет дальность обнаружения кораблей различных классов, на какой дальности свой корабль может быть «увиден» противником, какова будет дальность средств радиосвязи, передатчиков помех... Ведь в условиях природного волновода даже небольшой передатчик помех может «ослепить» радиолокационные и связные станции. ЭВМ может и посоветовать, какую выбрать частоту повторения зондирующих сигналов передатчика радара, чтобы избежать «призраков» при сверхдальнем обнаружении.

Работы в этой области продолжаются, ведь в ЭВМ ведена довольно простая модель распространения радиоволн в атмосфере, не учитывающая еще многие факторы. Так что «призраки-миражи» стали вполне предсказуемы, а из так называемого «аномального явления» природы (сверхдальнее распространение радиоволн в атмосферном волноводе называется еще и «аномальным») научились извлекать определенную пользу.

ПЕРНАТЫЕ «АНГЕЛЫ»

Причина других «призраков», которых чаще называю «ангелами», более прозаична. Оказывается, очень много «ангелов» действительно летает на крыльях. Это обыкновенные птицы. Тот факт, что радиоволны могут отражаться от птицы, был неожиданным даже для разработчиков радаров. Ведь каждому известно, что радиоволны хорошо отражаются от металлических поверхностей, а перья птиц ничего общего с металлом не имеют.

Радиолокационные сигналы, отраженные от птиц, заметили еще перед войной. Не все случаи, конечно, в то время регистрировали. Но некоторые из них стали впоследствии известны. Так, например, эхо-сигналы от птицы-боцмана наблюдали в 1939 году на американском военном корабле «Нью-Йорк», когда он находился вблизи Пуэрто-Рико. Отраженный сигнал на экране радара «дышал» в такт со взмахами крыльев.

В некоторых районах Англии были замечены «ангелы-кольца». Иногда на чистом экране радиолокатора неожиданно появлялось отчетливое пятно. Яркость пятна и его размеры увеличивались, затем оно постепенно бледнело в центре и превращалось в кольцо. Кольцо расширялось, тускнело и через несколько минут исчезало совсем. Обследовали места, где чаще появлялись «кольцевые ангелы», и обнаружили, что они совпадают с местами отдыха огромных стай скворцов. Самое сильное радиоэхо возникало при восходе солнца, когда тысячи скворцов покидали свои гнезда.

Эхо-сигналы от птиц могут сильно затруднить, а порой сделать невозможным обнаружение самолетов. Достаточно трех птиц на каждый квадратный километр осматриваемой зоны, чтобы «забить» экран индикатора. Радиолокационное эхо от стаи журавлей или гусей может замаскировать сигнал, отраженный от самого большого реактивного самолета. Во время осенних и весенних миграций птицы могут полностью нарушить работу аэродромных станций, расположенных на пути миграций. На экранах радаров в этот период появляется множество пятен, которые перемещаются как падающие листья. За рубежом такие помехи так и называют: «падающие листья». Иногда их еще называют «ночным эффектом», «сезонными помехами от ангелов».

Некоторые птицы могут летать со скоростью до 90

километров в час (при попутном ветре еще быстрее). То есть их скорость сравнима со скоростью вертолетов и легкомоторных самолетов. Поэтому специальная аппаратура селекции движущихся целей (СДЦ), которая подавляет мешающие отражения от неподвижных местных предметов, а пропускает на экран лишь сигналы от движущихся объектов, оказывается неэффективной по отношению к таким высокоскоростным пернатым.

С помощью уже упоминавшейся временной регулировки усиления удастся «подчистить» экран радара от птичьих эхо-сигналов, но она бессильна что-либо сделать во время массовых миграций.

А вот от таких помех, о которых сообщила японская международная телеграфно-телефонная корпорация, никакие электронные регулировки не помогают. Птицы буквально забивают радиолокаторы. Семь параболических антенн спутниковой связи, являющихся важнейшим звеном в обеспечении международной телефонной связи и трансляции телевизионных программ, подвергаются периодическим налетам птичьих стай. Мало того что во время ежегодных сезонных миграций полчища усталых птиц облепляют антенны, загрязняют их поверхность, но например, воробьи и голуби, в конструкциях антенн еще и выют себе гнезда, а вороны своими толстыми клювами долбят провода, оголяют их, вызывая короткие замыкания. Понятно, что в результате такой птичьей деятельности связь ухудшается либо вовсе прекращается.

Что только ни делали служащие компании: смывали водой птичьи гнезда, развешивали пугала, издававшие звуки. Увы, отвадить пернатых так и не удалось...

Неожиданный факт обнаружения птиц радаром натолкнул биологов на мысль использовать радары для изучения миграции птиц. В последнее время этот вопрос приобрел большое значение и связи с обострением «битвы за воздух» между ними и самолетами. Трудно сказать точно, когда самолетам и птицам стало в небе тесно. Один из первых «боев» зарегистрирован еще на заре авиации — в июне 1912 года. Не минула сия чаша и чкаловский экипаж, когда летом 1936 года он возвращался на АНТ-25 из героического перелета до острова Удд и над Барабинскими степями столкнулся с дикой уткой. Газеты писали, что экипаж почувствовал небольшой удар в самолет, а когда приземлились, механики

обнаружили на передней кромке крыла приличную вмятину.

В наше время птиц стало меньше, но зато самолетов — больше. Статистика насчитывает, что ежегодно в мире происходит до двух тысяч столкновений самолетов с птицами. Из этого единоборства самолеты не всегда выходят победителями. Так, из-за такого столкновения на большой скорости во время тренировочного полета погиб один из американских кандидатов в астронавты Роберт Лоуренс.

Как-то сверхзвуковой истребитель, пилотируемым нашим прославленным асом, трижды Героем Советского Союза И. Н. Кожедубом, получил серьезное повреждение из-за столкновения с обыкновенным грачом. Только запас скорости, и быстрота реакции выручили летчика. Даже воробышек при ударе об обшивку самолета на скорости в несколько сот километров в час способен нанести серьезные повреждения летательному аппарату.

Известны случаи, когда птицы намеренно атакуют самолеты. В октябре 1986 года в газете «Правда» сообщалось о том, что истребитель-бомбардировщик был атакован орлом. Птица попала в двигатель, и летчику пришлось катапультироваться. Вероятная причина на падения, высказанная компетентной комиссией, — орел хотел отомстить за смерть своей подруги, которая погибла в этих местах из-за столкновения с самолетом (для машины в тот раз все обошлось благополучно). И, как говорят летчики, такие «вендетты» уже бывали.

Даже новейший стратегический бомбардировщик США — В-1В — стал в сентябре 1987 года жертвой пернатых. Их засосало в два двигателя; лишь трем из шести летчиков удалось спастись. Остальные пропали без вести. Слава богу, что на борту не было ядерного оружия.

Особенно опасны птицы вблизи земли — именно две трети от общего числа столкновений происходит при взлете и посадке. Трагическая катастрофа произошла в 1960 году близ Бостона, когда самолет компании «Локхид-Электра» столкнулся при взлете со стаей скворцов. Из строя вышли сразу три двигателя. Число жертв составило 62 человека.

Как назло, аэродромы особенно привлекают пернатых. Было время, и еще недавно, когда ревущие на взлете воздушные лайнеры на много километров вокруг распугивали

птичье племя. А нынче птицы не только не боятся самолетов, но, наоборот, сами слетаются на аэродром. Мощные потоки воздуха от двигателей поднимают с земли массу насекомых, вот и набрасываются на них грачи, галки, скворцы и прочие птахи. Вороны же приноровились на южных аэродромах раскалывать орехи, бросая их с высоты на бетонную полосу.

Подчас приходится прибегать к «радикальным мерам». Например, Франция закупила в Канаде ястребов, причем самых крупных. Каждая птица оценивалась в полторы тысячи долларов. Эти великолепные экземпляры предназначались для защиты сверхзвуковых истребителей «Мираж» от... чаек. Их огромные колонии обитают на приморских аэродромах и нередко в результате столкновения с птицами самолеты получали повреждения. По рекомендации орнитологов правительство и закупило ястребов, чтобы неугомонные «нарушители» держались подальше от аэродромов.

Зачислили ястребов-тетеревятников и в штат Аэрофлота, в частности, в ленинградском аэропорту «Пулково». Когда в районе аэропорта появляются птичьи стаи, ястребы выходят на работу. В считанные минуты небо очищается. Так старинную русскую забаву — ястребиную охоту — отрядили в помощь самой современной технике.

А на одном военном аэродроме в Англии, чтобы отпугнуть птиц, включали на полную мощность музыку поп-ансамбля «Куин». Как объяснил тамошний ефрейтор, птицам не нравились ритмы с резкими тональными переходами, чем характерен ансамбль «Куин», и пернатые поспешно убегали восвояси. Зато служащие королевских ВВС были в восторге от музыки поп-ансамбля. Ну что ж, о вкусах, как говорится, не спорят.

В обиходе авиаторов появилось новое понятие — орнитологическая обстановка, а в аэропортах — новые должности — инженеры по авиационной орнитологии. Немалую помощь авиаторам оказывает радар. Он помогает избежать неприятных для самолета контактов с пернатыми. На основании данных наземного радиолокатора (а он может обнаружить стаи птиц за сто километров) пилоты выбирают безопасный путь, обходят скопления пернатых.

Уже при случайном использовании радара были получены очень важные для орнитологов данные. Оказалось, что самые отважные представители пернатых забираются

выше Эвереста, в чем однажды удалось убедиться одному из экипажей нашего авиалайнера. Их самолет, правда, на несколько меньшей высоте, а именно на восьми тысячах метров, столкнулся с орлом. Неведомо, зачем орел забрался на такую высоту. Только от экипажа потребовалось немалое мужество и мастерство, чтобы дотянуть до запасного аэродрома.

Специальные радары могут не только обнаруживать одиночных птиц, но и различать их по амплитудным и доплеровским «почеркам» (амплитудным и частотным отличиям принятых сигналов). Возникла новая увлекательная наука — радиолокационная орнитология. С помощью радара, оказывается, можно подсчитать число пролетающих птиц, определить, какие высоты и маршруты предпочитает тот или иной их вид...

Повышенный интерес к орнитологии не случаен. Она давно перестала быть лишь теоретической наукой. Ее прикладные ветви не только работают на авиаторов, но и помогают медицине: ведь птицы — переносчики вирусов, паразитов. Без орнитологов не обойтись службе борьбы с вредителями растений. Биологический механизм полета пернатых — объект пристального внимания специалистов по бионике.

Для изучения миграций птиц и других представителей фауны прибегли даже к пока еще дорогостоящей космической технике. Французские ученые создали систему «Аргос», которую установили на американских спутниках Земли, вращающихся на полярных орбитах. «Аргос» принимает и ретранслирует на наземные приемные пункты сигналы от крошечных радиопередатчиков, закрепленных на теле птиц, а также других животных, в частности китов и дельфинов. Кроме того, система ретранслирует информацию от автоматических наземных станций, на морских буях, шарах-зондах.

МОСКИТ НА ЭКРАНЕ РАДАРА

Хотя радиоэхо от птиц наблюдали еще до войны, сделать окончательный вывод о том, что большинство точечных «ангелов» (сигналы от них напоминают эхосигналы от самолетов) — это отражения от птиц, смогли только в 60-х годах. Американские ученые использовали для экспериментов многоволновый радар, способный обнаружить одиночного москита на расстоянии свыше

двух километров. Столь длительный срок поиска истины объясняется сложностью проблемы. Слишком много причин вызывают «ангелов».

И одна из них — насекомые. Да, насекомые, а вернее, радиолокационные отражения от них, тоже озадачивали операторов. То, что насекомые, как и птицы, способны отражать радиоволны, заметили в конце 50-х годов. Сигналы от них были очень короткими, потому их также называли точечными «ангелами». Однако этой версии поверили далеко не все. Действительно, визуально трудно убедиться, есть ли в том направлении, откуда пришел отраженный сигнал, причем за многие километры от радара, насекомые или нет. Споры продолжались до середины 60-х годов, пока, наконец, не убедились, что основная причина таких сигналов — все-таки отражения от насекомых. Причем отраженный сигнал может дать всплеск на экране радара даже при весьма незначительной концентрации мошек (одно насекомое на 10 000 кубических метров).

Насекомые — отличные трассеры для изучения циркуляций в атмосфере с помощью радара. Наблюдая за эхо-сигналами, отраженными от захваченных воздушными потоками мошек, можно увидеть как бы в разрезе дороги ветров на расстояниях, превышающих даже сто километров. А висящие в безветренную погоду в воздухе невидимые глазу рои насекомых могут быть приняты за сигнал от зависшего неопознанного объекта.

Но, как говорят, нет худа без добра. Изменили точку зрения, и то, что считали помехой, стало полезным эффектом. Для радара нашли новое применение — заблаговременно предупреждать о нашествии саранчи. С его помощью можно обнаруживать зоны ее активности на площади до нескольких тысяч квадратных километров. А саранча — противник серьезный, опасный своей неисчислимостью. На экране радара ее рои подчас образовывали единую колонну длиной до ста километров. И не загородишься от нее: высота полета саранчи достигает полутора километров. Это тоже определил радар.

Так вслед за орнитологами радар стал помогать энтомологам: возникла еще одна новая научная дисциплина — радиолокационная энтомология. С помощью радара американские ученые проникли в тайны развития таких назойливых мошек, как москиты, и даже изучили их дальние миграции. Причем исследования они провели на армейской радиолокационной станции, предназначенной

для засечки минометных позиций, работавшей на длине волны 1,9 сантиметра. Факт показателен: сколь много мирных профессий мог бы обрести радар, если бы он был «освобожден от воинской повинности».

Есть некоторые вещи, в которые почему-то верится с трудом, несмотря на то, что в наше энтээровское время мы уже теряем способность чему-либо удивляться. Пожалуй, то, что радар может обнаружить мошку, относится именно к таким вещам. Сейчас с помощью радара можно следить за распространением вредных насекомых и паразитов. Лет пятьдесят назад этому не поверили бы. Перенесемся на минуту в то время.

Январь 1934 года. Двадцатилетний инженер Центральной радиолоборатории Ю. К. Коровин провел первые опыты на льду Финского залива по радиолокационному обнаружению гидросамолета. В затею верили лишь единицы энтузиастов. А сейчас радары изучают жизнь насекомых, инженеры выводят формулы для расчета радиоотражающей поверхности какого-нибудь комара точно так же, как лет 20—30 назад подобного рода формулы придумывались для самолетов, ракет, кораблей.

Крошечный москит и самолет, вещи, казалось бы, несовместимые. Но для современных радаров оба они — объекты наблюдения.

К сожалению, радиолокационные свойства сигналов, отраженных от птиц и насекомых, интересуют не только орнитологов и энтомологов, но и разработчиков армейских радаров. Для них появились новые цели: разного рода легкие беспилотные летательные аппараты с дистанционным управлением, так называемые «воздушные роботы», предназначенные в основном для разведывательных целей. Например, один из таких роботов — израильский «Скаут» — был применен в Ливане летом 1982 года. Он в дневное время, словно из студии передал телевизионное изображение позиций ПВО. По сведениям из зарубежных источников, планируется также использовать мотодельтапланы — посадить на них десантников и разведчиков.

Эти летательные средства не намного превосходят в скорости пернатых, да и отраженный от них сигнал невелик. Не исключено, что иногда оператору придется поломать голову: где сигнал от дельтаплана, а где от птичек и мошкар.

Известием о том, что птицы для изучения путей и

миграции снабжаются радиопередатчиками, в наше микроэлектронное время уже не удивишь. Но мысль, чтобы насекомому размером с муху приладить радиопередатчик, все-таки может показаться фантастичной. А между тем один инженер из Калифорнии сделал такой передатчик, рассчитанный на восемь часов непрерывной работы. С его помощью можно достоверно узнать весь распорядок дня насекомого.

СИГНАЛЫ ИЗ ЯСНОГО НЕБА...

Однажды, когда я интересовался проблемой «ангелов», мне встретилось подзабытое со школьной поры четверостишие, как раз, казалось бы, на эту тему:

Небо осмотрели
Изнутри и наружно,
Никаких богов и ангелов
Не обнаружено.

Маяковский, конечно, имел в виду божьих ангелов. А вот их радиолокационные «тезки» есть и в чистом небе, хотя визуально в нем ничего не обнаруживается: ни насекомых, ни птиц...

Если бы человек мог видеть в радиодиапазоне, наша атмосфера не была бы для него такой прозрачной. Она походила бы на воду (словно смотришь со дна бассейна), по поверхности которой пробегают волны, рябь, всевозможные вихри... Такую картину можно увидеть и на экране мощного высокочувствительного радара. Чтобы разобраться в этом, вспомним, почему небо голубое?

Этот вопрос иногда задают на экзаменах по физике. Целое созвездие корифеев науки (и даже кое-кто еще в (начале XX века) решало задачу. Сегодня ответ общеизвестен. Свет рассеивается на неоднородностях атмосферы. Неоднородности — не только взвешенные в атмосфере частицы пыли, а главным образом хаотически малые сгущения и разрежения воздуха (флуктуация плотности), которые приводят к изменению коэффициента преломления.

Причем чем короче длина волны, тем сильнее рассеяние (интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна 4-й степени длины волны). Например, длина волны фиолетовых лучей (0,4 микрометра) в два раза меньше длины волны красных (0,8 микрометра).

Поэтому фиолетовые лучи рассеиваются в 16 раз сильнее, чем красные, и при равной интенсивности падающего излучения фиолетовых лучей в рассеянном свете будет в 16 раз больше, чем красных. Все остальные цветные лучи солнечного света (синие, голубые, зеленые, желтые, оранжевые) войдут в состав рассеянного света в количествах, обратно пропорциональных 4-й степени длины волны каждого из них. Если рассеянные лучи взять в таких соотношениях, то цвет получившейся «смеси» будет голубым.

Радиоволны также рассеиваются на неоднородностях атмосферы и часть из них улавливается антенной локатора. Их мощности зачастую бывает достаточно, чтобы вызвать засветку на экране радара. Так возникают «ангелы» при совершенно прозрачной атмосфере. На небе ни облачка, а на индикаторе «ангелы».

Только размеры неоднородностей плотности атмосферы должны быть во много раз больше, чем при рассеянии света, потому что и длина радиоволн гораздо больше. В отличие от микрон неоднородностей, на которых рассеивается свет, не видимые глазом макрон неоднородности, на которых рассеиваются радиоволны, не существуют постоянно, но они возникают довольно часто и могут иметь причудливую конфигурацию. «Ангелы» на экранах радаров — копии этих затейливых рисунков. И многокилометровые по высоте столбы, и горизонтальные полосы, и синусоидальные кривые, и профили морских волн с опрокидывающимися гребнями, и ряд концентрических окружностей, и любая другая фантазия природы, воплощенная в изменениях плотности атмосферы. Вертикальные столбы — отражения радиоволн от восходящих и нисходящих потоков воздуха. Внутри столба образуются завихрения (турбулентность), а скорость потока воздуха может достигать нескольких сотен километров в час. Невидимые с земли вихри аэрологи называют турбулентностью ясного неба. Они опасны для самолета. 12 февраля 1963 года реактивный самолет «Боинг-720», летевший из Флориды в Чикаго, не справился с вертикальным турбулентным потоком и потерпел катастрофу. Оператор радара на земле наблюдал на экране, как самолет вошел в «ангел» в виде белого пятна, хотя летчик передавал по радио, что он летит в чистом небе.

Воздушные ямы, вызывающие сильную болтанку самолетов, термики (большие «пузыри» воздуха, поднимающиеся

над нагретой поверхностью), морские и береговые бризы, завихрения, образующиеся при движении воздуха над неровностями земной поверхности, частицы пыли — все это причины «ангелов». Полагают, что еще одним источником «кольцевых ангелов», помимо птиц, являются так называемые гравитационные и взрывные волны, которые возникают в неустойчивых слоях атмосферы.

С явлением, названным турбулентностью ясного неба, познакомились не так уж давно. До начала эры реактивной авиации господствовало мнение о том, что на высотах 6—10 километров и выше отсутствуют привычные для более низких высот воздушные ямы, болтанка, и авиапассажиров ждет спокойный полет. Однако в начале 50-х годов стало ясно, что и на больших высотах самолеты, случается, тоже испытывают сильную болтанку. И это происходит не только при полетах вблизи мощных облаков, где обычно атмосфера находится в возмущенном состоянии, но и там, где никаких облаков нет, среди ясного неба.

Статистика показывает, что около трех процентов времени самолет летит в зоне по крайней мере слабой турбулентности ясного неба. Значительно реже встречаются области более сильных завихрений, где возможны даже повреждения самолетов. Часто зоны турбулентности наблюдаются на экране радара в виде слабо наклоненных слоев протяженностью до нескольких сотен километров, в которых самолеты испытывают слабую, но почти регулярную болтанку. Встречаются области, правда, размером поменьше — всего несколько десятков километров, — где самолет трясет основательно.

Чтобы избежать этих коварных областей, летчикам надо знать места их расположения на маршруте. Какие только способы их обнаружения не перепробовали: и приборами инфракрасного диапазона, и лазерами, и измерителями напряженности электрического поля... Сгодился лишь один — радиолокационный. Оказалось, что коварные зоны без всяких премудростей хорошо прорисовываются на экране высокопотенциального радара. Так называют локаторы с большой мощностью излучения и высокой чувствительностью приемника. Вот еще один пример того, что почти любое радиоэхо в зависимости от назначения радара можно рассматривать или как помеху, или как источник полезной информации, то есть всякий отраженный сигнал несет какую-то информацию.

«Ангелы» стали указателями потенциально опасных районов для самолетов. Правда, здесь тоже есть свои трудности. Например, чуть заметные перистые облака дают отраженные сигналы во много раз более сильные, чем от зон турбулентности ясного неба, и на фоне «ангелы» менее заметны. Не решен также целый ряд вопросов о взаимодействии радиоволн и турбулентной атмосферы, которые прояснили бы многие неясности в возникновении и поведении «ангелов». Радиолокационные методы изучения атмосферы становятся все более изощренными, и недалеко то время, когда радары будут заблаговременно извещать пилотов о возможности появления любых неприятных условий на трассе полета.

Атмосферные возмущения страшны не только для самолетов. Даже в европейской части нашей страны, сравнительно спокойной от ураганов и смерчей, они нет-нет, да и дадут о себе знать недоброй вестью. То целый дом вдруг унесет злобный вихрь, то всю деревню порушит, да еще так, что только в погребах и можно спастись.

Обычно смерчи формируются не менее чем за час, а сокрушают все за считанные минуты. Главная их опасность — внезапность. В то время когда обычные погодные условия можно спрогнозировать за несколько дней, о надвигающихся смерчах узнают за минуты до их налета. Первый тревожный знак — завихрения в облачности. На этом преимущественно и основано их обнаружение.

Часто бури, порождающие смерчи, охватывают площади до 50 километров в поперечнике и служат предвестниками чего угодно, начиная со шквалов и многочисленных молний и кончая губительными вихревыми воронками, где воздух закручивается со скоростью до 300 километров в час.

В США оценивают годовой ущерб от ураганов, смерчей, штормов, тайфунов в 20 миллиардов долларов. Цифра внушительная. В какой-то мере характеризует и цену прогноза. Там создается общенациональная система штормовых предупреждений, включающая в себя усовершенствованные радары, атмосферные датчики и компьютеры, связанные между собой высокоскоростными каналами передачи данных. Основа системы — доплеровские радары. Такие локаторы излучают непрерывные сигналы, и по разности частот излученного и

принятого ими сигналов измеряется скорость движения объекта, в данном случае ветра, штормового шквала. Радар определяет масштабы и интенсивность урагана, направление его движения, регистрирует высотные циркуляции ветров, порождающие смерчи, и отображает их на дисплее метеостанции. С начала 1988 года в США началось развертывание 160 радиолокационных станций этой системы, что обойдется в два миллиона долларов.

Еще один помощник метеорологов — «ветровидящее» радиолокационное устройство, которое известно под названием «профилер атмосферы». Он «смотрит» почти отвесно вверх и дает метеорологам картину вертикального распределения ветров и профиль атмосферного давления до высоты 15 километров. Анализируя изменения ветровой обстановки с помощью компьютеризированной модели, синоптики могут распознавать ее уловимые перемены, которые тем не менее способны стать детонаторами будущих ураганов. В 90-х годах на территории США предполагается разместить, по меньшей мере, сто таких «профилеров». Специалисты уверены, что новые технические средства окупят себя за очень короткий срок, хотя полностью избежать потерь от стихии, ветра, конечно, не удастся.

...И «ЛЕТАЮЩИЕ ТАРЕЛКИ»

Природные волноводы, птицы, насекомые, атмосферные возмущения далеко не исчерпывают всех потенциальных причин появления неизвестных сигналов на экранах радаров. Часть НЛЮ обязана своим происхождением ионизации воздуха. Это заметили еще во время второй мировой войны. Операторов беспокоили какие-то небесные посланцы. Особенно много эхо-сигналов появлялось на экранах радаров, когда Земля проходила сквозь метеорные потоки — своего рода метеорные «дожди» из хвостов, гуляющих по Солнечной системе комет. Причем «дожди» шли довольно часто и с завидным постоянством.

Потом поняли, что это метеоры. Радары легко ловили все метеоры, так как даже мельчайшая пылинка, движущаяся в атмосфере с космической скоростью (а метеоры вторгаются в околоземное пространство со скоростями от 11 до 72 километров в секунду), сгорая

оставляет за собой ионизированный след воздуха. Благодаря этому метеор — прекрасный объект для радара. Кстати, свойство метеорных следов — отражать радиоволны — использовали для создания систем радиосвязи. Они работают в прерывистом режиме. Когда есть метеоры — передаются сообщения, когда нет — информация накапливается и подготавливается для передачи. В отсутствие метеорного следа излучается только контрольный сигнал. Если его получили на приемном конце, значит, можно передавать информацию. Если прохождение сигнала прекратилось, то передача информации прерывается и вновь передается контрольный сигнал. В сущности, это своего рода адаптивная система. Она ведет передачу только при благоприятных условиях.

Даже если нет метеорного дождя, все равно наблюдаются так называемые спорадические метеоры. А их, ежедневно вторгающихся в атмосферу, миллиарды. В ясную безлунную ночь в течение часа можно увидеть невооруженным глазом 5—10 метеоров, а по данным радионаблюдений в любое время за одну минуту происходит две-три метеорные вспышки, и каждая длительностью около одной секунды.

Интересно, что и сами по себе сигналы на экране радара, отраженные от метеорного следа, могут о многом рассказать ученым. В частности, о том, какова скорость метеора. По дрейфу метеорных следов, который можно наблюдать на экране радара, судят об особенностях циркуляции верхней атмосферы, причем эту информацию можно получать в любое время суток.

Иногда операторов озадачивали эхо-сигналы, отраженные от загадочных серебристых облаков, которые находятся на высоте 80 километров, примерно там же, где и следы от метеоров. Видны на экранах радаров и отражения от ионизированных облаков, образующихся во время полярных сияний, и ионизированные следы от молний.

А вот еще один пример ионизированного сгустка, который может быть увиден и визуально, и на экране радара. В некоторых каменистых породах из-за механических напряжений возникает пьезоэлектрический эффект. Возникшее электрическое поле может ионизировать воздух над породой. Ионизированная область перемещается в атмосфере, светится и подчас принимает форму, характерную для многих НЛО. Такие явления

случаются в гористых местностях, в районах, где имеются разломы в земной коре и полости в горных породах, то есть в местах концентрации механических напряжений. Интересно, что насекомые в ионизированном воздухе тоже начинают светиться — излучать голубоватый свет. Светящийся рой вполне можно принять за неопознанный объект.

Можно привести еще одну вполне возможную причину, так сказать, глубинного характера.

В 1984 году Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий внес в государственный реестр работу, авторы которой открыли, что при появлении разлома в твердых телах высвобождающиеся электроны, ударяясь о противоположную поверхность трещины, порождают жесткое рентгеновское излучение. Эффект может быть



использован как сигнал о разрыве в земной коре. Или, иными словами, для прогнозирования землетрясений. Но мы знаем, что рентгеновские лучи — отличный ионизатор. Значит, из разломов могут вырываться ионизированные сгустки воздуха, то есть готовые НЛО, и не из космоса, а из недр земных!

Интересные особенности воздуха открыли стражи его чистоты, к которым принадлежит и М. Т. Дмитриев, заведующий кафедрой физико-химических и радиологических исследований Института общей коммунальной гигиены имени А. Н. Сытина АМН СССР.

Много опытов поставлено ученым за это время, по лучены интересные результаты, проливающие свет на природу светящихся объектов в атмосфере. Оказалось, что окружающий нас воздух — своеобразный постоянно действующий «генератор» света. Только его мощность в обычных условиях мала, так что глазами этот свет не заметишь. Зарегистрировать излучение могут только специальные приборы.

Причина генерации света — в химических реакциях микропримесей, постоянно находящихся в воздухе (озона, окиси азота, органических веществ, ионов, свободных атомов и других химически активных частиц). Такое явление — выделение света при химических реакциях — называется хемилюминесценцией.

Иногда концентрация хемилюминесцирующих частиц резко увеличивается. Причины могут быть самые разные. Загрязнение и нагрев атмосферы, электрические разряды, ультрафиолетовое облучение, прорыв в нижние слои атмосферы стратосферного озона... И тогда мощность воздушного генератора света резко возрастает. Образуется светящаяся зона. Свет вблизи нее может быть в двадцать раз ярче солнечного.

Светящиеся зоны могут быстро перемещаться, совершать замысловатые маневры, неподвижно висеть. В зависимости от состава микропримесей свечение может быть самых различных цветов и оттенков.

Концентрация ионов и электронов внутри зон повышается в тысячи и даже миллионы раз. Поэтому они прекрасно обнаруживаются радаром. Если концентрация активных частиц невелика, то свечение можно и не заметить, особенно в яркий солнечный день. Но все равно чуткие радары зафиксируют зону хемилюминесценции на своих экранах. Это разновидность «ангелов».

Светящиеся зоны генерируют не только свет, но и

радиоволны, причем в очень широком диапазоне. Радиоизлучение бывает довольно сильным и влияет на работу систем связи и электронных приборов, в частности ЭВМ.

Как и в фантастических произведениях, светящиеся зоны могут выстреливать сверкающие струи. Так случается, когда концентрация активных частиц в зоне хемилюминесценции неодинакова.

При движении зона иногда оставляет за собой светящийся «хвост». Воздушные перемещения внутри ее могут образовывать области с различными оттенками и яркостью. Создается иллюзия иллюминаторов на «корпусе» светящегося объекта.

Максимальные высоты, где летают светящиеся зоны, до 50—70 километров, а их размеры от нескольких сантиметров до нескольких километров, время жизни — полчаса час.

Чаще других встречаются светящиеся объекты, конечно, авиаторы. Например, видели их над Кустанаем и недалеко от Рязани на высотах 9—10 тысяч километров.

Под Рязанью светящаяся зона в форме эллипса какое-то время шла на параллельных курсах с группой самолетов, а затем резко, почти вертикально взмыла вверх и удалилась в северо-восточном направлении. С момента обнаружения светящегося эллипса радиосвязь между самолетами прекратилась, а после его исчезновения наладилась вновь.

Хемилюминесцирующие вещества далеко не безвредны. Даже в зоне слабого свечения, незаметного в яркий солнечный день, их проникновение в кабину самолета может оказать токсическое воздействие на экипаж. В этом видит Дмитриев причину гибели в районе Бермудского треугольника 5 декабря 1945 года пяти американских бомбардировщиков-торпедоносцев типа «Эвенджер» и гигантской летающей лодки «Мартин Маринер», посланной им на помощь. Случай окрестили «величайшей тайной в истории мировой авиации». Когда «Маринер» приблизился к месту нахождения «Эвенджеров», связь с ним тоже прекратилась. По всей вероятности, самолеты попали в обширную зону хемилюминесценции, и летчики подверглись наркотическому воздействию.

Не раз встречали светящиеся объекты при полете над Северным Ледовитым океаном. Один из экипажей видел их сразу в большом количестве на юге под Одессой. По свидетельству экипажа, «шары были очень яркой

расцветки, фантастической красоты. Внутри они были ярко-белого, слепящего цвета, по краям же разноцветные, как радуга. Впечатление было такое, что сейчас какой-либо шар вот-вот взорвется или ударится в самолет». И они иногда действительно взрываются. Это происходит, когда концентрация активных частиц в зоне свечения достаточна для начала цепной реакции взрыва...

Кстати, еще об одном источнике посторонних примесей в атмосфере, которые могут вызвать хемилюминесценцию. Их поставляют работающие двигатели ракет. Они выбрасывают в окружающее пространство инородные вещества — продукты сгорания и даже неиспользованные компоненты топлива. Неудивительно, что многие ракетные запуски сопровождаются разного рода необычными явлениями, принимаемыми порой за НЛО. Например, знаменитый «петрозаводский феномен» 20 ноября 1977 года, вызвавший так много пересудов, ученые связывают с запуском спутника «Космос-955». Свою лепту в «сотворение чудес» вносит целый ряд факторов, ведь полет ракеты вызывает комплекс сложных реакции в атмосфере и визуальные эффекты.

«Следуют» НЛО и за спускаемыми аппаратами космических кораблей. Когда спускаемый аппарат входит в плотные слои атмосферы, то перед ним возникает область повышенного давления — ударная волна. Она-то и вызывает свечение ионизированных частиц, хорошо видимое и глазом, и на экране радара.

В последнее время НЛО стали называть «аномальными явлениями». Переименование, видимо, объясняется тем, что с НЛО многие отождествляли аппараты внеземных цивилизаций, хотя для этого пока нет оснований. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев термин «объект» употребим лишь в смысле «объект наблюдения», а не как летающий объект в общепринятом смысле слова.

Социологи подсчитали: в среднем через два года у сторонников «тарелок» наступает «кризис веры». (Видно, «жажду чуда» можно тоже назвать «волной»). То «реальный объект» оказывается совсем не таким, каким хотелось бы его видеть, то не удастся найти веских доказательств его существования, и дело сводится к вере в недоказуемую гипотезу. Возможно, многие люди подсознательно понимают, что гипотеза является не просто недоказуемой, а ложной, и теряют интерес к НЛО.

Может быть, для того, чтобы подбодрить приунывших «тарелочников», на Международном симпозиуме НЛО, состоявшемся в Вашингтоне летом 1987 года, на свет появилась сногшибательная история сорокалетней давности... И поведали о ней не какие-нибудь любители вздорных сенсаций, суеверные чудаки или поклонники разных бредней о сверхъестественных силах, каковых было достаточно среди полутысячи участников симпозиума, до отказа заполнивших зал местного университета, а люди вполне серьезные: ученые, инженеры и даже военные эксперты.

А суть истории в том, будто 2 июля 1947 года в американском штате Нью-Мексико возле города Росуэлл недалеко от секретного в ту пору испытательного полигона атомного оружия внезапно упал с неба на землю какой-то загадочный большой предмет. Заполучить его немедленно было приказано десантникам разведуправления 8-й авиадивизии на базе ВВС США в Росуэлле. И вскоре командованием был опубликован пресс-релиз о том, что «удалось найти нечто странное в форме диска». Но затем сразу же находка и все сведения о ней были строжайше засекречены, а главный штаб ВВС тогда же создал просуществовавшую до 1969 года спецгруппу по изучению НЛО.

И вот спустя 40 лет на симпозиуме был оглашен засекреченный незадолго до этого правительственный документ, составленный в ту пору, когда директором ЦРУ был (ныне покойный) адмирал Роско Хилленкоттер. В архивном меморандуме ЦРУ сказано: «7 июля 1947 года в ходе операции по обнаружению и научному обследованию обломков упавшего на землю объекта были также найдены нашей авиаразведкой четыре небольших человекоподобных существа, которые катапультировались, очевидно, из их погибшего корабля перед его взрывом. Они приземлились примерно в двух милях к востоку от места падения корабля. Все четверо были мертвы, изуродованы и находились в стадии сильного разложения, так как до их обнаружения почти неделю были добычей грызунов, жуков, микроорганизмов, останки четырех неизвестных обследовала научная спецкоманда. Ученые пришли к заключению, что четверо существ лишь с виду человекообразны, но биологически и эволюционно не схожи с людьми. Установлено также по обломкам их корабля, что он неземного происхождения».

На запрос организаторов вашингтонского симпозиума НЛО, адресованный командованию ВВС США, был получен официальный ответ: «По данному делу наша документация уничтожена».

Но остались свидетели. Как объявила газета «Нью Йорк сити трибюн», отставной майор разведки ВВС США Джесси Мэрсел, собиравший в 1947 году обломки «внеземного диска», сообщил, что осмотренные им «осколки» были сделаны из неизвестного металла и некоторые имели маркировку наподобие иероглифов. А умерший в 1986 году Роберт Сарбэчер, физик из Вашингтона, также причастный к секретному обследованию диска, оставил письменные показания: «Потерпевшая катастрофу летающая тарелка была сконструирована из каких-то очень легких и крепких материалов, внутренности трупов ее пилотов, по моему впечатлению, отдаленно напоминали строение тел насекомых».

Что тут можно сказать? Хотите — верьте, хотите, нет. Скорее всего, это розыгрыш «на высоком научном уровне». Спустя несколько месяцев в газетах появилось сообщение, будто секретных бланков такой формы, на которых был исполнен, сей документ, в то время не было. Они появились много лет спустя. Во всяком случае, сюжет этот для научной фантастики избитый. Кстати, писатели-фантасты обычно окружают корабли инопланетян слоем искусственно созданной плазмы. А разные плазменные сгустки, такие, как, например, шаровые молнии, свободно обнаруживаются радаром, ведь плазма — неплохой отражатель радиоволн. Еще в 1959 году был получен отраженный радиолокационный сигнал от солнечной короны. Так что визит инопланетян не пройдет незамеченным.

Чем совершеннее становятся радиолокационные станции, тем меньшие неоднородности и более тонкие явления в атмосфере начинает «чувствовать» радар. Рождаются новые «ангелы», и мы еще не раз услышим о них.

КАПРИЗЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ

Летом 1987 года газеты сообщили о беспрепятственной посадке самолета «Сесна» на самой крупной к югу от границ США американской базе «Говард», расположенной в зоне Панамского канала. Пилотировал «Сесну»

19-летний костариканец. Он угнал самолет, принадлежавший родственнику президента Коста-Рики, из столичного аэропорта.

Посадка на базе была полной неожиданностью для военного персонала. Самолет не был засечен радаром, хотя противовоздушная оборона базы была оснащена самыми современными средствами, в том числе и зенитными ракетами.

И этот случай совсем не единичен. Газеты сообщали о том, что, несмотря на ультрасовременную противовоздушную оборону, в США с юга, со стороны Рио-Гранде и Мексиканского залива, порой проникают незамеченными на низкой высоте самолеты контрабандистов. Примерно в то же время произошел вызвавший громкий резонанс полет 19-летнего Матиаса Руста, нарушившего воздушное пространство СССР на спортивном самолете все той же марки «Сесна».

Почему ослепли радары? Что это — халатность операторов? Возможно. Но неоспорим еще и тот факт, что цели, летящие на предельно малых и малых высотах, бывает очень трудно обнаружить. (Зарубежные специалисты предельно малыми высотами считают высоты от нескольких метров до 30—40 метров, малыми — от 30—40 метров до 100—300 метров, средними — 300—5000 метров, а большими — свыше 5000 метров.)

Все трудности порождаются влиянием земной (или, как ее еще называют, подстилающей) поверхности, будь то суша или море. И дело не только в том, что цель может скрытно подойти к охраняемому объекту, используя естественные укрытия, хотя и этот фактор очень важен. Ведь местные предметы, возвышенности служат неплохими экранами для радиоволн — за ними образуется область радиотени, где цели не обнаруживаются. Даже небольшие углы укрытия (углы, под которыми из центра антенны радара видна вершина местного предмета — дома, возвышенности и т. д.) приводят к резкому сокращению дальности обнаружения на малых высотах, а она и без того невелика из-за кривизны Земли.

Так, если антенна радара поднята над землей на 5 метров, то самолет, летящий на высоте 100 метров, при ровной местности, например над степью, может быть обнаружен на расстоянии около 50 километров, если же имеются небольшие пригорки или местные предметы, создающие угол укрытия всего 15 минут, то дальность обнаружения снижается более чем вдвое —

до 21 километра. Если же угол укрытия составит 30 ми нут, то цель может скрытно подойти на расстояние 11 километров. А если самолет снизится до 50 метров, то его удастся обнаружить лишь в пяти-шести километрах.

Вот почему при выборе позиций радаров стремятся обеспечить как можно большую дальность прямой геометрической видимости. Приходится размещать антенну или саму РЛС на вышках, эстакадах и даже на аэростатах, как, например, сделала одна из американских фирм для Саудовской Аравии. С высоты трех километров такая аэростатная станция может обнаружить самолет, летящий на высоте 50—60 метров, на расстоянии 260 километров. Наземная же станция с антенной, поднятой на высоту 20 метров, даже при абсолютно ровной местности могла бы обнаружить такую цель на расстоянии примерно 46 километров.

Приведенные цифры означают максимальную дальность обнаружения, то есть дальность прямой радиолокационной видимости, которая превышает прямую геометрическую видимость примерно на 15 процентов (из-за явления рефракции). Но вовсе не обязательно, что цель будет обнаружена на этих рубежах. Свои коррективы вносит и другая особенность земной поверхности, а именно, ее способность довольно хорошо отражать радиоволны.

Когда самолет или крылатая ракета летят на большой высоте, то радиоволны доходят до них только по одному пути — прямой линии, соединяющей антенну радара с целью. Такая волна называется прямой, и только она одна может достичь летящих объектов. Если же цель летит на малой высоте, то картина меняется.

Проведем одну аналогию. Чтобы увидеть какой-либо предмет, надо, прежде всего, взглянуть в его направлении. Так и при обнаружении маловысотного самолета антенну «заставляют смотреть» вдоль поверхности земли. Если же мы что-либо рассматриваем, то видим одновременно не только заинтересовавший нас объект, но и другие предметы. Так и в случае обнаружения низколетящего самолета в «поле зрения» антенны попадаетея и столь близкая от него земная поверхность. И это соседство очень мешает.

Что же происходит, когда антенный луч «задевает» землю? Естественно, в месте соприкосновения он облучает ее, и притом сигналами довольно мощными. Часть энергии радиоволны поглощается землей или водой и превращается в тепло, а остальная часть переотражается от нее.

В зависимости от степени неровности поверхности (например, состояния моря) преобладает зеркальное или диффузное переотражение радиоволн. Диффузная составляющая переотражений возникает за счет рассеяния радиоволн на неровностях подстилающей поверхности. Для сантиметровых волн такими неровностями могут быть трава, посевы зерновых, кустарник... Часть диффузно рассеянных волн принимается антенной РЛС. Они проявляются в виде мешающих сигналов, которые маскируют сигнал от низколетящей цели. Даже при спокойном море есть едва заметная волнистость, которая служит причиной появления мешающих сигналов.

Но главная неприятность не от диффузных отражений, а от зеркальных: когда угол падения равен углу отражения. При ровной суше и штилевом море на них приходится основная часть мощности радиоволны переотраженной подстилающей поверхности. И вот этот-то зеркальный луч тоже, наряду с прямым, достигает самолета. Таким образом, самолет облучается сразу двумя лучами — прямым и переотраженным от земли. Мы уже знаем, что в зависимости от разности фаз две волны могут или складываться, или вычитаться, то есть они могут усилить друг друга или ослабить, а могут и вообще погасить друг друга. Это явление, как мы помним, называется интерференцией.

Интерференция происходит в каждой точке пространства вблизи земной поверхности, как раз там, где «обитают» маловысотные цели. Области, где прямая и отраженная от земли волна складываются, чередуются с местами, где они вычитаются. Там, где волны складываются, они усиливают друг друга и обнаружение улучшается (эти области называются интерференционными максимумами), а где вычитаются — вероятность обнаружения падает (эти угломестные секторы называют интерференционными провалами). Получается, что цельная диаграмма направленности в вертикальной плоскости вблизи земли как бы дробится на множество интерференционных максимумов, где цель обнаруживается, перемежающихся с провалами, в которых цель исчезает. Интересно, что чем выше поднята антенна над землей и чем меньше длина волны, тем уже становятся интерференционные

лепестки и провалы, тем чаще они чередуются, тем больше их число.

Во многих случаях диаграмма направленности с большим числом узких интерференционных лепестков предпочтительнее, чем с малым количеством широких лепестков, так как для каждой цели, летящей на постоянной высоте, непросматриваемые зоны получаются сравнительно узкими, и цель быстро выскакивает из них. Это еще одна из причин, почему антенну при обнаружении низколетящих целей стараются поднять как можно выше.

Величина интерференционных максимумов и глубина провалов зависит от того, сколь хорошо радиоволны отражаются подстилающей поверхностью. Качество отражения принято определять коэффициентом отражения. Если волна отражается полностью, то коэффициент отражения равен единице. Чем больше потери при отражении, тем меньше мощность отраженной волны, тем, соответственно, меньше коэффициент отражения.

Естественно, чем лучше отражается радиоволна от земли, тем сильнее интерференционная изрезанность диаграммы направленности, тем больше ее интерференционные максимумы, тем глубже провалы. Для спокойного моря величина коэффициента отражения больше, чем у большинства типов поверхности суши. Поэтому интерференционные явления над спокойным морем будут более резко выражены, чем над сушей. Исключения составляют гористые местности, где могут возникать непредсказуемые искажения диаграммы направленности.

Изрезанность диаграммы направленности антенны из-за влияния земли приводит к сильным колебаниям мощности сигнала, отраженного низколетящей целью. При попадании самолета в интерференционный провал происходит резкое ослабление или полное пропадание сигнала на входе радиолокационного приемника.

Но интерференция не только портит, но иногда и помогает обнаружить низколетящие и надводные цели. Ведь они обнаруживаются в основном первым интерференционным лепестком-максимумом. А чем выше поднята антенна, тем сильнее этот первый лепесток прижимается к земле, и дальность обнаружения в максимуме лепестка может возрасти в два раза по сравнению со случаем, если бы отраженный от земли луч отсутствовал. Это еще одна причина, почему для обнаружения маловысотных целей стараются поднять антенну как можно выше.

Но если цель опустится ниже максимума первого интерференционного лепестка, то дальность обнаружения

резко упадет. Вступает в действие другой закон: мощность сигнала на входе приемника становится обратно пропорциональной дальности, возведенной в восьмую степень, а не в четвертую, как обычно. Даже увеличение мощности передатчика для обнаружения таких целей мало что дает — уж слишком быстро падает уровень сигнала с ростом дальности: в минус восьмой степени.

На степень изрезанности диаграммы влияет и вид поляризации излучаемых антенной радиоволн. Поляризация, как мы уже знаем, определяется направлением колебаний вектора электрического поля электромагнитной волны. Оказывается, радиоволны с горизонтальной поляризацией лучше отражаются от земной поверхности, а с вертикальной несколько хуже. Поэтому в станциях, работающих по маловысотным целям, чаще используют вертикальную поляризацию.

Мы уже упоминали о помехах, обусловленных диффузным отражением радиоволн от подстилающей поверхности. Но они обычно менее интенсивны, чем другой вид мешающих отражений — от так называемых «местников»: башен, зданий и прочих сооружений, которые хорошо отражают падающие на них радиоволны. Также сильны отражения от гор, холмов. И даже специальная аппаратура, которая селектирует только движущиеся с определенными скоростями цели, не всегда может подавить эти сильные мешающие сигналы. «Засасываются» в приемник мешающие отражения и через боковые лепестки диаграммы направленности.

Но маловысотную цель непросто не только обнаружить, но и уничтожить. Чтобы поразить цель зенитной ракетой, наводимой локатором, надо в течение некоторого времени знать ее точные координаты. Эту функцию — точного измерения координат цели — выполняет станция сопровождения или слежения. Так вот, отраженный от земли луч мешает станции сопровождения точно измерять координаты, особенно угол места (или связанную с ним высоту полета цели). Часто для анализа сопровождения цели используют такой прием: считают, что источником мешающего сигнала служит не подстилающая поверхность, а своего рода «подземная цель» — антипод. Это зеркальное отображение реальной

цели относительно подстилающей поверхности, то есть «подземная цель», находится под землей на расстоянии, равном высоте полета реальной цели.

Антипод мешает сопровождать реальную цель. Следящий радар порой находится в положении буриданова осла: не может решить, что же ему сопровождать: то ли антипод, то ли реальную цель. Так и перескакивает луч слежения с антипода на реальную цель и обратно. А это значит, что ошибки измерения угла места цели велики и ракета, которая будет наводиться по таким данным, не поразит ее.

Для уменьшения вредного влияния земли антенну радара иногда обносят на некотором расстоянии забором из отражающего или поглощающего материала. Забор отсекает от антенны радиоволну, переотраженную землей. Правда, «загораживаются» и цели на очень малых высотах, да и не всегда возможно возвести такой забор.

Другой метод — сделать антенну с четко выраженной плоской нижней кромкой у диаграммы направленности, чтобы она не касалась земли. Но антенна получается и сложной и громоздкой.

Судя по зарубежным источникам, придумано много способов для уменьшения ошибок сопровождения низколетящих целей, но все они отнюдь не универсальны. Природу, видно, трудно обмануть.

Вот сколько нюансов вносит земная поверхность в процесс обнаружения и сопровождения низколетящих целей. Да и поражения. Ведь радиовзрыватель на ракете (а это, по существу, миниатюрный радиолокатор) тоже может очутиться в положении буриданова осла: что подрывать-то, самолет или землю? Ведь расстояния до них соизмеримы.

Надо суметь как-то «отделить плевелы от пшеницы». Плевелы, то есть сорняки, в нашем случае — отраженные от земли сигналы, а пшеница — сам сигнал от низколетящей цели. Как лучше это сделать — пока вопрос. А до тех пор своенравная земля будет доставлять хлопоты операторам маловысотных радаров.

ВМЕСТО ПЛОМБЫ-КРОШЕЧНЫЙ
РАДИОПРИЕМНИК.



РАДИОВОЛНЫ И ЧЕЛОВЕК

СЛЫШИМ ЛИ МЫ РАДИОВОЛНЫ?

В начале 60-х годов в одном из американских городов произошел забавный случай. Два человека обошли почти всех врачей своего городка с жалобой на странный недуг. Время от времени им слышались голоса людей, которые советовали им покупать холодильники, стиральные машины, автомобили, мыло, зубную пасту... Эти советы прерывались, по их выражению, «хорами ангелов».

Врачи недоумевали: никаких психических расстройств у пациентов не обнаружилось. А между тем они продолжали утверждать, что отчетливо слышат голоса. Наконец специалисты узнали, что оба пациента недавно лечили зубы у одного и того же врача. Обратились к нему, и дантист сказал, что он запломбировал им зубы цементом особого состава: в нем была незначительная примесь карборунда.

Понемногу все прояснилось. Кристаллы карборунда — типичного полупроводника — совместно с организмом человека образовали простейший детекторный приемник. Кристалл карборунда служил детектором, выделявшим из радиоволн звуковые сигналы. Колебания воспринимались нервом зуба и по нему достигали мозга. Эти миниатюрные детекторные приемники принимали сигналы близлежащей радиостанции, передававшей торговую рекламу.

Известно, что детекторный приемник обладает плохой избирательностью. Если он принимает одинаковые по мощности сигналы разных радиостанций, то в наушниках будет звучать какая-то мешанина. Но положение в корне меняется, если сигнал одной из радиостанций будет много мощнее других. Тогда сильный сигнал автоматически подавляет слабые. Радисты так и называют этот эффект «подавлением слабого сигнала сильным».

«Больные» потому и слышали голоса, что сильные сигналы близко расположенной рекламной радиостанции подавляли в «зубном» детекторе более слабые сигналы других станций. Не исключено, что в будущем по вашему желанию у зубного врача вам вместо обычной пломбы вмонтируют в дупло крошечный радиоприемник. И за электропитанием дело не станет. Гальванический элемент можно тоже разместить во рту. Надо только поставить еще одну пломбу из металла, отличного от того, из которого изготовлена металлическая оболочка пломбы радиоприемника. А электролитом будет... слюна. Конечно, вариант экзотический, но неисповедимы пути моды.

То, что объекты живой природы, а именно ткани растений, могут служить элементами радиоприемника, продемонстрировал еще в конце XIX века наш соотечественник Я. О. Наркевич-Иодко. В 1896 году «Минский листок» сообщил об осуществленной в Минске передаче без проводов, причем антенной и, по-видимому, детектором служил... комнатный цветок. Та же газета в 1902 году писала о подобной передаче в Вильно на сельскохозяйственной выставке. Здесь противоположной станцией беспроводного телеграфа явились опущенная в воду ветка вербы и телефон.

Эти особенности растений, обнаруженные почти сто лет назад, в наши дни находят практическое применение... В Индии благодаря космической связи все большее распространение получает телевидение. Но возникла проблема: во влажном климате металлическая антенна недолговечна, и к тому же она сравнительно дорога. На помощь неожиданно пришли ботаники. Они предложили использовать для приема телепрограмм... кокосовую пальму. Оказалось, пальма — хороший проводник сверхвысокочастотных токов и прекрасно заменяет громоздкую телевизионную антенну.

А вот стебли некоторых растений, как выяснилось,

способны передавать электромагнитные волны светового диапазона таким же образом, как и в световодах — стекловолоконных кабелях. Поэтому свет проникает даже в подземную часть некоторых растений, где у них в основном сконцентрирован фитохром — пигмент, клетки которого поглощают солнечный свет. Под воздействием солнечного света они активизируются и запускают целый комплекс биохимических реакций. Благодаря им растение растет, ориентируется относительно направления силы тяжести, солнца...

Казалось бы, место фитохрома наверху, в наземной части растений, но природа не случайно распорядилась иначе. Она сконцентрировала большую его часть в небольшом утолщении, расположенном чуть ниже поверхности почвы над корнями, в так называемом «узле»,



где происходит интенсивное деление клеток. Вот почему трава и другие растения (например, овес) продолжают расти даже после того, как наземная их часть скошена. Чтобы поддержать высокую скорость биохимических реакций, приводящих к образованию новых клеток, природа и запрятала пигмент под землю. На языке экономики это называется «приблизить управление к производству».

То, что стебель выполняет роль световода, наглядно демонстрирует такой опыт. Брали кусочки стебля кукурузы, овса, фасоли и слегка изгибали их. Если один конец стебля освещали лучом лазера, то другой конец тоже начинал испускать свет. В таких световодных стеблях клетки выстроены параллельными колонками, напоминая конструкцию промышленных световодов. Каждая такая колоночка — словно нить оптического кабеля. Если рассматривать ее под микроскопом, то при включении света видно, как ярко вспыхивает внутренность каждой из клеток, образующих колонку, стенки же ее остаются темными.

Между прочим, хлорофилл растений — типичный полупроводник для светового диапазона волн и работает в зеленом листе по тем же канонам, что и его технические собратья. Квант света создает в молекуле хлорофилла, как говорят электронщики, электронно-дырочный тип проводимости. В зеленом листе по «электронно-транспортной цепи», словно по медной проволоке, течет микроток. Для возбуждения электронов молекулы хлорофилла достаточно квантов красного света с довольно скромным запасом энергии. Полупроводниковые свойства хлорофилла порождают надежду создать «зеленые фотоэлементы» (взамен ныне существующих из кремния и арсенида галлия), в которых под действием света будет производиться электрический ток.

Возможно, хлорофилл сохраняет свои полупроводниковые свойства и при воздействии радиоволн, тогда именно благодаря этому комнатный цветок в опытах Наркевича-Иодко работал как детектор.

О скрытых электронных резервах в зеленом мире дает представление сделанный индийским биофизиком Д. Босом опыт, который он сопровождал забавными комментариями. Бос соединил внешнюю и внутреннюю части зеленой горошины с гальванометром и затем нагрел ее до 60 градусов Цельсия. Замеренное напряжение составило 0,5 вольта. Если 500 пар половинок горошин

собрать в определенном порядке в серии, то конечное электрическое напряжение составит 500 вольт, чего вполне достаточно для гибели на электрическом стуле не подозревающей об этом жертвы. «Хорошо, что повар не знает об опасности, которая ему угрожает, когда он готовит это особенное блюдо, и, к счастью для него, горошины не соединяются в упорядоченные серии», — пошутил Бос. Ученый, правда, использовал прием гиперболы: тока горошин будет недостаточно для электрического стула, хотя «тряхнуть» такая батарея вполне сможет.

Незадачливые пациенты дантиста случайно стали обладателями встроенного в зуб детектора, они смогли довольно отчетливо слушать местную радиостанцию. А может ли человек непосредственно, без какого-либо инородного тела, воспринимать сообщения, переносимые радиоволнами?

В таком вопросе нет ничего удивительного, если учесть, что первым регистратором-приемником электромагнитных волн радиодиапазона была живая ткань, а именно лягушечья лапка.

Вспомним опыты профессора анатомии в Болонье Луиджи Гальвани. В 1786 году он изучал нервную систему лягушки. 26 апреля его помощник препарировал нервы лягушечьей лапки, а он сам в другом конце комнаты извлекал искры из электрической машины. Ассистент ученого заметил, что лапка вздрагивает каждый раз, когда он касается ножом нерва при появлении искры в электрической машине. Теперь-то мы знаем, что искры — источник радиоволн. Роль антенны выполнял скальпель, а лягушечья лапка была приемником.

Конечно, в то время Гальвани не мог даже подозревать, что при электрической искре возникают какие-то волны. Тем не менее, научное любопытство побудило его к дальнейшим исследованиям. Он решил проверить, производит ли аналогичное действие и естественная электрическая искра — молния. С крыши дома ученый спустил длинную проволоку, которую присоединил к нервам задних лягушечьих лапок. Эту проволоку, которую ученый назвал «нервным кондуктором», в наши дни с полным основанием можно назвать антенной. К мышцам лапок Гальвани присоединил другой проводник, который опустил в колодец с водой, то есть, по существу, заземлил. «Как только появлялись молнии, — пишет Гальвани, — тотчас же мышцы приходили в сильные

сокращения, которые совпадали по времени с молнией и предшествовали грому...»

Гальвани думал, что он открыл особое «животное электричество», а на самом деле лягушечьи лапки реагировали на возбужденный в антенне электрический ток.

Правда, в опытах Гальвани все-таки присутствовало инородное тело — металлическая антенна. А у человека и животного нет специальных рецепторов, воспринимающих радиоизлучение. Мы обычно не ощущаем их, но практика показала, что они влияют на общее состояние человека и животных. Например, метровые волны вызывают возбуждение обезьян, которые поворачивают голову в сторону их источника, начинают испытывать волнение. «Чуют» радиоизлучение собаки и крысы — тоже поворачивают голову в сторону, откуда идут невидимые волны.

Еще в 1930 году было замечено, что человеческий организм излучает и воспринимает электромагнитные волны на частоте 129 мегагерц и кратных ей — 258, 387 и 516 мегагерц. У некоторых людей начинаются галлюцинации при облучении их радиоволнами порядка 300 мегагерц. Были выявлены также и другие резонансные частоты, при которых отдельные испытываемые лица явно ощущали наличие радиоизлучения.

«Человек — хрупкий сосуд, наполненный драгоценной влагой жизни», — говорили встарь. «Наше тело — сосуд с влагой электрохимической», — уточнили поэтическое изречение древних специалисты по электромагнитной биологии. Действительно, в организме человека, как в батарейке, постоянно циркулируют электрические токи. Растекаясь по всему телу, они выходят на поверхность, заряжая каждую частичку нашей кожи электрическим зарядом. Если провести на теле человека, например на спине, линии равных зарядов, то мы увидим рисунок, похожий на изображение возвышенностей на топографической карте, причем наиболее высокие «горы» будут там, где анатомически расположены нервные узлы.

Ученые установили, что голова человека имеет положительный заряд, а живот и ноги — отрицательный. Подобная закономерность наблюдается и у животных: передняя их половина электроположительна, а задняя — электроотрицательна. Так что животных и человека можно в какой-то степени весьма грубо уподобить электрическому диполю, то есть двум равным по величине,

но противоположным по знаку зарядам (реальная картина не очень-то симметрична), разнесенным на определенное расстояние, а заряды, как мы знаем, — источники электрического поля. Наверняка электромагнитное поле радиоволны изменяет картину «человеческого» поля. Кроме того, в организме есть и «генераторы» электромагнитных полей: мозг, нервы, мышцы... Их поля тоже взаимодействуют с полем радиоволны. То есть человек представляет тончайшую электромагнитную систему, которая сама генерирует электромагнитные поля и чутко реагирует на их изменения как внутри себя, так и вовне.

Есть и другие, далеко еще не исследованные механизмы взаимодействия радиоволны и живого организма. Изучение всего комплекса этих проблем — одна из основных задач электромагнитной биологии, сравнительно новой области биологической науки.

В 1947 году было замечено интересное явление, названное «радиоволновым слухом». Суть его в следующем. Иногда люди, находившиеся в зоне облучения импульсных радиопередатчиков, будь то локационные или связные, слышали щелчки. Как оказалось, частота щелчков совпадала с частотой следования радиоимпульсных сигналов передатчика, а она как раз была в диапазоне звука.

Феноменом занялись серьезно в 1956 году. Исследователи сделали вывод: да, человек непосредственно может воспринимать звуковые колебания, которыми модулирована радиоволна, хотя частоты радиоволн в тысячи раз превышают наивысшую звуковую частоту, воспринимаемую ухом человека. (Напомню, что на принципе модуляции высокочастотных колебаний — радиоволн — звуковыми колебаниями, которые затем выделяются в приемнике, работает радиовещание.)

Испытуемым казалось, что источник «радиозвука» находился либо в голове, либо непосредственно за головой, причем это ощущение не изменялось при их перемещении в зоне облучения и не зависело от того, в какую сторону повернута голова перцепиента. Эффект пропадал при экранировании височной области.

Даже шум в 90 децибел (что эквивалентно шуму, создаваемому тяжелым грузовиком с дизельным двигателем на расстоянии семи метров) не мог заглушить радиозвук. А если испытуемый пользовался антишумовыми пробками (типа берушей), то восприятие радио-

звуча заметно улучшалось. Исследователи выяснили, что если поместить испытуемого в сурдокамеру, куда не проникают мешающие радиоволны от других станций и шум от внешних источников, то чувствительность человека к восприятию радиозвуча сопоставима с чувствительностью хорошего приемника. Правда, следует учесть, что в тканях черепа поглощается около 90 процентов энергии радиоволн.

Отмечались случаи восприятия радиозвуча людьми, живущими в непосредственной близости от мощных радиостанций. Их беспокоили какие-то свисты, жужжания, голоса, но психически люди были здоровы. Стоило лишь изменить в квартире конфигурацию электропроводки и водопровода, как эти ощущения пропали.

Исследователи предположили, что восприятие человеком радиоволн происходит в слуховых нервах или в клетках головного мозга. По мнению М. Хвелидзе, С. Думбадзе и других грузинских кибернетиков, «в нервной системе, как в приемной антенне, электромагнитная энергия преобразуется в энергию ионного тока...». Вполне возможно, что через такой механизм и поступают в мозг звуковые сообщения.

Как тут не вспомнить научно-фантастический роман Александра Беляева «Властелин мира», написанный им еще в 1926 году, и другую фантастику той поры — «Машину ужаса» В. Орловского (1925 г.), «Радиомозг» С. Беляева (1928 г.), «Хозяйство доктора Гальванеску» Ю. Смолича (1929 г.), «Генератор чудес» Ю. Долгушина (1940 г.), в которых организм человека наделялся свойством приемно-передающего радиоустройства. Кстати, многие зарубежные ученые всерьез обеспокоены угрозой контроля и управления психической деятельностью человека с помощью радиоволн.

То, что такие опасения не беспочвенны, продемонстрировали опыты американского ученого Дельгадо, о которых он рассказал летом 1966 года в Москве на Международном психологическом конгрессе. С помощью вживленных в мозг обезьян крошечных радиоприемников Дельгадо управлял поведением животных.

Вот на кинокадрах фильма, которым сопровождался доклад, обезьяны мирно сидят в клетке. Невидимый сигнал — и они с ожесточением бросаются друг на друга. Новый сигнал — и животные опять спокойны. По своему выбору экспериментатор менял вожаков стаи. Превращал «гордеца-предводителя» в униженного труса...

Но вернемся к радиозвуку, а именно к тому случаю, когда человек слышит щелчки в такт с импульсами, излучаемыми радаром. В 1947 году, когда впервые столкнулись с таким явлением, не на шутку беспокоились: вдруг это прямое воздействие радиоимпульсов на мозг? Спустя более четверти века, в 1974 году, американский исследователь Фостер высказал предположение, что щелчки — следствие неопасного для здоровья физического явления, которое возникает при облучении головы. Под действием малых, но практически мгновенно поступающих доз радиоволновой энергии происходит тепловое расширение тканей, что и порождает звуковые волны.

Как видим, однозначного мнения о природе радио-слуха нет. Вполне возможно, что радиоимпульсы слышны



благодаря микроподогреву тканей, а другие, более плавные звуковые колебания, которые переносит радиоволна, доходят до мозга по другим каналам. Щелчки были слышны даже при импульсах, длительность которых составляла миллионные доли секунды.

Не исключено, что есть индивидуумы с повышенной способностью к восприятию радиозвука. Встречаются же люди, организм которых обладает уникальными электрическими характеристиками. Например, один из них — электрик Георгий Иванов из болгарского города Габрова, «экономит» на защитных средствах, положенных по технике безопасности: резиновых перчатках, резиновых ковриках и других. Они ему просто не нужны. Он голыми руками может держать неизолированные концы проводов, находящихся под напряжением 380 вольт. (И это не габровская шутка.) Известно, что электрический удар напряжением 380 вольт приводит к смертельному исходу, а электрик из Габрова работает, не выключая электричества, без всяких защитных средств. Специалисты из разных стран, исследовавшие особенность организма Георгия, пока не пришли к единому мнению. Установлено лишь, что электрическое сопротивление тела Г. Иванова в восемь раз выше, чем у других людей.

Возможность человека непосредственно воспринимать радиоволны объясняет феномен электрофонных, или, как их еще называют, «поющих» болидов. Во всяком случае, по мнению некоторых исследователей, такая гипотеза наиболее вероятна. Если болиды сами по себе редкость, то электрофонные — редкость среди редкостей. И хотя на них впервые обратили внимание в конце XVIII века, в специальном каталоге их зарегистрировано только несколько более четырехсот.

7 апреля 1978 года над густонаселенными районами восточного побережья Австралии пронесся ярко светящийся болид. Его видели сотни людей. Десятки из них слышали звуки, раздававшиеся одновременно с полетом космического тела. Если бы это было следствием звуковой волны, сопровождавшей полет болида, то звук услышали бы только спустя несколько минут, потому что трасса болида проходила на высоте 70—100 километров. Местный астроном собрал и обработал все свидетельства очевидцев, а затем провел интересные эксперименты.

Он оставлял испытуемых, ничего не знавших об электрофонных

болидах, в звукоизолированной комнате и создавал в ней электромагнитное поле, модулированное звуковой частотой. И люди слышали такие же звуки, как и при полете болида. Те, у кого были длинные волосы или очки с металлической оправой, слышали звуки лучше. Как полагают, волосы, оправа очков, ушная раковина выполняли роль антенны и детектора, выделявшего колебания звуковых частот, которыми промоделированы радиоволны.

Любопытно, что и само человеческое тело при определенной ориентации представляет собой неплохую антенну для радиоволн с частотой от 70 до 100 мегагерц (длина волны соответственно 4,28—3 метра). Поглощение энергии электромагнитного излучения в данном диапазоне может возрасти более чем в десять раз. Как говорят



специалисты, тело на этих частотах «резонирует» с полем.

А как же сам болид генерирует радиоволны? По-видимому, в ионизированном следе «поющих» болидов возникают завихрения, которые вращаются и пересекают силовые линии магнитного поля Земли. Создается нечто вроде турбулентного динамо, оно и служит генератором радиоволн. Чтобы возникли такие условия, болид должен быть очень ярким: ярче 9-й звездной величины. Большая часть энергии небесного динамо переходит в тепло. Лишь около 0,1 процента превращается в радиоволны. Но и этого достаточно, чтобы мы слышали «песню» болида на расстоянии около 100 километров, а их, бывает, слышат и на больших расстояниях — свыше 400 километров. Оттуда звуковая волна прилетела бы минут через 20, но скорее всего мы бы ее не слышали. Ослабел и угас бы звук где-нибудь на полпути.

Падение знаменитых Тунгусского и Сихотэ-Алиньского метеоритов (1908 и 1947 гг.), видимо, тоже сопровождалось излучением радиоволн. Во всяком случае, некоторые свидетели отмечали одновременные с их полетом различные звуки.

«Поющим» был и недавний исключительно яркий Чулымский болид, пронесшийся по небу Западной Сибири 26 февраля 1984 года. Космическое тело примерно на 100-километровой высоте, пронзив атмосферу, вспыхнуло и прочертило огненный след над Красноярским краем, Кемеровской, Новосибирской и Томской областями.

Болид «выбрал» очень удачное для полета время: уже достаточно стемнело, чтобы он сразу бросился в глаза, но еще было слишком рано, чтобы люди легли спать. Траектория чулымского пришельца удивительным образом копировала путь Тунгусского метеорита, и следов болида экспедиции обнаружить не удалось. Эти факты рождают немало интересных предположений.

Очевидцы отмечали, что полет огненного шара сопровождался характерными звуками, напоминавшими то шелест листвы, то жужжание работающего двигателя, то слабое дребезжание под ветром металлического листа на крыше. Звуки долетали прежде, чем люди замечали сам болид. В населенных пунктах, над которыми он пролетал, наблюдались устойчивые телевизионные помехи. А в томском селе Минаевка вышла из строя линия уличного освещения. Кроме того, по ходу движения

болида во многих домах перегорели электролампы (в одной избе сразу четыре). Нередко очевидцам казалось, что звуки издает не само летящее тело, а окружающие их металлические предметы.

Излучают радиоволны и «меньшие собратья» болидов — метеоры. Их собственное радиоизлучение ашхабадские астрономы регистрировали еще в конце 40-х годов. Но сейчас стало трудно наблюдать подобные явления: во много раз вырос ради фон Земли. Инопланетяне приняли бы нашу планету за радиоизлучающий объект. Как иногда шутят астрономы, «наша планета светит ярче Солнца, если иметь в виду радиочастотный диапазон излучений». Ставится вопрос об экологическом радиозагрязнении Земли, появилась новая дисциплина — радиогигиена. Вполне естественно, что у читателей возникнет вопрос: как влияют на человека радиоизлучения?..

ВРЕДНЫ ЛИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ?

В одной из книг по физике сказано: трудно, почти невозможно, указать явление, которое не было бы связано с действием электромагнитных сил.

Результаты ряда опытов дают основание полагать, что электромагнитные поля — переносчики этих сил — имеют отношение и к такому таинству, как зарождение жизни. Под действием электромагнитного поля в полной темноте без участия каких-либо организмов и ферментов неорганические вещества превращались в аминокислоты — «кирпичики» всего живого. В контрольных опытах, где поля не было, не было и аминокислот. Так что, по-видимому, не только водный океан, но и океан электромагнитных полей, в котором купается наша планета, Е. были причастны к зарождению жизни.

А что, если полностью оградить живое существо от постоянного электромагнитного присутствия, в том числе и от магнетизма нашей планеты? Как оно себя почувствует? Оказывается, не очень-то хорошо.

Такие опыты были проделаны с мышами, крысами. Животные лысели, нарушалась деятельность печени, почек, половых желез... Увеличивалась смертность, особенно среди новорожденных, появлялись опухоли.

Растение в экранированной камере, лишенное полей, на первых порах развивалось нормально, а потом, как и у животных, пошли своего рода «раковые опухоли».

Есть даже гипотеза американского исследователя Мак-Лина, связывающая увеличение раковых заболеваний у человека со снижением магнитного поля нашей планеты, которое, по его прикидкам, за последние 2,5 тысячи лет уменьшилось на 66 процентов.

Когда американских астронавтов готовили к полету на Луну, их помещали в специальную амагнитную камеру, где земное магнитное поле было значительно ослаблено. Врачи серьезных отклонений не обнаружили, но некоторые субъективные показатели свидетельствовали о том, что пребывание в изоляции от электромагнитных полей все же не проходило бесследно.

Значит, если вообще лишить живую природу, в том числе и человека, естественного электромагнитного окружения, то ничего хорошего из этого, судя по результатам опытов, не будет. А вот как воздействуют на человека те радиоизлучения, которые он сам выпустил на свет. Ведь они не были спутником живой природы на долгом пути ее эволюции и отличаются от естественных излучений и мощностью, и частотой, и формой сигналов.

После второй мировой войны обратили внимание на поступающие иногда жалобы от операторов радиолокационных станций (во время войны, видно было не до того). Кто-то быстро утомлялся, кого-то преследовали головные боли и головокружение. Жаловались на раздражительность и сонливость, на снижение внимания и ухудшение памяти, а у многих особых изменений в самочувствии не отмечалось. Тем не менее, все недомогания связывались с радиооблучением, что и дало повод говорить о своеобразной «радиоволновой болезни».

Автору этих строк довелось испытать воздействие СВЧ-облучения на себе во время испытаний мощного радара. По приезде обратил я внимание на бросавшуюся в глаза особенность. Как садимся в автобус на обед ехать, так многие, ранее меня приехавшие в командировку, сразу же засыпают; после обеда, когда снова на позицию возвращаемся, большинство в автобусе дремлет. А до столовой-то ехать недалеко — минут 15. Через два-три дня и меня тоже, как сяду на сиденье, так сразу же в сон клонит. Поинтересовался у «аборигенов» — тех, кто давно уже в командировке, — в чем причина столь дружной спячки? «Так это же СВЧ действует», — ответили мне старожилы. И так происходило, несмотря на то, что в местах наибольшей напряженности поля были установлены защитные металлические сетки,

экранирующие от облучения, а некоторые даже надевали спецодежду с особой тканью: в ней были тонкие металлические нити, образывавшие сетку.

Конечно, если соблюдать все правила и не вылезать, когда включено радиоизлучение, из металлических кабин, где размещена радиоаппаратура, то действие его, возможно, и не навевало бы сонливость. Но так получалось, что долго в кабине под шум непрестанно крутящихся вентиляторов (аппаратуру надо охлаждать) не сиделось...

Да и само нахождение в кабине-изоляторе тоже бодрости не добавляло. Ведь отрывались мы в ней от естественных полей. Наверное, многие из читателей испытывали чувство вялости, сонливости, потери аппетита и работоспособности при долгом пребывании в автомобиле или самолете. Это потому, что металлический корпус экранирует от окружающего электрического поля. Ученые выяснили, что если искусственно увеличить напряженность поля до нормального уровня, то подвижность, тонус, работоспособность значительно возрастают. Возможно, в недалеком будущем специальные генераторы будут воспроизводить естественную электромагнитную обстановку в салонах автомобилей, самолетов, бетонных и железобетонных зданиях...

В послевоенные годы радары совершенствовались, мощности их росли. То же самое относилось к системам связи, телевидения, радиовещания... Этот процесс продолжается и по сей день. Возникает вполне закономерный вопрос: в чем же проявляется действие радиоволн на живой организм, в том числе и на человеческий? И особенно микроволнового диапазона. Ведь именно на его частотах работает подавляющее большинство радиосредств.

По своему биологическому действию радиоволны отличаются от так называемых ионизирующих излучений (ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения). Когда ионизирующее излучение проходит через живую ткань, даже не нагревая ее, оно разрывает химические связи, и в результате нейтральные молекулы становятся заряженными. Иными словами, происходит ионизация молекул, а значит, повреждение тканей организма. Чем больше энергия фотона — кванта электромагнитного излучения, — тем сильнее будет ионизация. Мы знаем, что энергия фотона прямо пропорциональна частоте излучения. И фотоны в радиодиапазоне слабее

фотонов ионизирующих излучений в сотни миллионов миллиардов раз. Энергия радиопотона много ниже энергии межмолекулярных связей, или средней кинетической энергии колебательного или поступательного движения молекул при комнатной температуре. Например, энергия радиопотона на частоте один гигагерц (миллиард герц), что соответствует длине волны 30 сантиметров (а на этой частоте работают и радары, и системы связи), составляет лишь $\frac{1}{6000}$ от той кинетической энергии, которую имеют молекулы в тканях живого организма при обычной температуре. То - есть она значительно ниже, чем энергия, необходимая для разрушения самых слабых химических связей. Данный факт, конечно, не исключает, что маломощное радиоизлучение непосредственно ничего не изменяет в молекулах живой ткани. Однако эффекты остаются еще малоизученными.

Многие из вас, наверное, видели в магазинах кухонные микроволновые печи. Пока они из-за своей дороговизны еще довольно редко встречаются в обиходе, хотя для нашего здоровья они были бы весьма полезны. Ведь главное в них — продукты не жарятся, кстати, в перегретом масле содержатся далеко не безвредные для организма вещества, а быстро готовятся с помощью радиополя. Принцип теплового нагрева и положили в основу американские исследователи при разработке стандартов на предельно допустимые уровни радиоизлучения.

Между прочим, стандарты можно рассматривать как один из способов компромисса между преимуществами, которые получает человечество от новой техники, и потенциальным риском, связанным с его использованием.

Взять хотя бы такой пример, как ограничение скорости для транспортных средств. При их определении пытаются достигнуть компромисса между опасностью их превышения и желанием людей добраться до места назначения как можно быстрее. Установленные ограничения, конечно, полностью не исключают риск на меньших скоростях. Но пределы устанавливаются так, чтобы при их соблюдении можно было без особого труда избежать опасности.

Примерно, таким образом, поступают при выработке стандартов на радиоизлучения. Берутся известные вредные воздействия, вызываемые излучением. Затем устанавливают определенный «запас прочности», допустим — десятикратный, то есть при уровне излучения, в десять раз

меньшем, считаем, что гарантирована относительная безопасность. И, конечно, разные нормы устанавливаются для профессионалов, работающих с излучением, и для населения в целом. Казалось бы, просто. Да вот только объективно установить «запас прочности» — дело нелегкое. Даже в наше время нельзя поручиться на все сто процентов, что в будущем цифра не претерпит изменений.

Одна из первых норм на радиоволновое облучение была предложена в 1953 году американским исследователем Г. Швапом. Он подсчитал, что при микроволновом облучении с плотностью потока мощности 100 ватт на квадратный метр температура облучаемого участка тела поднимается примерно на один градус или несколько меньше. Нагрев вызывается «пляской молекул» — колебаниями ионов и дипольных молекул воды.

У каждого из нас иногда повышается температура. И Швап в некотором роде поставил знак тождества между повышением температуры в результате естественных биологических процессов и принудительным — радиоволновым. Что ж, такой подход возможен. Ведь если мы перегреемся на солнце, то тоже может подняться температура, тоже можем почувствовать озноб. Симптомы, схожие с радиооблучением.

Кстати, уровень в 100 ватт на квадратный метр примерно в 50 раз меньше, чем тот, которым мы облучаемся в разного рода диатермических медицинских установках для глубокого прогревания определенных тканей организма токами высокой частоты (так называемая аппаратура УВЧ). Но в данном случае — прогрев местный, локальный, он не затрагивает организм в целом.

По оценке Швапа, при плотности потока мощности в 1000 ватт на квадратный метр в некоторых случаях может произойти тепловое поражение организма. Так что предложенная Швапом норма — 100 ватт на квадратный метр — дает, по его мнению, 10-кратный запас прочности.

Ученый направил свои предложения военно-морским силам США, где проблема безопасности от радиооблучения особенно важна. Ведь боевые корабли буквально нашпигованы радиоаппаратурой. Взять хотя бы американский авианосец с атомным двигателем типа «Интер-прайз». У него более чем 500 антенн, причем большинство из них передающие.

Предложения были изучены Американским национальным

институтом стандартов, и поскольку не нашлось убедительных свидетельств поражения животных, подвергнувшихся микроволновому облучению при плотностях мощности до 100 ватт на квадратный метр, эту величину в 1966 году и приняли в качестве стандарта США как предельно допустимый уровень. Вскоре и многие западные страны установили примерно такую же норму.

Наши радиогигиенисты при выработке предельно допустимых уровней предпочли более тонкие критерии, а именно по степени функциональных изменений. Ведь тепловой нагрев — всего лишь простейший вид преобразования энергии в биологических средах. Да и радиоволновый нагрев сам по себе неодинаково влияет на разные органы. Многое тут зависит от возможности отвода тепла — теплообмена с другими тканями. Например, менее опасен местный нагрев для мускульных тканей: их кровеносные сосуды способствуют отводу лишнего тепла. А вот у мозга, половых органов и глаз возможностей гораздо меньше. У них нет достаточно мощной сосудистой системы для обмена тепла с окружающими тканями.

В литературе приводилось много примеров, когда на глазах животных в результате сверхвысокочастотного радиоволнового облучения возникала катаракта — помутнение хрусталика. Тепло воздействует на жидкость, заполняющую глазное яблоко, так же, как на белок куриного яйца. Он прозрачен при комнатной температуре, но при чрезмерном нагреве его прозрачность уменьшается, и процесс необратим. По этой причине ни в коем случае нельзя заглядывать в открытые концы волноводов или в рупорные облучатели антенн при включенном передатчике.

Мужские семенники еще более чувствительны к нагреву. Известно, что даже ношение слишком плотного и теплого белья может привести к временной стерильности. Поэтому неудивительно, что радиооблучение тоже может вызвать стерильность, но эффект, как правило, бывает временным и обратимым.

Правда, здесь, видимо, виноват не только нагрев, но и другое специфическое действие радиоволн. Еще при ранних исследованиях, когда облучали радиополем семенники крыс, было обнаружено, что 10-минутное облучение на волне 12 сантиметров вызывает повышение температуры в семенниках до 30—35 градусов и приводит

к дегенеративным изменениям их тканей. При инфракрасном же облучении, соседствующем с радиоволнами, подобные изменения происходили при большей температуре — 40 градусов. Значит, дело не только в температуре.

Что касается генетических последствий радиооблучения, то они еще мало изучены. Нет достаточной и достоверной статистики. Тем не менее, в одной из лабораторий США исследовался вопрос о корреляции между рождением монголоидных детей (болезнь Дауна) и радиооблучением их отцов. Исследователи «нащупали» тенденцию: у большинства таких детей отцы во время второй мировой войны работали на радарх. В то время до техники безопасности, как говорится, руки не доходили.

Где-то читал, что обезьяне воздвигнут памятник. И это справедливо. Так же, как и собака, она достойна такой чести. Ведь в рискованных медицинских экспериментах в качестве живой модели человека нередко выступать приходится именно нашему ближайшему по генеалогическому древу жизни родственнику. Сколько их полегло в лабораториях, в экспериментах, подчас жестоких, ради интересов своего более разумного сородича.

Есть в технике такой термин — «разрушающий контроль», когда для того чтобы проверить качество продукции, определенное число изделий из партии доводят до разрушения. Примерно так испытывали американские ученые радиоволновую «прочность» обезьяньего мозга. Голову обезьяны резуса помещали в металлический цилиндр — резонатор. Над головой животного размещалась антенна, подключенная к радиопередатчику мощностью 100 ватт. Передатчик работал в диапазоне 225—339 мегагерц. Через несколько секунд после включения передатчика наблюдалась следующая картина. Дремотное состояние сменялось лихорадочным возбуждением. Потом происходило нарушение дыхания, обильное слюнотечение, наступали судороги, а затем смерть... опыты длились всего три-пять минут.

Но если прекратить облучение даже тогда, когда обезьяна, кажется, вот-вот погибнет, то она через некоторое время поведет себя, как ни в чем не бывало. Значит, последствия облучения могут иметь и обратимый характер. Об этом свидетельствуют и многочисленные

наблюдения за лицами, работающими долгое время с радиопередающими устройствами.

Последствия радиоизлучения во многом зависят еще и от того, в каком положении находился человек по отношению к радиолучу. Стоять к лучу лицом или спиной наиболее опасно.

В пятидесятых годах наши радиогигиенисты приняли в качестве предельно допустимого уровня радиоволнового облучения 0,1 ватта на квадратный метр. В тысячу раз меньше, чем в американском стандарте! Такое, можно сказать, драматическое различие говорит, прежде всего, о том, что многое оставалось неясным.

Насчет того, что радиоизлучение большой мощности вредно — сомнений не было. Оно могло вызвать у человека тепловой удар, и даже ожог. Если мощность увеличить раз в пятьдесят, то возможно возгорание паров топлива. А вот как влияют микроволны малой интенсивности, те, которые не вызывают сколь-нибудь заметного повышения температуры тела? Здесь единства мнений не было. Причем неопределенность сохраняется до сих пор. Причина кроется в том, что используемые в настоящее время методы позволяют по-разному интерпретировать полученные результаты. Микроволновое облучение добавляет лишь какую-то часть к общему риску смерти, болезни или потери трудоспособности из-за действия других, самых разнообразных факторов, влиянию которых подвергается человек в течение всей жизни. А факторов — ой как много! И загрязнение воздуха, и гербициды, и всякая другая химия... Так что четко выделить именно «радиодолю» риска очень трудно.

Об этом, например, свидетельствуют опыты американских ученых. Они сравнивали 100 подопытных крыс, которых облучали радиоволнами частотой 2,45 гигагерца на протяжении почти всей их жизни, с другими 100 крысами, которые не подвергались облучению, но содержались в таких же условиях, как и первые. Плотность потока мощности составляла 5 ватт на квадратный метр, то есть половину уровня тогдашнего стандарта. Крыс облучали ежедневно по 21 часу в течение 25 месяцев. В среднем в зависимости от возврата они получили дозу, соответствующую допустимому для человека пределу.

Исследователи регистрировали 155 параметров, характеризующих состояние здоровья и поведение животных, в том числе химический состав крови, вес тела,

ежедневное потребление воды и пищи, количество потребляемого кислорода и выделяемого углекислого газа, а также уровень активности. Результаты свидетельствовали о незначительной разнице в состоянии облучаемых и контрольных крыс.

Статистических закономерностей обнаружено не было, результаты носили неупорядоченный характер. Например, уровень кортизона в крови, который характеризует активность организма, на первой стадии эксперимента был выше у облученных животных, а на третьей — у контрольных.

Предыдущие исследования указывали, что радиооблучение ослабляет иммунную систему организма. Поэтому ученые особенно внимательно исследовали функциональную активность лимфоцитов — основных клеток иммунной системы — у облученных и контрольных животных. Только через 13 месяцев между двумя группами животных обнаружились кое-какие различия в иммунологических показателях. Спустя 25 месяцев различия не стали более заметными.

Интересно, что средняя продолжительность жизни у облученных животных составила 688 дней, а необлученные из контрольной группы прожили несколько меньше — 663 дня. По всей видимости, результат случайный. Хотя в литературе описаны факты стимулирующего действия радиооблучения небольших интенсивностей. Например, животные под облучением точнее реагировали на движущийся объект. Положительный эффект отмечался и у людей. Так, один из испытуемых даже заявил об улучшении самочувствия под влиянием сверхвысокочастотных излучений...

Правда, одно различие в опытах с крысами было выявлено более или менее ярко: среди облученных крыс у 18 особей развились первичные злокачественные опухоли, а в контрольной группе — всего лишь у пяти. Вероятность того, что такое событие случайно, составляет всего 0,005. Значит, похоже на закономерность. Но и I закономерность тоже под вопросом. Во-первых, никакой тип опухоли не преобладал и ни один из них не был неожиданным. Все типы опухолей встречались и в других экспериментах. Если бы какой-нибудь специфический вид рака доминировал, то были бы более серьезные основания говорить о канцерогенном влиянии радио-облучения при малой интенсивности.

Во-вторых, в данном эксперименте число злокачественных

опухолей у животных контрольной группы оказалось ниже, чем среднестатистическое для данной линии крыс, а в группе облученных животных — близко к ожидаемому в отсутствие облучения.

И, в-третьих, частота образования злокачественных опухолей была лишь одним из 155 наблюдаемых признаков. При таком большом числе сравниваемых параметров вполне вероятно, что обнаружатся какие-нибудь значительные расхождения, которые на самом деле — просто случайности. Ведь и с продолжительностью жизни получилось все наоборот: облученные жили дольше.

Результаты опыта получили широкую огласку в США и вызвали соответствующий общественный резонанс. Поползли слухи: «радиоизлучения вызывают рак». Как мы убедились, такой вывод необоснован. Чтобы получить надежные данные о связи между радиоволновым облучением и каким-либо видом рака, требуется исследование в сотни раз большее по масштабам и затратам, чем в приведенном эксперименте. Возможно, какая-то связь между возникновением рака и облучением радиополем, в конце концов, и обнаружится. Но пока таких данных нет.

Я не случайно остановился на этом эксперименте. Он наглядно демонстрирует, как непросто получить достоверные данные о последствии радиооблучения живого организма малыми уровнями мощности. Вообще говоря, с радиоволновым облучением связано много различных слухов. Статей по проблеме опубликовано множество. Но очень многие результаты можно уподобить улыбке «чеширского кота». Они наблюдались лишь однажды и в последующих экспериментах не подтверждались. И не от того, что экспериментатор недобросовестен. Вполне возможно, что при стечении разных неучтенных обстоятельств могло наблюдаться особое биологическое воздействие радиоизлучения.

А вот советские ученые обнаружили прямо противоположный эффект от облучения человека радиополем, правда, миллиметрового диапазона. Оказалось, что определенные дозы облучения благотворно влияют на защитные силы организма, противостоящие онкологическим заболеваниям. Их стали также использовать для лечения язвы желудка.

В наше время все чаще говорят об аллергических заболеваниях. Какие только причины их не вызывают...

Оказалось, что электромагнитные поля тоже среди них. Так, во всяком случае, утверждает группа английских и американских аллергологов. Некоторые из обследуемых ими пациентов оказались чувствительными даже к полям, создаваемым электронными наручными часами. Есть люди, которые не могут работать с ЭВМ, разговаривать по телефону, сидеть рядом с включенным телевизором... Некоторые страдают от поля частотой 50 герц, создаваемого в квартире бытовой электросетью, но, переехав из Англии в США, где частота сети 60 герц, сразу же излечиваются. Болезнь выражается в тошноте, сильной усталости, нервозности, головной боли, иногда наблюдается и расстройство кишечника.

В середине 80-х годов, используя повышенный интерес американской общественности к проблеме радиозагрязнения,



администрация США выступила с заявлением, будто здание американского посольства в Москве много лет облучают радиоволнами низкой интенсивности и потому некоторые посольские работники неважно себя чувствуют. Конечно, это был очередной нелепый вымысел, придуманный, чтобы подпортить отношения между нашими странами. Абсурдность выдумки признали в печати сами американские ученые — специалисты по биологическому влиянию радиоизлучения — Кеннет Р. Фостер, Артур У. Гай.

Со временем стало ясно, что американский допустимый уровень все же не столь уж безопасен, а наш стандарт слишком щадящ. Американцы снизили свои нормы, а наши радиогигиенисты повысили. В настоящее время советский и американский стандарты разнятся не намного.

В США стали оценивать опасность облучения по несколько другому показателю: средней поглощенной мощности на килограмм веса тела. По новому стандарту, он ограничивается значением 0,4 ватта на килограмм.

Интересно, что в состоянии покоя организм человека выделяет вдвое большее количество тепла, а при умеренной физической нагрузке — гораздо больше. При облучении отдельных частей тела допускается и большая величина.

По нашим нормам, во всех случаях максимальное значение плотности потока мощности микроволнового излучения не должно превышать 10 ватт на квадратный метр. А за весь рабочий день произведение потока мощности на время работы не должно быть более 1 Втч/м². Это значит, что при 8-часовом рабочем дне среднее значение плотности потока мощности составляет 0,15 ватта на квадратный метр. Данная величина близка к норме, установленной для населения по советскому стандарту. Согласно ему в диапазоне 300 мегагерц — 300 гигагерц предельно допустимый уровень не превосходит 0,1 ватта на квадратный метр без ограничения времени действия.

Есть интересная гипотеза, которая связывает акселерацию — увеличение среднего роста и ускорение полового созревания у людей — с возрастанием радиофона.

По статистическим данным, акселерация отмечается на протяжении вот уже 140 лет, причем до 30-х годов нашего века она была не столь заметной, а затем резко убыстрилась.

В городах акселерация более выражена, чем в сельской местности.

Существует немало объяснений причины акселерации. Тут и массовое использование алюминиевой посуды для приготовления пищи, и ускорение темпа жизни, и улучшение питания детей, и более частое их рентгеновское обследование. Но все эти факторы не объясняют глобального характера акселерации. Она же проявляется в разных географических зонах, во всех национальных и социальных группах населения. Поэтому ученые считают, что существует какая-то иная, общепланетарная причина акселерации. Гипотеза, связывающая акселерацию с повышением радифона, основывается на свойстве гиперкомпенсации, присущей человеку и высшим млекопитающим. Она заключается в том, что организм оценивает изменение воздействующих факторов среды и с опережением приспосабливается к такой тенденции за счет ускорения физиологических процессов. Главную роль здесь, по-видимому, играет отдел промежуточного мозга — гипоталамус и контролируемые им эндокринные железы — щитовидная, гипофиз, половые и надпочечники. Причем приспособляемость в виде гиперкомпенсации при длительных изменениях среды, например, за время жизни животного и человека может передаваться последующим поколениям.

Радиотфон угнетающе действует на рост и развитие млекопитающих. Об этом говорят некоторые экспериментальные данные. Согласно гипотезе акселерация есть отрицательный ответ на угнетение, организм отвечает убыстрением развития организма.

Факты свидетельствуют, что до массового использования радиотехники уровень электромагнитного поля медленно, но все-таки повышался. Причина — созидательная деятельность человека. С начала прошлого века и в городах, и в сельской местности все более возрастало число высоких зданий с острыми крышами, громоотводами, шпилями. Они служат источниками «тихих», негрозовых разрядов. Кстати, на таких строениях в некоторых районах нередко наблюдаются огни святого Эльма — свечение в виде языков холодного пламени. Замечено, что оно служит источником помех для радиоприемников. С ростом строительства «тихие» разряды составили солидную добавку к электромагнитным полям, создаваемым грозовой активностью атмосферы. С начала же 30-х годов нашего столетия уровень

электромагнитного поля стал резко повышаться за счет увеличения мощности радиовещательных, а затем и телевизионных станций, радиолокаторов, радиорелейных линий, навигационных устройств и пр. По данным зарубежной статистики, в послевоенные годы, излучаемые мощности локаторов возрастают за каждое десятилетие в 10—30 раз. Прирост создаваемых искусственно радиоизлучений во много раз превышает общий прирост энергии на земном шаре. Радиофон добавляют и линии электропередачи, служащие источником коронного разряда, и все возрастающий парк ЭВМ.

Предположительно, это и послужило причиной акселерационного взрыва.

Роль радиоэлектроники в нашей жизни непрерывно возрастает. Вокруг Земли на разных орбитах работают спутники связи. В скором времени телевидением будет охвачена вся территория планеты. Человечество стоит на пороге создания глобальной системы связи. Космические солнечные электростанции, если проекты их будут реализованы в конце этого века, еще более повысят уровень радиофона Земли. Ведь электроэнергию с орбиты предполагается передавать с помощью радиоволн.

Стремительный рост радиофона планеты может ослабить зависимость наших биоритмов от всеобщего суточного ритма. Как полагают ученые, биоритмы нашего организма синхронизируются естественным электромагнитным полем планеты. Природа в процессе эволюции вполне могла отдать предпочтение такому виду синхронизации, ведь из всех мыслимых видов связи радиосвязь наиболее экономична и надежна. Чем выше уровень помехового фона (в нашем случае искусственного радиофона), тем хуже работает синхронизация. Потеряв извечную синхронизацию с суточным ритмом, мы, по-видимому, сможем выбрать для себя более подходящий ритм.

Представьте себе еще одну, пока тоже фантастическую картину. Перед нами наземная антенна-преобразователь, которая принимает энергетический радиолуч с орбитальной солнечной электростанции и превращает его в промышленный ток. Площадь отчужденной для антенны земли довольно велика — 270 квадратных километров (круг с радиусом 9,25 километра), хотя сама антенна (она прозрачна для солнечного света) занимает 80 квадратных километров.

Эта территория непригодна для жилья: уровень радиоизлучения

превышает допустимый. Но ей вполне можно найти полезное применение: под антенной пасутся крупные буренки-акселератки и жуют сочную быстрорастущую травку.

От фантастики вернемся к реальности. Возросший радиотелефон — всего лишь один из многих новых факторов внешней среды, который только еще начинает изучаться, и на вопросы: вреден ли он, а если вреден, то насколько? — ученые определенно ответить пока не могут.

А вот роботы оказались чувствительнее к радиозагрязнению. На это еще лет десять назад обратили внимание в Японии. Ныне там число «железных помощников» человека перевалило за 80 тысяч. Случается, что они убивают или калечат людей. Вот один из типичных случаев. На электроламповом заводе рука робота неожиданно нанесла смертельный удар в стиле каратэ, стоявшему рядом рабочему. Так отреагировал «мозг» робота на слабое электромагнитное излучение от соседнего подъемного механизма.

Проблема перекинулась через океан, в Америку. Некоторые американцы, которым вживлены электронные кардиостимуляторы, серьезно страдали от радиопомех. Бывало, что сигналы радиостанций и охранной сигнализации выключали вживленные приборы или резко меняли режим их работы.

Уровень бытового радиозагрязнения в последнее время повысился. Его даже стали называть электронным смогом. Причина тому — широкое распространение персональных компьютеров и бытовой электронной техники. Диапазон испускаемых ими волн весьма широк, поэтому очень трудно предсказать их воздействие на окружающее оборудование и приборы.

Электронный смог сгущается. Ученые призывают установить жесткие стандарты, чтобы заставить изготовителей электронной техники встраивать экраны, предотвращающие излучение помех и защищающие приборы от внешних сигналов.

Кто читал знаменитую «Гуманность Андромеды» И. А. Ефремова, тот, может, обратил внимание, что герои романа, люди далекого будущего, не пользовались радиосвязью. Вся возможная информация передавалась по кабелю. Когда писателя спросили, почему он дал отставку радио (а роман писался в 50-е годы), Иван Антонович достал с полки одну из своих «премудрых» тетрадей,

в которых он прорабатывал научную фактуру будущих произведений, и показал расчеты. Он уже тогда, предвидя радиозагрязнение, запрятал информационные потоки в кабель. Сколь прозорлив был писатель: сегодня с появлением оптоволоконных кабелей эта идея переживает второе рождение.

Каналы связи вчерашнего дня начинают уступать дорогу волоконной оптике. «Паутинки» из сверхчистого стекла толщиной с человеческий волос стремительно становятся «нервной системой» развивающейся телекоммуникационной сети. По стеклянному кабелю толщиной в сантиметр с четвертью может одновременно передаваться вдвое больше разговоров, чем по медному кабелю толщиной в руку. С помощью импульсного лазера лишь по одной нитке стекловолокна за шесть секунд можно передавать информацию, содержащуюся в двух томах Большой Советской Энциклопедии.

Оптическое волокно довольно дешево в производстве. Нить оптического волокна длиной в полтора километра может быть изготовлена из одной столовой ложки сырья. Получены новые, более совершенные сорта стекла для оптических кабелей необычайной чистоты. Полуторакилометровая толща такого стекла будет кристально прозрачна! Развитие техники волоконно-оптических линий происходит столь стремительно, что опережает даже самые оптимистические прогнозы.



ЛУЧ, УСТРЕМЛЕННЫЙ В БУДУЩЕЕ

ЛЭП ИЗ КОСМОСА

Вот уже 200 лет история демонстрирует непрерывный экспоненциальный рост нашей цивилизации. Закон экспоненты очень распространен в природе. Описываемые им явления похожи на лавинообразный рост, что-то наподобие взрыва. Да, мы живем в эпоху взрывов: индустриального, демографического, информационного, энергетического... Что касается энергии, то потребление ее каждые 20 лет удваивается. Единственный шанс избежать энергетической катастрофы в будущем — это успеть вовремя, перевести стрелку: перевести промышленность на рельсы другой энергетики. Мир настойчиво ищет энергию. В ряде стран приняты законы, обязывающие внедрять новые ее источники.

То, что атомная энергетика к концу столетия станет основным источником энергии, у большинства ученых не вызывает сомнений. Но переход к атомной энергетике породил и немало проблем. Среди них надежность в эксплуатации и захоронение отходов атомных электростанций. При массовом использовании атомной энергии создается угроза радиоактивного заражения нашей планеты. Кроме того, нормативный срок «жизни» современной АЭС — около 30 лет. Нетрудно подсчитать, что к 2000—2010 годам «пенсионного возраста» достигнут две трети атомных электростанций, работающих сегодня в

разных странах мира. Демонтаж отработанного реактора — дело сложное, дорогое, длящееся годы.

С точки зрения экологии переход к ядерной энергетике — решение далеко не оптимальное. Мера вынужденная. Цивилизация должна располагать значительными энергетическими резервами, чтобы иметь время для получения информации, которая откроет ей врата новой энергии. Человечеству нужен неисчерпаемый чистый ее источник, не загрязняющий и не перегревающий планету.

Ответ знали еще древние. Это — Солнце, самый изначальный энергоисточник на нашей планете. Меньше чем за час оно посылает на Землю такое количество энергии, которое превышает нынешние годовые потребности планеты. И такая щедрость при том условии, что почти одна двухмиллиардная доля общей энергии Солнца попадает на Землю. Количество солнечного света, которое в межпланетном пространстве приходится на Землю, можно сравнить с трехкопеечной монетой, лежащей где-то на круглом поле диаметром полкилометра.

Еще в самый разгар «атомного бума» один из крупнейших физиков XX века Фредерик Жолио-Кюри прозорливо сказал: «Решение проблемы использования солнечной энергии для человечества важнее, чем покорение энергии атома».

Базируясь только на Земле, солнечной энергетике не выбиться в лидеры. Мешает атмосферный «зонтик» над нашей планетой и суточные вариации солнечного потока. Кроме того, у наземной крупномасштабной гелиоэнергетики есть еще один недостаток, с которым в будущем придется считаться. Малая плотность энергии солнечного потока (с одного квадратного метра освещенной Солнцем поверхности в среднем можно «снять» не более 100 ватт). Поэтому под устройства, собирающие солнечную энергию — зеркала-концентраторы и фотоэлементы, — придется отчуждать большие площади. Нужно еще учесть, что наземная солнечная энергетика не всепогодна, а потому необходимы солнечные электростанции-дублиеры, разнесенные друг от друга на значительные расстояния. Кроме того, потребности в энергетике непрерывно растут, следовательно, придется увеличивать площадь отчужденных земель, причем в южных районах, которые имеют большие перспективы в области сельскохозяйственного производства. Спрос же на

сельскохозяйственную продукцию лавинно нарастает. Так, статистики утверждают, что до начала нового тысячелетия, то есть за двадцать неполных лет, для обеспечения продовольственной стабильности в мире должно быть произведено продовольствия столько же, сколько его было произведено за всю предыдущую историю развития сельского хозяйства на планете.

А между тем совсем рядом, в межпланетном пространстве, бесполезно для человечества пропадает энергия Солнца. Там нет восходов и закатов, нет облаков, нет атмосферы. Интенсивность потока солнечного излучения в космосе в десять раз больше, чем на Земле, а отсутствие гравитации и ветра позволяет строить протяженные многокилометровые конструкции. «Что странного в идее воспользоваться этой энергией?» — писал К. Э. Циолковский.

Есть в околоземном космосе замечательная орбита. Называют ее стационарной или геостационарной. Находится она на расстоянии примерно 36 тысяч километров от Земли. Спутник на этой орбите будет перемещаться с такой же угловой скоростью, с какой вращается наша Земля вокруг своей оси, и потому для земного наблюдателя он будет казаться неподвижным. Свойство это, кстати, очень полезно для целей связи. С помощью трех спутников, размещенных на стационарной орбите, можно, в принципе, организовать глобальную всемирную связь. Советские связные спутники «Радуга», «Экран», «Горизонт» уже несут на ней рабочую вахту. Правда, выводить космические аппараты на такую орбиту непросто. Например, чтобы вывести связной спутник на стационарную орбиту с территории нашей страны, нужна ракета такая же мощная, как для полета к Луне. Поэтому стационарные спутники запускаются ракетой-носителем «Протон», которая используется и для запуска почти двадцатитонных «Салютов».

Для солнечных электростанций, размещенных на стационарной орбите, Солнце будет сиять все 24 часа в сутки на протяжении почти всего года. Исключение составят небольшие периоды времени вблизи моментов весеннего и осеннего равноденствий, когда солнечная электростанция окажется в тени Земли примерно на 72 минуты в сутки. В среднем за год такие затемнения приведут к снижению солнечной энергии, получаемой станцией, всего на один процент. К тому же в районе наземного приемного пункта во время затенения будет

полночь, следовательно, и потребность в энергии минимальная.

Если на стационарной орбите разместятся несколько электростанций, они будут тоже затенять друг друга некоторое время. Но оно невелико: около 15 минут в 6 и 18 часов по местному времени. Такие перерывы в получении энергии точно предсказуемы, их можно учесть при распределении нагрузки электросети, что позволит обойтись без создания резервных запасов энергии.

Солнечные электростанции можно размещать и на других орбитах, но геостационарная по уже упоминавшейся причине подходит больше всего. Кроме того, эта орбита довольно емкая: на ней можно поместить множество станций, не опасаясь, что они столкнутся. Например, если на стационарной орбите равномерно расположить 300 станций, то на каждую придется средний объем примерно в миллиард кубических километров. Так что вероятность их столкновения ничтожна. В космических проектах гелиостанций, так же, как и в наземных, конкурируют в основном два типа преобразователей солнечной энергии в электрическую — фотоэлектрические и теплоэлектрические.

Нельзя сказать, что окончательный выбор относительно варианта преобразователя солнечной энергии в электрическую уже сделан. Но все-таки некоторое предпочтение отдается фотоэлектрическому методу: ведь солнечные батареи в космосе надежно зарекомендовали себя. Например, солнечное «сердце» «Салюта-6» снабжало станцию энергией на протяжении всего времени ее существования на орбите (4 года 10 месяцев). Три крыла батареи «Салюта-6», автоматически поворачивающиеся за Солнцем, обеспечивали максимальную мощность энергопитания — 4,5 киловатта. На теневой стороне Земли работала аккумуляторная батарея, которая на свету подзаряжалась от солнечной электростанции.

В отличие от «Салюта-6» для солнечных электростанций на геосинхронной орбите, где Солнце практически никогда не заходит, аккумуляторные батареи не нужны. Какой представляется ученым космическая солнечная электростанция? По одному из проектов, это две прямоугольные решетки длиной шесть и шириной пять километров каждая. Они соединены между собой несущей конструкцией из непроводящего материала. На решетках помещаются зеркала концентраторов (расположенных в форме желоба),

а между ними — кремниевые солнечные батареи. Зеркала-концентраторы направляют падающие на них солнечные лучи на кремниевые элементы и тем самым повышают интенсивность солнечного потока. Использование зеркал удешевляет станцию, поскольку они дешевле солнечных элементов. С течением времени под воздействием радиации солнечные батареи деградируют, их коэффициент полезного действия падает. Согласно оценкам, суммарная степень деградации на 30 лет работы составит 20 процентов. Чтобы компенсировать уменьшение мощности, прямоугольные решетки можно наращивать новыми секциями со «свежими» кремниевыми элементами или производить постепенную замену сильно «постаревших» элементов. С такой солнечной «плантации» можно «снять» 8,6 миллиона киловатт мощности. Для сравнения: мощность Братской ГЭС около 4,1 миллиона киловатт.

Но получить в космосе электроэнергию — можно сказать, еще полдела. Вот как передать ее на Землю? Пока не создан материал, пригодный для провода, который можно было бы протянуть на высоту 36 тысяч километров. Если опускать с орбитальной станции самый прочный стальной трос, то он оборвется уже через 48 километров под действием собственного веса. Ученые считают, что лучше всего для передачи электроэнергии с орбиты использовать радиоволны: как в линиях радиосвязи. Только передавать радиоволны будут не информацию, а энергию. Идея передачи энергии с помощью радиоволн сверхвысоких частот разрабатывается довольно бурно. Во многом большой прогресс, достигнутый в этом вопросе за последние годы, объясняется тем, что почти все компоненты для создания такой системы передачи энергии уже имелись в наличии. Их заранее подготовила радиоэлектроника. В настоящее время существуют линии электропередачи с помощью радиоволн, КПД которых превышает 50 процентов. Ожидается, что при использовании более совершенных приборов КПД достигнет 70 процентов.

Как же устроена радиолиния для передачи электроэнергии? Солнечные батареи преобразуют энергию солнечного света в постоянный ток, который подводится к генераторам колебаний сверхвысоких частот, то есть служит для них источником электропитания. Генераторы преобразуют постоянный ток в колебания сверхвысоких частот.

Техника генерирования и усиления колебаний этого диапазона частот хорошо освоена промышленностью и интенсивно развивается и совершенствуется. Например, в США ежегодно производится более миллиона сверхвысокочастотных приборов на общую сумму полмиллиарда долларов. На сегодняшний день известны свыше тысячи типов приборов для генерации радиоволн, мощность каждого из которых превышает несколько киловатт, но пока наиболее подходит амплитрон — прямой «родственник» прибора, с которого, можно сказать, и началось широкое использование радиолокации...

Во время второй мировой войны американская фирма «Белл» не раз помещала на страницах журналов один и тот же рекламный снимок: часовой с винтовкой охраняет ящичек с большими сургучными печатями. Внизу подпись: «Тут хранится самая большая тайна этой войны». В 1946 году фирма опубликовала снимок с содержанием ящичка. В нем лежал магнетрон — прибор, который имел действительно большое военное значение. Без него не могли бы эффективно работать радары тех лет. Однако тайной магнетрона владели не только Англия и США. Его изобрели и впервые использовали в нашей стране. В 1924 году в Харьковском университете под руководством и по предложению профессора Д. А. Рожанского его учениками начались работы, которые привели к созданию магнетрона. Об этих исследованиях и их результатах сообщил журнал Русского физико-технического общества в 1925 году. Впоследствии харьковские ученые создали экспериментальный радиолокатор «Зенит», который был первой радиолокационной станцией, определявшей три координаты цели, что очень важно для управления стрельбой зенитной артиллерии. Испытывался «Зенит» в боевых условиях в 1941 году, защищая небо столицы. Своей трехкоординатностью «Зенит» обязан магнетрону. Он генерировал короткие, дециметровые волны, и при сравнительно небольших размерах антенны можно было определять не только азимут, но и высоту цели (а точнее, связанный с нею угол места цели). В других радиолокаторах, созданных в то время в нашей стране и за рубежом, в качестве передатчиков использовались триодные лампы, которые генерировали более длинные — метровые волны. Поэтому локаторы не могли определять третью координату — высоту цели. Слишком велик, должен был быть вертикальный размер антенны.

Лишь позднее в английских станциях появились магнетроны. Начавшаяся Великая Отечественная война не позволила быстро наладить серийный выпуск таких сложных систем, какими являются станции оружейной наводки.

Амплитроны, которые предполагают использовать в радиолинии электропередачи космос — Земля, по существу, модернизированные магнетроны. Для амплитрона характерен высокий коэффициент полезного действия (вполне реальные значения около 90 процентов) и малая удельная масса (отношение полной массы прибора к его выходной мощности). Ученые определили, что если воспользоваться для создания передатчика радиолинии комплектом амплитронов с выходной мощностью каждого в пять киловатт, то оптимальная длина рабочей волны линии электропередачи, при которой масса прибора и его стоимость будут минимальны, составит около 12 сантиметров.

Соперничают с амплитронами другие сверхвысокочастотные приборы — клистроны. Хотя их коэффициент полезного действия меньше (70—80 процентов), стоимость и удельная масса больше, однако они более мощные, и потому их понадобится меньше, чем амплитронов, что облегчит сборку передатчика на орбите.

Для того чтобы передать с орбиты и принять на Земле радиоволны — переносчики электроэнергии, — нужны передающая антенна в космосе и приемная на Земле. Как подсчитали ученые, их оптимальные размеры таковы: передающая антенна около одного километра в диаметре, а приемная около десяти километров. При таких размерах стоимость радиолинии будет минимальной, а коэффициент полезного действия максимальным.

Приемная и передающая антенны должны быть точно ориентированы друг относительно друга. Во-первых, для того, чтобы основная часть энергии, передаваемая с орбиты, не пропадала зря (в принципе потери неизбежны из-за так называемых боковых лепестков антенного луча), и, во-вторых, по соображениям безопасности: ведь интенсивный поток сверхвысокочастотного излучения не безвреден для человека.

Хотя электростанция будет находиться на стационарной орбите, ее точка стояния все-таки будет незначительно перемещаться относительно наземного пункта. Это приведет к отклонению луча передающей антенны

от требуемого положения. Источники возмущающих движений станции — неоднородность гравитационного поля Земли, возмущающее действие гравитационных полей Луны и Солнца, давление света и, в свою очередь, противоположное давление, вызываемое отдачей сверхвысококачастотного излучения (передатчик радиолинии действует, словно реактивный двигатель, только вместо сопла — антенна, а вместо газов — сверхвысококачастотное излучение). Уходы точки стояния придется корректировать с помощью двигателей. Антенные лучи могут сдвигаться и по другим причинам, например, из-за изменений температуры и параметров аппаратуры в процессе эксплуатации... Поэтому должен быть обеспечен постоянный контроль за качеством ориентации и подстройка лучей антенны.

Поскольку размеры наземной антенны довольно велики — десять километров в диаметре, то управлять ею довольно сложно. Лучше подстраивать передающую антенну в космосе: ее площадь в сто раз меньше, а сложность электронного управления лучом антенны в первом приближении пропорциональна ее площади. Ориентиром для подстройки луча передающей антенны будет служить тонкий опорный радиолуч, излучаемый наземной антенной.

Приемную антенну можно выполнить в виде большого числа крошечных антенн диполей. (Пример дипольной антенны — индивидуальная внешняя или внутренняя телевизионная антенна, только размер диполя для наземной антенны в несколько раз меньше, так как для телевидения используются метровые волны, а электроэнергию предполагают передавать в коротковолновой части дециметрового диапазона). Приемная антенна будет не только принимать сверхвысококачастотное излучение, но и преобразовывать его в постоянный ток. (Подобные антенны-преобразователи называются ректениями.) Для этого каждый диполь снабжен миниатюрным выпрямителем, который преобразует радиоизлучение в постоянный ток. Токи всех диполей складываются и либо подаются в высоковольтную сеть постоянного тока, либо преобразуются в напряжение переменного тока. Специалисты подсчитали, что коэффициент полезного действия радиолинии электропередачи, то есть с выхода солнечных батарей до выхода в наземную высоковольтную сеть постоянного тока, составит 58 процентов, а выходная мощность, отдаваемая потребителям,

— пять миллионов киловатт. Есть проекты электростанций и на десять миллионов киловатт. Разнятся они главным образом размерами солнечных батарей.

Поскольку каждый диполь снабжен выпрямителем, то ширина луча приемной десятикилометровой антенны будет такой же, как у отдельного маленького диполика, у которого в довольно широком секторе нет резко выраженного направления приема. Поэтому огромную приемную антенну не надо будет ориентировать на передающую антенну, что значительно упростит ее конструкцию. Приемную антенну можно сконструировать таким образом, чтобы она была прозрачной для света. Тогда расположенную под ней территорию можно использовать для других целей, например, для сельского хозяйства.

Выпрямление электрического тока сопровождается тепловыми потерями: выпрямительные диоды будут нагреваться, а тепло передаваться окружающему воздуху. В тепло перейдет не более 15 процентов передаваемого с орбиты излучения, и нагрев атмосферы не превысит нагрева, обычно наблюдаемого над городами.

Как и на орбитальной станции «Салют», на космической электростанции придется ориентировать на Солнце многокилометровые панели солнечных батарей, чтобы солнечные лучи падали на них отвесно. Для электростанции это наивыгоднейший режим работы. Расчеты, проведенные специалистами, показывают, что солнечные батареи должны быть сориентированы относительно Солнца с точностью до 0,5 градуса, а луч передающей антенны радиолинии передачи электроэнергии относительно наземной приемной антенны — с точностью ± 1 градус. Для управления положением и ориентации такой многокилометровой конструкции надо иметь более тысячи корректирующих двигателей. Они будут работать всего 5—10 дней в году. Так что должны быть предусмотрены рейсы космических танкеров для заправки корректирующих двигателей топливом. Для коррекции можно использовать и электронные двигатели. Тогда энергией их обеспечат солнечные батареи, но восполнять запасы рабочего тела все равно придется. В дальнейшем возможно существенное упрощение конструкции, снижение массы и соответственно стоимости космической электростанции, если удастся сделать такую солнечную батарею, чтобы она преобразовывала энергию

Солнца сразу же в сверхвысокочастотное излучение (минуя постоянный ток).

По инженерным оценкам, площадь, непригодная для проживания в районе наземного приемного пункта, не будет превышать 270 квадратных километров (круг с радиусом 9,25 километра), из них около 80 квадратных километров займет наземная антенна, а остальные — буферная зона. То есть приемную антенну можно размещать неподалеку от населенных пунктов, а это означает снижение потерь на транспортировку энергии. Вне буферной зоны уровень облучения будет незначительным, меньше допустимой для человека дозы длительного сверхвысокочастотного воздействия.

Неполадки в системе наведения радиолуча из космоса не должны приводить к превышению норм облучения. Для этого система наведения должна быть исключительно точной и надежной, но если все же случится неисправность, то передатчики космической электростанции должны мгновенно отключиться.

Вопрос воздействия сверхвысокочастотного излучения на живые организмы очень важен, и в нем есть еще немало «белых пятен». В частности, как будет влиять радиоизлучение на птиц, пролетающих зону радиолуча? Есть предварительные сведения, что птицы чувствуют сверхвысокочастотное облучение при плотностях потока свыше 25 милливольт на квадратный сантиметр и стремятся покинуть опасную зону.

Смогут ли самолеты пролетать зону радиолуча? Не будет ли вред пассажирам? Не повлияет ли пролет сквозь радиолуч на работу самолетной электронной аппаратуры?.. Вопросов много. Они неизбежны, когда дело касается крупного нового проекта.

А вот еще один интересный проект, в основе которого заложена передача энергии по радиолучу. Специалисты американского космического ведомства занимаются конструированием самолета, который сможет оставаться в воздухе до трех месяцев без посадки и дозаправки. Беспилотный самолет будет парить на сетчатых крыльях — антеннах размахом шесть метров, совершая полеты по восьмерке на высоте 25 километров над землей для контроля за состоянием атмосферы.

Двигатель самолета мощностью 40 лошадиных сил будет приводиться в действие энергией, доставляемой радиолучом. Фактически самолет сможет оставаться в

воздухе до тех пор, пока не случится какая-либо неисправность. По прикидкам инженеров компании «Локхид», которая привлечена к этой работе, самолет можно запустить в начале 90-х годов.

Для передачи энергии предполагается построить антенное поле (величиной с футбольное) с сотней параболических антенн, нацеленных на самолет. Суммарная мощность передатчиков — два миллиона ватт. Самолет уловит луч при помощи приемников, установленных на крыльях, и преобразует радиоволну в электроэнергию. КПД системы — всего четыре процента, но этот недостаток компенсируется большой продолжительностью полета.

Предлагали для передачи электроэнергии с орбиты и лазерный луч. Проект заманчивый. Для лазера не надо таких больших антенн. Кроме того, уже есть экспериментальный лазер с солнечной накачкой, в котором сконцентрированный солнечный свет напрямую превращается в лазерный луч. Но есть у лазерного излучения серьезный недостаток...

Один мой знакомый радиоинженер рассказал мне как-то такую историю. Он участвовал в разработке и испытаниях экспериментальной лазерной телефонной линии связи в Москве. Телефонный узел Г-6 на Зубовской площади (в то время в Москве были еще шестизначные номера) соединили с помощью лазерной линии с университетом на Ленинских горах, где установили антенные устройства для передачи и приема сигналов лазера, передаваемых с Зубовской площади. По вечерам, примерно в одно и то же время, связь ухудшалась. Долго ломали голову. А оказалось все просто. Трасса пролегла над каким-то вечерним учебным заведением. Во время перерыва открывались окна для проветривания аудитории. Потoki теплого воздуха из окон да еще с табачным дымом поднимались на пути луча и ослабляли его. На языке специалистов это явление называется «рассеянием на неоднородностях атмосферы». Так что лазерная система чувствительна к состоянию атмосферы. Облака, разного рода турбулентности поглощают и рассеивают лазерный луч. Коэффициент полезного действия такой линии электропередачи при плохой погоде упал бы до очень низкого уровня. Кроме того, эксплуатация энергетической лазерной линии большой мощности требует повышенной осторожности. Случайное отклонение луча из-за неисправности системы его

наведения может создать серьезную угрозу безопасности людей.

Так что радиолуч — наиболее вероятный претендент на роль линии электропередачи из космоса.

Ожидается, что в XXI веке космические электростанции будут удовлетворять 10—20 процентов мировых потребностей в электроэнергии, а для некоторых стран даже на 40—50 процентов. Это станет весомой экологически чистой добавкой к наземной энергетике планеты. Мощные космические электростанции, преобразующие энергию Солнца в электричество, будут в полную меру служить человеку. Не исключено, что XXI век люди назовут веком Солнца!

К ЗВЕЗДАМ ПОД РАДИОПАРУСОМ

Герои фантастических произведений давно уже побывали на планетах у чужих солнц и познакомились с их обитателями. Крылья мечты оказались быстрее современных ракет. Да и с планетами в других мирах нет ясности: как показали расчеты специалистов, пока ни одним из существующих методов невозможно достоверно обнаружить планеты даже у соседних звезд. Правда, ученые не теряют оптимизма. Они уверены, что в будущем появятся технические средства, чтобы решить эту задачу. В частности, они связывают свои надежды с выводом в космос больших оптических телескопов.

А как обстоят дела с межзвездными перелетами? Сможем ли мы устремиться в погоню «за светом и пространством»? По прогнозу, сделанному в начале 80-х годов, темпы развития ракетной техники не исключают к 2000 году первых шагов к звездам. На рубеже веков, вероятно, появится возможность запустить космический аппарат, скорость которого относительно Солнца (то есть в момент, когда он покинет Солнечную систему) будет составлять около 100 километров в секунду, то есть почти в 13 раз быстрее искусственного спутника Земли. Однако даже при такой скорости полет до ближайшей звезды займет около 10 тысяч лет.

Для сравнения с сегодняшней реальностью приведем данные по летающей ныне американской станции «Вояджер-2», которая была запущена в августе 1977 года. В августе 1989 года станция достигнет планеты

Нептун, которая находится от нас на расстоянии в 10 тысяч раз больше, чем Луна. Ну а ближайшая к Солнцу звезда проксима Центавра еще в 10 тысяч раз дальше: она удалена от нас на 40 триллионов километров или на 4,3 светового года. «Вояджер-2» покинет Солнечную систему со скоростью 58 тысяч километров в час. Чтобы долететь до ближайшей звезды, ему потребуется 80 тысяч лет...

Как превозмочь чудовищную бездну? Различные проекты фотонных ракет, суперкораблей со сменой поколений космонавтов оказываются при ближайшем рассмотрении практически неосуществимыми. И все же в более или менее отдаленном будущем, возможно, достигнуть звездных далей в приемлемый для жизни одного поколения людей срок. В основе утверждения лежит реальная в принципе идея, правда, в наши дни она еще может показаться фантастической.

Речь идет о межзвездной автоматической станции. И это естественно, ведь в космос, прежде чем стартовал человек, был запущен спутник. Наверняка и к ближайшей нам звезде проксима Центавра первым полетит автоматический корабль. Только устремит его к звезде-соседке не ракета, а парус. Да, забытый парус. Подобно каравеллам Колумба, пустившимся искать Новый Свет, к звездным далям, возможно, отправится космический парусник. Но вот попутный ветер будет для него необычным — радиоволны.

Со школьной скамьи мы знаем о том, что солнечный свет оказывает давление. В учебниках физики описывается выдающийся опыт русского физика А. Н. Лебедева, поставленный в 1899 году: солнечные лучи вращают лопасти вертушки созданного ученым прибора. Эксперимент был неотразим. У современников Лебедева сомнений больше не было: световое давление — не теоретическая иллюзия из уравнений Максвелла, оно действительно существует.

Доказательство существования светового давления послужило в свое время источником многих гипотез, в том числе модной и поныне идеи панспермии. Еще при жизни Лебедева шведский ученый Сванте Аррениус попытался объяснить возникновение жизни на Земле пришествием мельчайших зародышей и спор простейших организмов из других миров. Он доказал, что они могут выталкиваться за пределы планетных систем световым давлением. Расчеты были правильны, свет звезд и

солнц действительно мог служить космическим транспортом для мельчайших частиц.

В 1920-х годах К. Э. Циолковский и Ф. А. Цандер высказали идею космического паруса, движимого солнечным светом. Потом эта мысль перекочевала на страницы научно-фантастических книг, а затем и в технические проекты инженеров. По мнению специалистов, уже до конца столетия поднимутся солнечные паруса космической каравеллы.

Но на солнечном ветре к звездам не улетишь. Чем дальше от Солнца, тем слабее его лучи, то есть применение парусников ограничивается пределами Солнечной системы. А нельзя ли создать искусственно мощный источник света и надуть им паруса звездной каравеллы? Такой прибор есть — лазер. Правда, лазер должен быть довольно мощным. В США в настоящее время ведутся работы по созданию лазеров с большой мощностью излучения, но, к сожалению, они предназначаются для «звездных войн». А ведь их энергией можно было наполнить звездные паруса...

Для первого знакомства с миром соседней звезды больше подойдет не луч лазера, а микроволновый радиолуч. Да, радиоволны, как и свет, тоже «давят», ведь они со светом из одной «породы» — электромагнитных излучений. По теории, давление электромагнитных волн пропорционально энергии их кванта, то есть энергии тех элементарных доз излучения, из которых складывается электромагнитный поток.

Так вот, энергия кванта тем больше, чем меньше длина волны, или иначе, чем выше частота колебаний. Даже в самой «мощной» части микроволнового диапазона — у субмиллиметровых волн — энергия кванта в сотни, тысячи раз слабее, чем у кванта света. Но, несмотря на это, именно радиоволны прочат на роль космического ветра для первого звездного парусника.

Дело в том, что для «радиоветра» парус можно сделать «дырявым» — из тонкой сетки, а, следовательно, и более легким. Для света же такой парус был бы прозрачным, ему нужен сплошной листовый материал.

Идею использовать микроволновое излучение в качестве движущей силы межзвездного корабля высказал американский физик Фримэн Дайсон. Сфера, названная его именем, — традиционный пример астроинженерной деятельности. В 1984 году Роберт Форвард привнес в идею Дайсона наиболее передовые достижения компьютерной техники.

В результате такого объединения родился проект межзвездного аппарата «Старуисп». Он мало похож на сегодняшние космические корабли. Это просто парус, имеющий километр в поперечнике, а весящий всего 20 граммов!

Парус соткан из тончайшей проволоки в виде множества шестиугольных ячеек. В 10 триллионах пересечений ячеек расположены микроэлектронные схемы (маленькие ЭВМ), которые образуют в целом сверхмощную ЭВМ параллельного действия. Кроме того, каждая микросхема чувствительна к свету и может работать как крошечная телекамера.

Ввиду своей хрупкости парусник будет монтироваться в космосе, например, за орбитой Марса. А космический ветер для паруса создает мазер — молекулярный, или, иначе, квантовый, генератор СВЧ-радиоволн. Мазер работает по тому же принципу, что и лазер, только диапазон излучения другой — микроволновый.

Хотя устройство мазера много сложнее, чем лазера, но открыли его раньше. Вплотную подошел к созданию квантовых усилителей-генераторов советский ученый В. А. Фабрикант. Еще в 1940 году он провел теоретические исследования и сделал, правда, неудачные, экспериментальные попытки усилить СВЧ-колебания в парах цезия. Сейчас кажется даже удивительным, что науке пришлось совершить такой зигзаг на пути к оптическому мазеру — лазеру. Его и называли-то по аналогии с мазером, заменив лишь первую букву «м» (начальная буква английского написания слова «микроволновый») на «л» (начальная буква английского написания слова «свет»).

Интересно, что через десять лет, после того как заработал лабораторный мазер (а его создали независимо в СССР — группа ученых под руководством Н. Г. Басова и А. М. Прохорова и в США — группа ученых под руководством Ч. Таунса), в галактических туманностях был открыт естественный мазер. Представим, что лабораторный мазер не был бы создан в 1954 году. Все равно он был бы неизбежно открыт позже благодаря радиоастрономическим наблюдениям.

Разместить мазер предполагается на спутнике на околоземной орбите, а энергию дадут ему солнечные батареи, находящиеся тут же, на орбите. Чтобы радиоволны «толкали» парус, мощность излучения мазера

должна составлять 20 гигаватт (миллионов киловатт), немного меньше мощности пяти Братских ГЭС.

Радиолуч направляется и фокусируется на космическом парусе специальным устройством в виде линзы Френеля, названной так по имени создателя ее оптического варианта выдающегося французского ученого Жана Френеля. Он опробовал свою систему линз в 1823 году на маяке Кордуан в устье Жиронды, одном из самых древних в мире действующих маяков. Время его рождения уходит в эпоху Карла Великого. Кстати, оптические линзы Френеля применяют до сих пор на многих маяках, а также в маяковых и сигнальных фонарях.

Размер космической линзы огромен — около 50 тысяч километров (четыре земных диаметра!). Состоит линза из чередующегося набора концентрических колец из проволочной сетки и пустых кольцевых зон. Радиусы колец подобраны так, чтобы радиоволны, проходящие через пустые кольца, собирались воедино на парусе «Старуиспа». Помогут и микросхемы, расположенные в узлах пересечения проволочных ячеек паруса. Они будут так управлять электропроводимостью сетчатого полотна, чтобы радиолуч давил на него с максимально возможной силой.

И понесется подгоняемая радиофотонами космическая каравелла. Всего за неделю разгонится она до одной пятой скорости света. Такое стремительное ускорение, в 155 раз превышающее ускорение свободного падения, сообщит ей радиолуч. Через неделю работы мазер выключится.

Через 17 лет аппарат преодолет три четверти расстояния до проксимы Центавра. Тогда центр управления полетом включит мазер и направит радиолуч на парус. Радиоволны достигнут аппарата примерно через четыре года, и хотя за столь длинное путешествие луч порастеряет свою энергию, ее все-таки будет достаточно, чтобы переключить все 10 триллионов микросхем в режим фотоприемников. Парус превратится в огромный искусственный «глаз», который сможет наблюдать неизвестный мир нашей звездной соседки.

На скорости 60 тысяч километров в секунду «Старуисп» промчится мимо проксимы Центавра всего лишь за 40 часов. За это время он пройдет около девяти миллиардов километров — расстояние, равное диаметру орбиты Нептуна. Каждую секунду в сорокачасовом сеансе будет

фиксироваться 25 изображений с высокой разрешающей способностью. С такой же скоростью происходит передача изображений в телевидении.

Затем по командам синхронизирующих сигналов, содержащихся в радиолуче, парус станет работать как антенна, которая направит радиоволны с закодированными в них изображениями на Землю.

Через четыре года после пролета соседней звезды парус будет находиться от нее на расстоянии почти в один световой год. А сигналы от «Старуиспа» только- только достигнут Земли, где ЭВМ превратят импульсы в изображения мира проксимы Центавра. Это произойдет четверть века спустя после запуска радиопаруса.

Если у нашей звездной соседки «Старуисп» обнаружит интересные объекты, то следующим шагом может стать посылка более тяжелой межзвездной автоматической станции, начиненной исследовательской аппаратурой и оснащенной совершенной оптической системой. Ее назвали «Старлайтом». Межзвездный аппарат тоже с парусом, но приводится в движение лучом лазера. Парус его диаметром 3,6 километра предполагается изготовить из алюминиевой пленки толщиной всего 16 миллиардных долей метра. Масса паруса вместе с космическим аппаратом — около тонны. Поддувать парус будет лазер мощностью 65 гигаватт.

Его поместят либо на околоземную орбиту, либо на орбиту поближе к Солнцу. Там энергии побольше, и для «накачки» лазера можно будет использовать непосредственно солнечный свет. Лазерный луч будет фокусироваться на парусе линзой Френеля, помещенной между орбитами Сатурна и Урана. Диаметр линзы — тысяча километров. Лазер сообщит «Старлайту» ускорение 0,04 g. После трех лет непрерывного лазерного поддува межзвездная станция приобретет скорость, равную 11 процентам от скорости света, и удалится от Солнца на 0,17 светового года. В этот момент диаметр ускоряющего луча разойдется до 3,8 километра, и лазер выключится.

Через сорок лет станция достигнет окрестностей проксимы Центавра и начнет исследования. Как мы видим, «Старлайту» потребуется в два раза больше времени, чем его «радиопарусному» собрату, хотя мощность лазера в три раза превышает мощность лазера. Но ведь несоизмеримо различие и в массах самих аппаратов — 20 граммов и одна тонна.

Для полета человека к более далеким звездам, например, к эpsilon Эридана, находящейся на расстоянии 10,8 светового года, предлагается проект еще более тяжелого парусного космического корабля, названного «Суперстарлайтом». Масса его — 75,8 тысячи тонн, а размеры паруса и фокусирующей луч лазера линзы Френеля — 1000 километров.

Звезда эpsilon Эридана — ближайшая к нам звезда «солнечного» типа, и первый звездный маршрут с человеком на борту, вероятно, будет проложен именно к ней. Кстати, на орбите вокруг этой звезды, согласно предварительным данным, полученным канадскими астрономами, находится планета, в два-пять раз тяжелее Юпитера. Чтобы экипаж мог достигнуть звезды и вернуться обратно в течение человеческой жизни, корабль должен лететь со скоростью, сопоставимой со скоростью света.

Группа лазеров, испускающих луч чудовищной силы мощностью 43 тысячи тераватт (тераватт — миллиард киловатт), за 1,6 года разгонит корабль до крейсерской скорости — 150 тысяч километров в секунду — половины скорости света. Чтобы обеспечить постоянное ускорение, мощность лазеров в конце этапа набора крейсерской скорости должна увеличиться чуть ли не вдвое, до 75 тысяч тераватт. Что и говорить, дешево до звезд человеку не добраться. На такой чудовищной скорости начнут сказываться релятивистские эффекты: масса корабля увеличится на 13 процентов, а для звездолетчиков время потечет медленнее.

Примерно за 10,4 года до подлета к звезде лазеры вновь включают. Но теперь энергия светового луча пойдет на торможение. Чтобы остановиться у звезды и прилететь обратно, парус должен быть особым — из трех концентрических сегментов. Внешнее кольцо диаметром 1000 километров предназначено для торможения, промежуточное диаметром 320 километров и внутреннее диаметром 100 километров — для возвращения экипажа. На внутреннем парусе находится и модуль экипажа.

Когда космический парусник подойдет к звезде на расстояние 0,4 светового года, от него отделится внешнее тормозное кольцо и, обгоняя корабль, устремится вперед. Оставшаяся часть паруса повернется так, чтобы его отражающая поверхность была обращена к отделившемуся тормозному парусу. Лазерный луч, отразившись от паруса торможения, ударит в парус корабля.

Звездолетчикам будет казаться, что это с эpsilon Эридаана бьет световой поток. Тормозиться корабль до полной остановки будет столько же времени, сколько он разгонялся, — 1,6 года. По земному времени полет продлится 23,2 года, а по бортовому времени звездолета — 20,5 года.

Научные исследования нового для землян мира займут несколько лет. А когда придет время лететь домой, парус вновь уменьшится в размере. От него отделится промежуточная ступень диаметром 320 километров. Она будет сориентирована так, чтобы ее отражающая поверхность была повернута к Солнечной системе. Третий «выстрел» лазера длительностью 1,6 года, отправленный



землянами 10,8 года назад, теперь достигнет окрестностей эпсилон Эридана и, направленный промежуточной ступенью, наполнит попутным лазерным ветром стокилометровый парус возвращения. «Суперстарлайт» двинется в обратный путь.

Через 20 лет звездолет приблизится к Солнечной системе со скоростью, равной половине скорости света. Его остановит последняя вспышка лазера. Все путешествие продлится примерно 51 год, а по звездолетному исчислению — 46 лет.

Один из авторов проекта, Р. Форвард, так оценивает его возможности: «Межзвездное путешествие под «световым парусом», ускоряемым лазером, пока еще невозможно. Но оно не противоречит никаким физическим законам и может быть осуществлено. Развитие технологии получения тонких пленок, генерации и передачи энергии с помощью лазеров дает такую уверенность. И этот метод имеет определенные преимущества перед другими планами межзвездных путешествий. «Двигатель» остается «дома», в Солнечной системе, где его относительно легко содержать в рабочем состоянии, ремонтировать или совершенствовать в случае необходимости».

Конечно, есть огромные технические проблемы. Строительство гигантских легких конструкций, разработка систем наведения и сопровождения, использование кольцевого «светового паруса» в качестве фокусирующей линзы и, естественно, создание мазеров и лазеров, которые могут генерировать энергию на уровне нескольких гигаватт и тераватт в течение месяцев и даже лет — все это очень сложные задачи.

Тем не менее «световой парус», направляемый лазером, возможно, явится тем средством, которое однажды сможет доставить нас к звездам и обратно в течение человеческой жизни. Кто знает, может, наши потомки на самом деле взлетят по звездной трассе на «крыльях света».

БЕЗГРАНИЧНЫЙ РАДИОКОСМОС

Радиоэлектроника, словно ветвистое дерево, разрослась на много локальных областей, порой отдаленных друг от друга, порой тесно связанных.

В рекламном проспекте одной иностранной выставки

в Москве была такая фраза: «Электронная вселенная тоже расширяется». Метафора недалеко от истины. Судите сами.

Возьмем для иллюстрации такой важный показатель радиоэлектронных систем, как минимальная мощность принимаемого радиосигнала. Для разных радиоприемных устройств его величина простирается от 10-22 ватта до единиц ватт и более. Действительно, разница вселенского масштаба. Вспомним, что отличие диаметра земного шара от размера атома гораздо менее значительно: «всего» в 10¹⁷ раз.

Разительно и многообразие радиоэлектронных устройств. Есть приборы, в которых всего лишь несколько десятков элементов и в то же время есть устройства, где их десятки-сотни миллионов, и с каждым часом растет многоликость электронного мира.

Открытия следуют непрерывно одно за другим, как из рога изобилия. То промелькнет сообщение о разработке нейрокомпьютера — ЭВМ шестого поколения, функционирующей как человеческий мозг, — первого прототипа биокомпьютера. То вдруг огорошит сенсация о фантастическом быстродействии электронного устройства на переключателях, использующих эффект Джозефсона. (Будучи еще студентом, английский физик Джозефсон, работая с материалами при сверхнизких температурах, обнаружил, что два сверхпроводника, разделенные тончайшим диэлектриком, могут выполнять роль переключателя.)

Кстати, открытая недавно высокотемпературная сверхпроводимость может направить развитие радиоэлектроники по новому руслу. Как остроумно заметил один американский исследователь, сейчас сверхпроводники женятся на полупроводниках. Так что долгосрочный прогноз — дело не очень верное. Тем-то и интересно наше время — впереди много неизведанного, непочатый край работы для молодых умов. И чем дальше мы движемся, тем больше дорог. Да, расширяется «радиоэлектронная вселенная». Ей уже тесно на Земле.

Лет пять назад в серьезном американском научном журнале ученые обсуждали проект космического радара для обследования и картографирования планет в других звездных мирах. Передающие антенны такого радара предполагалось разместить внутри орбиты Меркурия, а приемные — за пределами орбиты Юпитера. Энергию для передатчика радара даст Солнце. Используя

принцип синтезированной апертуры и сложные сигналы, звездный радар различит на планете, удаленной от Земли на 25 световых лет, детали рельефа, отстоящие друг от друга на расстояние 62 километра.

Пока проект представляется научной фантастикой, но лет через сто, как считают некоторые специалисты, можно будет приступить к его осуществлению. Современный уровень знаний дает твердую уверенность в том, что предложенная система будет работоспособной.

Вполне вероятно, что радиолуч и послужит той нитью Ариадны, следуя которой человечество расселится во Вселенной. Сначала оно освоит найденные космическим радаром пригодные для жизни планеты у ближайших к нам звезд. И так со скоростью в несколько световых лет за столетие человечество будет проникать в глубины Галактики.

Кто знает, может быть, благодаря радиолучу и сбудутся грезы великого Циолковского, мечтавшего о человечестве, шагающем по Млечному Пути.

Возможен и другой вариант: радиосигналы с Земли послужат той путеводной нитью, которая приведет инопланетян, если они, конечно, существуют, на нашу планету. Ведь уже сейчас Земля выглядит со стороны как радиозвезда.

Мы еще молодая техническая цивилизация. Всего 40—50 лет назад на планете заработали мощные радиостанции и телецентры. Земные телевизионные программы могут быть приняты разумными существами в соседних с нами звездных системах. Располагая необходимым оборудованием, они смогли бы улавливать наши телесигналы, на расстоянии чуть меньше 25 световых лет. Любая из 15 тысяч телевизионных станций, разбросанных по всему земному шару, вполне способна указать инопланетянам на наличие разумной жизни на Земле. Чтобы смотреть земные телепередачи, инопланетянам необходима антенна с коэффициентом усиления в 20 тысяч раз большим, чем телевизионные антенны, установленные на крышах наших домов.

Сейчас на расстоянии 40—50 световых лет от нас в межзвездном эфире несется новость о возникновении новой технической цивилизации землян. Возможно, наши телесигналы уже приняты разумными существами. Если это так и межзвездные полеты для них дело обычное, то через какое-то время можно ожидать визита их посланцев...

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГНОЗ ПОЭТА	3
ВОЛНЫ ВОКРУГ НАС	
Уроки Козьмы Пруtkова	15
На суше и на море	20
Электромагнитный «коктейль»	26
Крайне низкие... гипервысокие	39
«НЕ БОГ ЛИ ЭТИ ЗНАКИ НАЧЕРТАЛ?»	
От Фалеса до Фарадея	44
Всего четыре строчки...	49
Озарения Оливера Хевисайда	54
От уравнений Максвелла к Великому объединению	57
О пользе интуиции	65
Как выпустить джинна из бутылки	67
Как устроена электромагнитная волна	73
Подарок природы	79
ПОПОВ И МАРКОНИ	
Вода и земля... вместо проводов	84
От идеи к изобретению	88
Радио обретает имя	100
ОТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ ЛАМПЫ ДО МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ	
Случайное открытие Эдисона	104
«Это оскорбление смоег только кровью!»	108
Мавр сделал свое дело...	111
Сенсация на выставке в Стокгольме	114
Рождение «супера»	119
От транзистора до чипа	123
«Легкие электроны»	134
Крошечные «силачи»	136
ЭВМ на острие иглы	139
Электроника четвертого поколения	146
РАДИОВОЛНА НА ЭКРАНЕ	
«Отец американского телевидения» Владимир Зворькин	152
Это начиналось так...	165
Из тупика...	171
Со стороны виднее...	180
ПРИЧУДЫ РАДИОВОЛН	
Скачущий призрак Нансай-Шото	186
Предвидение Рэлея	188
Загадка Земли Крокера	190
Гром орудий раздается...	194
Звуки из подводного лабиринта	196

Телевидение... в блокадном Ленинграде	202
Природные телескопы?..	207
Радиоэхо Штермера	216
Как возникают радиолокационные миражи-«призраки»	222
Пернатые «ангелы»	228
Москит на экране радара	232
Сигналы из ясного неба...	235
...и «летающие тарелки»	239
Капризы радиолокационного поля	246

РАДИОВОЛНЫ И ЧЕЛОВЕК

Слышим ли мы радиоволны?	253
Вредны ли радионзлучения?	265

ЛУЧ, УСТРЕМЛЕННЫЙ В БУДУЩЕЕ

ЛЭП из космоса	281
К звездам под радиопарусом	292

БЕЗГРАНИЧНЫЙ РАДИОКОСМОС	300
------------------------------------	-----

ИБ № 5429

Валерий Евгеньевич Родиков
ПРИКЛЮЧЕНИЯ РАДИОЛУЧА

Заведующий редакцией В. Щербakov
 Редактор Л. Дорогова
 Художник Ю. Аратовский
 Художественный редактор В. Тихомиров
 Технический редактор П. Пособа
 Корректоры Н. Хасания, Е. Дмитриева

Сдано в набор 27.04.88. Подписано в печать 19.08.88. А01121.
 Формат 84×108^{1/32}. Бумага книжно-журнальная № 2. Гарнитура
 «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 15,96. Усл. кр.-
 отт. 16,38. Учетно-изд. л. 17,1. Тираж 100 000 экз. Цена 1 руб.
 Заказ 1180.

Типография ордена Трудового Красного Знамени издательско-
 полиграфического объединения ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия».
 Адрес ИПО: 103030, Москва, Сущевская, 21.

ISBN 5-235-00094-3