

Друка



Н.Петрович

**ПОГОВОРИМ ОБ
ИНФОРМАЦИИ**

Н. ПЕТРОВИЧ

Тоговориш

ОБ



Москва. «Молодая гвардия». 1973

6Ф0.1
П30

п $\frac{062}{078(02)-73}$ 112-73

**НЕЗРИМАЯ,
ВЕЗДЕСУЩАЯ...**



Жизнь любого человека можно представить как некую непрерывную цепь принятия тех или иных решений (решение не принимать никакого решения — тоже решение). Правда, далеко не все из них выполняются: часть отменяется, часть изменяется, а часть просто забывается. Но независимо от этого каждое решение есть результат сложной работы мозга.

Как же человек осуществляет это таинственное действие?

Предположим, что вы, читатель, проводите отпуск одним из лучших способов: небольшой дружной группой совершаете восхождение на горную вершину. Более того, вы и есть руководитель этой группы. (Не пугайтесь, такой мысленный эксперимент неопасен.)

Вы движетесь по острому гребню к вершине. На пути вырастает препятствие — грозная скальная башня.



(Таким препятствиям альпинисты дали меткое название «жандармы».) Как ее преодолеть?

Для принятия решения вы начинаете из всей разнообразной информации, непрерывно поступающей в ваше сознание через органы чувств, отбирать только такую, которая относится к решаемой задаче. Причудливые тени облаков внизу на леднике, неповторимые линии вершин соседнего хребта, шум водопада где-то внизу — все это мозг отодвигает в сторону. Вы сосредотачиваетесь на «жандарме». При этом критерий отбора информации, или критерий цели, вам предельно ясен: преодолеть «жандарм» во что бы то ни стало. Ведь за ним давно манящая вас вершина и подходящие места для ночевки.

Брать «жандарм» «в лоб» очень трудно — на пути гладкие нависающие скалы. Можно препятствие обойти справа, но там очень крутой ледовый склон. А нельзя ли обогнуть слева? Здесь почти вертикальная скальная стена уходит на добрый километр вниз. Площадок для страховки на ней не видно, но метрах в двустах ниже есть длинная полка, по которой, вероятно, можно обойти «жандарм». Правда, попасть на нее, а главное, выбраться с нее на гребень весьма сложно.

Итак, вы отобрали всю внешнюю информацию. Теперь ее надо систематизировать и сопоставить с образами, хранящимися в памяти. В этом процессе, будем называть его опознанием образов, человеческая память играет основную роль. Она ведет себя как истинный друг: мгновенно проводит анализ ситуации с использованием накопленных памятью прежних образов, с удивительной оперативностью вспоминает, казалось бы, совсем забытые лекции по технике альпинизма, «оживляет» ваши сражения с «жандармами» на уже покоренных вершинах, напоминает об известных случаях трагических исходов на таких местах.

Самое удивительное в этом процессе — метод поиска. В памяти вычислительных или справочных электронных машин поиск нужной информации идет по адресу, если он известен, или методом перебора всей хранящейся в машине информации. А у человека не так. Миллионы лет эволюции мозга не прошли даром. Его память устроена неизмеримо совершеннее (несмотря на неизмеримо меньшие размеры, чем у современных ЭВМ). Доказано, например, что у человека нет участка мозга, соответствующего ячейке в ЭВМ, хранящего все сведения о том или ином вопросе. Неоднократно наблюдалось, что удаление значительной части мозга (из-за травм) практически не изменяло памяти.

Основную роль при отыскании информации в мозгу играют ассоциации. Этот поиск идет одновременно по миллионам перекрестных цепей связей между отдельными нейронами, на основе ассоциаций, образованных при запоминании всего, что относится к этой теме. Такую память называют диффузной. Уже сделаны первые робкие попытки построить и память ЭВМ по ассоциативному принципу, что, конечно, убыстрит поиск, но пока приводит к существенному усложнению машин.

Только ассоциативным построением памяти можно объяснить еще одно ее поразительное свойство. В критических ситуациях, когда жизнь человека готова оборваться, в мозгу вырабатывается некий загадочный импульс, мгновенно считывающий с памяти самые яркие «кадры» жизни. Я дважды «имел удовольствие» просмотреть такую хронику: один раз в снежной лавине под перевалом Донкина на Кавказе, второй раз на скальной башне Пика Аристова на Тянь-Шане. (В первом эпизоде спасла случайность, во втором — веревка и верная рука друга.)

Этот импульс воскресил давным-давно забытое. Тихая минская речушка Свислочь разбушевалась, вышла из берегов, наш дом затоплен, на плоту из дверей мой брат и я стартуем из окна второго этажа, плот начинает крениться, переворачивается и...

Но вернемся к нашим альпинистам, брошенным в ответственную минуту поиска решения.

Руководитель группы, то есть вы, читатель, напряженно думает. Все, что выдумала память, не указывает рецепта, как штурмовать именно этот, именно в этой ситуации, самым чертом подсунутый «жандарм». Значит, надо самому оценивать возможности.

Ваш мозг начинает анализ и сравнение возможных вариантов пути.

Путь «в лоб» — тут две возможности. Либо, двигаясь, бить шлямбуром десятка два дыр для крючьев и по ним идти; либо пытаться карабкаться, используя только мелкие зацепки и редкие трещинки. Первое в оставшееся время не осилить, второе слишком рискованно.

Обход справа явно не подходит: рубка доброй сотни ступеней на крутой ледовой стене потребует огромной траты сил, которые уже на исходе.

Обход слева тоже не дает выхода из положения: это почти то же, что путь «в лоб», только плюс еще бездна под ногами. Правда, остается в этом варианте спуск на полку, обход по ней и потом подъем на гребень. Но он не проще обхода справа по ледовой стене.

Что же делать? Драгоценные минуты уходят, а решиться не на что! Где-то в самом темном уголке сознания копошится мерзкая мыслишка: «Может, ну его, этот «жандарм», и весь этот альпинизм. Не вернуться

ли назад или махнуть вниз прямо по снежному желобу?» Но это лишь коварство уставших мышц.

Мозг снова перебирает решения. Вы еще и еще раз напрягаете память, и вот она находит новую ассоциацию. Иногда лучший путь — стык льда и скал. Там, между льдом и скалой, можно заклинить ногу, руку или ледоруб, там легче рубить ступени, кое-где можно закрепиться у скалы. Надежда рождает силы. Вы осторожно проводите разведку: все правильно, гипотеза подтвердилась. Из пяти вариантов с учетом «а может, ну его!» вы выбираете этот.

Следующий важный вопрос, который вам надо решить: кому идти первым. (Вот ваши рассуждения. Нас четверо: А, Б, В и Г. Мы шли двумя связками — А и Б, В и Г. Возможны четыре варианта.

Впереди А — сильный альпинист, но иногда по молодости идет на неоправданный риск.

Впереди Б — у него самый тяжелый рюкзак, он шел впереди и устал больше других, может не хватить силы на обход всего «жандарма» (это вы, читатель).

Впереди В — это очень опытный, выносливый ходок, но любит скалы больше, чем лед, и может увлечь всех не туда.

Наконец, впереди Г — кажется, это то, что надо: ходит с запасом прочности, в расцвете сил, «владеет и скалами и льдом» одинаково хорошо.

Следующий вопрос: разгружать рюкзак Г или нет? Ведь с полным грузом Г будет идти медленно и шансы срыва повысятся. А если разгружать, то кому передать груз? Вариантов много. Можно передать его или А, или Б, или В. Но это плохо. Лучше разделить его поровну между этими тремя. Но у вас самый тяжелый рюкзак. Значит, груз Г надо делить между А и В.

Итак, решение принято. Весь путь мышления можно изобразить в виде «древа решений». Ветки и побеги на нем — возможные варианты. Чем их больше, тем пышнее дерево и тем труднее выбор. За день человек «выращивает» сотни таких больших и маленьких деревьев, целый лес, сам того не замечая. И первым его помощником в создании этих «зеленых насаждений» — память. Она копит и систематизирует всю несметную информацию, непрерывно воспринимаемую человеком; она по первому требованию мгновенно отбирает все

нужное из прошлого опыта и подает в виде возможных вариантов решения.

Человек только недавно начал изучать таинственный механизм своей памяти, но он не успокоится до тех пор, пока не разгадает секрета этого феномена, пока не построит ЭВМ на совершенных принципах памяти, созданной природой.

А что же наши альпинисты А, Б, В и Г? Пожелаем им успешного обхода «жандарма», радостного штурма вершины и благополучного возвращения к своим очагам!

Поставьте блюдечко со сладким сиропом в районе пчелиного улья и наблюдайте за ним. Пчелы долго его не будут замечать. Но вот одна из них обнаружит блюдце, посмакует сироп и улетит. Через несколько десятков секунд сотни пчел устремятся к вашему сиропу. Они будут совершать челночные операции «улей — блюдце — улей», пока не перенесут весь сироп. Вначале считали, что нашедшая блюдце пчела просто наводит всех остальных. Но эксперименты опровергли эту гипотезу, доказав, что пчела каким-то иным образом передает другим пчелам информацию о своей находке.

Австрийский ученый К. Фриш решил во что бы то ни стало разгадать эту тайну древнейшей на планете «пчелиной цивилизации». Он провел серию гениально простых и убедительных опытов и в конце концов разгадал загадку. Оказалось, что информация передается путем... танца!

«Не может быть!» — вот первая реакция на открытие. Виднейшие ученые мира в разных странах немедленно начали повторять и проверять опыты К. Фриша.

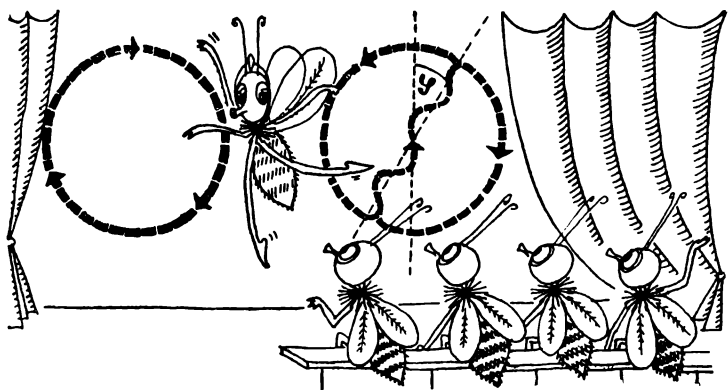
Многие из них были, наверное, поклонниками балета, наслаждались этим искусством, уносящим в мир грез и сказок. И вдруг пчелиные танцы, поиск пищи, указание пути... Нет, не может быть! Однако многократная проверка подтвердила гениальное открытие.

Давайте, читатель, и мы мысленно перенесемся в пчелиный театр и полюбуемся этими танцами. Кстати, они происходят не на горизонтальной сцене, как в наших театрах, а на вертикальной поверхности сотов.

Если обильный источник нектара обнаружен вблизи

улья, в радиусе не более 100 метров от него, то прилетевшая с этой вестью пчела совершает простой круговой танец.

Но вот источник обнаружен дальше, тогда танец принципиально меняется. К. Фриш назвал его виляю-



щим: пчела пробегает немного по прямой, быстро виляя брюшком из стороны в сторону, затем делает полный (на 360 градусов) поворот влево по дуге, снова бежит по прямой и делает полный поворот по дуге, но уже вправо. Но это еще далеко не вся информация. Оказалось, что темп танца зависит от расстояния до нектара. Отодвигая блюдце все дальше от улья, наблюдали изменение характера танца. Так, при расстоянии в 100 метров пчела делает 9 — 10 полных циклов за 15 секунд. При расстоянии в 200 метров — 7 циклов; при 1000 метрах — число циклов падает до 4,5, а при 6 километрах — всего 2.

Но и это еще не все: оказывается, танец содержит еще информацию и о том, в каком направлении лететь! И это самое удивительное.

Так как передача сообщения происходит в улье, где довольно темно, то пчела не может ориентироваться по солнцу и поэтому использует для отсчета направление силы тяжести, которую хорошо чувствует и в темноте. Чтобы указать своим коллегам направление на источник пищи, танцующая пчела совершает прямолинейную часть своего танца под определенным углом к направлению силы тяжести. Пчелы, насладившись

танцем разведчицы и, главное, запомнив величину этого угла, выбираются из улья и отправляются на добычу. Летят они почти прямо к нектару, который всегда оказывается расположенным под тем же углом, но уже от направления на солнце.

Если прямолинейная часть танца направлена по вертикали вверх, то это означает: «источник корма находится в том же направлении, что и солнце». При направлении ее по вертикали вниз команда меняется: «Лети в противоположную от солнца сторону». Если угол равен 60 градусам влево от вертикали, то «корм находится под углом 60 градусов влево от солнца» и т. д. Кропотливые опыты с мечеными пчелами показали, что основная масса пчел (88 процентов) не отклоняется от правильного направления более чем на 15 градусов.

Вот какую чудесную балетную навигационную систему придумали и внедрили маленькие вечные труженицы — пчелы.

К. Фриш, пораженный своим открытием, говорит об удивительных путях эволюции, нашедшей такой простой и эффективный путь передачи информации при отсутствии других средств у пчел. Возможно, говорит он, изучение более примитивных общественных насекомых, по сравнению с пчелами, поможет обнаружить более простые формы информационного танца и разгадать пути становления языка пчел.

К муравейнику осторожно, дабы не нарушать его трудовую жизнь, подходит человек. Позавидовав неутомимой энергии этих крошечных созданий, он наугад ловит одного из них, мазет некой жидкостью и возвращает его в муравейник. Там начинается столпотворение. Беднягу мгновенно окружают сородичи, подхватывают и волокут на муравьиное кладбище. «Живой покойник» отбивается, применяет одновременно все виды обороны, цепляется за все иглы, травинки, листья. Но это не помогает. Процессия продолжает свой путь. Что за чудо-жидкостью был помазан муравей и как объяснить странные действия его собратьев?

Наблюдая кипучую жизнь муравейника, чем-то очень похожую на жизнь большого перенаселенного города, можно увидеть похороны и не прибегая к таинственной жидкости.

Траурная процессия рабочих муравьев торжественно удаляется от муравейника, унося своего усопшего товарища. После небольшой гражданской панихиды, на которой и у них, наверно, не обходится без стандарт-



ной фразы (конечно, на своем языке): «Смерть вырвала из наших рядов...», тело предается земле.

Эти похороны долгое время принимались за сознательную дань великому труженику от коллег по «муравьиной цивилизации». Сейчас установлено, что это просто элементарная защитная операция. Тело муравья, неподвижное и скрюченное, валяется несколько дней после смерти при полном безразличии снующих рядом коллег. Но вот появляется некий сигнал, и муравьи стремительно уносят останки подальше от своего дома. Что это за сигнал? Это один из многих на муравьином языке запахов. Полностью этот язык еще не разгадан, но многое исследователям уже известно.

Походная микроминиатюрная химическая лаборатория, спрятанная в этом хрупком создании, способна выделять целую гамму запахов, называемых феромонами. Так, уходя на поиски пищи или строительного материала, муравей метит весь свой путь микрокапельками пахучего вещества и по ним находит дорогу домой. Но при этом безошибочно отличает метки «от дома» и «к дому». Предполагают, что благодаря вытянутой форме микрокапельки излучаемый ею запах является векторной величиной, направленной либо «к дому», либо «от дома». Муравьи существуют почти в

неизменном виде уже сотни миллионов лет. Значит, векторную алгебру они «освоили» задолго до появления человека на планете.

Но не только для определения пути используют муравьи свою систему связи с «алфавитом» из запахов.

Ею пользуются и при появлении какой-либо опасности: в этом случае излучается, конечно, другой сигнал, другой феромон.

Как известно, самолет, чтобы не стать жертвой своей системы ПВО, все время излучает радиосигналы: «свой», «свой», «свой». Нечто подобное есть и у муравьев. Мельчайшие железы на их груди являются источником тех же сигналов «свой», но природа их не электромагнитная, а опять же химическая — это запах. И каждое сообщество муравьев, каждый муравейник, имеет свой специфический запах. Эти сигналы побуждают членов одной семьи помогать один другому и ухаживать друг за другом: чистить, кормить, может быть, рассказывать сказки.

Чужаку из другого муравейника невозможно пробраться к соседям. Ведь он не может выключить свой сигнал, который в этом муравейнике звучит уже как «чужой», «чужой», «чужой». По этому сигналу он моментально изгоняется или, если упорствует, даже уничтожается.

Муравьиный язык запахов содержит десяток различных слов или команд. Об этом говорит и эксперимент, с которого мы начали. Живой муравей был обмазан «погребальным» феромоном, добытым из трупа муравья, и он стал источником очень сильной помехи. Возможно, эта помеха даже нарушает («забивает») работу муравьиной системы связи. Тогда его сородичи, слепо повинаясь жестко запрограммированному инстинкту, немедленно удаляют эту помеху.

Когда «воскресший» покойник снова приблизился к муравейнику, история вновь повторилась. Похороны совершались таким образом много раз, пока абсолютно не улетучился запах феромона.

Язык запахов широко распространен в мире животных. Наиболее сильными и дальнобойными из них являются запахи, связанные с инстинктом размножения. Так, самка бабочки «большого павлиньего глаза» шлет свои сигналы в радиусе до 8 километров! И это при ничтожной мощности своего химического передатчика.

В одном из экспериментов на призывные сигналы сами за одну ночь прибыло 125 кавалеров.

Парфюмерная промышленность нашего века, промышленность запахов, пока не в состоянии соперничать с природой: запах духов мы ощущаем на расстоянии всего лишь десятка метров.

Ну а могут ли быть где-нибудь в космосе сообщества вполне разумных существ, у которых слова, шутки, песни и стихи выражены только языком запахов?

Это не исключено. На память приходит весьма остроумный рассказ Ильи Варшавского «Контактов не будет». На нашу планету прилетают загадочные существа, от которых исходит ужасное зловоние. Земляне лезли из кожи вон, чтобы доказать им свою разумность: проносили обращенные к зловонным пришельцам речи, воспроизводили на огромном экране «Пифагоровы штаны», артисты разыгрывали пантомимы на сюжет «больше» — «меньше» и, наконец, пятьсот лучших музыкантов исполнили специально написанную космическую симфонию до мажор о происхождении вселенной, ее миллионлетнем пути развития и появления Разума. Символом интеллекта была очаровательная девушка, танцевавшая под звуки симфонии.

Понаблюдав все это молча, пришельцы неожиданно стартовали с Земли.

По прибытии домой они писали в своем донесении: «Обследованные существа, по-видимому, обладают некоторыми начальными математическими познаниями, в пределах нулевого цикла обучения, принятого на нашей планете в дошкольных учреждениях.

Мы наблюдали их ритуальные игры и пляски, однако полного представления о культовых обрядах составить не могли, так как все наши попытки установить с ними контакт при помощи обычного языка запахов неизменно кончались неудачей.

Спектр запахов, источаемых туземцами, весьма ограничен, и проведенный лингвистический анализ не мог выделить из них смысловое значение.

Есть основания полагать, что в заключительной фазе нашего пребывания они всячески пытались усилить излучение запахов, согнав для этой цели несколько сот особей в нагретое помещение и заставив их выполнять там тяжелую физическую работу. Может быть, эти за-

пахи помогают им организовывать простейшее общение между собой во время коллективных трудовых процессов, что, впрочем, совершенно недостаточно для того, чтобы их можно было отнести к числу разумных существ, обладающих запахоречью.

Учитывая все изложенное, считаем дальнейшие попытки установления контактов с населением обследованной планеты бесцельными».

(Текст был записан алфавитом из семи запахов на губчатом пластике, пригодном для длительного архивного хранения.)

Пишущий эти строки не столь пессимистичен, как Илья Варшавский: если есть разумные существа в различных точках вселенной, то и контакты между ними будут! Даже если нам потребуется осваивать азбуку ароматов и зловоний и перелагать нам, землянам, звуки на этот непривычный алфавит.

Много веков рыба считалась абсолютно безгласным созданием. Лишь в сказках наделялась она человеческой речью.

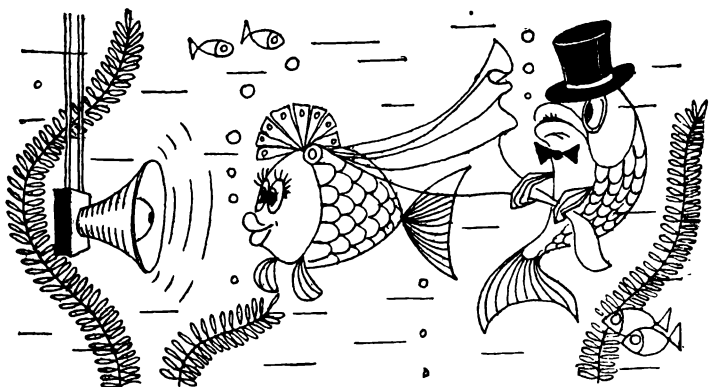
Сколько людей клялось не выдавать доверенный секрет словами «буду нем, как рыба!». Но нарушители этого обета и не подозревали, что они отнюдь не клятвопреступники.

Впоследствии оказалось, что рыбы не в меньшей степени любят сотрясать воду звуками, чем человек воздух словами.

Толчком к открытию звуков, издаваемых рыбами, послужили ложные боевые тревоги американской береговой обороны на побережье Атлантического океана в 1942 году. Вскоре после этого с помощью гидроакустической аппаратуры удалось установить источник тревоги: это были звуки «громкоголосых» рыб — барабанщиков.

Началось изучение языка рыб. Было установлено, что «звучат» они приблизительно в том же диапазоне, что и человеческий голос, — от 5 до 10 тысяч герц. Каких только звуков нет у них! У одних видов треск, шелест, у других — одиночные удары и барабанная дробь, у третьих — птичий щебет, кудахтанье и высокие трели. Разнообразна и сила звука: от еле слышимых до таких, которые взрывают акустические мины. Почему же, находясь на берегу или у аквариума, мы не слышим этих звуков?

Дело в том, что из воды в воздух проникает только их ничтожная доля, не превышающая 0,1 процента. Но иногда и этого достаточно, чтобы услышать звук в воздухе. Так, стоя у аквариума, можно услышать звуки



морского конька: они напоминают звуки лопающихся стаканов.

Слышат ли рыбы своих собратьев? Да, слышат. У них нет наружных ушей, но есть хорошо развитое внутреннее ухо, а тело рыбы «прозрачно» для звуков.

Пока установлено пять видов звуковой информации у рыб: сигналы о наличии пищи, об опасности и самозащите, сведения о местоположении и направлении движения, а также особые звуки, издаваемые самками и самцами во время нереста.

Как же издают звуки рыбы? Оказалось, что они располагают несколькими источниками звучания: это и специальные органы, и перетирание пищи, и резкие движения тела в воде.

Проводили следующий простой опыт. Опускали в аквариум микрофон, точнее защищенный от воды гидрофон, и записывали на магнитофон звуки, издаваемые рыбой при разжевывании пищи. Затем в аквариум погружали громкоговоритель и воспроизводили эти звуки. Рыбы подплывали к громкоговорителю и своим поведением явно говорили: «Здесь должна быть пища, мы слышим, как ее аппетитно едят».

Второй опыт. К судаку, охраняющему свое гнездо, незаметно пододвигали гидрофон. При приближении к

гнезду рыбы судак растопыривал жабры и издавал грозный низкий ударный звук. Рыбка быстро разворачивалась и пускалась наутек.

Морской петух, увидев врага, издает каскад кудахтающих звуков. Их подхватывает вся петушиная стайка, и возбужденная шумная компания покидает опасное место.

Особенно «разговорчивыми» становятся рыбы, главным образом самцы, в период нереста. Тут можно услышать целые морские концерты: барабанную дробь, периодическое завывание и частые уханья.

Понаблюдаем за азовским бычком-кругляком в этот период. Самцы захватывают определенные участки дна у берега и строят там гнезда-пещерки. Завершив строительство, самец исполняет у своего сооружения «нерестовые песни». Поначалу эти звуки напоминают кваканье. Самки просто игнорируют эти примитивные звуки. Затем голос самца начинает ломаться: кваканье переходит сначала в скрипы, а затем в верещание. Услышав эти звуки, все самки, плавающие в радиусе нескольких метров, «не выдерживают» и приближаются к гнездам. Самец, делая плавные галантные движения, приглашает в гнездо одну (и только одну!) свою избранницу, а остальных, тут же забыв о всякой вежливости, гонит прочь.

Ставили коварный опыт. Солиста записывали на магнитную ленту и воспроизводили его песню у пустой пещерки. Через несколько минут у излучателя начиналась «ярмарка невест». Наиболее активные «дамы» буквально пикировали на мембрану излучателя! Значит, поступающая звуковая информация сильнее, чем все другие ощущения в данном случае. Более того, если усилить звук излучателя в десяток раз, то можно этой песней заглушить настоящих самцов и переманить у них подруг! Вот какие дела способна творить ложная информация.

Звуки являются далеко не единственным средством связи у рыб. У некоторых пород обмен двигательными реакциями и позами составляет сложный диалог, напоминающий язык жестов и мимики у глухонемых. Это, по существу, оптическая связь.

Рыбы, обитающие на большой глубине, почти во мраке, имеют свои источники света. Это биологические

фонари с линзами, рефлекторами и даже диафрагмами. У этих рыб своя азбука Морзе. Их световые импульсы могут иметь разную частоту следования и разную длительность. Какая увлекательная задача расшифровать эту загадочную азбуку!

Не менее удивительным является использование рыбами электрических импульсов для связи. Это делают, например, африканские рыбы из семейства мормиридов, обитающие в мутных бурных реках.

Для обнаружения как инородных предметов в мутной воде, так и себе подобных эти рыбки имеют портативный радиолокатор! Плавая, они создают вокруг себя электрическое поле. Тела их являются электрическими диполями: хвост заряжен отрицательно, голова — положительно. Поле это появляется и исчезает сотни раз в секунду, а длительность излучаемых импульсов составляет приблизительно тысячную долю секунды. Предметы, попадающиеся на пути, искажают поле живого диполя и тем самым обнаруживаются. Вот как изящно защитила природа рыбок от столкновений в мутной воде! Этот путь эволюция нашла за сотни тысяч или миллионы лет до изобретения радиолокатора людьми.

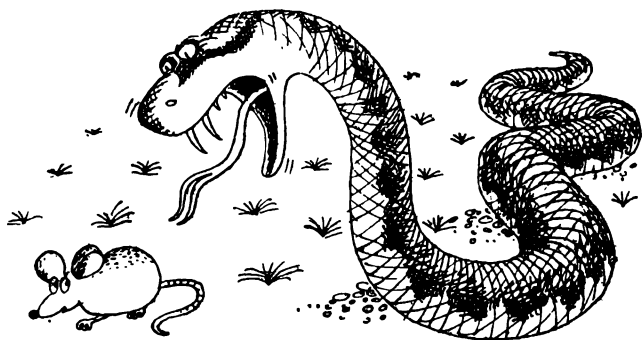
К описанным выше средствам связи следует добавить еще передачу информации с помощью химических агентов, гидромеханических волн и прикосновений, и, наверное, это еще далеко не все виды связи, которыми пользуются рыбы.

Если бы человек мог видеть тепло, то его взору открылась бы любопытнейшая картина: сковородка сообщала бы, что ее нельзя еще брать голый рукой, утюг сигнализировал бы, что его пора уже подогреть и т. д. Это происходило бы потому, что каждое тело, температура которого выше, чем у окружающей среды, становится передатчиком тепловых лучей. Оно непрерывно сигнализирует во все стороны: «Моя температура такая-то». Но, увы, наш глаз не видит тепло и теряет эту полезную информацию. Однако есть живые существа, которые не страдают этой температурной слепотой.

Действительно, эволюция использовала это естественное излучение, лежащее в невидимой глазу инфракрасной области спектра, и выработала у некоторых животных способы ощущать тепловые лучи.

Одним из представителей их являются змеи. Так,

зоологи давно заметили, что у некоторых ядовитых змей, например у щитомордика, имеются не две, а четыре ноздри. Они так и называются четырехноздревыми. Дополнительные ноздри, расположенные между на-



стоящими ноздрями и глазами, образуют две глубокие ямки.

Назначение этих углублений оставалось загадкой более 200 лет, и все эти годы возникали все новые и новые гипотезы: органы обоняния или осязания, усилители слуха, источник смазки для роговиц глаза, индикаторы колебаний воздуха и даже воздушные насосы, подающие кислород в полость рта для формирования яда. Тщательные исследования не подтвердили ни одну из них. Но было установлено, что каждая ямка на некоторой глубине от входного отверстия разделена поперечной перегородкой или мембраной на две камеры: наружную и внутреннюю. Наружная открывается широким воронкообразным отверстием. Внутренняя сообщается с внешней средой узким и длинным каналом, заканчивающимся на поверхности головы микроскопической порой.

Удивительно тонкую мембрану, толщиной около 0,25 миллиметра, пронизывают по всей поверхности бесчисленные нервные окончания. Какие же функции выполняет эта сложная система?

В конце концов экспериментально было установлено, что лицевые ямки являются не чем иным, как... термодетекторами! Они воспринимают тепловые лучи, по ко-

торым животное и определяет направление на их источник.

Ставился такой опыт. К гремучей змее, лишенной искусственно всех известных в то время ее органов чувств, подносили обернутую черной бумагой электрическую лампочку. Пока лампочка не горела, змея не обращала на нее никакого внимания. Но вот повернут выключатель — лампочка нагрелась, змея подняла голову, насторожилась, затем сделала стремительный бросок и ужалила теплое тело. Зрения она была лишена, но попала в цель точно. Почему? Оказывается, достаточно нагреть тело всего лишь на две десятых градуса по отношению к температуре окружающей среды и приблизить его к змее, как она его обнаружит. Более теплые предметы змеи обнаруживают на расстоянии до нескольких метров.

У змей слабое зрение, никудышное обоняние и очень плохой слух. Наверное, поэтому в процессе многих миллионов лет борьбы за существование у них выработались великолепные способности использовать тепловые сигналы. Особенно точно змеиные термолокаторы работают ночью, при более низкой температуре окружающей среды. Это позволяет им успешно охотиться на теплокровных зверьков и птиц.

В основе змеиног термолокатора лежит элементарная идея сравнения температур двух камер. Задняя камера соединена с внешней средой тонким каналом, который смотрит назад, то есть в сторону, обратную «цели», и поддерживает в ней температуру внешней среды. Передняя же воспринимает тепловое излучение «цели», которое и нагревает переднюю поверхность мембраны. По разности температур двух поверхностей мембраны, одновременно воспринимаемых нервами, в мозгу змеи возникает контур излучающего тепло предмета.

Точное направление на предмет легко определяется поворотом головы змеи. Разность температур мембраны будет максимальной при точном направлении на теплую жертву.

Человек — животное общественное. Это значит, что общение (обмен информацией) между отдельными людьми, между семьями, племенами, народами является характерной чертой человеческого

общества. Вместе с развитием нашей цивилизации развивались и средства общения. Проследим, каким путем люди, начав с жестов, гримас и нечленораздельных звуков, пришли к современным средствам связи.

По распространенной гипотезе наш общий с обезьянами предок — дриопитек — жил на деревьях, питался в основном растительной пищей и на опасную для него землю спускался очень редко. Миллионы лет жил он в лабиринте ветвей, и его организм отлично приспособился к этому древесному образу жизни. Акробатические прыжки с ветки на ветку, с дерева на дерево



требовали не только мускулов, но и острого зрения, расчета и быстрой ориентировки. Глаза, смотрящие у большинства животных в разные стороны, начали сближаться и смотреть вперед. Выработалось объемное и цветное зрение. Усложнились мозг и нервная система.

Уже тогда дриопитеки чувствовали силу коллектива и жили небольшими стадами. Обмен информацией в таких коллективах был простейшим: ласковое или грубое прикосновение, мимика и жест и, наконец, некое количество нечленораздельных звуков.

Звуки эти создавали каких-нибудь 10—15 комбинаций, которые условно назовем словами. Они и образовали бедный язык стада.

Но изменение условий в тропических лесах нарушило привычный образ жизни дриопитеков. Климат стал холоднее, леса начали редеть, плодов и листьев уже не

хватало. В борьбе за существование часть «общин» дриопитеков спустилась на землю. Скорей всего это были жители «нижних этажей» зеленых небоскребов, где толстые ветви давали хорошую опору ногам и учили двигаться почти вертикально за счет мускулов задних конечностей. Спустившись на землю, они, естественно, сохранили почти вертикальное положение тела (тем более что это давало больший обзор местности), передние конечности остались почти не у дел. Суровая борьба за существование сразу же нашла им применение: вооруженные камнем или палкой, они стали эффективным средством добычи пищи и защиты от врагов. Остальное сделал труд. Он совершенствовал мозг, а мозг в ответ на это сделал еще искуснее руки человека и т. д.

Труд был коллективным и требовал общения, требовал обмена информацией между отдельными его особями. Grimас и нечленораздельных звуков было явно недостаточно. В конце концов на смену им пришла устная и письменная речь (у некоторых слабо развитых народов, веками находившихся под колониальным гнетом, до сих пор еще нет письменной речи).

Во времени этот переход, уложенный нами в несколько фраз, занял много тысячелетий!

Население земного шара быстро увеличивалось. Образовались отдельные обособленные племена и народы. Появлялась необходимость передачи информации на большие расстояния.

Что тут только не применялось: неутомимый бегун или гонец на лихом скакуне нес срочные донесения, индейцы условной комбинацией костров объявляли войну соседнему племени (сейчас агрессор этим себя не затрудняет), звук гигантского барабана пронзал африканские джунгли, почтовый голубь, ориентируясь до сих пор непонятным образом, нес письмо.

Но всего этого было недостаточно. Жизнь требовала более быстрой передачи информации и значительно большего объема. Революцию совершило электричество. Появился телеграф по проводам. Впервые открылась возможность мгновенно передавать сообщение на большие расстояния, значительно превышающие пределы прямой видимости. Сначала это были условные значки типа азбуки Морзе. Потом человеческий гений нашел

способы сразу передавать буквенный текст, не требующий зашифровки и расшифровки.

Следующим шагом было изобретение телефона. Появилась возможность поговорить с человеком, находящимся за тридевять земель. Сегодня это тривиально. А, скажем, на всемирной Парижской выставке тысячи людей стояли в очереди, чтобы поговорить по телефону с другими посетителями.

Но, очередное «но», для телеграфной и телефонной связи нужны были дорогостоящие соединительные электрические линии — провода, кабели. Все точки земного шара не опутаешь проводами, а подвижные объекты принципиально невозможно связать с землей и между собою проводами. Проблема оставалась нерешенной.

Новый неожиданный путь ее решения принесли слова первой в мире телеграммы — «Генрих Герц», переданной мгновенно из одной точки пространства в другую без всяких проводов. Это был известный опыт Александра Степановича Попова 7 мая 1895 года. Так появилась радиосвязь. Потрясающее свойство ее, к которому мы также все привыкли и не замечаем, — это отсутствие соединительного провода между корреспондентами. Был открыт новый, незримый глазом носитель, движущийся, как световой луч, с колоссальной скоростью — почти 300 тысяч километров в секунду — и легко пронзающий почти любые препятствия.

Изобретение радио разорвало цепи, которые приковывали информацию к проводам и кабелям, и дало ей полную свободу. Она полетела не только к дальним и ближним земным корреспондентам, но и к кораблям, поездам, самолетам, космическим станциям...

Но (это уже последнее «но») даже совместное использование широкой сети проводной связи и радиосвязи, имеющейся на нашей планете, не в состоянии удовлетворить непрерывно растущие потребности в передаче информации. Особенно остро эта проблема стоит для дальних связей. Здесь природа подшутила над нами. Участок волн, который может нести информацию в любую точку планеты (это так называемые короткие волны; мы их еще коснемся), вмещает ее очень мало и не в любое время суток и года обеспечивает надежную связь. Участок же волн, вмещающий гигантское количество информации (это ультракоротковолновый

диапазон — УКВ), дает связь только в пределах прямой видимости.

Выход из этого тупика принесли искусственные спутники земли (ИСЗ).

Ведь ИСЗ высоко парит над Землей, виден с большой территории и с ним можно держать связь на УКВ. Если «разбросать» несколько таких ИСЗ вокруг земного шара, то они благодаря прямой видимости могут иметь связь друг с другом и с Землей на УКВ. Остается только снабдить их ретрансляторами, и получится всемирная система связи, способная принципиально передавать огромную информацию из любой точки планеты в другую. Такую систему связи называют глобальной.

Одновременно эта система решает и вторую задачу: существенно снижает активность злых сил природы — помех. В УКВ-диапазоне их мало.

Сколько же надо ИСЗ, чтобы организовать всемирную связь? Число их разное, в зависимости от выбора орбит спутников. Но есть одна такая удивительная орбита, которая требует всего лишь три спутника.

Рассечем (конечно, только мысленно!) планету гигантской плоскостью точно по экватору. Точки пересечения этой плоскости с поверхностью земного шара образуют на ней окружность с радиусом в 6375 километров. Теперь поставим ножку циркуля в центр этой окружности и очертим на нашей плоскости окружность радиусом в 36 тысяч километров (это почти шесть радиусов Земли). Затем расположим на этой окружности три равноудаленных друг от друга ИСЗ с периодами обращения, точно равными одним суткам. Такие ИСЗ обладают поразительным свойством — они будут казаться земному наблюдателю неподвижно висящими в небе. И это несмотря на вращение Земли и движение спутника по своей орбите! Парадокс объясняется просто. Если земной шар повернулся вокруг своей оси на определенный угол, то и ИСЗ пробегает этот же угол, но по своей круговой орбите. В результате он остается над той же точкой земного шара, над которой выведен на эту исключительную орбиту. Она получила название стационарной.

С каждого такого ИСЗ видна приблизительно одна треть всей поверхности земного шара. Следовательно, с трех равноудаленных ИСЗ будет видна вся поверх-

ность Земли (вне этой зоны будут лишь небольшие участки у Северного и Южного полюсов). Остается поместить ретрансляторы на этих ИСЗ и на границах зон видимости спутников на поверхности Земли, и глобальная система связи почти готова. Это «почти» относится к многим сложным задачам, которые мы здесь опускаем.

Такая система может творить чудеса: видеотелефон для сотен тысяч одновременно разговаривающих, всемирное телевидение и т. д.

Вся наследственная информация живого организма получает-ся им от родителей. Тут расписано все: и форма вздернутого носика, и блеск глаз, и цвет волос, и группа крови, и родимые пятнышки, и, к сожалению, иногда наследственные болезни.

Весь этот полный каталог деталей и качеств будущего человека упакован в невероятно малый объем — яйцеклетку диаметром лишь в одну десятую долю миллиметра!

Разберем, хотя бы схематично, этот таинственный механизм передачи наследственной информации.

Природа нашла удивительный и единственно возможный путь предельного сжатия информации — составление длиннющей телеграммы наследственности непосредственно из молекул и их комбинаций!

Установление этого факта, бесспорно, одно из величайших открытий XX века.

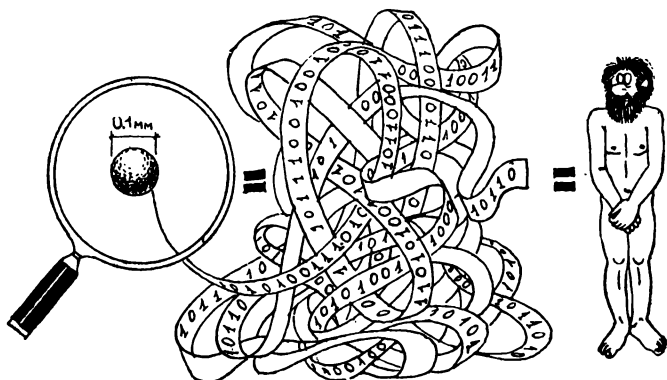
Все живое на Земле состоит из мельчайших частиц — клеток.

Одним из основных элементов клетки является ядро. В нем и находится интересующий нас тайник с наследственной информацией.

Живой организм, как это ни удивительно, возникает в результате «снятия многочисленных копий» с одной (только одной!) исходной микроскопически малой оплодотворенной клетки. Этот процесс идет с невероятной быстротой: исходная клетка делится на две, эти две дают при делении четыре, четыре — восемь, восемь — шестнадцать и т. д. Так почти из «ничего» (если не считать гигантской информации) возникает целый организм. Среднюю скорость процесса размножения клеток читатель может легко подсчитать сам: одна исходная клетка при оплодотворении и 26 триллионов

($26 \cdot 10^{12}$) клеток в организме новорожденного землянина.

Ядра всех клеток содержат тельца, называемые хромосомами. Число их для каждого вида постоянно. Так,



у человека 46 хромосом, комар-пискун имеет всего 6, а у сазана насчитывается 104. Из человекообразных обезьян ближе всего к человеку по строению и числу хромосом стоит шимпанзе. У нее их 48.

Хромосомная теория наследственности дает ответ на волновавший людей во все века «информационный» вопрос — кто родится: мальчик или девочка? Ответ удивительно прост. Половые клетки, в отличие от остальных клеток организма, содержат только 23 хромосомы, из которых только одна определяет пол ребенка. Эта хромосома бывает двух типов: X или Y. Женская яйцеклетка всегда содержит только одну X-хромосому, а мужской сперматозоид либо одну X-хромосому, либо одну Y-хромосому.

Если женская яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим X-хромосому, то суждено родиться девочке (X-хромосома + X-хромосома). Если оплодотворение производится сперматозоидом, несущим Y-хромосому, то родится мальчик (X-хромосома + Y-хромосома).

Отсюда следует, что частые обиды мужа на жену, родившую дочь, незаслуженны. Пол ребенка полностью определяется отцом.

Так как число X-хромосом и Y-хромосом у мужчин одинаково, то вероятность рождения мальчиков (P_m) и

вероятность рождения девочек (P_d) должны быть, по-видимому, равны. Но мировая статистика дает иную величину: $P_m/P_d = 1,07$. (В среднем на 100 девочек приходится 107 мальчиков.)

В чем же дело?

Тонкие исследования, которые увели бы нас в непроходимые для автора и читателя джунгли биологии, показывают следующее.

В самой начальной стадии по не ясным пока причинам соотношение между зародышами такое: на 114 мальчиков приходится 100 девочек ($P_m/P_d = 1,14$).

Но в период внутриутробного развития гибнет больше мальчиков, и при рождении отношение вероятностей становится равным 1,07.

Далее мальчикам опять не везет: их смертность больше, и к 10 годам число мальчиков и девочек становится одинаковым. Впоследствии по той же причине число девочек становится несколько большим.

Но мы отклонились от цели. Вернемся к наследственной информации.

Было установлено, что ее носителем являются участки хромосом — гены, которые контролируют развитие отдельных признаков и особенностей в живых организмах. Каждый ген всегда находится на своем участке хромосомы — локусе.

В хромосому входят молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (для краткости ее называют ДНК). Именно этой кислоте эволюция доверила высокую миссию хранителя и переносчика генетической информации. Почему именно ДНК?

Секрет заключен в поразительной способности ДНК к удвоению. При наличии специфических белков — ферментов — происходит снятие копий с клетки, то есть ее размножение.

ДНК построена из отдельных элементов, называемых нуклеотидами. Каждый из них состоит из молекулы сахара дезоксирибозы (Д), фосфатной группы (Ф) и одного из четырех азотистых оснований: аденина (А), тимина (Т), цитозина (Ц) или гуанина (Г). Две цепи ДНК (это очень важно!) объединяются в двойную спираль, как бы навиваясь друг на друга. При этом азотистые основания находятся внутри пространства между витками и соединены между собой водородными связями. При этом аденин всегда находится в паре с ти-

мином, а гуанин — с цитозином. Число нуклеотидов в молекуле ДНК измеряется многими тысячами. Механизм удвоения ДНК по одной из гипотез упрощенно выглядит так.

При делении клеток водородные связи, объединяющие две спирали ДНК между собой, разрываются, двойная спираль раскручивается, и на каждой одиночной спирали тут же строится новая — дополнительная. Совершается чудо: вместо одной образуются две новые двойные спирали молекул ДНК, абсолютно идентичные исходной. Эти, в свою очередь, разрываясь, образуют четыре новые идентичные спирали и т. д. Так наследственная информация шагает от одной исходной к триллионам других клеток.

Можно представить себе две свернутые спирали ДНК в виде закрытой застёжки-«молнии». Двигая замок, мы раскрываем ее, что аналогично делению ДНК на две равные половины. Затем к каждой половине «молнии» добавим по недостающей и получаем две новые «молнии» — копии исходной и т. д.

Несмотря на то что спираль смотана очень плотно в микроскопический клубок, она раскручивается с бешеной скоростью. Но до сих пор остается тайной источник, который дает сигнал к разрыву спирали и снятию очередной точной ее копии.

Но вернемся к информации. Каждые три следующих друг за другом нуклеотида образуют так называемый триплет. Число различных триплетов легко подсчитать: это число возможных комбинаций по три из четырех различных оснований (А, Т, Ц и Г), то есть $4^3=64$.

Оказалось, что именно эти триплеты управляют включением в белок определенной аминокислоты. Но всего этих кислот, используемых при формировании организма, насчитывается только 20. Зачем же предусмотрены 64 триплета, то есть 64 различных команды для их подключения? Возможно, для большей надежности управления есть дублирующие триплеты, есть служебные триплеты, отмечающие начало и конец определенного участка наследственной информации.

Последовательность триплетов и есть письменный приказ клетке, в которой идет синтез белков. Суть приказа в том, что в строящемся белке на первом месте должна стоять аминокислота, соответствующая первому триплету, на втором — второму и т. д. Это, по существу,

и определяет передачу наследственных признаков от поколения к поколению. Но нужен еще «механизм» считывания информации с триплетов. И не только считывания. Надо доставить информацию в места синтеза белка и обеспечить выполнение наследственного приказа. (Как мы знаем по опыту, само издание приказа отнюдь не гарантирует его исполнения.) Эти функции выполняет другая кислота — РНК.

Теперь несколько чисел. Самых простых и необходимых.

Общее число аминокислот, из которых синтезируются все виды белков, равно 20. Много это или мало? Предположим, что одна наследственная единица — ген — содержит «печку» нуклеотидов длиной всего в 100 остатков каждая. Тогда возможное число различных вариантов таких цепей составит 20^{100} или приблизительно 10^{130} . Это число — сверхгигант среди сверхвеликанов. Число белковых вариантов в триллион раз превышает число атомов (это не опечатка, именно атомов!) во Вселенной! Это значит, что для живых существ, по-видимому, существует колоссальное число возможных вариантов.

И второе: дальнейшая эволюция живых существ на нашей планете может привести к самым неожиданным ее формам, и самые неожиданные формы жизни могут существовать на других небесных телах в условиях, отличных от земных (если они базируются на сходных принципах).

Но продолжим наш пример. Предположим, что число генов у человека составляет величину порядка 100 тысяч (эта цифра выглядит разумной). Тогда общее число триплетов, определяющих последовательность аминокислот, составит у человека
$$\frac{100 \times 100\,000}{3} \approx 3\,000\,000 = 3 \cdot 10^6.$$

Если мы захотим кодировать наследственную информацию в привычной для каналов связи двоичной системе, то есть набором единиц (1) и нулей (0), то для получения 64 комбинаций нам надо взять группу из шести посылок, так как $64 = 2^6$.

Следовательно, наша наследственная информация будет содержать двоичных единиц $6 \cdot 3 \cdot 10^6 \cong 2 \cdot 10^7$.

Запишем ее на магнитную ленту. Плотность записи двоичных единиц на один миллиметр составляет прибли-

зительно 100. Тогда потребная длина пленки составит 2 километра!

Вместе с тем если размотать всю наследственную спираль ДНК человека и вытянуть, то она будет иметь длину всего лишь около двух метров.

Следовательно, природная упаковка информации в тысячу раз более компактна! Это число, по-видимому, сильно занижено, так как мы приняли, что ген состоит из 100 нуклеотидов. Если число нуклеотидов в гене увеличить до 1000, то магнитная лента удлинится до 20 километров.

Иногда жаждущие писать диссертации спрашивают у меня: «Как найти диссертабельную тему? Ведь В. Котельников, К. Шеннон уже все сделали в теории передачи сигналов». Ответ следует из нашего подсчета. Он показывает, насколько наши системы связи примитивны по сравнению с передачей наследственной информации в живой материи.

Таким образом, вся живая материя от примитивного вируса до вершины творения природы — человека — это конвейеры передачи наследственной информации, это исключительно рационально построенные системы связи, обладающие невероятной точностью передачи информации, невероятной защищенностью от действия всяческих помех, осуществленные в невероятно малых габаритах.

Более того, язык этих систем связи универсален. У всех обследованных живых организмов он оказался один и тот же. По-видимому, все живое говорит со своими детьми одним и тем же кодом! С одной стороны, такая универсальность для миллионов видов потрясает. С другой — блестяще подтверждает идею эволюционного происхождения всего живого от одного простейшего вида.

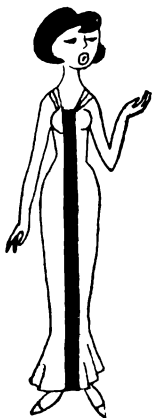
Для успешной эволюции любого вида необходима приспособляемость, или адаптация, его к меняющимся условиям окружающей среды. Без этого вид погибает.

Природа нашла простой, но довольно жестокий способ осуществления этой адаптации. Некие случайные импульсы, природа которых еще не раскрыта, возникающие в нарождающемся организме, искажают наследственную информацию.

Если наследственную информацию представить в виде двоичных чисел 1001110100011001..., как мы это делали выше, то искажения проявляются в том, что некоторые

единицы превращаются в нули, и наоборот. Такой процесс, приводящий к нарушению точного сходства родителей и детей, называли мутацией. Эти помехи в системе наследственной связи могут с равной вероятностью улучшать вид и ухудшать. Остальное делает закон естественного отбора, открытый Ч. Дарвиным: в длительной борьбе за существование выживают сильные, более приспособленные, а слабые погибают.

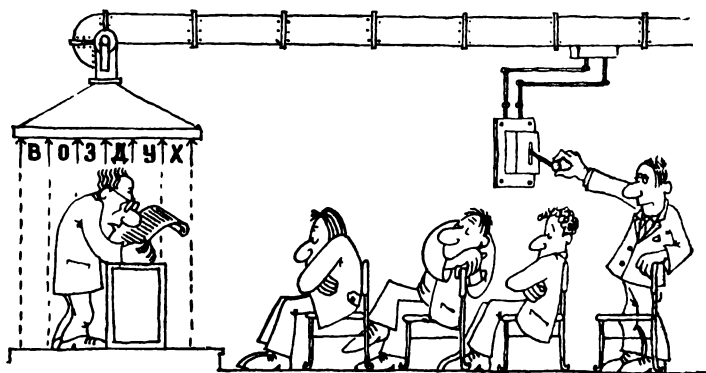
**ЕЙ ПОДВЛАСТНО
ПРОСТРАНСТВО
И ВРЕМЯ**



Иногда думают, что всякая информация, скажем, разные слухи или блеск далеких звезд, сама по себе обладает свойством преодолевать пространство без помощи какого-либо движущегося в пространстве носителя. Как же распространяется информация в пространстве на самом деле и обязателен ли этот таинственный носитель, или «бегун», который, схватив информацию в одной точке пространства, мчит ее в другую?

Первая возможность передать информацию появляется у человека вместе с первым криком при рождении. Далее мы пользуемся этим способом всю жизнь.

Каким же образом звук путешествует в пространстве? Происходит это благодаря колебаниям воздушной среды. Говорящий своими голосовыми связками колеблет воздух, который передает это колебание соседним слоям



воздуха, от них к последующим и т. п. Создайте вокруг скучного оратора, читающего свою речь по бумажке, вакуум, и звуки не будут мешать аудитории дремать, читать, решать кроссворды...

Приблизительно то же происходит при распространении любой информации в пространстве. Проследовавший вдали пароход напоминает о себе пришедшей к берегу волной: ее донесли колебания частичек воды. Свет солнца и звезд приходит к нам только благодаря колебаниям межзвездной среды, возбуждаемой этими светилами. Радиоволна, несущая нам музыку, речь или телевизионное изображение, делает то же самое.

Итак, перенос информации из одной точки пространства в другую можно осуществить с помощью какого-

нибудь процесса, распространяющегося в материальной среде. Как перевозка любого груза может быть осуществлена только с помощью транспортных средств, так и информацию можно переместить в пространство лишь с помощью распространяющегося в пространстве процесса. Этот движущийся в пространстве колебательный процесс называют волновым. В зависимости от колеблющейся среды волны бывают морские, звуковые, радиоволны и т. д. Эти волны и являются теми бегунами, которые разносят информацию в пространстве.

Среди них есть рекордсмены, мчащиеся с предельно возможной в природе скоростью, как, например, свет и радиоволны. Есть и «бегуны»-черепахи, несущие информацию очень медленно, например, волны в жидкостях, особенно вязких.

Сейсмические волны также не очень спешат. Они пробегают несколько километров в секунду, в то время как световые разбегаются со скоростью почти 300 тысяч километров в секунду.

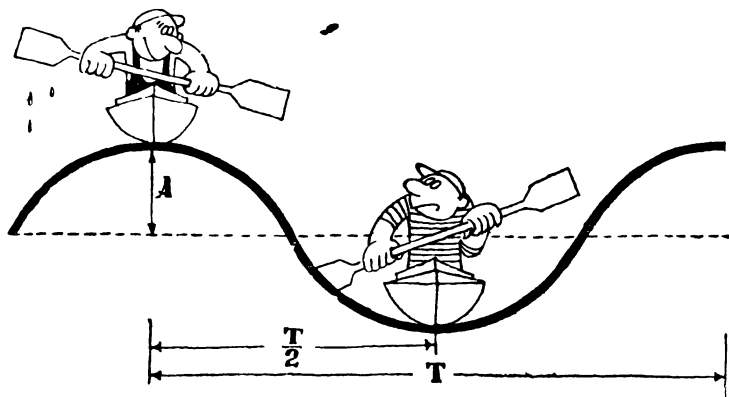
Имеется огромное разнообразие волн, способных распространяться в пространстве и переносить информацию. Но природа их различна. В самом деле, разве есть что-нибудь общее между сейсмическими волнами, идущими от эпицентров землетрясения, и радиосигналами от далекого космического корабля? Оказывается, есть! Общее то, что они могут быть записаны одним и тем же очень простым математическим выражением.

Две байдарки плавно скользят по ровной водной глади. Тишина и покой. Но вот невдалеке пронесится быстходный катер. Байдарки начинают бросать вверх и вниз. Это действие волн пронесшегося катера. Каждая точка водной поверхности начинает совершать колебательные движения вверх-вниз. Если вторая байдарка находится рядом с вами, то вы будете одновременно взлетать вверх и опускаться вниз. Но если она станет удаляться от вас, одновременность начнет нарушаться, или, как говорят ученые, фаза колебаний байдарок станет разной. При каком-то удалении байдарок их фазы окажутся противоположными: когда одна байдарка взлетит вверх, другая опустится вниз. Это соответствует сдвигу фаз на $\varphi = 180^\circ$. При дальнейшем увеличении расстояния снова найдется точка одновременного взлета и падения (фазы совпадут, $\varphi = 360^\circ$) и т. д.

Закон колебания наших байдарок во времени можно записать простым выражением:

$$y = A \cdot \sin(2\pi Ft + \varphi).$$

Здесь y — место колеблющейся точки (байдарки), A — амплитуда ее колебаний, F — частота колебаний, φ — фаза колебаний, t — текущее время.



Мы бы не утруждали читателя ознакомлением с приведенным уравнением, если бы этот пример носил частный характер. Дело в том, что большинство колебательных процессов, с которыми мы на каждом шагу сталкиваемся и в природе, и в технике, описываются этим скромным уравнением.

Главным свойством этой очень плавной, изменяющейся во времени зависимости, за что ее называют гармонической, является универсальность. Меняя только частоту колебаний (F), можно переходить от медленных колебаний морских волн к быстрым колебаниям камертонов или струн, а от них к ультразвуковым и радиоколебаниям. Увеличивая частоту еще больше, придем к световым колебаниям, рентгеновским лучам и т. д. Чем больше частота, тем, естественно, меньше время одного цикла колебаний (T), называемого периодом колебаний: $(T = \frac{1}{F})$. Если один цикл колебаний совершается ровно за одну секунду ($T = 1$ сек.), то его частота, очевидно, будет равна единице ($F = 1$). Частоту условились измерять герцами (гц). Если морская волна со-

вершает одно полное колебание за 10 секунд, то ее частота будет равна 0,1 герца ($F = \frac{1}{10} = 0,1$ гц).

Частота колебаний в антенне Останкинской телебашни (а следовательно, и на входе телевизионного приемника) составляет величину порядка 100 миллионов герц (или 100 мегагерц). Это значит, что за одну секунду ток в антенне плавно, по тому же закону синусоиды, меняет свое направление сто миллионов раз! И это отнюдь не предел. Частота колебаний рубинового лазера составляет ни много ни мало величину порядка 35 000 000 000 000 герц. Но и это не предел...

У колебательного процесса есть еще одно важное понятие — длина волны λ . Физики условились греческой буквой (лямбда) обозначать расстояние, которое пробегает в среде распространения волна за время, равное одному периоду колебаний T , то есть за один цикл.

А теперь, если V есть скорость распространения волны, то, очевидно, $\lambda = VT$.

Это выражение столь же универсально, как и запись гармонического колебания.

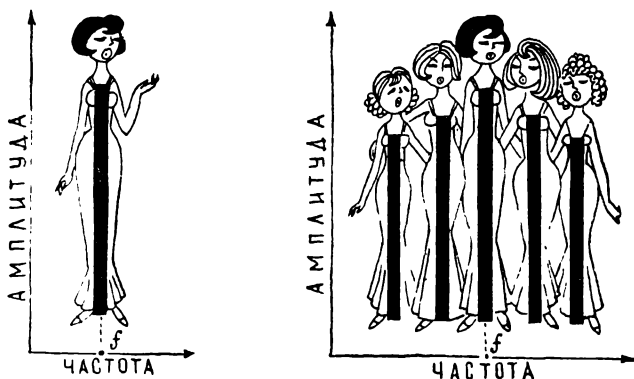
Будем считать, что основные инструменты для ознакомления с удивительным миром колебаний и волн у нас есть. Пора начать работу.

Мы установили, что информацию в пространстве переносят «бегуны» — волновые процессы в материальной среде, разделяющей пункты передачи и приема. Теперь посмотрим, каким образом взваливают информацию на плечи этих неутомимых спринтеров и стайеров и что происходит при увеличении груза.

Вы стоите перед входной дверью квартиры приятеля. На дверях табличка: звонить 3 раза. Три раза вы заставляете волну электронов бежать по проводу и порождать звук. Отпуская кнопку, вы прерываете бег, и звонок замолкает. Это и есть самый простой способ погрузки информации на волну: прерывать волну. Меняя длительность звонков, можно передавать буквы и цифры, например, азбукой Морзе.

Процесс погрузки информации на волну называют модуляцией. В отсутствие модуляции колебания имеют вид синусоидального колебания.

Грузить информацию можно на любой из параметров синусоиды: на амплитуду, на частоту и на фазу. Нажимая кнопку звонка, мы воздействовали на амплитуду колебаний, меняя ее от нуля до максимума. Можно ее



плавно менять, тогда получим сигнал, используемый, например, при передаче радиовещания.

Если теперь менять частоту колебаний, как бы растягивая ее и сжимая в некоторых пределах, то получим частотную модуляцию. Такой вид модуляции используется, в частности, при излучении радиоволны спутником «Молния».

Наконец, есть еще один параметр у синусоиды — фаза φ . Этот тонкий параметр определяет положение колебания во времени. Изменить фазу можно, задержав колебание во времени, например, пропустив его по дополнительному отрезку кабеля.

Как и амплитуду, остальные два параметра также можно менять и плавно, и скачком. Для передачи простых сигналов типа «да» — «нет» используют модуляцию скачком; для сигналов, имеющих не два, а великое множество значений (речь, музыка, изображение) — плавную.

Чем больше груза надо перевезти, тем больше требуется транспортных средств: вагонов, автомашин, самолетов. А как быть с информацией? Сколько ее можно грузить на одну волну? Есть ли тут аналогия с грузом?

Для ответа на эти вопросы надо освоиться с понятием спектра.

Пока нет модуляции, волна, плавно меняясь по закону синуса, занимает на шкале частот только одну точку (F_0), равную числу совершаемых ею колебаний в секунду. Она не толкается и не налезает на соседние с ней волны, колеблющиеся с чуть меньшей и чуть большей частотой.

Но как только на эту волну вы нагрузите информацию, то картина принципиально изменится. Волна потеряет стройность, обрстет другими порожденными модуляцией и прилегающими к ней частотами. Это приведет к вторжению ее на соседние территории: волна займет уже не одну точку F_0 , а целый участок, в центре которого будет находиться исходное колебание.

И чем большую информацию мы погрузим на волну, например, чем больше будем передавать телеграмм за один час, тем большую частотную деланку займет несущая ее волна. В чем суть такого «ожирения» исходной стройной волны?

Модулируя колебание любой информацией, мы нарушаем его синусоидальную форму, делаем его более сложным, меняющимся во времени по более замысловатому и не столь плавному закону.

Почти двести лет назад французский математик Ш. Фурье доказал, что всякое сложное колебание есть сумма простых и его можно разложить на эти простые гармонические колебания. Это и есть разложение в знаменитый ряд Фурье, которым до сих пор занимаются в поте лица все математики и физики.

Применив разложение в ряд Фурье к любому модулированному колебанию, мы увидим, что у него появляются обязательные спутники на соседних частотах. Вот они-то и есть армия агрессии.

Изображение всей этой армии на шкале частот в виде вертикальных линий, величина которых пропорциональна их амплитудам, называется спектром. Он очень удобен тем, что сразу показывает, из каких гармонических колебаний состоит волна и какой частотный участок, или коридор, нужно ей отвести при передаче на этой волне информации, а также какую полосу частот, или какое частотное «горло», должен иметь приемник для ее восприятия.

Значит, чем больше информации мы взваливаем на волну, тем большую полосу частот она занимает в среде распространения.

Установлено, что скорость движения «бегунов» не зависит от груза (тут аналогия с перевозками тяжестей нарушается). Но это не значит, что на бегуна можно взваливать неограниченный груз (даже если гигантское расширение спектра сигнала нас не пугает). Дело в том, что по мере расширения спектра высота его частотокола на шкале частот будет падать (при неизменной мощности передатчика) и может стать ниже частотокола помех на входе приемника. Это вызовет искажение информации, чему будут рады злые силы природы — помехи, на знамени которых написано «Долой всякую информацию, да здравствует хаос!». Об их повадках мы расскажем позже.

При этом будем помнить, что, в каком бы диапазоне частот или волн ни мчался наш «бегун» с грузом информации, необходимая ему для бега дорожка будет тем шире, чем больше он несет на себе информации. Входное «горло» приемника, или его полоса пропускания, также должна быть не уже, чем дорожка «бегуна». В противном случае он уподобится пресловутому верблюду, пытающемуся пролезть в игольное ушко.

Далее, любой диапазон частот: звуковой, ультразвуковой, УКВ, оптический — имеет вполне определенную протяженность по частоте. Поэтому в нем можно разместить только ограниченное число «бегунов», одновременно несущих информацию.

Если это будут «худые» «бегуны», то есть несущие небольшую информацию — один телефонный разговор или телеграмму, сигналы времени или курса самолета, то таких «бегунов» можно разместить много в используемом диапазоне. Картина будет напоминать забег на короткую дистанцию, где каждый бегун имеет свою дорожку.

Если это будут «жирные» «бегуны», несущие сотню или тысячу одновременных телефонных разговоров, одну или несколько телевизионных программ, то их в этом диапазоне разместится значительно меньше.

Если же мы заставим бежать столько же «толстяков», сколько на данной полосе умещалось «худых», то получится каша: «бегуны» будут налезать друг на друга,

сбивать друг друга и, самое главное, в «горло» приемника будет влезать сразу несколько «бегунов». Это случай, когда вы на приемник принимаете одновременно и музыку, и речь, и всякие шумы.

Общее число дорожек, которое можно выделить для «бегунов» равной упитанности, например для «толстых», неизменно возрастает с повышением частот диапазона или, что то же самое, с укорочением длин волн диапазона. Так, во всем диапазоне длинных волн нельзя разместить даже одного «бегуна», несущего стандартный телефонный сигнал. В УКВ-диапазоне таких сигналов можно разместить сотни и тысячи. А в оптическом — сотни тысяч. Вот почему будущее принадлежит этим диапазонам.

А сейчас перейдем к знакомству с различными видами «бегунов», транспортирующих информацию на нашей планете и за ее пределами.

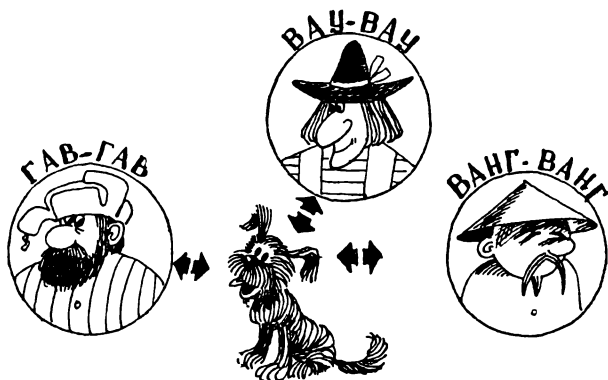
Наша планета не нагишом путешествует в холодном космосе, а заботливо укутана в теплые меха. Эти меха — окружающая Землю атмосфера. Без нее немислимо представить себе зарождение и развитие жизни. Только благодаря наличию этой воздушной среды животные, а затем и люди научились обмениваться звуками, и в конце концов появилось могучее средство обмена информацией — разговорная речь. Рассмотрим эту линию «воздушной связи».

В комнате летает муха. Ее жужжание отвлекает и раздражает. Крылышки мухи создают периодические колебания в воздухе, которые, распространяясь во все стороны, достигают наших ушей. Частота жужжания, равная числу взмахов крылышек, около 300 герц.

Ударяя по барабану, барабанщик делает почти то же самое. Он мгновенно вдавливая натянутую кожу, за которой окружающий воздух не успевает последовать, и образует частичное разрежение у самой ее поверхности. Это разрежение передается ближайшим слоям воздуха, от них к следующим и т. д. Возникает звуковая волна, распространяющаяся во все стороны от барабана. Если барабан находится от вас на расстоянии приблизительно 340 метров, то удар вы услышите с опозданием на одну секунду. Такова скорость распространения звуковой волны в воздухе.

Человеческий голосовой аппарат представляет собой набор большого числа звуковых генераторов, создающих

частоты от нескольких десятков до 10—15 тысяч герц. Для получения нужного звука одновременно используется ряд этих генераторов. Но где эти генераторы у нас спрятаны и как мы ими управляем?



Природа нашла очень экономное и остроумное решение: генератор всего один, но он создает одновременно все необходимые частоты для формирования звуков. А из них отбираются только те, которые нужны для данного звука. Они-то и излучаются в пространство. Как все же это происходит?

Вы захотели произнести звук. Для этого вы смыкаете голосовые связки (конечно, не думая об этом) и тем самым повышаете давление в легких. Потом воздух начинает периодически прорываться через голосовую щель. При этом связки расходятся и тотчас же вновь сходятся, приходя в колебательное движение.

Из всего спектра колебаний связок наши естественные резонаторы: глотка, полость рта, носоглотка — выделяют и усиливают только те частоты, которые нужны для данного звука.

К счастью, все это происходит подсознательно, и нам не нужно ломать голову над тем, какой объем и форму надо придать нашим резонаторам, включая выходное излучающее отверстие — губы. Возникшие колебания воздуха начинают передаваться окружающей среде, и возникает звуковая волна. А дальше все происходит по пословице «слово не воробей, вылетит — не поймаешь».

Дальность полета голосового звука не очень велика — от миллиметров до нескольких сот метров.

Излученный звук живет своей собственной жизнью, пока не затухнет, точнее, не утонет в окружающем фоне всегда существующих шумов, рассеяв на борьбу с этими помехами свою энергию.

В начале нашего века появилась возможность запоминать звуки, хранить и воспроизводить их. Удалось установить, что каждый человек имеет свой звуковой почерк, свой звуковой портрет. Поэтому магнитофонные записи голосов, например по законодательству США, рассматриваются в суде в качестве аргументов доказательства.

Но мы отвлеклись. Пока созданная звуковая волна не затухла, подставим ей ухо. Этот тончайший анализатор звуков, содержащий три уха: наружное, среднее и внутреннее, — являет собой совершеннейшее произведение эволюционного развития. Тут и знаменитые три косточки — наковальня, молоточек и стремечко, которые без всяких радиоламп и полупроводников производят усиление звука в несколько десятков раз. Тут и рецепторный аппарат, преобразующий механические колебания мембраны в нервные импульсы и состоящий из огромного числа различных клеток.

На этом аппарате стоит остановиться дольше. Важнейшие из этих клеток называются волосковыми. Несколько десятков тысяч их соединено тончайшими волосками с поверхностью мембраны и имеют контакт с нервными клетками. Колебания мембраны таким образом раздражают начинающиеся здесь нервные клетки нейронов, число которых достигает 31 тысячи.

Возбужденный нейрон становится источником электрических импульсов длительностью примерно 0,5 миллисекунды. Увеличение силы звука приводит к увеличению числа импульсов в секунду. Предельное их число достигает 500—1000 в секунду. Клетки, непосредственно соединенные с мембраной, называются биполярными. С ними, в свою очередь, соединены логические нейроны.

Звуковые волны, бегущие вдоль мембраны, преобразуются рядом биполярных нейронов в электрические импульсы, которые затем поступают для распознавания звука в густоразветвленную сеть логических ней-

ронов, расположенных в речевом участке коры головного мозга.

Описанный ювелирный механизм занимает ничтожное место, работает без устали всю жизнь человека (у него нет выключателя, как у глаз) и творит чудеса, к которым мы привыкли и не замечаем. Он способен воспринимать звуки, отличающиеся по громкости в тысячи раз. Может вылавливать слова, почти утонувшие в шумах. Узнает по голосу человека, которого мы не видели и не слышали десятки лет. Все попытки людей создать похожее техническое устройство пока безуспешны. Но развитие теории опознавания образов и создания специальных ЭВМ вселяет надежду на решение этой задачи.

Совершенствованию голоса и слуха сильно способствовала их взаимосвязь или цепь обратной связи, существующая между ними.

Человек не пассивно воспринимает звуки, а все время воспроизводит их про себя. У многих это заметно по шевелению губ при чтении. Поэтому голос становится как бы меркой для слуха. Люди, говорящие на разных языках, должны и слышать по-разному. И это действительно так: у русских собака лает «гав-гав», у немцев «вау-вау», а у китайцев «ванг-ванг».

Глаза — основные ворота, через которые самая разнообразная информация непрерывно поступает в мозг человека: картина окружающей среды (насколько хватает глаз); непрерывный контроль за своими действиями; чтение книг; кино; театр; телевидение. Всю эту зрительную информацию приносит нам световой луч. Природа света, над которой ломают голову лучшие ученые мира уже более двух тысяч лет, еще окончательно не раскрыта. Взглянем и мы на этот длительный путь исканий, насыщенный гениальными догадками, смелыми экспериментами, безумными, на первый взгляд, теориями, сменявшими одна другую.

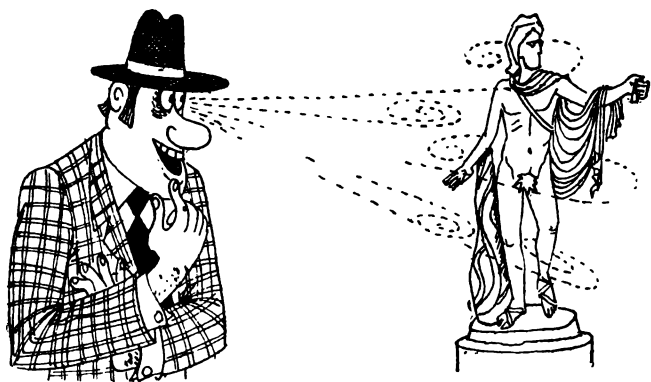
Самой первой «теорией» света была, конечно, божественная. Почти все первобытные люди считали солнце добрым живым существом, которое посылает на землю свои благодатные лучи света и тепла.

Но развивающийся ум человека отбросил эту красивую сказку.

Одна из первых попыток создать теорию света была сделана в V веке до н. э. Пифагором. Он считал, что все видимые предметы выстреливают крохотные частицы. Попадая в глаз человека, они и создают видимый образ

предмета. Потрясает прозорливость Пифагора: его идея, как мы увидим дальше, была воскрешена И. Ньютоном в XVII веке и еще раз — А. Эйнштейном в XX веке.

Прямолинейность распространения света и элементы



геометрической оптики были также известны Пифагору. Одно из свидетельств — его ядовитая стрела в мишень людского тщеславия: «не считай себя великим человеком по величине тени при заходящем солнце».

В 444 году до н. э. греческий философ Эмпедокл выдвинул новую теорию видения: от глаза простирается некое неуловимое щупальце, захватывающее предмет, и поэтому мы его видим. Несмотря на всю курьезность новой теории, предполагавшей какое-то «излучение» из глаза смотрящего, она получила широкое признание в древности и была известна под названием окулярных пучков.

В 350 году до н. э. Аристотель отверг странную теорию окулярных пучков и выдвинул свою теорию. Он полагал, что все пространство заполнено разреженной средой (пеллуцидом) и через эту среду передается излучение от видимого объекта к глазу. Гипотеза о пеллуциде очень близка к высказанной в XIX веке идее распространения света через разреженную среду, названную эфиром.

Далее следует ряд столетий познания закономерностей распространения света и создания оптических приборов.

Так, в 130 году н. э. великий Клавдий Птолемей, автор геоцентрической системы мира, описал свои эксперименты и исследования по влиянию преломления света в атмосфере на астрономические измерения, дал таблицы углов при переходе светового луча из воздуха в воду и стекло.

Очки, без которых заметная часть человечества сегодня не мыслит нормального существования, были изобретены только в начале текущего тысячелетия. За это доброе деяние их автор, Роджер Бэкон, был заключен церковниками в тюрьму. (Воистину, «ни одно доброе деяние не остается безнаказанным».) Тогда считали, что и очки и изобретенный им же волшебный фонарь (одно название чего стоит!) есть творение самого дьявола.

В 1609 году Галилео Галилей направил в небо первый в истории землян телескоп, изготовленный собственными руками. Это была подлинная революция в астрономии. Глаз человека увеличил свою силу во сто крат.

Г Галилей открыл много «чудес»: звездное строение Млечного Пути, пятна на Солнце, четыре спутника Юпитера и даже горы на Луне. Он был первым земным альпинистом, совершившим восхождения на лунные пики (теперь это называют «мысленный эксперимент»). Наверное, ему и в голову не приходило, что всего лишь через три с половиной столетия земляне начнут штурм этих вершин как с помощью автоматов (советские луноходы), так и непосредственно (экипажи кораблей «Аполлон»).

В 1669 году в Дании произошло, казалось бы, незначительное событие. Эразм Бартолинус случайно обнаружил, что если на предмет, скажем на человека, взглянуть через кристалл исландского шпата, то изображение его будет видаться раздвоенным. Явление расщепления луча света на два, или явление двойного лучепреломления, было тщательно исследовано выдающимся голландским ученым Христианом Гюйгенсом. Он дал первое объяснение его с помощью созданной им волновой теории распространения света. Луч света по Х. Гюйгенсу — это последовательность импульсов в среде, состоящей из крохотных упругих сфер, находящихся в соприкосновении одна с другой. И колебания каждой из этих сфер упруго передаются ее ближайшей соседке. При этом каждая из крохотных сфер испускает свой цуг волн.

Сам процесс распространения света мыслился не как непрерывный процесс, а скорее как непрерывная последовательность импульсов.

Вместе с тем в своем знаменитом «Трактате о свете» Х. Гюйгенс признается, что столкнулся с одним удивительным явлением, объяснить которое его теория не в состоянии. Речь шла о явлении, наблюдаемом при прохождении луча света последовательно через два кристалла шпата. Если оба кристалла ориентированы одинаково, то расстояние между лучами удваивалось по сравнению с этим расстоянием на выходе первого кристалла. Но чертовщина начиналась, если второй кристалл поворачивать: при некотором угле поворота каждый из двух лучей вновь расщеплялся на два, и получалось четыре изображения. При дальнейшем повороте кристалла эти четыре изображения меняли свою яркость, постепенно переходя в два и, наконец, в одно изображение.

Теперь, уважаемый читатель, для понимания дальнейшего мы вынуждены несколько опередить последовательность исторических открытий и пояснить одно исключительно важное и любопытное свойство света. Оно именуется поляризацией. Только после его открытия удалось многое объяснить.

Надо четко усвоить, что колебания в световых волнах поперечные. Это значит, что они происходят в плоскости, перпендикулярной направлению движения световой волны.

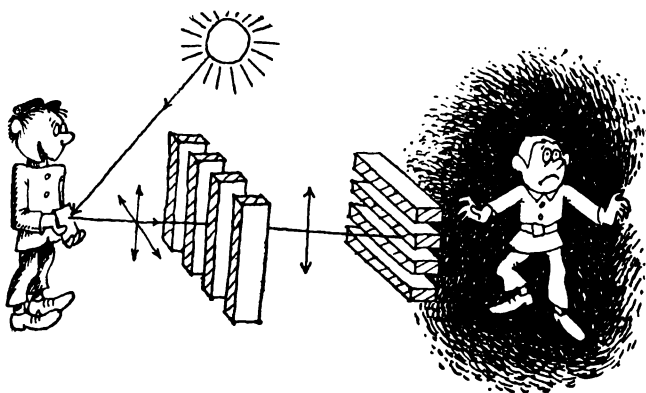
Так, если по натянутой веревке пустить волну, то она будет бежать вдоль нее, а каждый участок веревки будет колебаться только в плоскости, ей перпендикулярной. Это наглядный пример поперечного колебания.

А вот звуковые волны принципиально отличны от световых; у них колебания (сгущения и разрежения среды) происходят не поперек, а вдоль волны. Их так и называют — продольные волны.

Вторая особенность света — поперечные колебания происходят в перпендикулярной плоскости не в одном каком-либо направлении, как у волны, бегущей по веревке, а во всех возможных направлениях.

Разобравшись в этих вопросах, читатель, мы можем считать, что знаем о свете даже больше, чем знал ве-

ликий И. Ньютон, когда творил свою теорию света, и можем объяснить «удивительное явление» Х. Гюйгенса. А объяснение это весьма простое. Исключительно правильная расстановка атомов в некоторых кристаллах



препятствует возникновению в них поперечных световых колебаний во всех возможных направлениях, а как бы разрешает их только в некоторых избранных. Расстановку эту грубо можно трактовать как непроницаемый для света забор, в котором имеются щели-лазейки. Если они вертикальны, то через них пройдут колебания, происходящие только в вертикальной плоскости. Такой световой луч становится плоскополяризованным. Человеческий глаз не заметит этого изменения в характере колебаний в световом луче, но некоторые живые существа, по-видимому, улавливают такие изменения поляризации, например пчелы.

Если на пути плоскополяризованного луча мы поставим еще один такой же забор (то есть кристалл), но повернем его на 90 градусов, то, очевидно, световой пучок через него вовсе не пройдет, и изображение исчезнет.

Далее, некоторые кристаллы обладают способностью к двойному лучепреломлению: из одного падающего на них луча создают два плоскополяризованных, но направления их колебаний взаимно перпендикулярны. Они идут разными путями в кристалле и создают

эффект раздвоения изображения, с которого мы начали рассказ.

Теперь вернемся назад, во времена, когда о поляризации света никто понятия не имел.

В 1672 году в работе «Новая теория света и цветов» И. Ньютон описал свои гениально простые опыты по разложению света и предложил новую теорию. Оказалось, что для получения привычного нам белого света природа идет очень сложным путем: смешивает красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый цвета. (В скобках заметим, что никто на самом деле не видит при разложении белого света синий и оранжевый цвета в чистом виде. Но И. Ньютон очень любил число 7 и потому добавил их, чтобы получить магическую цифру!)

Новая теория света, выдвинутая И. Ньютоном, получила название корпускулярной. Он считал, что свет есть поток телесных частиц — корпускул, излучаемых источником света. И. Ньютон отверг, правда после тщательного анализа, возможность волнового распространения света. И это произошло из-за того, что он предполагал, что свет, как и звук, совершает продольные колебания. А при такой гипотезе ему не удавалось объяснить явление раздвоения изображения кристаллом с помощью волновой теории. И он ее отверг. Правда, корпускулы, неспособные к волновым движениям, также не смогли объяснить некоторые оптические явления. Но И. Ньютон все же нашел выход: оставаясь приверженцем корпускул, он «разрешил» своим телесным частицам приходить в колебательное движение при встрече с какой-либо поверхностью, от которой они отражаются или проходят сквозь нее. Говоря словами И. Ньютона, при достижении поверхности взаимодействия корпускулы испытывают попеременно приступы легкого отражения и легкого прохождения.

Анализируя цветные кольца, возникающие в стеклянной пластинке, на которую положена линза, И. Ньютон даже сумел определить расстояние между двумя такими приступами. Он пришел как раз к понятию, которое мы теперь называем длиной волны света, и почти точно определил ее величину.

Но объяснить явления, связанные с поляризацией света, теория И. Ньютона, естественно, не могла.

Более ста лет в области оптики господствовал всеми признанный авторитет И. Ньютона и его корпускулярная теория света.

Однако М. Ломоносов придерживался другого взгляда. Так, в его работе «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, в публичном собрании Академии Наук июля 1 дня 1756 года говорено Михаилом Ломоносовым» выдвигается простое и наглядное доказательство в пользу волновой теории. Ведь свет, пишет он, от одного источника беспрепятственно проходит через свет от другого источника так же, как звук через звук, «один другого не уничтожая». А это есть свойство именно волновых явлений.

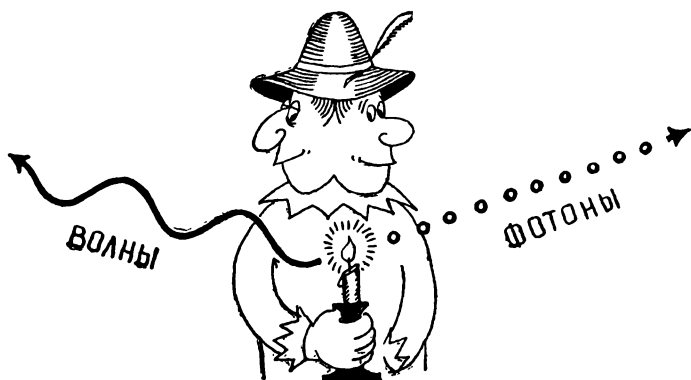
Генеральное сражение с теорией света И. Ньютона провел Томас Юнг. Он ниспроверг с пьедестала корпускулярную теорию и на ее место водрузил волновую. В основе доказательств Т. Юнга лежал простой опыт. Он рассуждал так: если свет — это волны, то, оперируя двумя световыми лучами, можно так подобрать их фазы, что при сложении этих лучей можно получать не только усиление света, но и его ослабление, и даже полное уничтожение. Сложение двух лучей давало чередование темных и светлых полос. Темные полосы блестяще доказывали справедливость волновой теории: свет + свет = темнота.

Заслуга Т. Юнга в том, что он считал световые колебания поперечными, и это позволило ему легко объяснить «Удивительную загадку Гюйгенса» с двумя кристаллами. Все это произошло в самом начале XIX века.

Далее последовал ряд открытий в оптике, и все они хорошо согласовывались с волновой теорией. Французским физиком Физо было проведено первое лабораторное измерение скорости света. Очень большая скорость распространения света, полученная им и равная почти 300 000 километров в секунду, объяснялась тем, что среда, через которую распространяется свет, обладает очень большой упругостью или крайне низкой плотностью. Отсюда и возникла так называемая теория эфира. По ней выходило, что все пространство и вся материя заполнены очень разреженной средой, названной эфиром. Считали, что световые волны передаются именно через этот таинственный эфир. И он действительно был таинствен, так как строение его было очень туманно.

Следующий крутой поворот в понимании природы света связан с именем шотландского ученого Джемса Клерка Максвелла. Он принял из всей волновой теории только идею о распространении света в виде поперечных волн, придав им совершенно новую природу.

В 1867 году Д. Максвелл завершил разработку своей теории света. Он считал, что любое световое поляризованное колебание образуется под действием двух сил, действующих в плоскостях, перпендикулярных друг другу. Одна сила вызывает колебания электрического поля, а другая магнитного. Оба колебания являются поперечными и не могут существовать друг



без друга. Открыта была неразлучная пара, не подверженная никаким раздорам и разводам.

Эта удивительная теория, названная электромагнитной, предсказала не только новые оптические явления (позже подтвержденные опытами), но также существование и свойства радиоволн! Это истинный пример могущества теории.

Новая теория вскоре позволила установить поразительную общность, казалось бы, несвязанных явлений. Ультрафиолетовый свет, видимый свет, тепловое излучение и радиоволны оказались одним и тем же электромагнитным излучением, отличающимся лишь длинами своих волн.

Теперь стало ясно, что семь цветов спектра белого цвета есть семь световых колебаний с различной длиной волны. (И стало ясно, что человек почти слеп!

Из гигантского спектра электромагнитных колебаний, существующих в природе, глаз реагирует только на ничтожную полоску видимого света.)

Вместе с тем электромагнитная теория вынуждена была наделить эфир еще одним свойством: способностью к поддержанию и распространению электромагнитных колебаний. Такая многогранность вездесущего эфира терзала ученых. И они все чаще стали задаваться вопросом: существует ли он на самом деле?

Ответ на этот вопрос взялся дать блестящий физик-экспериментатор А. Майкельсон. Он попытался обнаружить так называемый эфирный ветер около Земли, выяснив, влияет ли движение Земли по околосолнечной орбите (ее скорость составляет 30 километров в секунду) на скорость света (которая в 10 000 раз больше).

К своему величайшему удивлению, А. Майкельсон обнаружил, что не было никакой разницы в том, направлен ли луч света по движению Земли или против. Скорость света в обоих случаях оставалась неизменной. Следовательно, либо эфира не существует вообще, либо его надо снова наделять дополнительными свойствами, не позволявшими обнаружить его в опыте.

Независимость скорости света от скорости источника или приемника стала мучительной загадкой. Ломал над ней голову и двадцатипятилетний физик А. Эйнштейн. В конце концов он решился на очень смелый шаг. «Очень хорошо, — сказал он, — давайте постулируем, что скорость света всегда постоянна (именно всегда — идем ли мы рядом с лучом пешком или мчимся на сверхбыстрой ракете — скорость луча относительно нас всегда одинакова), и посмотрим, к чему все это приведет?»

А привело это к грандиозной революции, к выявлению новых неожиданных свойств материи. Например, люди всегда считали, опираясь на свой ежедневный опыт, что масса тела и его размеры есть величина постоянная. Но это оказалось жестоким заблуждением. Из строгих и вместе с тем простых расчетов А. Эйнштейна следовало, что с ростом скорости тела его масса увеличивается, а размеры вдоль движения уменьшаются. Более того, при приближении скорости тела к

скорости света масса его стремится стать бесконечно большой, а длина — к нулевому значению. Эти результаты сначала выглядели фантастическими. Но скоро были подтверждены различными экспериментами.

Итак, в начале XX века родилась и получила признание теория относительности А. Эйнштейна, которая не противоречила волновой теории. Последняя успешно развивалась, приносила все новые плоды и, казалось, навеки закрепилась в седле.

Но два простых опыта упорно не хотели подчиняться этой могучей теории. Так, если нагреть кусок металла до красного каления, то он дает широкий спектр излучения. Теория утверждала, что с уменьшением длины волны энергия в этой части спектра должна возрастать, и опыт действительно давал сначала возрастание, но потом неожиданно наступал резкий спад. Появлялся необъяснимый горб в кривой излучения. Вторая неувязка выявилась при сильном охлаждении: чем ближе была температура тела к абсолютному нулю, тем меньше становилась теплоемкость, что тоже не согласовывалось с теорией.

Волновая теория, а с ней классическая физика, зашла в тупик: теория и опыт явно враждовали. Тут вспоминаются слова одного физика: «Теория подобна мыши — она пролезет сквозь девять дыр, но в десятой застревает».

Потребовалось «безумие» М. Планка, выдающегося немецкого физика-теоретика, чтобы найти выход из этого тупика.

В электромагнитной теории молчаливо предполагалось, что если тело излучает свет, то только непрерывным образом, и возможны даже бесконечно малые изменения количества излучения. М. Планк отверг эту непрерывность, считая ее принципиально ошибочной и заманившей физику в тупик.

Мысль его сводилась к следующему: если тело излучает на некоторой определенной частоте, то оно излучает лишь в количествах, которые могут изменяться только скачкообразно. Таким образом, вся излучаемая энергия является суммой величин, кратных некоторому минимальному количеству, которое он назвал квантом. Оказалось, что квант легко вычислить; для этого надо частоту, на которой происходит излучение,

умножить на некое постоянное для всех частот число, впоследствии названное постоянной Планка. Получилась очень простая и очень знаменитая формула: $E = h \cdot \nu$, то есть энергия кванта равна постоянной Планка, умноженной на частоту излучения.

Итак, по новой теории в акте излучения: теплового, светового или радиоволн — энергию нельзя рассматривать как непрерывную величину, а только как сумму отдельных квантов. При этом М. Планк рассматривал молекулы излучающего вещества как элементарные вибраторы, колебания которых и создают излучения.

На основе этих двух идей М. Планк вывел новую формулу для излучения, которая с замечательной точностью согласовывалась с опытом.

Вскоре А. Эйнштейн, воспользовавшись идеей квантов, вывел новый закон удельной теплоемкости. Он считал при этом, что если излучение происходит квантами, то и поглощение тепла обязательно должно происходить квантами. В этом законе также фигурировала постоянная М. Планка, и он также хорошо подтверждался опытом.

Следующий революционный шаг в теории света был сделан в связи с исследованием фотоэффекта. Суть этого явления сводится к выбиванию светом электронов из металла. Так свет, падающий на фотоэкспонетр, выбивает электроны, которые создают ток, поворачивающий стрелку. А. Эйнштейн не только установил количественную связь между энергией света, падающей на некоторую поверхность, и энергией вырываемых из нее электронов, но и показал, что свет есть град отдельных квантов. При этом каждый квант несет полную порцию энергии, определенную М. Планком.

Хотя теория М. Планка и до этого требовала, чтобы энергия излучалась и поглощалась определенными порциями, при этом безоговорочно предполагалось, что порции эти движутся в пространстве как непрерывная электромагнитная волна. А. Эйнштейн снова сделал гигантский шаг вперед, открыв, что свет не только излучается и поглощается квантами, но и перемещается в пространстве в виде отдельных порций, дискретных пакетов.

Но ведь это почти возврат к ньютоновским корпускулам! Если хотите, то да! А. Эйнштейн приписывает электромагнитному излучению свойства частиц! Эти частицы получили название фотонов.

И фотоэффект, и ряд других явлений абсолютно невозможно объяснить, не приняв идею фотонов — неких частиц, перемещающихся со скоростью света и несущих определенную порцию энергии.

Таким образом, свет приобрел своего рода атомистичность, угаданную еще гением И. Ньютона. Гипотеза эфира к этому времени настолько захирела, что стала достоянием истории (в память о ней остались лишь словечки в словаре радистов, вроде «выйти в эфир» и тому подобное).

Если читатель, дочитав до этого места, решит, что наконец-то загадка света решена окончательно, то боюсь, что он будет слишком оптимистичен. Несмотря на гениальные открытия, мы опять находимся в тупике. В самом деле, для объяснения таких явлений, как дифракция и интерференция света, мы вынуждены применять волновую теорию света, а для объяснения фотоэффекта мы не можем обойтись без фотонов. Что же существует на самом деле — волна или фотон? Какой лик у этого Януса настоящий?

Надо честно признаться, что полное досье на эту двуликую фигуру не составлено современной физикой. И эта дилемма — волны или частицы — выходит далеко за рамки теории света. Она существует и в физике элементарных частиц, и в физике волновых явлений.

Любопытно отметить, что в некоторых экспериментах свет ведет себя только как волны, в других только как поток фотонов, но никогда свет не вел себя одновременно и как волны и как частицы. Было сделано несколько попыток выйти из этого тупика, как-то объяснить механизм, с помощью которого Янус показывает нам то одно, то другое лицо и никогда оба сразу. Но пока они довольно туманны и неубедительны. Однако это отнюдь не останавливает физиков, они ловко маневрируют волнами и фотонами, забывая то об одних, то о других в зависимости от решаемой задачи. И это продолжает приносить прекрасные плоды.

Что же следует из нашего рассмотрения?

Мы увидели, что такой, казалось бы, простой носитель информации, как световой луч, оказался невообразимо сложным по своей природе и до сих пор его тайна полностью не раскрыта. Вместе с тем изучение света приводило к ряду воистину революционных идей, которые коренным образом изменяли представления людей не только об этом явлении, но и о природе материи вообще.

В процессе эволюции большинство представителей животного царства научилось воспринимать информацию, приносимую световым лучом. (Зрение не облегчило бы растениям, прикованным корнями к одному месту, борьбу за существование. Поэтому эволюция и не дала им этой изумительной возможности — видеть окружающий мир.)

Сначала это был солнечный свет, редкие вспышки молний да лесные пожары. Затем человек научился сам добывать огонь, и у него появился свой источник света. Он уже мог сражаться с тьмой. Сейчас для создания света человек широко эксплуатирует электроны, которые до этого просто «бесполезно», хаотически двигались в металлах. Но и этого было ему мало, он поднимал руку на само... солнце, которому не так уж давно молился. Он создал источник света в тысячу солнц: известный всем лазер.

Мы рассмотрели два переносчика информации — звук и свет. Но жизнь требовала мгновенного переноса информации на большие расстояния. Для этого требовался новый стремительный бегун — марафонец. Первым таким бегуном на большие расстояния оказался... электрический ток. Этот носитель также встречается в природе. Однако он настолько глубоко был скрыт, что только усилия выдающихся умов человечества сумели разгадать его тайну и использовать.

Первые познания об электричестве были почерпнуты далекими предками, конечно, у природы. Занятия проходили без лекторов и лекций. Только опыты, только демонстрации: стрелы гигантских молний и сопутствующий им оглушительный гром, пожары и разрушения. Конечно, все эти опыты приписывались лично богам. У греков это был Зевс-громовержец, с Олимпа правивший этими грозными силами.

Следующие «преподаватели» были электрические

рыбы. Они тоже не тратили слов, а только демонстрировали свою способность поражать на расстоянии. Если двухметровый электрический скат способен создать импульс напряжением в 50 вольт, который парализует



рыбу чуть поменьше его самого, то электрический угорь с Амазонки способен создать разность потенциалов до 500 вольт, что может сразить даже человека.

Следующие опыты, ставившие в тупик человека (но не мешавшие ему использовать эти явления), — притяжение мелких предметов куском янтаря, если его потереть о шерсть, а также притяжение природными магнитами железных предметов. Все эти явления долго казались абсолютно не связанными.

Идеи об использовании этих явлений для передачи сигналов возникали давно. Первая публикация на эту тему относится к 1753 году. В ней говорилось, что для передачи сообщения надо создать статический электрический заряд, например, трением диэлектрика о шерсть, который и посылают по хорошо изолированному проводу на приемный пункт. Там этот заряд воспринимает шарик и притягивает к себе легкую бумажку с изображением буквы. Если число проводов, заряжаемых шариков и притягиваемых бумажек взять равным числу букв в алфавите, то можно таким способом передавать буквенный текст. Автор этого первого электрического телеграфа был, к сожалению, настолько скромный, что не назвал себя, и мы не можем воздать ему должное.

В 1795 году испанский инженер Ф. Сильва построил такой электростатический телеграф, связывавший Мадрид и Аранхуэс, удаленные друг от друга на 50 километров. Он плохо работал: заряды по дороге хирели, так как изоляция проводов была весьма невысокой.

В этом месте нашего повествования, уважаемый читатель, нам следует прерваться и вместе отправиться на ближайший пруд, в котором квакают обыкновенные лягушки. Ведь это они, бесхвостые земноводные, обратили внимание людей на три важнейших факта.

Первый: соприкасая два разных металла, можно получить непрерывно текущий электрический ток.

Второй: под действием электрического тока может происходить сокращение мышц живого организма.

Третий: для управления мышцами живой организм сам вырабатывает электрические импульсы.

Все это произошло в Италии, в городе Болонье, где впоследствии была разработана всемирно известная конструкция портативного плаща. Там в 1780 году Луиджи Гальвани проводил свои опыты с препарированными лягушками. Он заметил, что при искрах в электрической машине лапки препарированной лягушки, прикасавшиеся к железному скальпелю, дергались. С этого все и началось.

Л. Гальвани провел сотни опытов с лягушками и, по существу, доказал три приведенных положения. Правда, он не смог правильно их объяснить и посчитал, что «электричество находится внутри животного». Об этом говорит и название его трактата «Об электрических силах в мускуле» с описанием опытов, вышедшего в 1791 году.

Трактат Л. Гальвани попадает в руки итальянского профессора Александра Вольты. Его поражают и увлекают описанные опыты над лягушками. Перечитывая трактат еще и еще раз, А. Вольта улавливает то, на что сам автор не обратил внимания: лапки лягушек дергались лишь тогда, когда их касались двумя различными металлами. А. Вольта ставит эксперимент, «заменяя» лягушку своей собственной персоной. Он берет две монеты из разного металла с присоединенными к ним проволочками. Одну кладет под язык, а другую на язык. И — о чудо! — при замыкании свободных

концов проволочек экспериментатор ощутил солоноватый характерный вкус. Это был тот самый вкус, который и мы ощущаем, проверяя языком работоспособность батареек от карманного фонаря. И этот вкус ощущается не только в момент замыкания контакта, как при опытах со статическим электричеством, но все время. А это возможно лишь при наличии электрического тока.

Как увеличить силу этого загадочного непрерывно текущего электричества?

А. Вольта находит такой способ: он ставит друг на друга более ста чередующихся цинковых и серебряных кружочков, разделенных бумагой, смоченной соленой водой. Мощная батарея, которую впоследствии называли вольтовым столбом, готова. От этого «столба» и пошла столбовая дорога электротехники, которая уже пересекла почти два столетия, все время расширяясь, и конца которой не видно.

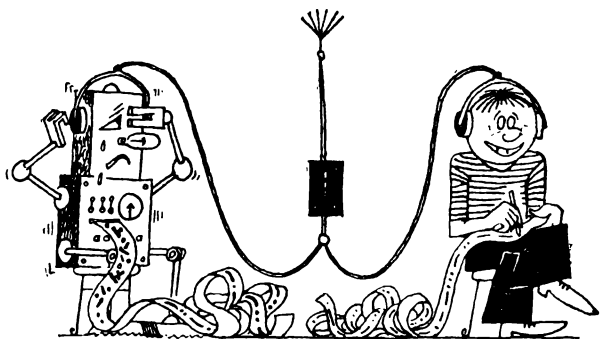
Официальной датой «рождения» вольтова столба и вслед за ним электрической батареи из медно-цинковых пластин, опущенных в банки с кислотой, считается 20 марта 1800 года. В этот день А. Вольта доложил о своих открытиях и опытах Лондонскому королевскому обществу.

Оказалось, что открытие электрического тока и способов его получения еще не решало задачи передачи по проводам информации. Потребовалось еще два десятилетия, чтобы найти первое решение этой задачи. Далее последовала лавина усовершенствований и новых идей. Вот как все это было.

Датский физик Ганс Эрстед читал в Копенгагенском университете лекцию по электричеству и демонстрировал простой опыт. По проволочке пропускался ток, и по мере его увеличения проволочка раскалялась и даже сгорала. (Опыт Г Эрстеда до сих пор повторяется миллионы раз, но называют его иначе — «сгорела пробка».)

Случилось так, что рядом с нагреваемой проволочкой находился компас, не имевший отношения к опыту. Зоркий глаз одного из студентов заметил, что если по проволочке пропускают ток, то стрелка вздрагивает и немного поворачивается. Он попросил про-

фессора объяснить это явление. Ответа, конечно, он не получил. Вот при каких обстоятельствах человеку впервые в явном виде открылось действие электрического тока на магнит. Может показаться, что, не приди



зоркий студент в тот же день на лекцию или не окажется рядом компаса, явление не было бы открыто в тот день. Однако оно уже «висело в воздухе» и все равно вскоре было бы открыто, но при других обстоятельствах.

Фамилия студента осталась неизвестной, а явление, описанное Г. Эрстедтом и показанное во многих городах Европы, носит его имя.

Отклонение стрелки под действием тока сразу навело ученых и изобретателей на мысль об использовании этого явления для передачи буквенного текста. Если протянуть 32 провода и по каждому из них передавать свою букву, а на приемной стороне у каждого провода поместить по компасу, то, записывая буквы у отклоняющихся стрелок, можно осуществить передачу и прием сообщений. Конечно, при увеличении скорости передачи настанет момент, когда записывающий буквы оператор увидит одновременную пляску всех 32 стрелок и может не справиться с записью. Но это уже другая проблема.

Прокладывать для каждой буквы отдельный провод оказалось весьма дорогим и сложным делом. Выход из этого положения нашел русский ученый и изобретатель П. Шиллинг. В 1829 году он создал первый элект-

ромагнитный телеграф, в котором буквы определялись также положением магнитных стрелок, но число проводов было сокращено в пять раз. Каждая буква набиралась комбинацией токов, посылаемых по нескольким проводам. Это был первый в мире электрический кодовый сигнал.

Сейчас кодовое древо очень пышное. Оно имеет сотни ветвей-кодов, о которых мы еще будем говорить, но ствол его образовался из кода П. Шиллинга. Позже он сократил число проводов до двух. В его записках мы читаем: «Я нашел средство двумя знаками выразить все возможные речи и применить к сим двум знакам всякий телеграфный словарь или сигнальную книжку». То есть уже тогда была предложена двоичная азбука (0 и 1 или «+» и «—»), на которой сейчас работают и связь и ЭВМ.

Телеграф П. Шиллинга по распоряжению Николая I использовался для связи Зимнего дворца с кабинетами министров. Были начаты работы по установлению телеграфной связи между Петергофом и Кронштадтом с прокладкой кабеля по морскому дну. Но смерть ученого в 1837 году не позволила осуществить эти планы.

В 1835 году Россию посетил американский художник и изобретатель С. Морзе. Уже несколько лет он был увлечен идеей создания электрического телеграфа. В работах П. Шиллинга С. Морзе увидел воплощение части своих еще не оформившихся идей, чем сильно огорчился, но и вдохновился на дальнейшее совершенствование уже достигнутого П. Шиллингом.

С. Морзе придумал свою телеграфную азбуку, которая состояла также лишь из двух «кирпичиков». Одним являлся короткий сигнал — точка, вторым, второе большим — тире. Каждой букве присваивается определенная комбинация из этих двух кирпичиков.

Код оказался настолько удачным, что с небольшими модификациями применяется до сих пор. Наибольшее применение он находит при приеме «на слух». Радиотелухач сверхвнимательно вслушивается в комбинации из точек и тире и, невзирая на слабость сигнала и сравнимые с ним помехи, почти без ошибок записывает передаваемый текст.

Вспоминаю, как мы по наивности решили превзой-

ти радиста-слухача, заменив его автоматом с электронной схемой. В автомат вложили все достижения теории того времени и весь свой энтузиазм. И потерпели полное фиаско!

Пока сигнал гордо возвышался над помехами, человек и автомат почти не делали ошибок, и мы начали уже гордиться своим детищем. Но вот помехи стали наступать и сигнал начал тонуть в шумах. Автомат все чаще стал ошибаться. А радист, улыбаясь нам, писал и писал текст с очень небольшим числом ошибок. Наконец автомат стал печатать сплошную абракадабру, а слухач выдавал осмысленный текст, хотя и с ошибками.

И правда, разве мог наш примитивный (по сегодняшним оценкам) автомат соперничать с мозгом и слухом тренированного радиста. Ведь все накопленное эволюцией человека участвовало в селекции сигналов из шумов. Кроме того, код С. Морзе отлично сочетается с избирательными способностями мозга и слуха человека.

Естественно, что для передачи комбинаций из точек и тире достаточно было только двух проводов. А на концах поставить специальные устройства. На передаче С. Морзе применил телеграфный ключ, а на приеме записывающее приспособление — пишущий прием.

Посылая ток по проводам, можно заставить перо пишущего устройства опускаться на ленту при поступлении каждого сигнала, соответствующего точке и тире. Кроме того, С. Морзе применил идею ретрансляции телеграфных сигналов, выдвинутую Джозефом Генри с использованием известного каждому реле. Оно позволило неограниченно увеличить дальность действия телеграфа. В самом деле, если сигнал слабел, включалось реле, которое управляло другой батареей и тем самым усиливало слабеющий сигнал.

В 1843 году С. Морзе осуществил первую дальнюю телеграфную связь между Вашингтоном и Балтиморой (более 60 километров). Провода были подвешены на столбах и деревьях, а изоляторами служили горлышки от бутылок.

Так электрический ток стал переносчиком информации. Так появился новый очень быстрый бегун для переноса информации.

Что же такое электрический ток?

Любой проводник заполнен электронным... газом из хаотически движущихся электронов, которые в проводниках легко покидают орбиты своих атомов. Под действием приложенного напряжения (разности потенциалов) появляется некоторое упорядоченное движение этих электронов: от минуса к плюсу (а ток в цепи считается текущим от плюса к минусу). Это движение передается от одних электронов к другим. Чем сильнее ток, тем больше электронов движется.

Раньше думали, что такое упорядоченное движение электронов может переносить и энергию и информацию только в одну сторону. Но это было чистейшее заблуждение! Направление тока можно менять много раз в секунду, и он будет не хуже выполнять свои функции. Ток с периодическим изменением направления получил название переменного и стал стремительно теснить постоянный. Переменный ток легко трансформировать, усиливать, фильтровать, что и обеспечило ему повсеместно применение.

Так появился новый стремительный носитель информации. А насколько он стремителен?

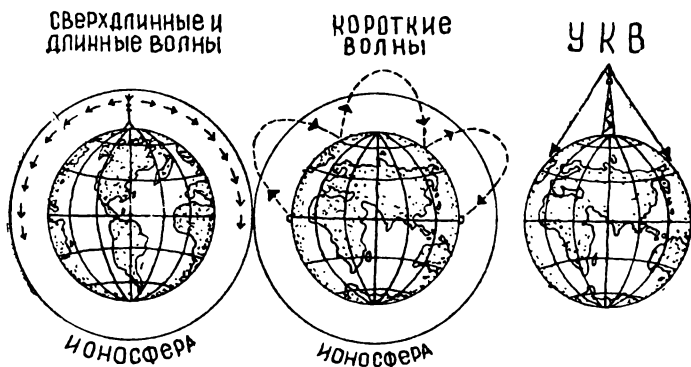
По сравнению с посыльными это, конечно, ураган. Но если сравнить со скоростью света, то электрический ток окажется в несколько раз медленнее. И тем не менее это гигантские скорости, и мы привыкли все считать, что практически ток мгновенно распространяется по проводнику. В самом деле, вы нажимаете кнопку звонка на входной двери и тотчас слышите его звук. В Москве произносите по телефону фразу, и ваш ленинградский собеседник тот же час слышит ее и отвечает на нее.

Всем хорош этот быстроногий разносчик информации, взятый человеком в услужение. А эволюция в своем слепом поиске давно его открыла и широко использует для передачи информации в самих живых организмах. Но есть у него дефект — он может бежать только по заранее проложенным рельсам: по проводам или кабелям. Неугомонному же человеку нужен был быстроногий бегун,двигающийся в любом направлении без всяких рельсов.

И такой бегун был найден!

С радиоволнами, приносящими нам в дом радиопередачи и телевидение, знаком каждый. Всем известно, что этот марафонец, посланный с Земли, легко добежит до Луны, Марса, Венеры. Но не все знают, какие разновидности этих бегунов существуют и какими дорогами разрешает им природа нести информационный груз из одной точки пространства в другую.

Если бы наша планета не была окутана атмосферой, то все радиоволны, независимо от их длины волны, распространялись бы приблизительно одинаково. С их помощью удавалось бы установить связь только в пределах прямой видимости. В этом смысле они не отличались бы от световых лучей. Но Земля укутана не одной, а тремя воздушными шубами.



Первая из них, прилегающая к поверхности планеты, имеет толщину 10—12 километров и называется тропосферой. За ней следует более толстая — стратосфера, — простирающаяся до 60 километров. И наконец, самая толстая шуба и самая важная для радиоволн — ионосфера. Она от стратосферы простирается ввысь на 1000 километров и выше.

Если первые две шубы электрически нейтральны, то в третьей бушует электрический океан. Под действием солнечного излучения и космических лучей в ней происходит ионизация: отрыв электронов от атомов газа. При этом атомы превращаются в положительно заряженные ионы.

Степень ионизации измеряют числом свободных (оторванных от атомов) электронов. Их число в одном кубическом сантиметре доходит до одного миллиона.

И эта столь многочисленная воинственная армия хаотически движущихся свободных электронов создает непреодолимый барьер для некоторых радиоволн.

Самые медленные колебания, используемые для радиосвязи, лежат в пределах от 3 тысяч до 300 тысяч герц (от 3 до 300 килогерц). Они получили название сверхдлинных и длинных волн — (от 100 до 1 километра). И это название отражает их природу: всего за один цикл колебаний эти волны пробегают путь от 1 до 100 километров.

Очень интересен характер их распространения, вскрытый в последние десятилетия. Полупроводящая поверхность Земли и нижняя граница ионосферы создают для этих волн как бы сферический коридор (специалисты говорят — волновод), в котором и бегут эти волны. Сигналы на этих волнах хорошо огибают поверхность Земли, но быстро затухают. Поэтому только при больших мощностях передатчиков (сотни и тысячи киловатт) на этих волнах удастся передавать сигналы на тысячи километров. Очень малая частотная протяженность этого диапазона (она не может вместить даже $1/10$ полосы одного телевизионного канала) определила его использование для передачи сигналов дальней навигации, сигналов точного времени и метеосводок.

Не останавливаясь на малоинтересных для радиосвязи средних волнах, перейдем сразу к коротким (КВ). Это частоты от 3 миллионов до 30 миллионов герц (от 3 до 30 мегагерц — Мгц) или радиоволны длиной от 100 до 10 метров.

Коротковолновый диапазон, как ни один другой, насыщен и перенасыщен телеграфными, фототелеграфными, телефонными и радиовещательными станциями. Здесь часто одна станция налезает на другую, а на эти две накладывается третья. Чем объяснить такую популярность этого диапазона?

Суть в путях распространения коротких волн. Для них ионосфера является непреодолимым барьером и отражает их почти так же легко, как зеркало световой зайчик. Второе зеркало для них — земная поверхность. Таким образом, многократно отражаясь от этих двух зеркал, радиоволна может достичь любой точки земного шара при незначительном затухании.

Более того, КВ-волна может обегать несколько раз вокруг земного шара и создать радиоэхо: один посланный импульс будет приниматься несколько раз со сдвигом во времени.

Благодаря такому «зеркальному» распространению коротких волн в этом диапазоне удается держать радиосвязь с очень далекими корреспондентами (даже антиподами) передатчиком мощности, не большей мощности комнатной лампочки. В этом диапазоне работают десятки тысяч радиолюбителей-коротковолновиков разных стран. Охота за освоение дальних связей настолько увлекательна, что многие радиолюбители ночи напролет проводят не в постели, а в «эфире». Кстати, честь открытия КВ-диапазона и его удивительных возможностей принадлежит именно радиолюбителям.

Диапазон КВ более столетия был основным видом дальней радиосвязи на нашей планете. Потом ему на помощь пришли спутники связи. Но так как их еще мало, основной груз информации на большие дистанции по-прежнему несут КВ-бегуны. Связь с самолетами и кораблями, с дальними населенными пунктами и экспедициями, дальняя военная связь и т. д. — все это в диапазоне КВ. Вот почему он так перенаселен.

КВ-сигнал, устремившись к ионосфере, проникает в нее довольно глубоко. Но в ней царит настоящий электрический хаос, подобный бурям и штормам в океане. Временами «зеркало» начинает плохо отражать, «изображение» расплывается, и связь нарушается.

Можно написать книгу, даже поэму о героической борьбе человека... с ионосферой. Выдвинуты десятки блестящих идей, сделаны сотни остроумных изобретений, проведены тончайшие теоретические и экспериментальные исследования для того, чтобы на КВ-волне донести информацию потребителю вопреки ионосферному хаосу. Тут и новые методы погрузки информации на волну, и правильный выбор рабочей волны для данной трассы и данного состояния ионосферы, и кодирование сигналов, и остронаправленные антенны и даже использование шумоподобных носителей информации.

Результаты, конечно, есть, и существенные. Но все эти методы не могут решить проблему дальней связи на планете. Дело в том, что протяженность все

го КВ-диапазона по частоте очень мала (3—30 Мгц). В нем едва можно поместить пять телевизионных программ! А жизнь требует передачи на дальние расстояния в сотни и тысячи раз большего потока информации.

Казалось бы, есть диапазон радиоволн, где можно решить такую задачу, — это ультракороткие волны (УКВ): метровые, дециметровые, сантиметровые (частоты от $30 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^{10}$ герц — от 30 до $3 \cdot 10^4$ Мгц). В нем можно разместить, если пользоваться нашим сравнением, более тысячи телевизионных каналов. Беда в том, что УКВ-волны не отражаются ионосферой обратно на Землю, а беспрепятственно уходят в космос. Кроме того, луч УКВ не огибает Землю, как длинные или сверхдлинные волны, а распространяется только по прямой, и связь с его помощью можно установить только в пределах прямой видимости. Как же заставить волны преодолевать большие дистанции?

Первое решение состояло в сооружении ретрансляционных станций на пределе прямой видимости. На удалении 25—30 километров друг от друга строятся станции, которые принимают сигнал, усиливают его и передают следующий. Построив цепочку таких ретрансляторов, можно заставить УКВ-сигнал бежать далеко за пределы прямой видимости.

Но такой способ связи очень дорого стоит, да и сигнал жестко привязан к данным станциям. На выручку пришли искусственные спутники Земли (ИСЗ). Ведь если на них установить ретранслятор, то его антенна будет «видеть» значительную часть земного шара и может осветить ее своими сигналами. Наш спутник связи «Молния», например, «видит» сразу всю территорию Советского Союза. На этом пути и лежит фундаментальное решение проблемы дальней связи на планете.

Последние десятилетия ознаменовались разработкой оптических генераторов — лазеров. Человек научился добывать и в этом диапазоне колебания, близкие по своим свойствам к синусоидальным. Обычный белый свет, как мы знаем, есть смесь многих частот, и его невозможно использовать как несущее колебание, кроме передачи простых световых сигналов типа миганий.

Появилась возможность передачи информации на

радиоволнах оптического диапазона. Частота колебаний здесь невероятно высокая. Так, участок частот видимого света занимает частоты от $4 \cdot 10^{14}$ до $7,5 \cdot 10^{14}$ герц, то есть в секунду синусоида делает значительно больше полных циклов, чем миллион миллионов раз!

Этот диапазон открывает безграничные возможности для передачи информации. В световом участке спектра можно разместить миллионы телевизионных каналов связи.

Но и у этих волн есть существенный дефект: они боятся дождя, снега, тумана, дымки и мглы. При хорошей погоде эти волны обеспечивают дальность порядка 20 километров (прямая видимость). В противном случае она резко уменьшается, и связь может нарушиться полностью.

Широкий простор для использования волн оптического диапазона открывает космос. Достаточно выйти за пределы тропосферы, где нет атмосферных осадков, и ничто не препятствует их распространению. Передатчики и приемники на этих волнах за пределами тропосферы свяжут орбитальные станции и космические корабли, удаленные практически на любое расстояние друг от друга.

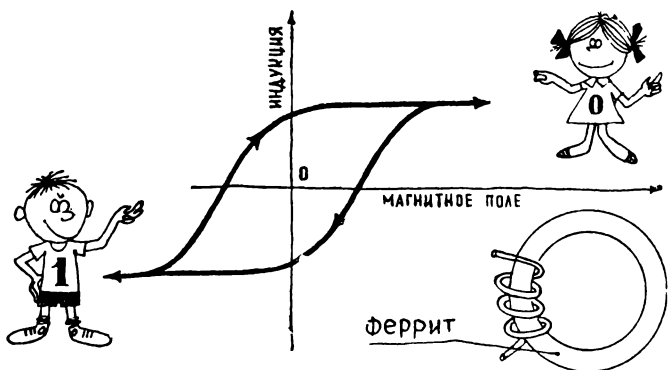
Как обстоит дело с переносом информации во времени? Можно ли ее «туда-сюда» двигать по этой координате? Человечество живет не только в пространстве, но и во времени. Следовательно, для связи времен есть острая потребность передавать различные сведения и во времени.

Каждый из нас ежедневно занимается передачей информации во времени, но только в одном направлении: из настоящего в будущее. В самом деле, вы записали в книжку телефон приятеля, тем самым начали передавать его в будущее. Эта передача будет длиться, пока будет существовать записная книжка. Газета, сообщающая свежие новости сегодня, становится передатчиком этих сведений в будущее. Если скажем, человек 2000 года захочет вернуться в прошлое и узнать, что творилось на планете сегодня, когда пишутся эти строки, то он в библиотеке все узнает.

Войдя в лифт, вы нажимаете кнопку своего этажа. Лифт трогается; в его памяти хранится номер этажа.

и она даст команду лифту остановиться там, где надо. Далее эта информация не нужна, и она тут же стирается.

Следовательно, зафиксировав или запомнив тем или



иным способом информацию, мы делаем ее достоянием близкого или далекого будущего, в зависимости от типа запоминающего устройства.

А нельзя ли заставить информацию из будущего прийти в настоящее? Узнать, например, как будет жить человечество в том же 2000 году?

Иногда прогнозистов и футурологов называют добытчиками информации из будущего. Они действуют по известному правилу: изучают тенденции развития человечества за истекшие десятки, сотни, а иногда и тысячи лет и пытаются их продолжить в будущее. Такие прогнозы делались в прошлом и делаются сейчас. И надо честно признаться, что жизнь иногда опрокидывает эти предсказания.

Есть еще одна возможность заглянуть в будущее. Но решившийся на это смельчак должен, во-первых, навсегда проститься с друзьями и родственниками и со всей земной цивилизацией своего времени. Во-вторых, оседлать космический корабль и, полетав на нем со скоростью, близкой к световой, вернуться на Землю. Как показal А. Эйнштейн, бег времени замедляется с увеличением скорости движения. Поэтому на корабле оно будет течь черепашьими темпами, биологические процессы в организме смельчака замедлятся,

а земляне с той же скоростью будут «лететь» в свое прекрасное будущее. В зависимости от скорости полета и его длительности смельчак по возвращении может увидеть планету, прожившую уже сотни и тысячи лет! Пока таких «световых» кораблей нет. Но нет сомнений в том, что они будут.

Таким образом, пока реальной остается только передача информации из прошлого и настоящего в будущее.

Первым запоминающим устройством, или первым таким передатчиком, был, конечно, мозг животных, возникший в процессе многих миллионов лет эволюции. Выживал и побеждал тот, кто лучше помнил места добычи пищи, опасности, хорошие укрытия, водопой.

Человек, вырвавшись из царства животных благодаря труду, стал быстро совершенствовать свой мозг, свою память. Какую же информацию может вместить мозг современного человека?

Так как теория пока не в состоянии точно определить объем человеческой памяти, то имеются только приблизительные оценки этой величины. Будем измерять количество информации универсальной единицей, называемой битом. Подробно эту меру мы разберем в следующей главе. А сейчас для ориентировки отметим, что буквы и слова легко пересчитать в биты: одна буква русского алфавита содержит округленно 5 бит, значит, слово из шести букв — 30 бит.

Оценки различных ученых емкости нашей памяти колеблются в широких пределах — от 10^6 до 10^{21} бит. Истина, по-видимому, лежит где-то около 10^{12} — 10^{15} бит. Много это или мало?

Для ответа приведем одно число — информация, содержащаяся во всем книжном фонде публичной библиотеки имени В. И. Ленина, составляет величину порядка 10^{13} бит. Использует ли человек все резервы своей памяти?

К сожалению, нет. Дело в том, что скорость восприятия человеком информации, или, на языке ЭВМ, скорость ввода информации, не превышает 25 бит в секунду, то есть приблизительно одного слова в секунду. Представим себе индивидуума, который решил получить максимум информации. В течение 70 лет он ежедневно стал вбирать различные сведения со ско-

ростью 25 бит в секунду по десяти часов в сутки без выходных. Такой ненасытный потребитель информации воспримет за жизнь не более $3 \cdot 10^9$ бит. То есть он загрузит свой мозг не более одной тысячной его возможности, если принять емкость памяти 10^{12} , и не более одной миллионной, если 10^{15} бит. Возникает вопрос: зачем эволюция заложила такие колоссальные резервы человеческой памяти, такую огромную ее избыточность?

Пока ответа на этот вопрос нет.

Несмотря на великое совершенство человеческой памяти, она имеет и недостатки. Главным из них является то, что весь накопленный человеком опыт, вся информация, хранимая в его памяти, не передается биологическим путем его потомству, а бесследно разрушается вместе с разрушением клеток головного мозга.

Другой недостаток тот, что не всегда удастся в нужный момент воспроизвести и использовать ранее запомненную информацию. Наблюдается частичное или полное забывание ее, хотя позже при некоторых условиях она может быть воспроизведена.

Для преодоления этих недостатков уже далекие наши предки пользовались простейшими запоминающими устройствами — надламывали ветки, складывали камни, делали на деревьях зарубки.

Но борьба за существование заставляла находить более совершенные способы запоминания информации. Индейцы использовали для этого разноцветные раковины; инки — узловое письмо — кипу: каждая кипу состояла из длинного основного шнура, к которому прикреплялись другие шнуры с различными узлами и бахромой разного цвета.

Появились петроглифы — высеченные на камне знаки и изображения фигур, дошедшие до наших дней. Это были первые прообразы графического способа хранения передачи информации.

В четвертом тысячелетии до нашей эры появились древнеегипетские письмена, составленные из изобразительно-образных знаков — иероглифов. Они обозначали целые понятия, отдельные слоги слов.

Революция в развитии письма, как способа фиксации речи, позволившего передавать ее на расстояние

и закреплять во времени, связана с появлением и развитием буквенно-звукового (алфавитного) письма. Материальный носитель письма менялся: были глиняные плитки, потом кожа, папирус, пергамент, береста и, наконец, бумага.

Следующим не менее революционным шагом было изобретение книгопечатания. Человечество получило возможность надежно накапливать свой опыт и передавать его от поколения к поколению. Это было куда надежней, чем устные предания, песни и легенды.

На помощь книгам пришла фотография, а затем и кино.

Когда смотришь документальный звуковой цветной стереофильм, кажется, сам охотишься на тигров и зимуешь в Антарктике...

А изобретатели идут дальше: они мечтают донести до зрителя благоухание цветов и трав, запахи напитков и кушаний. Уже высказывалась идея — установить перед киноэкраном десяток сосудов с разными пахучими жидкостями и автоматически распылять пульверизаторами в зале те из них, которые сочетаются с сюжетом фильма.

Позже были изобретены устройства для записи и воспроизведения звуков. По мере развития техники они совершенствовались.

Вначале был простенький фонограф. Его сменил величественный с трубным голосом граммофон — мечта наших прабабушек и прадедушек.

Граммофон уступил место патефону, который получил гораздо более широкое распространение, чем его предшественник, и имел много модификаций.

Но и он оказался бессильным в состязании с современным звукозаписывающим и воспроизводящим аппаратом — магнитофоном.

Появление электронных вычислительных машин (ЭВМ) потребовало разработки принципиально новых запоминающих устройств.

Чтобы выполнять расчеты, машина должна очень многое помнить: и правила выполнения операций, и входные данные, и промежуточные результаты, и необходимые константы, и т. д.

Устройства, способные хранить всю эту информацию, различны: бумажные перфокарты, электромагнит

ные реле, электроламповые реле (триггеры), линии задержки из катушек и конденсаторов, ртутные линии задержки, электронные трубки с большим послесвечением, магнитофоны.

Однако все они были громоздки, медлительны и ненадежны.

Для цифровых, или дискретных, ЭВМ, а они являются наиболее перспективными, была найдена запоминающая элементарная ячейка, состоящая из миниатюрного ферритового сердечника и нескольких витков проволоки на нем. Такой сердечник, обладающий прямоугольной петлей гистерезиса, может находиться только в одном из двух состояний намагничивания, и импульс, проходящий по виткам, легко переводит сердечник из одного состояния в другое. Так как в ЭВМ используется обычно двоичная система счисления, то одному состоянию сердечника присваивается цифра 1, а другому 0.

Емкость памяти на ферритовых сердечниках у некоторых ЭВМ достигает десятков миллионов бит, при скорости ввода их менее миллионной доли секунды.

Запоминающие устройства находят последние десятилетия широкое применение в системах связи. Оказалось, что для максимальной защиты приемника от помех приемник должен иметь свою память. Он должен помнить целую серию принятых посылок и, производя с ними некоторые математические операции, определять наиболее вероятное значение принятых сигналов.

При этом в памяти приемника должны быть записаны те основные «кирпичики», из которых на передаче набирают сообщение. В случае двоичных сигналов приемнику нужно помнить образец сигнала, которым передается 1, и образец сигнала для передачи 0. При поступлении на вход приемника из антенны некоего искаженного помехами сигнала надо установить, на какой из двух «портретов» (1 и 0) он больше похож. Делает это, конечно, не оператор, а схема, применяя определенные математические правила.

Наименьшие ошибки на выходе приемника будут тогда, когда искаженному сигналу будет присваиваться значение «портрета», на который он больше похож.

Есть методы передачи (их называют относительными), когда «портретом», с которым надо сравнивать сигнал, является предыдущая посылка. Это требует введения кратковременной памяти в приемник ровно на длительность одной посылки.

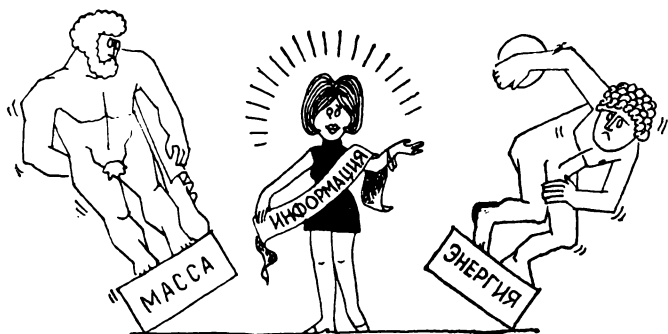
**ЧТО ЖЕ ЭТО
ТАКОЕ?**



Процессы передачи информации буквально вездесущи. Неутомимые бегуны непрерывно разносят ее в пространстве на гигантские и на крохотные расстояния. Живое не может существовать без приема и передачи информации. Ни одна умная машина, созданная человеком, также не может обойтись без этих процессов.

Разнообразие переносчиков информации огромно. Вскроем сущность процесса передачи информации.

Профессор стремительно входит в аудиторию, бросает свой выдавший виды портфель в угол за кафедру, хватает мел и, даже не взглянув на аудиторию, начинает доказывать очередную теорему. Иными словами, начинает передавать накопленные десятилетиями знания и мудрость еще пока малоразумным студентам. Как будто налицо типичный процесс передачи ин-



формации. Ведь по всем словарям и энциклопедиям этот процесс определяется как процесс передачи сообщений, осведомляющих о чем-либо.

Но вот профессор отвернулся от доски, окинул аудиторию взглядом и ахнул. Ни единой души! Мел выпал из руки. Лицо побледнело. Печально кивнув наполовину доказанной теореме, он покинул аудиторию. Передача информации не состоялась.

Процесс передачи требует обязательного наличия двух элементов: передающего и принимающего. Второй элемент в нашем эпизоде полностью отсутствовал. Только наличие передающего и приемного элементов образует, как принято теперь говорить, систему связи, в которой возможна передача информации. Чтобы не погрешить против истины, к этому следует добавить третий обязательный элемент — среду, ко-

торая разделяет передающий и приемный элементы и в которой происходит перенос информации от одного элемента к другому.

Так, если бы студенты присутствовали в аудитории, но в аудитории был бы вакуум, то они не слышали бы слов лектора, а только видели бы написанное на доске. Если эту аудиторию к тому же затемнить, то ни звуковая, ни световая информация не поступала бы студентам: система связи отсутствовала бы.

Таким образом, процесс переноса информации в пространстве имеет место тогда и только тогда, когда эта информация принимается потребителем. Передающий элемент (в нашем примере профессор) передает некую информацию. И эта информация может «проявиться» или «выделиться», только соединяясь с потребителем (у нас со студентом). Более того, ценность этой выделяемой информации неодинакова для разных потребителей. Студент, увлеченный идеями курса, любящий математику и не забывающий ее (хотя она давно сдана!), да еще успевший пролистать свои заметки по предыдущей лекции, все понял в построениях профессора и получил и максимум информации, и максимум удовольствия. А вот очень модно одетая студентка, сидящая в первом ряду и явно старающаяся понравиться лектору (авось это поможет на экзамене), избрала неверный путь. Она уподобилась плохой стенографистке, которая очень старательно записывает каждое слово профессора. О сути доказываемой теоремы ей абсолютно некогда думать, да и ни к чему. Ведь экзамен не скоро, все равно все забудется. Важно иметь конспект — стенограмму, а там за пару дней, а иногда и ночей, с божьей помощью, а иногда и с помощью толкового студента можно будет как-то осилить всю эту премудрость.

Наконец, если лекцию профессора посетил его коллега, которому доказанная теорема не только известна, но и известны все методические приемы и «фокусы» ее доказательства, то по сути излагаемого материала он никакой информации не получил, или, как модно сейчас говорить, получил нулевую информацию. Правда, это не совсем точно: коллега узнал, какой методикой доказательства профессор пользовался именно на данной лекции.

Итак, во-первых, бессмысленно говорить об инфор-

мативности любого источника информации (книги, картины, радиопередачи, человеческой речи), если не указан потребитель этой информации, хотя бы гипотетический, и, во-вторых, ценность или содержательность получаемой от источника информации не есть постоянная величина, определяемая источником, а зависит от потребителя информации.

Трудности в измерении или вычислении ценности той или иной информации для различных ее потребителей настолько велики, что пока на этот счет нет ни удовлетворительной математической теории, ни подходящих критериев. Поэтому при анализе систем связи оценка количества передаваемой информации производится, как мы увидим ниже, без учета ее содержательности. Попросту говоря, оценивается количество знаков или букв, которые можно передать по системе связи, оценивается, какое их количество будет в среднем искажено под действием помех в системе. То есть вопрос о том, какая информация составлена из этих знаков или букв — очень важное сообщение или абракадабра, — полностью игнорируется.

Когда же на нашей планете появились первые системы связи, когда возникли первые процессы передачи информации?

Все это появилось только с зарождением жизни на Земле. Мертвая материя не способна оперировать информацией.

Любой живой организм, даже самый наипростейший, не может существовать без двух взаимосвязанных процессов: передачи информации и управления. На основе информации об изменениях в обитаемой среде, получаемой через органы чувств, живой организм управляет своими органами тела и приспосабливается к новым условиям. Только эти два брата-близнеца — информация и управление — обеспечивают длительное существование любых биологических организаций. Более того, длительное сохранение данного вида, или «конвейера жизни», так же невозможно без этих двух процессов.

Вот такой (кибернетический) взгляд на все живое появился сравнительно недавно и связан в первую очередь с американским ученым Норбертом Винером (к его главным идеям мы еще вернемся). До этого понятие информации связывалось только с человеком. Счи-

талось, что только человек обладает сознанием, а по-сему только он и способен вырабатывать информацию об окружающем его мире. Но кибернетика устроила ему «суд справедливости» и часть незаконно присвоенной человеком гордости отняла и передала ее всей остальной живой материи. Ведь только благодаря своей системе связи и управления амеба ухитрилась быть у колыбели всего живого на Земле и благополучно дожить до наших дней, быть нашей современницей. Ее биологический конвейер практически бессмертен, он бесперебойно работает уже миллиарды лет (не миллионы, а именно миллиарды!).

Кибернетика как бы открыла глаза человеку на вездесущность процессов передачи информации и управления. Эти революционные идеи вторглись почти во все сферы деятельности человека. Приведем пример. В связи с проблемой контакта с внеземными цивилизациями и началом широкого фронта работ по поиску сигналов от других разумных существ очень важно было дать функциональное определение цивилизации вообще. Иными словами, кратко сформулировать сущность любого сообщества разумных существ, справедливого, скажем, и для звезды тау Кита, и для возможных обитателей туманности Андромеды, и для могучих сверхцивилизаций, управляющих ближайшими, а может, и далекими звездами.

Одно из лучших таких определений дал, на мой взгляд, Николай Кардашев, советский астрофизик:

«Цивилизация есть высокоустойчивое состояние вещества, способное *собирать, абстрактно анализировать и использовать информацию* (курсив мой. — Н. П.) для получения максимума сведений об окружающем и самом себе и для выработки сохраняющих реакций».

Лучшей серенады всемогущей фее — информации — и быть не может! Главным признаком цивилизации является сбор и анализ (заметьте, абстрактный, что не под силу животным) информации и использование ее для длительного сохранения своего вида, своего сообщества.

Конечно, несколько обидно называть цивилизацию «высокоустойчивым состоянием вещества», а ее науку и технику, музыку и поэзию, любовь и дружбу просто сохраняющими ее реакциями. Но это дань краткости и проявление той самой способности абстрактно анали-

зировать и абстрактно формулировать, которая отличается человека от пчелки, муравья и им подобных.

Но что же такое информация, без которой не может существовать ни живая материя, ни машина, начиная от простейшего регулятора и кончая электронными вычислительными комплексами, ни любое сообщество живых существ, включая и человеческую цивилизацию?

Как нам известно со школьной скамьи, в основе всего сущего находится движущаяся материя и энергия, являющаяся общей мерой различных форм движения материи (механическая, тепловая, электромагнитная, ядерная, гравитационная, аннигиляционная и др.). Кибернетика выявила еще одно общее свойство материального мира, которое и не материя, и не энергия — это информация. Процесс переноса информации в пространстве может быть совершен, как мы видели в предыдущей главе, только неким материальным носителем, способным распространяться в среде, разделяющей корреспондентов. Но энергетическая сторона процесса передачи информации является третьестепенной и не характеризует этот процесс.

Можно ли дать определение этому феномену «информация», который смело стал рядом с такими гигантами, как материя и энергия.

Заглянув в словарь русского языка С. Ожегова, мы читаем: «Информация — сообщения, осведомляющие о **положении** дел, о состоянии чего-нибудь».

Значит, информация — это есть сообщения. Раскрываем словарь на этом слове: «Сообщение — то, что сообщается, известие».

Делаем подстановку второго в первое и получаем: информация есть то, что сообщается, известие. Но ведь это просто перевод на русский язык. Латинское слово *informatio*, от которого происходит слово информация, означает сообщение о каком-либо событии. Словарь не помог нам.

В «Физическом энциклопедическом словаре» находим очень краткое определение: «Информация — основное понятие кибернетики».

С этим вполне можно согласиться, тем более что мы уже сами к этому пришли. Но нас интересует само это «основное понятие», его определение.

Вот книга, название которой вселяет надежду,

«Природа информации» (Над чем работают, о чем спорят философы), автор А. Д. Урсул.

На 284-й странице находим итоговое определение: «Информация — это разнообразие, которое один объект содержит о другом объекте (в процессе их взаимодействия)»; и несколькими строчками ниже: «Информация может рассматриваться и как разнообразие, которое является как бы результатом отражения объектом самого себя, то есть самоотражения». Надежда катастрофически гаснет. Без специального философского образования овладеть глубиной этих определений и автору и читателю, по-видимому, не удастся.

Рискнем заглянуть еще в одну монографию: Н. И. Жуков, «Информация» (Философский анализ центрального понятия кибернетики). Автор «разрубил» тело единой информации на много кусков: актуальная, свободная, связанная, мертвая, потенциальная. Изучая взаимодействие всех этих видов информации, автор приходит к следующему определению: «Информация — это сторона отражения в живой природе, обществе, технике, момент движения, упорядоченное изменение, используемое для управления».

Самое интересное для нас: какая именно это «сторона отражения», не раскрывается в монографии. Но надо отдать должное автору, он сам называет свое определение информации довольно тощей дефиницией. Предлагаю мирно согласиться с ним.

У Н. Винера («Кибернетика и общество») мы находим наиболее глубокое определение: «Информация — это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему наших органов чувств». К сожалению, оно относится только к частному случаю восприятия информации живым организмом из окружающей среды.

Не останавливаясь на ряде других определений, которые, являясь комбинацией приведенных, не вносят ясности, приходим к выводу, что наш поиск не увенчался успехом. Причина, по-видимому, в том, что понятие информации слишком молодо, еще не осознано до конца и находится в стадии познания человеком. И это вовсе не значит, что отсутствие краткого всеобъемлющего определения информации не позволяет успешно его использовать при различных исследованиях и расчетах. (Ситуация напоминает следующую.

До сих пор нет четкого определения границы между «разумным животным» и «неразумным животным». Однако это не затрудняет нас в проведении этой границы. Правда, трудности могут возникнуть, если мы встретимся с загадочными «животными» иных цивилизаций, а критерия для проведения этой границы так и не найдем к тому времени.)

Нередко в разговоре употребляют количественную меру информации, часто не понимая ее: «В его докладе ни бита (ни грамма) полезной информации», «Я устал от разговора с ним, он вылил на меня ушат ненужных мне, отрицательных битов информации». В литературе появился термин «мегабитовая бомба», то есть бомба в миллион бит информации. Ее взрыв и есть тот «информационный взрыв», в котором якобы может погибнуть человечество. Но что же такое один бит информации, что это за единица измерения?

Я наконец получил отпуск и, удирая от московской суеты, городского смрада и телефонных трелей, мчусь на машине к морю. Подъезжаю к развилке. Оба рукава сверкают асфальтом и оба наезжены. Какой ведет к морю? Ищу ответ в надписях на столбах: «Водитель, береги дорожный знак, он твой друг» (я только на это и надеюсь!), «Останавливайся только на обочине» (эту заповедь я уже выполнил), «Физкультура укрепляет здоровье военнослужащего» (почему только его?). Надписи все. Они не помогли мне сделать выбор одной из двух дорог. Полученная информация равна нулю. Но вот мчится машина. Кричу во все горло:

— Какая ведет к морю?

— Правая, только правая.

Полученная информация позволяет сделать правильный выбор из двух вариантов, из двух возможных исходов.

Математики и физики сошлись на том, что за единицу информации и удобно и логично принять такую дозу информации, которая уменьшает наше незнание в каком-то вопросе вдвое, позволяющая сделать выбор из двух равноправных возможностей. При этом, конечно, игнорируется значимость этого выбора.

Вот еще несколько примеров получения информации, равной единице.

— В каком полушарии находится самая высокая горная вершина?

— В северном.

— В какой половине года планировать вам отпуск?

— В первой.



Студент в растерянности: долг обязывает идти на лекцию, неутоленная жажда приключений зовет в кино на новый детектив. Как сделать выбор из двух возможностей? Бросается монета. Ура! Детектив.

Во всех приведенных случаях количество получаемой информации равно одному биту (единице).

Перейдем теперь к более сложному случаю: к выбору из четырех возможных исходов. Так, если понадобилось планировать отпуск с точностью до квартала, то в последнем примере надо задать еще один вопрос.

— В каком квартале первого полугодия?

— Во втором.

Еще один пример. Ваш приятель спрятал под одной из четырех пиал монету. Как с помощью только двух заданных ему вопросов, с ответами только «да» или «нет», найти ее?

— Монета находится под первой или второй пиалой?

— Нет.

— Монета находится под четвертой пиалой?

— Нет.

Монета найдена, она под третьей пиалой.

Из примеров следует, что при выборе из четырех

равноправных исходов уже нужна не одна, а две единицы информации.

Если бы мы запрятали монету под восемь пиал, то для отгадки понадобилось бы не две, а три единицы информации. После первого вопроса: где монета — в первых четырех или в последующих четырех пиалах? — мы пришли бы к ситуации с четырьмя пиалами. Следовательно, нахождение монеты при восьми вариантах требует трех единиц информации. Не рискуя дальше наращивать число пиал (мне и так дома достается за битье посуды), прошу читателя поверить такой таблице:

Выбор из двух	— одна единица информации
Выбор из четырех	— две единицы »
Выбор из восьми	— три » »
Выбор из шестнадцати	— четыре »
Выбор из тридцати двух	— пять единиц
Выбор из шестидесяти четырех	— шесть
и так далее.	

Из этих цифр усматривается любопытная зависимость между числом вариантов N , или исходов, и числом единиц информации J , необходимым для принятия решения,

$$N = 2^J.$$

Логарифмируя это выражение по основанию два, получаем

$$J = \log N.$$

Вот мы и вывели сообща формулу для вычисления необходимого количества информации, которую предложил американский ученый Р. Хартли еще в 1928 году. Она гласит: «Информация, необходимая для выбора из N равноправных вариантов, равна логарифму числа вариантов».

Логарифмическая функция, наша школьная знакомая, возрастает очень медленно с ростом числа. Значит, и потребное количество информации с ростом числа вариантов растет очень медленно. Так, продолжая нашу таблицу для большого числа исходов, легко найдем, что при 512 вариантах необходимо только 9 единиц информации, чтобы принять решение, а при $N = 4096$ только на три единицы больше, то есть 12.

Иногда удивляются тому, как опытный следователь, получая от обвиняемого скупые ответы только в виде единиц информации — «да» или «нет», быстро распутывает дело. Ему, безусловно, помогает выведенная нами логарифмическая зависимость.

Единичная доза информации, которая получается из нашей формулы, если в ней положить $N=2$ ($\log_2 2=1$), получила международное название «бит». Оно происходит от сокращения английских слов binary digit, что значит двоичная единица.

У дотошного читателя, наверное, уже давно появилась законная претензия к автору, который оперирует все время числом исходов, точно равных двойке, возведенной в степень целого числа. А как быть с другим числом вариантов? Ну, например, с $N=50$? Сколько бит информации тут необходимо? Здесь нас выручают таблицы логарифмов. Ведь «логарифм числа N , по основанию два, есть степень, в которую надо возвести основание, чтобы получить это число N ». Не беда, если эта степень будет не целая, а дробная. Заглядываем в таблицу двоичных логарифмов. Для $N=50$ находим $J=5,644$.

Из наших примеров следует, что мы в жизни на каждом шагу пользуемся этой минимальной дозой информации в один бит.

Проснувшись утром, вы сразу задаете себе вопрос: «Немедленно вставать или еще полежать? Да или нет?» Секунда уходит на ориентацию во времени, и вы принимаете решение: «Нет, еще не вставать, еще понежиться».

Раздается голос жены: «Что на завтрак — омлет или глазунью?»

Вы еще сонным голосом сообщаете ей ровно один бит информации: «Омлет», сделав четкий выбор из двух вариантов, из двух исходов.

А кто не подсказывал в школе товарищу движением головы, чтобы сообщить ему ровно один бит информации: «Да» или «нет»? Не случайно жизнь выработала этот метод четкого вопроса: «Да» или «нет»? Он требует принятия решения и четкого ответа в виде одного бита информации — либо «да», либо «нет», он требует ухода из болота ни «да», ни «нет», скорее «да», чем «нет», и «да», и «нет».

Эта порция информации, этот бит обладает очень

ценными свойствами. Он наиболее прост и надежен в передаче на расстояние: кивок головой, взмах рукой, возглас, выстрел, взрыв, световой зайчик, костер, ракета и т. д.

Для систем проводной и радиосвязи бит просто клад. В силу своей простоты — ведь надо передать только «да» или «нет» — он отлично сражается с помехами и обеспечивает наибольшую дальность и наименьшие ошибки.

Наконец, — самое главное — из этих простых дальнобойных посылок типа «да — нет» (в канале связи это может быть + и —, 0 и 1, излучение и отсутствие излучения) можно составить любую сложную информацию, как из простых кирпичей создают чудеса архитектуры. Даже, точнее сказать, наоборот — любую информацию: речь, музыку, изображение — можно разложить на простые биты типа «да — нет», передать их в таком надежном виде по каналам связи, а затем снова восстановить исходную информацию. Как это делается, мы покажем ниже.

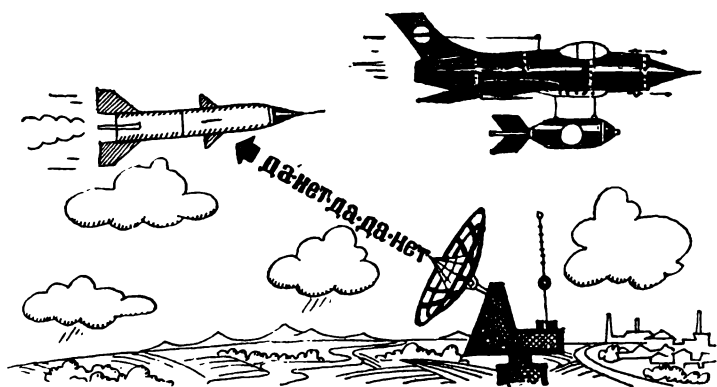
Итак, если мы передаем из одной точки пространства в другую одну посылку, которая может принимать только одно из двух значений — «да» или «нет», то мы сообщаем ровно один бит информации.

При этом передаваемая информация совершенно не зависит от вида переносчика; это может быть звук, свет, электрический ток, радиоволна, луч лазера и т. д.

Попытаемся использовать наше первое знакомство с его величеством битом для решения задачи. Необходимо определить потребное число битов для передачи ряда команд на борт, скажем для определенности, зенитной ракеты класса «земля — воздух» с помощью системы радиуправления. Рискнем?

Пусть наша условная ракета охраняет небо мирного, цветущего города. Локаторы дальнего и ближнего обнаружения неустанно следят за небом. Обнаружен вражеский самолет. Локаторы тут же начинают передавать его текущие координаты (а они действительно текут очень быстро — самолет сверхзвуковой) на электронную вычислительную машину. В некоторый момент, сопоставляя координаты самолета, скорость его движения (и ее производные) с записанными в памяти

машины параметрами ракеты, электронный робот дает старт ракете. Теперь начинается буквально погоня ракеты за самолетом, несущим людям горе. В этот острый момент, как это любят делать авторы детективных романов, мы прервемся для наших простых расчетов.



Самолет может менять и траекторию полета, и скорость движения в поисках цели и уклонения от ракеты. Поэтому для коррекции траектории полета ракеты и успешного совершения акта возмездия за нарушение мирной жизни на ее борт может потребоваться передача, скажем, всего семи команд:

1. «Вверх».
2. «Вниз».
3. «Вправо».
4. «Влево».
5. «Торможение».
6. «Включение радиосамонаведения».
- 7 «Взрыв».

Автомат или оператор, наблюдая движение самолета и ракеты, должен будет выбирать необходимую в данный момент команду из семи возможных. Здесь уже не простой выбор из двух исходов (так было бы, если бы было только две команды, например «включение радиосамонаведения» и «взрыв»), а из семи, и только двумя одиночными посылками нам не обойтись. Налицо более сложный выбор, и он требует информации больше чем один бит.

Выше мы установили, что потребное число битов

равно логарифму числа исходов. Значит, в нашем случае это будет $\log_7$. По таблице логарифмов находим $\log_7 = 2,8$ бита. Так как удобно передавать целое число битов, то, округляя, получаем 3 бита. Одна посылка типа «да — нет» сообщает один бит информации. Следовательно, для передачи информации в 3 бита надо команду составить из трех посылок типа «да — нет».

В радиолинии управления ракетой посылку, принимающую два качества, можно реализовать по-разному.

Вспользуемся простейшим: если наземный передатчик посылает излучение на частоте F_1 , то это значит «да», а если на частоте F_2 , то это «нет».

Таким образом, каждая из наших команд будет состоять из трех посылок, а каждая из этих трех посылок может быть либо «да», либо «нет». Сколько же различных комбинаций мы можем в этом случае образовать? Вот они:

- 1) ДА ДА ДА ($F_1F_1F_1$); 2) НЕТ НЕТ НЕТ ($F_2F_2F_2$);
- 3) ДА НЕТ НЕТ ($F_1F_2F_2$); 4) ДА ДА НЕТ ($F_1F_1F_2$);
- 5) НЕТ ДА ДА ($F_2F_1F_1$); 6) НЕТ НЕТ ДА ($F_2F_2F_1$);
- 7) ДА НЕТ ДА ($F_1F_2F_1$); 8) НЕТ ДА НЕТ ($F_2F_1F_2$).

Из-за округления мы получили всего не семь комбинаций, а восемь. Используем семь, а одну оставим в резерве.

Нам остается закрепить комбинации за командами: пусть первая комбинация передает первую команду, вторая — вторую команду и т. д.

Но так как самолет для нарушения управления ракетой будет посылать искусственно создаваемые помехи, то надо принять защитные меры.

Применим простейший метод, которым мы все пользуемся. Будем повторять каждую команду пять раз, а в приемнике на ракете введем устройство, накапливающее и сравнивающее все пять команд между собой.

Погоня за самолетом будет успешной, если команды передаются достаточно быстро. Допустим, с учетом повторений передача не должна занимать больше времени чем 0,1 секунды. Тогда легко подсчитать, что длительность одной посылки «да — нет» должна быть не более 6 миллисекунд.

Пусть наши расчеты уже воплощены в металл. Нужные команды, невзирая на вражеские помехи, про-

ходят на ракету, а мы возвращаемся к прерванной погоне за самолетом.

Как ни старается тяжелый самолет, но ему не вернуться от легкой и быстрой ракеты. Команды с земли парируют маневры самолета, и дистанция между ними уменьшается. Вот достигнуто необходимое сближение и посылается команда «шесть». Теперь ракета сама своим собственным локатором направляет свой полет на цель. Ей даже могут помогать радиопомехи самолета, она идет на их источник, то есть на самолет.

Ракета в зоне поражения самолета. Посылается «седьмая» команда — «взрыв», и самолет разлетается на куски. Агрессор наказан. Справедливость торжествует. Биты совершили свое благородное дело.

Можно легко переводить в биты информацию типа «да — нет», отображаемую в системах связи отдельными посылками, называемыми дискретными сигналами. Но это простейший вид информации. А информация типа человеческой речи, музыки, телевизионного изображения более сложная и отображается непрерывными, плавно меняющимися сигналами. Можно ли и здесь использовать это удобное мерило?

Для ответа на этот вопрос, во-первых, обратимся к знаменитой теореме Котельникова. Эта теорема была доказана в 1933 году еще совсем тогда юным В. Котельниковым. Она тут же была забыта, так как заметно «обгоняла» технику связи того времени. Значительно позже, когда была осознана простая истина — передавать информацию можно не только длинными, непрерывно следующими друг за другом посылками, но и очень короткими, с большими паузами между ними, — эта теорема засверкала, вошла в учебники и стала одной из основных при расчете систем связи.

Вам понадобился отличный костюм. Вы идете к портному. Он целый час обмеряет вашу фигуру. Строит по этим данным эскиз вашей фигуры в двух плоскостях. У него не хватает данных. Дополнительные обмеры... Вы не выдерживаете и убегаете к другому портному. Этот мастер своего дела, изучивший законы строения человеческого тела. Он замерил только несколько характерных точек и тут же отпустил вас. Костюм превзошел ожидания.

Почти такую же операцию, как второй портной,

проделал В. Котельников с непрерывными сигналами (в вычислительной технике их чаще называют аналоговыми). Он строго математически доказал, что аналоговый сигнал содержит очень много «пустой поро-



ды», которую нет необходимости передавать по каналу связи. Вполне достаточно передать его значения в отдельных, равноотстоящих друг от друга точках. По ним на приеме можно точно восстановить исходный сигнал. И повторение портным фигуры человека только по нескольким ее замерам, и восстановление сигнала по его значениям только в отдельных точках основано на плавности изменения формы и того и другого.

Как мы уже разбирали, сигнал всегда имеет два лица: одно из них — его «портрет» на шкале времени, а второе — «портрет» на шкале частот. Этот последний и определяет плавность изменения сигнала во времени: чем меньшую полосу частот занимает сигнал, тем медленней он меняется во времени, тем он инертнее. Так же как автомобиль из-за инерции не может с места набрать большую скорость, так и сигнал не может резко изменить свое значение из-за ограниченности своей полосы частот.

Каков же минимальное число замеров сигнала надо передавать, чтобы на приеме его точно восстановить?

Теорема В. Котельникова дает четкий ответ на этот вопрос: число необходимых замеров в секунду должно быть равно удвоенной «ширине» частотного портрета сигнала.

При разговоре по телефону наша речь преобразуется в непрерывный плавный сигнал с полосой 3 тысячи герц. Если мы хотим передавать его, используя теорему В. Котельникова, в виде отдельных отсчетов, то в секунду нам нужно их передавать 6 тысяч. Следовательно, в канал связи будет поступать не непрерывный плавный сигнал, а 6000 импульсов в секунду, каждый из которых будет нести один отсчет, равный его амплитуде. По этим импульсам на приеме мы можем точно восстановить исходный телефонный непрерывный сигнал, а потребитель даже не заметит всех этих преобразований.

Таким образом, теорема указывает путь перехода от непрерывного во времени сигнала (или функции) к дискретным импульсам. Но для их передачи потребуется очень большое число комбинаций из сигналов типа «да — нет», практически не реализуемое. Но откуда следует, что нам нужно точно передавать на прием значения нашего сигнала (или его отсчетов?). Ведь и наше зрение, и наш слух, и любые регистрирующие приборы имеют «порог чувствительности» и не замечают небольших отклонений принятого сигнала от истинного. Значит, нет смысла стремиться к абсолютно точной передаче сигнала. Это даже вредно, поскольку усложняет аппаратуру.

Разумнее разбить весь диапазон амплитуд на ряд дискретных уровней и вместо истинного значения их передавать номер уровня, вблизи которого находится данный импульс.

Так как число уровней ограничено и не так уж велико, то передача номера уровня потребует небольшой группы посылок типа «да — нет». Например, для передачи речи обычно используют 128 уровней, а номер любого уровня можно набрать из семи посылок типа «да — нет». При этом качество речи настолько хорошее, что разговаривающие и не подозревают, что из их слов и звуков сначала вырубili по В. Котельникову короткие периодические импульсы (как мы считали, их должно быть не менее 6000 в секунду), затем изуродовали их амплитуды, отсекая то, что превышает ближайший уровень, и надставляя его шапкой, если он не дотягивается до ближайшего уровня.

Последняя операция, если продолжить нашу портяжную аналогию, сводится к тому, что индивидуаль-

ные особенности носителей костюмов полностью игнорируются: конвейер просто выбрасывает на рынок костюмы пяти размеров (46, 48, 50, 52 и 54) при нескольких градациях ростов, и покупатель вынужден вписываться в эти стандартные уровни. Правда, в отличие от передачи речи здесь часто «искажения импульсов» хорошо заметны: один, купив костюм, стал похож на Квазимодо, а другому повезло — сохранил свою спортивную осанку.

Было бы неплохо, если бы эта аналогия импульсов и костюмов вдохновила бы кого-нибудь из читателей на доказательство новой теоремы типа В. Котельникова «О необходимом и достаточном числе градаций стандартных костюмов для удовлетворения любого потребителя». Население планеты, особенно женское, воздало бы ему должное.

Следовательно, способ передачи непрерывного сигнала с помощью цифр найден: вместо значения амплитуд («отсчетов Котельникова») надо передавать номер ближайшего уровня. Если уровни занумеровать в привычной нам десятичной системе, например, для телефонного сигнала 1, 2, 3... 128, то надо на каждую цифру иметь свою, отличную от других, посылку и из них составлять номер уровня. Посылки десяти качеств можно придумать. Один из вариантов — ноль передавать излучением частоты F_1 , единицу частотой F_2 ... девятку частотой F_9 . Система связи получается сложной. А мы стремимся к простоте.

И весь сыр-бор разгорелся у нас в связи с желанием свести любую информацию к передаче предельно простых сигналов типа «да — нет» (как мы увидим дальше, эти сигналы наименее уязвимы помехами).

Но ведь есть не только десятичная система исчисления, корни которой связаны с тайнами эволюции человека и его предков. Если когда-нибудь при высыхании морей осьминоги выйдут на сушу и в процессе борьбы за существование обретут разум и создадут свою цивилизацию, то у них будет скорее всего восьмеричная система счета, так как у них восемь щупалец.

Математики давно подумали за все возможные цивилизации и разработали различные системы счета, в том числе и самую простую, состоящую не из десяти, а всего лишь из двух цифр: 0 и 1, или «да» и «нет». Ее называют двоичной.

Если в десятичной за основание берется 10, то в двоичной — 2. В десятичной в каждом разряде числа может быть одна из десяти различных цифр, а в двоичной только две (0 или 1). Наконец, в десятичной каждый разряд больше предыдущего в десять раз, а в двоичной только в два раза.

Так число 13 в двоичной системе будет выглядеть по-иному: 1101. Заменяя 1 на «да», а 0 на «нет», получаем «да — да — нет — да». Конечно, эта запись длиннее, чем в десятичной, но зато мы приходим к простым, универсальным, помехо-бронированным посылкам «да — нет». Не останавливаясь на деталях двоичной системы (их легко найти в литературе, а скоро двоичная система будет изучаться в первом классе равноправно с десятичной), вернемся к нашим преобразованиям.

Набирая номер уровня каждого импульса в виде 0 и 1 и укладывая их в интервале между этим и последующим отсчетом В. Котельникова, мы и осуществим наконец передачу непрерывного сигнала слюбой плавно меняющейся конфигурацией в виде последовательности 0 и 1 или посылок только двух качеств «да — нет», «+» и «—» и т. д.

Я бы не утомлял читателя всеми этими преобразованиями и рассуждениями, растянувшимися на несколько страниц, если бы этот вывод не был столь фундаментальным для систем связи.

Бит информации, или двоичная посылка, становится универсальным носителем информации. Она и хорошо сражается с помехами, и позволяет создать сверхбыстродействующие вычислительные машины, которые отлично сопрягаются с двоичными системами связи, и легко генерируется и принимается, и запоминается с помощью элементарного миниатюрного и даже сверхминиатюрного устройства — триггера или сердечника с прямоугольной петлей гистерезиса и витка проволоки на нем.

Можно смело утверждать, что будущее принадлежит битам.

В конце концов наша планета будет охвачена единой универсальной системой связи, по которой будут передаваться и телевидение (не только цветное, но и объемное, и даже с запахами и другими свойствами передаваемых объектов), и всемирный видеотелефон,

и учеба на всех языках мира, и любые справки из любых хранилищ книг, и...

Все это будут выполнять биты, скромные 0 и 1.

Увлечшись будущим величием битов, я чуть не утаил от читателя ужасную тайну. Ведь превращение сложного, часто даже ажурного и нежного сигнала в грубую, примитивную, даже топорную последовательность двоичных посылок не достается даром. За все надо платить. И мы расплачиваемся в данном случае сильным искажением частотной «физиономии» нашего сигнала. Новое его лицо расплывается и становится шире в десятки и сотни раз. В тесных участках диапазона частот (волн), где радиостанций набито как селедок в бочке, передача преобразованного аналогового непрерывного сигнала в дискретный создаст сильные помехи «соседним по частоте» станциям. Но переход к передаче на УКВ-частотах, и особенно на лазерных пучках, дает такой большой частотный простор, что разбухание «личности» сигнала будет почти незаметно и никому не будет мешать.

Говоря о передаче любой информации, независимо от того, какой сигнал переносит ее в пространстве: аналоговый или дискретный, — нельзя умолчать о ее непримиримых и вездесущих, коварных и безжалостных врагах. Даже предельно простая и ясная телеграмма может быть истерзана и изуродована ими. Легions этих врагов информации разбросаны по всей планете, в окружающей ее атмосфере и даже в космосе. Кто же они?

Эти враги делятся на внешних и внутренних. О внутренних мы уже немного говорили. В любом устройстве для приема информации безразлично, автомат это или живой организм, всегда имеют место собственные тепловые флуктуации молекул и другие случайные процессы, которые ограничивают его чувствительность. Наглядно эти процессы можно себе представить в виде хаотически меняющегося внутреннего фона самого приемника информации. Их можно легко услышать: включите радиоприемник, отключите антенну и поворачивайте регулятор громкости, пока не услышите характерный грохот и шипение. Это и есть внутренние враги информации, которые препятствуют созданию приемников очень высокой чувствительности.

Всякому ясно, что приемник обнаружит сигнал толь-

ко в том случае, если последний хоть несколько возвышается над фоном. (В скобках заметим, что недавно появились системы, способные принять сигнал, даже плотно покрытый шумом. Но за это мы должны платить



дорогой ценой — колоссальным расширением занимаемой сигналом полосы частот и сложностью аппаратуры.)

Следовательно, внутренние враги, грубо говоря, уничтожают те сигналы из поступающих на вход, которые лежат ниже уровня собственных флюктуаций приемника.

Внешние враги есть сумма всяческих флюктуаций, поступающих на вход приемника. Для радиоприемника это и излучение искры дуги трамвая при плохом контакте, и грозовые разряды, и помехи систем зажигания автомашин, и излучение звезд, и накладки соседних по частоте радиостанций и т. д. Если рассматривать приемник светового пучка лазера, то врагами будут все посторонние лучи света.

Несчастье наше состоит в том, что внутренние и внешние враги отнюдь не уничтожают и даже не ослабляют друг друга, а складываясь по законам случайных величин, создают общий более мощный шумовой фон. Правда, их полная хаотичность все же несколько замедляет рост суммарного шума. Так, при сложении двух равных по напряжению шумов их сумма будет равна не удвоенному значению, а вырастет только в $\sqrt{2} = 1,4$ раза.

Как легко доказывается, для удобства анализа и для наглядности мы можем теперь «выгresti» все шумы из приемника и из окружающей приемник среды, сложить их, используя $\sqrt{2}$, и включить на вход приемника специальный генератор шума, создающий шум, равный этой сумме. Это и будет тот злобный легион врагов, от которого зависят и дальность передачи в нашей системе связи, и среднее число искаженных знаков, и характер искажений.

Я не ошибусь, если скажу, что почти весь путь радиотехники со времен А. Попова до наших дней есть путь сражения с этими врагами, с этим эквивалентным генератором, который мы только что включили на вход приемника.

Вспоминается, как мы, аспиранты Института связи, не одну ночь провели в сражениях с этим генератором. Часто на рассвете казалось, что найден лабиринт, в котором обязательно хаос помех должен запутаться, а умный сигнал ускользнуть от них на выход приемника. Но при ярком солнечном свете и критике друзей эти надежды быстро гасли.

Уже тогда, терпя поражения в борьбе с этими ловкими и злыми силами природы, я окрестил их чертями. Впоследствии этот образ не раз оживлял мои лекции о помехах и путях борьбы с ними и помогал наглядно объяснить работу хитрых схем защиты от помех («сигнал легко проходит через этот фильтр, а от черта на выходе фильтра остаются только рожки да ножки...»). Когда же появились методы передачи с помощью шума, то черти стали уже и носителями информации и образ нашел новое применение. Я сдружился с ним. Поэтому хочу и здесь им воспользоваться.

Самая коварная особенность этих чертей — их всеобщность на оси частот. Иными словами, их частотный спектр не сосредоточен в каком-либо участке частот, как у сигналов, а занимает всю (именно всю: от нуля до бесконечности) ось частот. Более того, наиболее вредная и наиболее распространенная его разновидность имеет не только сплошной спектр на всей оси частот, но и равные амплитуды составляющих на всех частотах. За это свойство такая помеха получила название белого шума, по аналогии с белым светом, являющимся суммой семи составляющих разных цветов, но также равной амплитуды. Хотя за те черные дела, ко-

торые помехи творят с передаваемой информацией, этот шум следовало назвать не белым, а черным.

Вот и выходит, что укрыться от чертей путем изменения рабочей волны нет никакой возможности. Надо искать другие пути.

В первые несколько десятилетий развития радиотехники теория кровавых поединков добра и зла в системах связи, то бишь сигналов и чертей, не была разработана, и поиск шел в основном интуитивно. Десятки тысяч изобретателей увлекались этой головоломкой — избавлением от помех.

Я получал истинное удовольствие, листая пухлые и пыльные папки изобретений на эту тему. Чего тут только нет? Если верить названиям и формулам изобретений, то проблема давно решена. Судите сами: «Приемник без помех», «Антенный фильтр, устраняющий помехи», «Способ передачи, не подверженный действию шумов» и т. д. Многие из них очень хитроумны и остроумны, и не так просто найти в них ошибку.

Если же всерьез говорить о белом шуме, то от него принципиально нельзя избавиться. Можно снизить им вызываемые искажения сигнала, но нельзя их полностью устранить. Но это было доказано позже. А до этого способы «полного» подавления помех закреплялись, как некогда проекты вечного двигателя, патентами.

Не раз мне задавали вопрос на лекциях: почему сигнал тонет и погибает в шумах, а не плавает сверху, где его можно было бы легко выловить и отделить от помех?

Действительно, шумы можно наглядно себе представить в виде будущего океана. Только бушует не водная стихия, а электрическая. Волны напряжения то вздымаются, то образуют глубокие провалы и воронки, то затихают на мгновение... И этот хаос нельзя точно предсказать. Все, что может сделать математика, это оценить эту картину хаоса «в среднем» и сказать: «За большое время наблюдения малого участка (или за малое время наблюдения большого участка этого океана) произойдет столько-то гигантских выбросов, столько-то средних, столько-то зияющих провалов и т. д.». Но, в каком точно они будут месте и в какое время и какой ужасной конфигурации, предсказать принципиально невозможно.

Далее, каждый такой выброс и провал есть не что иное, как электрический импульс той или иной формы. И он, как мы уже знаем, имеет свой частотный портрет: на шкале частот это набор плавных, я бы сказал, грациозных синусоидальных колебаний с амплитудами и фазами, характерными именно для этого выброса. Складываясь, как это ни странно, с первого взгляда, эти грации могут образовать злого и страшного черта. Пробивающийся сквозь этот хаос сигнал также есть последовательность импульсов, каждый из которых имеет свой сугубо индивидуальный портрет (определяемый передаваемой информацией).

Нам остается немного: сложить эти два портрета вместе (это происходит на входе приемника). Но вот тут-то и зарыта собака. При сложении на каждой частоте встречаются две грации, а так как по законам электрическим на одной частоте может существовать одно и только одно колебание, то возникает новая грация, являющаяся алгебраической суммой составляющих сигнала и помехи на данной частоте.

К сожалению, здесь действует позорный принцип «с позиции силы»: более сильная грация навязывает свою фазу и амплитуду (надеюсь, что вы не забыли еще байдарку на волнах из второй главы!) новорожденной красавице. Вот и получается, что если черти превосходят сигнал, то они навязывают свое «я», и сигнал трудно обнаружить даже в микроскоп (а современный приемник не уступает ему по увеличению). К этому надо добавить, что каждая грация искажается по-своему, а это искажает индивидуальную физиономию сигнала до неузнаваемости.

Из рассмотренной единой природы сигнала и шума и следует наивность надежд увидеть сигнал плывущим на поверхности шума.

**ИДЕАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК
ВЛАДИМИРА
КОТЕЛЬНИКОВА**



Если вы зайдете в радиомагазин и спросите «идеальный приемник Котельникова», то продавец или примет это за шутку, или отнесет вас к категории свихнувшихся. Но если этот продавец окажется студентом-вечерником, скажем, института связи, то его ответ будет иной: «Простите, но ведь такой приемник существует только на бумаге. В лучшем случае, вам можно было бы продать уравнение, по которому он работает, и его схему в виде квадратиков, соединенных стрелочками-проводочками». Ответ правильный. Но почему это уравнение и эти квадратики получили всемирную известность и продвинули теорию передачи сообщений на новую ступень?

Представим себе, читатель, что мы проникли в музей радиоприемников. Вот детекторный приемник, выпускавшийся на заре радиотехники: катушка чуть ли не в полметра в диаметре с толстенным проводом, конденсатор с подвижными пластинами размером с блюдце, кристалл-детектор, которого касается тонкая острая проволочка (эту точку касания кристалла надо было часто менять для хорошей работы приемника).



Наши взоры привлёк один из первых ламповых приемников. Это увесистый чемодан, из которого во все стороны торчат знаменитые радиолампы серии «Микро». Сегодня он напоминает карикатуру на ежа. Приемник этот мог усиливать только на частоте принимаемого сигнала, почему и назывался прямого усиления.

Но он не выдержал битвы с супергетеродинным приемником, в котором любой сигнал переносится на единую стандартную частоту и на ней осуществляется и усиление, и фильтрация помех.

Вот перед нами семейство современных «суперов»: начиная от сложных, первоклассных, с дополнительными ручками для борьбы с помехами и кончая портативными карманными и даже «ушными». Здесь уже нет, точнее, почти нет ламп, здесь — царство полупроводников.

Вдохнем «жизнь» в эти приемники, то есть подключим к ним антенны и электропитание (от сети или батареи). Детекторных приемников это не касается: они работают только на энергии принимаемого сигнала и, естественно, очень «недалекобойны». Настроим все их на одну и ту же передачу. Переходя от приемника к приемнику, мы убедимся, что степень искажения сигнала помехами у них будет разная: у одних очень сильная, у других значительно меньшая.

В. Котельников, проделав нечто похожее на наш эксперимент, поставил естественный вопрос: ставит ли природа предел улучшению защиты приемника от помех или, совершенствуя приемники, можно полностью от них избавиться?

И это был не праздный вопрос. Если предела нет, значит, есть надежда навсегда покончить с тресками, скрежетом, писком в приемниках, избавиться от искажения телеграмм, обеспечить абсолютно точное управление по радио любыми космическими аппаратами в любой точке вселенной.

Но если этот предел есть, если законы физики ставят заслон, то каков он? Далеки ли наши приемники от него и как приблизиться к нему?

Отвечая на эти вопросы, В. Котельников установил зависимость степени искажения сигналов на выходе приемника от суммы сигнала и помех, действующих на входе приемника. Затем он провел поиск условий, при которых эта математическая зависимость обеспечивает минимальные искажения сигнала.

Условия были найдены. Из них вытекали и принцип приема сигналов, и принцип построения такого лучшего из возможных приемников. Этот приемник и получил название идеального приемника Котельникова.

Выходило, что реальные приемники могут по защищенности сигнала от помех (по помехоустойчивости) приближаться к идеальному, но никогда не превзойдут его. Идеальный приемник полностью реализует все возможности, которые дает нам земная физика.

Я вспоминаю, как погрузился в анализ хитроумной схемы приемника. Поначалу никак не удавалось получить формулу его работы. Интегралы не брались. При разложении их в ряды «вместе с водой выплескивался и ребенок». Но в конце концов трудности были преодолены и формула получена. Подставляю конкретные данные, и получается помехоустойчивость лучше, чем... у идеального приемника! Звоню В. Котельникову: «Найден приемник лучше идеального. Возможно ли это?» Слышу спокойный ответ: «Приезжайте, посмотрим ваши выкладки. Такого не должно быть, но, впрочем, чем черт не шутит...»

Автор идеального приемника легко обнаружил одно некорректное допущение в выкладках, которое и привело к «подкопу» под идеал.

Вычисляя помехоустойчивость идеального приемника при действии шумов, о которых мы говорили выше, В. Котельников установил, что даже идеальный приемник не может от них полностью избавиться.

Поэтому, если студент на вопрос, что такое приемник Котельникова, отвечает: это приемник без помех, я его тут же отправляю «углублять свои знания».

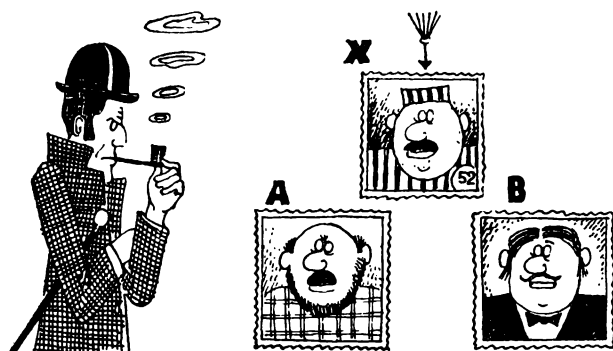
Потенциальная помехоустойчивость, так называли помехоустойчивость идеального приемника, была определена В. Котельниковым как для случая дискретных, так и для непрерывных сигналов. Она, конечно, получилась разной, ибо исход сражения сигнала с помехами зависит от того, какую форму мы придадим сигналу.

Таким образом, с помощью потенциальной помехоустойчивости вполне можно оценивать разные способы передачи сигналов, принимая их на идеальные приемники (они, естественно, будут тоже различны), и выявлять лучшие из них.

Теперь заглянем на «кухню» создания идеального приемника. Простые и наглядные рассуждения В. Котельникова хорошо раскрывают интересующий нас механизм взаимодействия сигнала и помехи в приемнике.

Пусть передается уже известный нам простейший, но универсальный двоичный сигнал. Он, естественно, может быть лишь одним из двух дискретных значений: А или В.

Так как систем связи без помех принципиально не существует, то и на входе нашего приемника действует некая помеха. Она есть напряжение того эквивалентного генератора помех, о котором мы говорили раньше.



Будем считать, что генератор создает наиболее «зловредную» и наиболее «вездесущую» помеху в виде непрерывного, хаотически меняющегося напряжения или силы тока («белый шум»).

Сигнал и помеха, складываясь на входе приемника, образуют суммарное напряжение X . Для приемника это действительно некий таинственный «икс», так как неизвестно, произошел ли он от сложения помехи с сигналом A или с сигналом B . Вот эту альтернативу и должен решить, да еще наилучшим из возможных способом, приемник.

Но как он ее решит, если, во-первых, на приеме неизвестно, какой из двух сигналов пошлет в данный отрезок времени передатчик (если это известно, то тогда нечего и передавать, никакая информация не передается). А во-вторых, как мы уже говорили, принципиально неизвестно, какой выброс в это время даст помеха: большой или маленький, взлет или падение, острый или плавный...

Можно ли узнать, из чего «сделан» наш конкретный «икс», поступивший в данный отрезок времени на вход приемника?

Нет, и еще раз нет!

А как же быть?

Очень просто: игнорировать конкретные значения сигнала и помехи в конкретные моменты времени и рассматривать и сигнал и помеху как два независимых случайных процесса, каждый из которых подчинен своим закономерностям.

И тут мы должны просить его величество Случай псмочь нам. Ведь он владеет целой империей, именуемой «теория вероятностей», где есть такие области, как «случайные события», «случайные процессы», «теория игр», «теория операций» и т. д.

Сначала скажем, что приемник при поступлении на его вход этого таинственного X регистрирует на выходе при одних его значениях сигнал A , а при других — сигнал B .

Следовательно, по окончании сеанса связи приемник запишет, скажем, на ленте длинную последовательность знаков A и B , часть из которых будет истинной (совпадающая с переданными), а часть ложной (под действием помех A превратилась в B или B в A).

Принципиально невозможно указать, где на этой ленте ложь, а где правда. Но Случай подсказывает, что, используя специальную теорему, называемую теоремой Бейса, можно подсчитать, какое будет среднее число ошибок во всей принятой последовательности. А это не так уж мало. По этим данным можно сравнивать между собой и приемники, и методы передачи и принимать решение, верить ленте или не верить.

Расчет по Бейсу тоже, конечно, требует некоторых знаний о сигнале и помехе, но уже не конкретных, а «в среднем»: как часто передается A и как часто B , а также как часто помеха принимает то или иное значение.

Первое определяется характером передаваемого текста: в большинстве случаев A и B идут одинаково часто и вероятность их появления равна 0,5. Второе зависит от характера помех и определяется так называемой «плотностью вероятности распределения ее амплитуд». В. Котельников взял наиболее характерный случай: помехи типа тепловых шумов (белый шум), распределенные по так называемому нормальному закону.

Опуская подстановку этих закономерностей в формулу Бейса, выведенную еще до появления радиотехники, сразу приведем результат, полученный В. Ко-

тельниковым. Вот как он выглядит: $\overline{(X-A)}^2 > \overline{(X-B)}^2$. Приведенная запись означает следующее: из поступившего на вход таинственного X в приемнике надо образовать две разности путем вычитания из него сигнала A и сигнала B . (Значит, на приеме должны быть точно известны два возможных образца сигнала.) Эти разности возводятся в квадрат и усредняются. Потом проводится последняя операция — разности сравниваются по величине. Если левая скобка, где фигурирует A , больше правой, то идеальный приемник регистрирует на выходе сигнал B (этот случай записан в нашем неравенстве). Если имеет место обратное неравенство, то приемник выдает сигнал A .

Читатель, наверное, уже догадался, почему именно так должно быть. Ведь если X и B очень похожи друг на друга, а X и A не очень похожи, то скорей всего X образовался из B путем добавления к нему небольшой помехи. В этом случае правая часть неравенства будет меньше и приемник зарегистрирует сигнал B .

Правда, могло случиться, что X образовался в данном случае и из A путем добавления большой помехи. Тогда даже идеальный приемник сделает ошибку. А так как чем больше помеха, тем меньше ее вероятность, то эти ошибки будут редким явлением. Такую же закономерность мы наблюдаем на бушующем море: гигантские волны, гребни которых вздымаются на многие метры, редки, средних значительно больше, а небольших волн очень много.

Вычисляя разности $(X-A)$ и $(X-B)$, мы, по существу, устанавливаем похожесть (корреляцию) принятого сигнала на один из двух истинных. Пусть у нас в приемнике хранятся «портреты» сигналов A и B и из антенны в приемник поступил некий сигнал X . Если мы установим, на кого он больше похож — на A или на B , то тем самым решим нашу задачу.

Метод сличения портретов, впервые открытый В. Котельниковым, оказался лучшим из возможных способов приема сигналов, пораженных помехами. Он получил название корреляционного, или оптимального, метода приема и в настоящее время широко используется.

Этот метод реализует все, что может предоставить нам случай. Лучшего пути для раскрытия нашего таин-

ственного «икса», объединившего в себе и случайность сигнала, и случайность помехи, нет и не может быть. Это строго показано В. Котельниковым.

Теперь попробуем заглянуть в «черный ящик», именуемый идеальным приемником. На входе его легион чертей — помех — яростно атакует сигнал, бережно несущий информацию, а на выходе всегда небольшие, но принципиально неустраняемые искажения этого сигнала. Установим, из каких элементов состоит идеальный приемник и нельзя ли его собрать из обычных радиодеталей: катушек, конденсаторов, сопротивлений, транзисторов.

Неравенство В. Котельникова, приведенное выше, поможет нам в создании идеального приемника. Оно говорит, что в первую очередь необходимо точно знать на приеме, какие типы сигналов будет слать нам корреспондент. Иными словами, надо знать те «кирпичики», из которых набирается информация на передаче. Если это двоичный сигнал, то таких кирпичей только два: либо наши А и В, либо 0 и 1, или «+» и «—». Более того, надо не только знать, как эти два кирпича погружены на несущее колебание, на бегуна (знать метод модуляции), но и уметь генерировать эти два сигнала в приемнике (будущие «портреты» истинных сигналов).

Так как создание генераторов даже очень сложных сигналов не вызывает сегодня трудностей, то будем считать, что, потрудившись, мы соорудили один генератор для сигнала А, а второй для сигнала В.

Теперь нам надо образовать две разности: $(X - A)$ и $(X - B)$. Для этого заимствуем из запчастей любой вычислительной машины два вычитающих элемента. У каждого из них, естественно, по два входа. Объединим по одному из их входов и подадим на эту общую точку из антенны наш таинственный X: сумму сигнала и помех.

Подключим генератор образца сигнала А ко второму входу одного вычитающего элемента, а генератор сигнала В — ко входу второго элемента. Мы получим схему, производящую необходимые две разности.

Но разности эти надо еще возвести в квадрат и усреднить (на последнюю операцию указывает черта над скобкой, иногда говорят: крыша над скобкой). Эти операции также не вызывают трудностей: квадратичный

детектор осуществляет первую операцию, а интегратор — вторую.

Третий вычитающий элемент, который будет образовывать разность напряжений на выходе интеграторов



и тем самым устанавливать, какая скобка больше, тоже может быть смонтирован. Вот приемник и готов.

Но посмотрите, отдельные черти-помехи даже в идеальном приемнике пролезают на выход. Несмотря на проделанную нами сложную математическую обработку сигнала, черти сумели кое-где заменить А на В, а В на А. Но это неизбежно!

Что же нам мешает построть идеальный приемник? Почему его не выпускает промышленность?

Вопрос вполне законный. Но есть у приемника Котельникова одна тайна, которая препятствует его полной реализации. Суть ее опять-таки упирается в так называемую «грубость» реальных систем. Например, невозможно сделать два генератора электрических колебаний, которые длительное время имели бы абсолютно одинаковую частоту. Невозможно сделать пару часов (механических, электронных, атомных), стрелки которых, точно совмещенные, не показывали бы через некоторый интервал разное время.

Все это плоды деятельности всемогущего Случая. На любой физический прибор воздействуют его посланцы: случайные колебания температуры, случайные колебания молекул в элементах прибора, случайные про-

цессы старения... Вот эта случайность, которая царит на каждом шагу во вселенной, и не позволяет нам реализовать идеальные приборы.

И. Ньютон построил картину вселенной, где все происходило точно в соответствии с действующими законами, где будущее зависело только от прошедшего. Его физика процветала более двухсот лет. Но вот в ней распознан Случай. Почти всюду вскрылись случайные явления, которые могут произойти, а могут и нет. Вселенная начала терять ньютоновскую определенность, или, как говорят физики, терять свою детерминированность. В физических явлениях был выявлен элемент неполного детерминизма. Уже нельзя было утверждать, что то-то произойдет обязательно. Нужно было говорить, что оно произойдет с такой-то степенью вероятности. Ньютоновское детище передало эстафету вероятностной вселенной.

Вот в какие ужасные джунгли завела нас наивная попытка создать идеальное в реальном мире.

Но вернемся к схеме приемника. Что же здесь все-таки нереализуемо?

Рассмотрим случай простейшего сигнала, с которого начинал А. Попов: включение и выключение несущего синусоидального колебания. Только будем передавать его не азбукой Морзе, а двоичными посылками. Пусть передача сигнала А есть излучение синусоиды длительностью Т, а сигнал В есть пауза в излучении той же длительности Т. Следовательно, в идеальном приемнике для приема этих сигналов должен быть только образец сигнала А, так как $B=0$.

Поскольку излучаются отрезки синусоиды, то образцом сигнала А может быть непрерывное синусоидальное колебание. Создать такой генератор «пара пустяков», но «собака зарыта» вот где: частота колебаний этого генератора должна быть точно равна частоте передаваемого сигнала.

Но это еще не все. Для выполнения «крыши» над нашей разностью, то есть интегрирования (усреднения) ее на отрезке от начала каждой посылки до ее окончания, надо точно знать на приеме моменты прихода сигналов. А это значит, что надо иметь пару синхронно идущих часов: одни на передаче, другие на приеме.

Но, к сожалению, мы живем в вероятностной все-

ленной, и обеспечить точное равенство частот двух генераторов и точное равенство показаний двух часов у нас нет принципиальной возможности.

Мы пришли к печальному выводу — идеальный приемник реализовать не удастся. Но это отнюдь не значит, что нельзя в значительной мере преодолеть трудности и максимально приблизиться к идеалу. Теория, развитая В. Котельниковым применительно к передаче битов, дает не только схемы построения идеальных приемников с разными способами передачи, но она позволяет также найти наилучший из последних. Как мы видели, биты успешно наступают, им принадлежит будущее. Поэтому реализация лучшего из возможных способов их передачи, хотя бы квазиидеальным приемником, очень актуальна.

Заглянем в докторскую диссертацию В. Котельникова «Теория потенциальной помехоустойчивости при флюктуационных помехах» в раздел об оптимальном способе передачи двоичных сигналов. Там мы увидим, что при передаче двумя посылками A и B , если их энергия одинакова, помехоустойчивость тем больше, чем больше выражение $(A - B)^2$.

Далее доказывается, что величина, заключенная в скобки, достигает максимума в одном-единственном случае, когда $A = -B$. Значит, для получения наибольшей неустойчивости битов от помех оба сигнала должны быть равны по абсолютному значению, противоположны по знаку и иметь равную энергию. (Последнее условие очевидно: если сигнал A будет иметь большую энергию, то B станет более уязвимым, и наоборот.) А можно ли такие сигналы создавать и передавать?

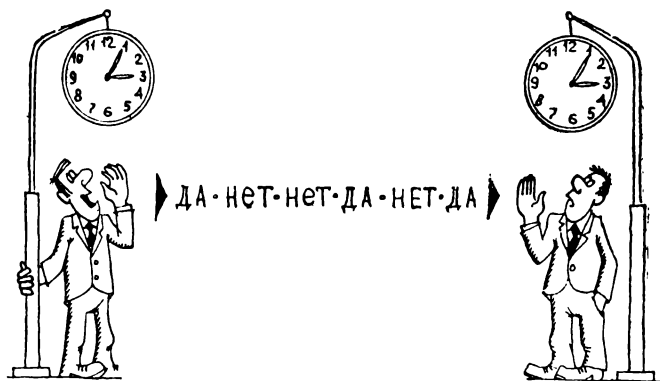
Можно, и довольно легко.

Если передача идет по проводу, то A есть посылка постоянного тока положительной полярности, а B есть такая же посылка, но отрицательной полярности. Легко видеть, что в этом случае условия оптимальности выполняются. Если передача идет по радио, то сигналами явятся уже знакомые нам куски синусоиды, но фазы этих синусоид должны быть противоположны, то есть сдвинуты на 180° градусов, а частоты равны.

Создать на передаче такие сигналы очень легко. Вся трудность заключается в подборе такого «чуткого» к фазе приемника, который при поступлении синусоиды с фазой φ регистрировал бы на выходе бит A , а при приеме синусоиды с фазой $\varphi + 180^\circ$ — бит B . Этот ме-

тод передачи, при котором в непрерывно излучаемой синусоиде скачком меняется только ее фаза, получил название «фазовая манипуляция» (ФМ).

Но, как мы уже разбирали, фаза сигнала — это его



шкала времени, его часы. В самом деле, достаточно задержать синусоиду, несущую сигнал А, на половину ее периода, как она превращается в сигнал В (так как φ превратится в $\varphi + 180^\circ$).

Поэтому работу такой линии связи можно наглядно представить с помощью двух точно идущих часов. Пусть одни часы находятся у меня на передаче, а вторые у вас, читатель, на приеме. Имеется также возможность периодически посылать сигналы времени. Условливаемся так: пусть вы приняли сигнал времени в тот момент, когда секундная стрелка ваших часов стоит на 12; тогда вы делаете вывод, что вам передан сигнал А, а если он запаздывает на определенную величину Δt , скажем когда стрелка стоит на 6 часах, то, значит, передан сигнал В. Теперь эти сигналы А и В являются одновременно и носителями информации, и метками времени. При медленной передаче вы просто сличаете сигналы времени с показаниями ваших часов и записываете передаваемую последовательность битов. Величину Δt , очевидно, надо брать равной половине интервала между соседними сигналами времени.

Если же у нас линия связи сверхбыстродействующая, например, мы посылаем миллион отметок в секунду (есть и более быстрые), то интервал между отмет-

ками составит одну миллионную секунды, а Δt лишь половину этой величины. Здесь уже не поспеть со сличением часов и ручной записью. Но это легко сделает автоматическое устройство. Однако и оно не будет «врать» лишь при очень точном ходе часов. Если же в последнем примере часы допустят неточность на одну двухмиллионную долю секунды, то вместо информации вы примете белиберду.

Значит, для реализации этого метода передачи нам «до зарезу» необходимо добыть пару почти абсолютно точно идущих часов.

В. Котельников в диссертации решил эту задачу просто: он допустил, что такие часы, точнее генераторы, имеются на передаче и на приеме. А как быть нам, знающим, что случайности, эти неотступные спутники любых физических процессов, не позволяют создать даже одну-единственную пару таких часов или генераторов. Этот путь у нас отрезан.

Но ведь люди, несмотря на это, очень точно знают время.

Им помогают в этом сигналы точного времени, по которым они корректируют ход своих часов.

А нельзя ли этот же принцип применить и в нашей линии связи с фазовой манипуляцией? Ведь по передающим часам мы шлем на прием А и В в виде меток времени. Нельзя ли их как-то обезличить и использовать как сигналы коррекции часов на приеме или даже поступить более «нахально», использовать их как сам масштаб времени, как сами часы?

Впервые такую идею высказал советский ученый А. Пистолькорс. Он подметил, что если аргумент нашей синусоиды, со скачками фазы на 180 градусов, умножить на 2, то всякая манипуляция фазы в сигнале полностью ликвидируется. В самом деле, если А передавалось как $\sin(\omega t + \psi)$, а В как $\sin(\omega t + \varphi + 180)$, то после умножения на 2 мы получаем совершенно одинаковые посылки: $\sin(2\omega t + 2\psi)$ и $\sin(2\omega t + 2\varphi + 360)$.

Нам «помог» угол манипуляции в 180 градусов — после удвоения он превращается в 360 градусов, или 2π . Но добавление или вычитание 2π ничего не меняет в синусоидальном колебании. Поэтому мы можем смело их отбросить.

Следовательно, операция умножения дала нам «чис-

тую» синусоиду на удвоенной частоте. Остается разделить ее частоту на 2, и проблема идеального приемника решена! Мы из самого сигнала, или из самих меток времени, добываем точную шкалу времени.

Несложное устройство умножения и деления частоты было собрано. Начались испытания. И конечно, у экспериментаторов дух захватывало. Шутка ли, сварганить идеальный приемник!

Самописец на приеме аккуратно записывает последовательность «да — нет». Все работает. Испытатели ликуют.

Настроение упало на 180 градусов, когда начали сверять переданную и принятую последовательности. Участки лент с правильной записью и участки с противоположной записью, названной условно «обратной работой» (все «да» становятся «нет», все «нет» становятся «да»), хаотически сменяют друг друга на ленте. Понять ничего невозможно. Многократная проверка аппаратуры не ликвидирует дефект.

Сотни ученых и изобретателей ринулись искать новые схемы, свободные от «обратной работы». Предложено было много и остроумных и хитроумных схем. Авторы некоторых из них получили авторские свидетельства на устройства приема фазовой телеграфии, свободное от обратной работы, или им подобные. Но экспериментальная проверка всех этих схем снова и снова обнаруживала безумную акробатику: временами все «да» переходили в «нет» и наоборот.

Я тоже ломал голову над ликвидацией обратной работы. В конце концов под напором неудач был поставлен вопрос: имеется ли принципиальная возможность устранения обратной работы, или физические законы это не допускают?

И удалось строго доказать, что таковой возможности нет! Значит, больше не надо ломать голову, выдумывать схемы, ввязываться в это азартное занятие, которое хуже семечек: начав, невозможно остановиться.

А физика здесь такая. Помните, в начале новеллы мы слали сигналы времени. Если сигнал совпадал с показанием часов, то это «да», если не совпадал, то это «нет». Мы хотели по этим сигналам создать себе на приеме точное время, а часы выбросить, ибо их сделать очень точными невозможно. Но ведь и точные, и сдвиг-

нутые метки идут одинаково часто, они одинаковы по форме и одинаково несут на себе следы информации. У них все одинаково. Поэтому, делая из них на прием шкалу времени, мы можем «зацепиться» либо за сигналы «да», либо за сигналы «нет». Более того, это «цепляние» принципиально неустойчивое: часы будут идти то по меткам «да», то по меткам «нет». Переход будет происходить в случайные моменты времени, зависящие от изменения режима работы внешних и внутренних помех.

По этим же причинам наша чистая синусоида ведет себя крайне непостоянно: цепляется то за фазу φ (посылки А), то за фазу $\varphi + 180^\circ$ (посылки В). И быть неветреной она не может из-за наличия двух равноправных устойчивых состояний и вездесущих проказ нашего Случая.

Все это и приводит к проклятой обратной работе, ставшей непреодолимым барьером на пути практического внедрения фазовой манипуляции.

Итак, из сигналов с фазой манипуляцией принципиально нельзя выделить однозначные метки времени, а следовательно, и создать приемник, чувствительный к фазе. Напрашивается вопрос: нельзя ли на передаче в наши метки времени внести некоторые изменения, чтобы устранить эту двусмысленность шкалы времени, формируемой в приемнике из самого ФМ-сигнала?

Такие предложения появились. Одни предлагали «врубить» в наши метки времени дополнительные метки, не несущие информации. Другие предлагали применить передачу дополнительных меток на соседней частоте.

Но перечисленные пути неизменно вели к ухудшению самого метода, к снижению его стойкости от помех, замедлению скорости передачи или расширению требуемой полосы частот. Поэтому практика их отвергла.

Перелом наступил с появлением так называемой относительной фазовой манипуляции (ОФМ). Идея ее настолько проста, что трудно понять, почему ее не обнаружили значительно раньше.

Эта простота ставила в тупик и экспертов. Они говорили обычные в таких случаях фразы: сначала «не может быть», затем — «не будет работать» и, наконец,

«давно известно» — и долго не выдавали мне авторского свидетельства на ОФМ.

Но, невзирая на экспертов, метод ОФМ работал: лабораторные, а затем натурные испытания прошли



успешно; началось широкое внедрение ОФМ в радио- и проводную связь. Была наконец найдена упряжка, в которой фаза сигнала помчала заданные ей «да» и «нет» без всяких акробатических фокусов и с помехоустойчивостью, весьма близкой к тому, что обещал идеальный приемник В. Котельникова.

Суть ОФМ сводится к следующему. Надо принципиально отказаться от единой шкалы времени и для передачи, и для приема. Правда, мы доказали, что без шкалы времени фазовый приемник принципиально нельзя создать. Это верно. Но совершенно необязательно иметь единую шкалу времени для всех посылок. Можно сделать так, чтобы каждая из них имела свою шкалу.

Вспомним нашу модель фазового канала с метками времени и двумя часами: если метка совпадает с показанием часов, то передано «да», если сдвинута, то — «нет». А теперь изменим чуть-чуть метод передачи. Если передается «да», то передающая ее метка стоит рядом с предыдущей, если «нет», то сдвинута на некоторый интервал Δt .

Значит, для приема каждой данной посылки достаточно знать ее положение только относительно преды-

душей посылки. Каждая предыдущая посылка и есть текущая шкала времени для последующей. При этом специальных посылок времени нет: каждая посылка несет «да» или «нет»; ее значение определяется при сравнении с предыдущей, и одновременно она является меткой времени для последующей. Исключение составляет самая первая информационная посылка в начале сеанса связи; для ее приема, естественно, нужно перед нею послать одну неинформационную метку времени.

Теперь вернемся к нашим синусоидам. В переводе на их язык описанный метод с метками времени выглядит еще проще: при передаче «да» данная посылка (сигнал) должна иметь ту же фазу, что и предыдущая, а при передаче «нет» ее фаза сдвигается на 180 градусов относительно предыдущей.

Для приема таких сигналов в схеме необходим дополнительный элемент кратковременной памяти, запоминающий предыдущую посылку до прихода следующей. Сравнение фаз осуществляется путем перемножения и усреднения двух отрезков синусоиды (данного и предыдущего). Если их фазы одинаковы, то получаем положительное напряжение, что соответствует сигналу «да», а если сдвинуты на 180 градусов, то отрицательное — наше «нет».

Описанный метод приема несколько уступает идеальному приемнику, так как В. Котельников постулировал идеальную метку времени, недоступную помехам, а у нас меткой служит предыдущая посылка, которую помехи могут иногда искажать.

Для наилучшей передачи информации очень важно знать, от чего зависит помехоустойчивость идеального приемника и близкого к нему приемника ОФМ; знать, какие необходимо принять меры, чтобы сделать вероятность ошибки не более допустимой в данной линии связи.

Эта ошибка, естественно, зависит от решаемой задачи. Скажем, при передаче речи можно допустить пропадание отдельных букв и даже слов без потери смысла. При передаче с Земли команд управления двум стыкующимся космическим кораблям допустима ничтожно малая вероятность ошибки передаваемой команды, например одна ошибка на сто миллионов переданных команд.

Вероятность ошибки, то есть отношение искаженных

битов ко всем переданным, как показал В. Котельников, может быть улучшена только за счет улучшения на входе приемника отношения энергии бита к энергии помех.

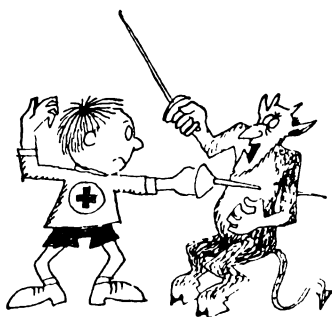
Энергию бита можно увеличить, только повышая мощность передатчика (этот путь весьма ограничен на спутниках и космических кораблях) или удлиняя бит во времени (это снижает скорость передачи).

Уменьшить энергию помех еще трудней. Внешние помехи можно снизить, если применить антенну, которая чувствительна только в направлении на источник сигнала и не принимает помехи с других направлений. Внутренние шумы можно «заморозить», то есть уменьшить за счет снижения «резвости» молекул в элементах приемника, охлаждая входные каскады приемника.

Использование для передачи таких диапазонов волн, где меньше внешних помех, естественно, тоже поможет нашим битам донести неискаженную информацию.

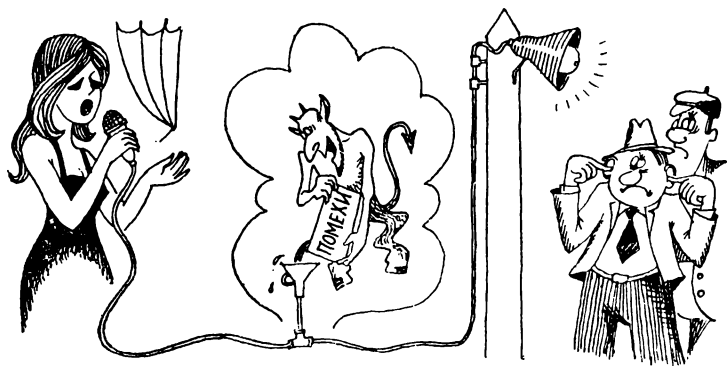
Наконец, применение кодирования позволяет... Но это уже в следующей главе.

ИДЕИ КЛОДА ШЕННОНА И НОРБЕРТА ВИНЕРА



В. Котельников поставил и решал задачу: какое число битов информации будет «в среднем» обязательно искажено помехами даже при приеме на идеальный приемник. К. Шеннон позже нашел решение более общей задачи: какое число битов можно передать без единой ошибки по каналу связи за одну секунду, невзирая на наличие помех. Но ведь даже идеальный приемник дает ошибки. Как же примирить эти два подхода?

Для ответа на этот вопрос вначале обратимся к принятой К. Шенноном универсальной модели систем связи, ставшей классической. До этого любую систему связи рассматривали в отрыве от «источника информации» и «адресата». К. Шеннон смело ввел их в модель и показал, что полноценное изучение систем связи без них невозможно.



Источником информации и адресатом могут быть, естественно, и живые существа (люди, дельфины, пчелы, бабочки) и различные автоматы (реле, самописец, телеграфный аппарат, магнитофон).

Источник информации вырабатывает сообщение, которое поступает на передатчик. Последний выполняет весьма ответственную роль: преобразовывает сообщение в сигнал, посылаемый на прием, и усиливает его. Это преобразование может быть и очень простым, и очень сложным. Например, вы подходите к дверям гостиницы, и они сами распахиваются перед вами. Ваше тело, нарушив прохождение инфракрасного луча, тем самым подало сигнал на автомат, открывающий дверь. Следовательно, сообщение о вашем приближении преобразовано в прерывание луча.

Идет разговор по телефону. Передатчиком является микрофон, на выходе которого напряжение меняется пропорционально силе голоса говорящего. (Я, как и многие другие, часто забываю, что разговор «во весь голос» для лучшей слышимости нарушает эту пропорциональность и приводит к обратному эффекту.)

Миссию, выполняемую передатчиком, называют кодированием. Выше мы разбирали методы погрузки информации на бегунов-носителей. Это частные случаи кодирования. Еще не зная этого термина, мы уже им занимались. Вспомните, как для противодействия помехам мы пять раз повторяли команды, посылаемые на зенитную ракету. Это есть один из методов кодирования.

Из передатчика сигнал поступает в среду распространения, общую для передатчика и приемника. Здесь и находится беговая дорожка наших бегунов, бережно несущих заданную информацию.

В некоторых искусственных средах они мчатся как по рельсам: по проводам, по кабелям, по волноводам и световодам. Такие рельсы иногда создает природа: например, паук, придя в гости к соседке, передает информацию о своем прибытии, закодировав ее в виде серии импульсов и передавая их путем подергивания одной из периферийных паутинок тенеты. Здесь механические колебания распространяются по паутинкам-рельсам.

Другой вид беговых дорожек — это свободное пространство. Если передатчик излучает радиоволны во все стороны, то бегуны тоже несутся во все стороны; они заполняют все окружающее пространство и, конечно, быстро «выдыхаются». Такие всенаправленные сигналы излучают, в частности, аварийные передатчики пароходов, самолетов, парашютистов.

Если нацелить всех наших бегунов точно в направлении на корреспондента (если его положение известно), то передача информации будет значительно экономичнее. Эту задачу решают антенны, входящие в состав передатчика. Так, чтобы сигнал-марафонец добежал до финиша у планеты Венера, когда там находился наш корабль «Венера-8», потребовалась антенна гигантских размеров, создающая очень узкую беговую дорожку в пространстве.

Но не только радиоволны распространяются в сво-

бодном пространстве, хотя и там разрешены не все пути-дорожки. Звуковые волны в воде хорошо переносят информацию между подводными лодками. Для них тоже стараются по возможности сузить беговую дорожку, чтобы увеличить дальность и, главное, не обнаруживать себя.

В среде распространения и происходят самые большие неприятности с передачей информации. Дикая орда чертей-помех набрасывается на сигналы и старается превратить их в хаос, лишенный информации. Если бы не они, то все было бы просто. Не нужно было бы специальной науки, которую называют «Теория информации» или «Теория передачи сигналов». Не нужно было бы студентам учить лишний курс. Не надо было бы писать эту книжку...

Но, как мы установили, они в «грубом», реальном мире неизбежны. И, каким бы ни был могущественным на выходе передатчика сигнал, всегда найдется участок пути, где биты и черти оказываются приблизительно в одинаковой весовой категории и где начинаются кровавые баталии меж ними.

Да и сама среда часто ведет себя коварно. Она меняет степень затухания сигнала, отчего он то царит над шумами, то падает ниже их. Кроме того, среда влияет на изменение времени прохождения сигнала от передатчика к приемнику. Это особенно опасно в фазовом приемнике, так как нарушает шкалу времени и тем самым фазу сигнала (надеюсь, читатель еще не забыл это!).

Наконец, самый коварный трюк, выкидываемый средой, состоит в том, что иногда вместо одного посланного сигнала в приемник приходит несколько, и со сдвигами во времени. Эти запаздывающие копии сигнала накладываются на следующий посланный сигнал и т. д. Образуется невероятная каша из сигналов, да еще приправленная гарниром из помех. Многие десятилетия казалось, что разобраться в этой каше невозможно. Однако человеческий гений преодолел и это.

Пройдя через ту или иную среду, смесь сигнала и помех поступает на вход приемника. Здесь на подмогу внешним чертям спешат внутренние, засевшие в приемнике. Как мы уже знаем, их можно объединить с внешними и вынести из приемника. Это и сделано на нашей

схеме. Так как обычно сигнал довольно слаб, то его усиливают в приемнике, а затем производят операцию, обратную кодированию: декодируют, то есть преобразуют электрический сигнал в исходное сообщение.

Выше мы разбирали некоторые способы снятия информации с наших бегунов. Способы эти и являются частными случаями декодирования. Так, в результате декодирования входных сигналов телеграфный аппарат печатает текст, а телевизионный приемник воспроизводит изображение.

Наконец, принятое сообщение поступает к адресату, к потребителю информации. На этом и заканчивается путешествие сигнала по шенноновской универсальной схеме канала связи.

Легко видеть, что в нее можно вписать самые различные системы. Например, локатор следит за движущимся самолетом. Источником информации будет здесь, конечно, не наземный передатчик, облучающий самолет периодически следующими импульсами, а сам самолет: меняя положение, он будет то раньше, то позже отражать импульсы. Но самолет не только источник информации, но и передатчик ее. Он как бы переизлучает импульсы, посланные с земли. А приемник сравнивает посланные и отраженные импульсы и по величине запаздывания определяет расстояние до самолета. Оператор или автомат, получив эти данные, принимает решение.

Аналогичным образом в схему можно вписать дельфина с его биологическим локатором, определяющим расстояние до стайки рыб, до собратьев и т. д.

Теперь вернемся к вопросу, поставленному в начале новеллы. Мы видели, что даже идеальный приемник не может гарантировать правильный прием всех посланных битов. Некая часть их неизбежно искажается. К. Шеннон показал, как, невзирая на искажение некоторых битов, можно обеспечить неискаженную передачу всей информации, переносимой ими. Иначе говоря, он показал, что даже из ненадежных элементов связи можно создать нечто вполне надежное. Каким образом? Да путем соответствующего кодирования сообщений.

Идея, грубо говоря, сводится к следующему. Если иметь в виду дискретные сигналы, то надо отказаться от переноса информации одиночной посылкой и

заменить ее группой посылок, построенной так, что искажение одной или нескольких посылок в этой группе не исказит сообщения, передаваемого всей группой.

Подробнее мы это разберем дальше, а сейчас важно другое. Методов кодирования можно придумать очень много. Уже сейчас их столько, что даже специалистам трудно их все помнить. К. Шеннон перешагнул через все конкретные методы кодирования и поставил перед собой такую задачу: определить, какое предельное количество неискаженных битов можно передать по системе связи при самом совершенном методе кодирования.

Это предельное число он назвал емкостью, или пропускной способностью, системы связи и обозначил буквой C . Как нельзя в ведро емкостью в 10 литров влить воды больше, чем 10 литров, так нельзя по системе связи передать в одну секунду большее число неискаженных битов, чем C , при любом методе кодирования.

Оказалось, что C зависит только от двух величин: от полосы пропускания системы связи F и от отношения мощности сигнала P_c к мощности шума $P_{ш}$ на входе приемника. А сама знаменитая формула К. Шеннона, заслуженно называемого отцом теории информации, выглядит так:

$$C = F \cdot \log \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right).$$

Из формулы сразу видна коварная зависимость емкости C от мощности сигнала: увеличив мощность передатчика, скажем, в 1000 раз, мы повысим емкость его всего в три раза. И все это делает логарифм. Вот, наверное, почему я его с детства не любил. Он не позволяет нам «перекричать» помехи.

Непрерывное нарастание темпа жизни требует непрерывного повышения скорости передачи информации и ее достоверности. Поэтому сопоставление реально передаваемого числа битов с предельными возможностями вскрывает те резервы, которые человек еще не исчерпал. А резервы эти огромны. Расчеты показывают, что достигнутые скорости в десятки и сотни раз ниже предельных.

А можно ли практически полностью реализовать величину C ? Методика вывода формулы К. Шеннона показывает, что для приближения к этому пределу надо

применять все более и более сложные методы кодирования. И все больше и больше увеличивать длительность кодирующих последовательностей, или тех групп, о которых мы говорили. А это требует все большей памяти в приемном устройстве и приводит к все возрастающему запаздыванию в приеме сообщения. В пределе, при передаче со скоростью, равной пропускной способности канала связи C , это запаздывание беспредельно возрастает.

Ситуация перекликается с известным анекдотом. Вы получаете телеграмму «Сидоров выиграл автомобиль Волгу ждите коррекций». На следующий день приходит коррекция: «Не Сидоров, а Иванов ждите коррекций». Еще через день: «Не Волгу а швейную машину ждите коррекций». На третий день: «Не выиграл а проиграл ждите коррекций»...

Но это не значит, что нельзя, совершенствуя методы кодирования, заметно приблизиться к пределу и тем самым увеличить скорость передачи в реальных системах связи в десятки и сотни раз.

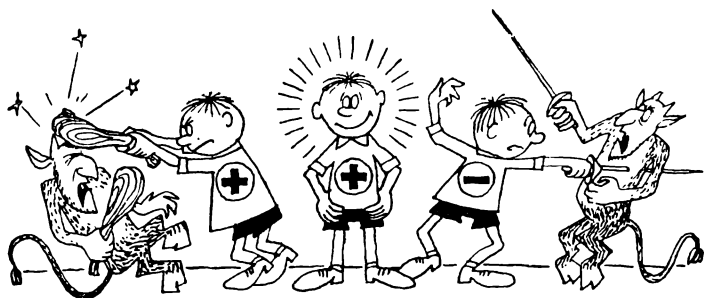
Противоречия между выводами В. Котельникова и К. Шеннона нет. Оно снимается путем кодирования сигнала. Любопытно заглянуть в тайны процесса кодирования, который позволяет, невзирая на гибель отдельных битов в кровавых битвах с помехами, донести адресату информацию в неискаженном виде.

Что же такое кодирование? Это есть процесс замены частей нашего сообщения некими символами, удобными для передачи. Или, если говорить более широко, это замена реальных предметов, мыслей, чувств условными знаками. И мы с вами, читатель, с самого детства, оказывается, занимаемся кодированием. Кто в школе не выдумывал своего кода для подсказки товарищу, у кого не было условного звука для вызова из дому приятеля, кто не подавал таинственных знаков любимой девушке, наивно думая, что во всем мире только она их понимает?

Можно даже всю историю и деятельность человека рассматривать с точки зрения этого кодирования, с точки зрения применяемых условных знаков. Так смотрит на мир наука, именуемая семиотикой, главными объектами которой являются языки народов нашей планеты.

ты — наиболее совершенные знаковые системы общения людей.

Мы с детства привыкаем к различным знакам и не замечаем их условности.



Невероятный свист тысяч американцев оглушил В. Чкалова и его спутников, когда, совершив первый беспосадочный полет из СССР в США через Северный полюс, они совершили посадку вблизи Портленда. По лицам американцев В. Чкалов догадался, что это не есть наш знак осуждения, а нечто обратное, и, заложив два пальца в рот, ответил тем же, что вызвало еще больший одобрительный всплеск свиста.

Несколько лет назад при посещении ГДР я был ошеломлен такой картиной. Только что я произнес последние слова доклада, как раздался мощный грохот: слушатели неистово заколотили руками по столам. Как оказалось, делали они это в знак одобрения. И нельзя не отдать им должного в рациональности такого кодирования: колотят они одной рукой, а вторая может писать, листать журнал и т. д.

В прошлом году, наслаждаясь перевальными маршрутами Западного Кавказа, мы присоединились к небольшой альпинистской группе, где царил авторитет и юмор некоего седовласого и очень прочно «сконструированного» мужчины, которого просто называли АБ. Мы тоже быстро усвоили это очень удобное, звучное и сближающее людей кодовое слово. И как же впоследствии мы были смущены открытием: двумя первыми буквами

алфавита был обозначен, правда не случайно, академик Аркадий Бенедиктович Мигдал.

Ваш палец в дырке диска телефонного аппарата над цифрой 8. Вы вращаете диск до упора и отпускаете. Возвращаясь под действием пружины в исходное положение, он 8 раз прерывает цепь и создает 8 импульсов. Кстати, не надо пытаться ускорить обратный ход диска насильно, даже если вы очень спешите: импульсы укоротятся, и искатель вашего абонента на станции может не сработать. При наборе единицы посылается один импульс, а при наборе нуля — целых десять (вот как высоко оценен нуль в телефонном коде). Если у вас семизначный номер, состоящий только из единиц, то в линию побежит всего 7 импульсов, но их станет 70, если номер составлен из одних нулей.

Это простейший способ кодирования, берущий начало от наших десяти пальцев; только десятый палец обозначен нулем. Этими условными телефонными знаками мы пользуемся каждый день, а иногда и целый день.

Главным в кодировании является отчетливое различие выбранных условных знаков. Так, если три подружки НИНА, ЛИНА и ИННА работают в одной лаборатории, то наверняка будет путаница из-за плохого различения (сходного звучания) трех «кодов», которыми нарекли при рождении этих девушек.

В таких случаях на помощь приходит простейший способ усиления различимости кодов — многократное их повторение. Но за это надо платить. И мы платим самой дорогой валютой — временем. Ведь сколько раз повторяется нами сигнал, во столько снижается скорость передачи информации.

И все же даже хорошо различимые коды, построенные по всем правилам современной математической теории кодирования, могут стать совсем плохо различимыми. Обезличить их могут вездесущие помехи. Прodelки этих чертей различны. Отрывая куски «мяса» от нашего кода и наращивая его своим, они могут превратить один условный знак в другой, один код в другой.

Вспоминаю, как я стал их жертвой. Напав на мою телеграмму, они внесли в нее такую коррекцию, в результате которой слово «голубоглазая» трансформировалось в «глупоглазая». Этого было достаточно для довольно большой ссоры.

Вторая их проделка — беспощадное кромсание сигнала до такой степени, что он превращается в хаос, в шум, то есть сам становится чертом.

Наконец, последняя проделка — это формирование кода из собственного «мяса». Хаос помех, непрерывно меняясь по случайным законам, вдруг образует одну из комбинаций вашего кода. Такой трюк помех получил свое кодовое обозначение: «ложная тревога». Происхождение его такое. Антенна локатора, меняя положение, периодически «прочесывает» своими импульсами заданный участок неба. Как только в нем появится отражающее импульсы тело: ракета, самолет, спутник, — посланные бегуны, отразившись от него, возвращаются в приемник локатора и, следовательно, вызывают сигнал «тревога». Но такую же отраженную последовательность на некоторый минимально необходимый отрезок времени могут сфабриковать и черти, тогда в приемнике возникнет такой же сигнал. Цели нет, а сигнал есть — «ложная тревога». Чтобы снизить вероятность этих трюков, иногда одиночные импульсы локатора заменяют более сложной группой посылок, состоящих из двух или трех импульсов.

Из приведенных примеров напрашивается вывод: одна посылка, несущая один бит информации, почти беззащитна от сильных помех, ей нужны телохранители — дополнительные импульсы. Такое кодирование называют избыточным.

Термин оказался удачным и стал применяться не только для характеристики кодов. Он даже проник в отзывы официальных оппонентов. Я уже несколько раз там его встретил: «Диссертация имеет большую избыточность» (не поймешь, не то много пустой породы, не то слишком много науки); «Избыточность украшает работу, но затрудняет ее чтение, а местами и понимание» (еще замысловатее).

Проиллюстрируем введение избыточности на простом примере. Пусть для управления воздушным шаром требуется передать только две команды — «вверх» и «вниз». Первая значит сброс балласта, вторая — подачу газа в оболочку из бортовых баллонов.

Самое простое решение сводится к использованию радиоканала, способного кодировать посылки двух качеств: 0 и 1. Посылке 1, например, присваиваем команду «вверх», а посылке 0 — команду «вниз».

Вблизи командного пункта шар точно выполняет распоряжения. Но вот ветер унес его от командного пункта, сигнал ослаб, и черти частично взяли управление «на себя». Без нашей команды шар то поднимается, то опускается, следуя ложной тревоге. А потом он, несмотря на посылаемые команды, и вовсе перестает иногда слушаться, не исполняет распоряжений — это так называемый «сбой» команды, ее непрохождение, ее искажение до неузнаваемости. Как ему помочь?

Надо ввести избыточность в код.

Добавим по одному импульсу к каждой команде. Пусть команде «вверх» соответствует теперь посылка 1 0, а команде «вниз» — посылка 0 1. При этом, конечно, надо в приемник ввести дешифратор, который проверяет наличие обоих импульсов и их последовательность.

Начинаем испытывать новые команды. Обнаруживаем любопытный факт. Ложных тревог стало меньше, но чаще появляются сбои, то есть чаще наша «радиорука» не может поднять шар вверх или опустить вниз.

Так и должно быть. Ведь теперь у чертей больше возможностей: не удалось изуродовать первый импульс команды, принимаются исказить второй.

Но и с этим помогает бороться избыточность. Добавим к командам еще по одному импульсу: «вверх» — 101, «вниз» — 010. При этом дешифраторотрегулируем так, чтобы он выдавал команду на исполнение при прохождении любых двух импульсов из каждой тройки. Теперь помехи могут изгрызть любой из трех импульсов, а команда все равно пройдет.

Итак, и сбои, и ложные тревоги стали редки, и шар нас слушается. Но вот ветер уносит его все дальше и дальше, мощность сигнала, слабея, приближается к мощности шума. Раньше нам опасны были только редкие сильные всплески шума. Теперь опасны и средние, которых значительно больше. Они способны поражать не только один импульс команды, но и два («сбой»), могут образовать также пару импульсов, похожих на импульсы в нашей команде («ложная тревога»).

Мы снова можем добавить в команды по импульсу, например так: 1011 и 0100, то есть ввести дополнительную избыточность, а дешифратор «научить» срабатывать от любых трех прошедших импульсов или только от некоторых.

Так у сигнала появляются спутники телохранители, которые, отчаянно сражаясь с помехами, часто сами гибнут в неравном бою, но расчищают информации путь к корреспонденту сквозь вражеские полчища помех.

Искусственно вводимая в сигнал избыточность снижает скорость передачи информации, но дает защиту от помех. Есть и естественная избыточность в передаче сообщений. Человек использует ее с незапамятных времен, не подозревая об этом. Речь идет о нашем языке, об информационном канале, который связывает нас с сотнями тысяч ушедших поколений и свяжет грядущие поколения с нами.

Опирируя только двумя различными кирпичиками — «да» и «нет», 0 и 1, «+» и «—», — мы уже научились передавать и простые, и сложные сообщения. Эти два элемента или две буквы, составляющие весь наш алфавит, можно сделать хорошо различимыми и обеспечить надежную передачу информации.

В связи с этим возникает вопрос: почему челове-



ство в процессе своей длительной эволюции не приняло этот простейший и надежный алфавит, а использует во много раз более сложные? Так, русский алфавит содержит 32 буквы, или 32 различных кирпичика вместо двух минимально необходимых.

Попробуем заменить 32 кирпичика только двумя. Для этого каждую из 32 запишем в виде группы из нулей и единиц.

Легко подсчитать, что если принять равное число двоичных кирпичиков, из которых мы складываем каждую букву, то наша группа должна состоять ровно из пяти нулей и единиц. Следовательно, новая азбука будет выглядеть, например, так:

$$A = 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0;$$

$$B = 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1;$$

$$V = 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0;$$

$$\dot{Y} = \dot{0} \ 0 \ 0 \ 0 \ \dot{1}.$$

Такого типа кодирование используется в настоящее время при передаче телеграмм.

Малыши с восторгом, наверное, встретили бы замену 32 букв двумя, но потом взвыли бы от заучивания длиннющих слов. Кстати, на телеграфе поданная телеграмма тут же переводится в двоичную азбуку типа нашей (код Бодо) и в таком уже виде бежит по каналу связи к адресату.

Теперь попробуем воспользоваться нашей азбукой в разговоре. Вы попали в беду и пытаетесь прокричать «Помогите!». Каждую букву вам придется произнести пять раз, а всего этих сигналов «да — нет» потребуется сорок.

Далее, мы построили новую азбуку без всякой избыточности. Превращение по каким-либо причинам 1 в 0 или 0 в 1 сразу превращает истинную букву в ложную. Значит, для защиты речи от всяческих помех, надо ввести избыточные «да — нет». Например, к каждому биту информации приставить по два «телохранителя». Тогда крик о помощи потребовал бы цепочку из 120 «да — нет!». Думаю, что может не хватить ни сил, ни времени.

Отсюда следует вывод: упрощение алфавита приводит к удлинению сообщения и, соответственно, сигнала в канале связи.

Поэтому в сложном и еще далеко не раскрытом пути эволюции языка человек подсознательно использовал не двоичный алфавит, а с бóльшим числом элементов. Возможно, что на ранних этапах имел хождение, конечно, двоичный алфавит.

Как мы видели, информация, сообщаемая одним элементом (одной буквой), зависит от общего числа букв

в алфавите, из которых он выбирается, то есть от числа возможных исходов (помните?). При двоичном алфавите это будет 1 бит информации, а при 32-ичном ($\log 32 = \log 2^5 = 5$ бит) в пять раз больше! (При условии, что все буквы этих алфавитов одинаково часто встречаются в словах.)

В этом и состоит чудо перехода на большой алфавит: за одно и то же время разговора или за одно и то же время передачи по каналу связи вы передаете значительно больше информации.

Можно приближенно считать, что в русском языке употребляется 50 тысяч слов. Люди пользуются этим богатым наследием предыдущих поколений по-разному. Александр Сергеевич Пушкин, как показывает анализ, использовал в своих сочинениях около 20 тысяч слов. «Героиня» из «Двенадцати стульев» И. Ильфа и Е. Петрова Людоедка Эллочка «легко и свободно обходилась тридцатью». Иногда, проходя по коридорам института, слышишь, как студенты щеголяют «универсальными» словечками-заменителями типа «железно», «клево», «в элементе», скатываясь в компанию Людоедки Элочки.

Одна из причин бессмертия А. Пушкина в том, что он находил самое точное слово, несущее тончайшие оттенки мыслей и чувств человеческих. Находил из огромного запаса в 20 тысяч слов, и потому каждое его слово насыщено богатейшей информацией.

А сколько слов всего можно образовать из нашего русского алфавита? Если не ограничивать их длину, то из любого алфавита, включая и двоичный, можно образовать бесконечное количество слов или бесконечное число комбинаций. Но очень длинные слова непригодны для языка. Умрешь от тоски, дожидаясь окончания слова, или забудешь его начало. Да в этом удлинении и нет необходимости. В самом деле, из алфавита в 32 буквы мы можем образовать 32 однобуквенных слова, некоторые из них используются: Я, А? О! У!; двухбуквенных $1024 = 32^2$ (типа мы, вы, да, ты, ба, фи), трехбуквенных $32768 = 32^3$; четырехбуквенных $1048576 = 32^4$ и т. д. Следовательно, мы вполне могли бы ограничить длину слов четырьмя буквами для составления всех 50 тысяч слов.

Средняя длина слова в нашем языке составляет, од-

нако, около семи букв. Значит, четырехбуквенный язык был бы приблизительно в два раза «короче». И это не так мало: речи ораторов, даже самых нудных, были бы в два раза короче, учебники стали бы в два раза тоньше, расход бумаги в государстве в два раза меньше. Но... Разберем это очередное «но».

Используя все или почти все возможные комбинации для составления слов, мы лишаем слова избыточности, лишаем запасов, лишаем их живучести.

В самом деле, если учесть максимальную длину используемых слов, то общее их число, которое можно при этом составить, превысит используемое более чем в 100 тысяч раз! Вот какую колоссальную избыточность заложила природа в язык людей, нащупав ее без всякой теории, простым перебором вариантов и отбрасыванием непригодных.

Составляя телеграммы, мы выбрасываем предлоги, союзы и даже некоторые слова из полного текста, зная, что адресат сам легко их восстановит. Это удастся сделать только благодаря тому, что слова в тексте не независимы (как было бы при отсутствии избыточности), а между ними существуют вероятностные связи, определяемые статистической структурой языка. Эти связи, пусть подсознательно, нам известны, и мы ими пользуемся.

Более того, аналогичные связи есть и между буквами в словах. Например, если первая буква слова «ч», то из гласных за ней не могут следовать «ы» или «я», а из согласных «с», «ц», «ф» и т. п. Весьма вероятно буква «т». Если первые две буквы «чт», то весьма вероятно, что третья буква будет «о» (что). Но может быть и «е» (чтение) и «и» (чтица). Маловероятна третья буква «у», так как образует редкие и «немодные» слова (чту, чтут).

Такие связи могут быть только при наличии избыточности и позволяют нам во многих случаях восстанавливать искаженные помехами, неисправностью аппаратуры и небрежностью работы операторов слова в телеграммах.

Но не только в телеграммах используется избыточность. Она верно служит человеку на каждом шагу.

Если бы мы жили в идеальном сказочном мире без всяких помех и шумов, без дефектов речи, слуха и зрения, если бы нам удавалось всегда предельно четко и точно выражать свои мысли, если бы... то, возможно, мы

могли бы обходиться без избыточности в языке. Но даже в этом сказочном мире нам было бы не так уж легко жить: безызыбыточный язык требовал бы напряженной концентрации внимания при восприятии информации.

Некоторые милые женщины ухитряются готовить вкуснейшие блюда, непрерывно ведя активный разговор по телефону (при этом обе руки заняты приготовлением пищи, а трубка таинственным способом удерживается в районе уха). Такое совмещение деятельности, конечно, немыслимо при отсутствии избыточности, а может, и сверхизбыточности в нашем языке.

Эта же избыточность позволяет понимать чужой почерк при почти полной неразборчивости отдельных слов и букв, прочитывать стертые древнейшие манускрипты и даже составлять мини-шпаргалки.

Бывают случаи, когда с избыточностью языка все же приходится вести борьбу, например при передаче речи по каналам связи. Дело в том, что спектр человеческой речи, если передавать его со всеми оттенками и нюансами, занимает довольно широкую полосу частот — порядка 5 тысяч герц. Для экономии полосы частот и размещения большего числа каналов используют меньшую полосу — 3 тысячи герц: таков международный стандарт, которым мы ежедневно пользуемся, звоня по телефону. При этом мы теряем очень мало — несущественную окраску речи.

Но и это не предел. Если речевой сигнал подвергнуть сложной обработке, то удастся уменьшить полосу его еще в 20—30 раз и передавать речь в канале с полосой порядка 100 герц. Устройство, осуществляющее такую обработку сигнала, называется вокодером. Как ни удивительно, при этом еще не полностью теряется индивидуальная окраска, и по голосу можно узнать собеседника.

Наконец, если воспользоваться предельными оценками емкости канала связи по формуле К. Шеннона, которую мы разбирали, то получим совсем удивительный результат: информация, содержащаяся в речевом сигнале, принципиально может быть «упакована» в полосу порядка нескольких герц. Для этого надо полностью избавиться ее от избыточности. Пути приближения к этому пределу, по-видимому, будут найдены.

Вспоминаю, как несколько лет назад в Москве предполагалось открытие конференции по изгнанию избыточ-

ности из речевых, телевизионных и других сигналов. А в это время в Ленинграде стартовал симпозиум по введению избыточности в сигналы для повышения помехоустойчивости. Перед специалистами встала серьезная дилемма: куда податься, что важнее? И каждый решал ее по-своему, то есть в зависимости от вида избыточности, которой он занимался. Наибольшие муки испытывали те исследователи, которые избыточность и вводили и изгоняли.

Идеи теории информации, связанные с количественной оценкой информации в языке, с изучением статистики языка, стремительно ворвались в лингвистику. До этого она была чисто описательной наукой, ничего не измерявшей. Теперь же возникла новая математическая дисциплина — математическая лингвистика. Эта интереснейшая наука в последние годы привлекает к себе все большее внимание молодых пытливых умов. В течение нескольких лет в МГУ наибольшее число абитуриентов стремится именно на факультет этой специальности.

Оказалось, что каждый язык имеет свои закономерности, которые можно записать с помощью формул, а грамматические правила, так трудно заучиваемые в школе, переложить на язык математики. В таком виде им можно обучить машину.

Но зачем все это? Просто ради любопытства? Отнюдь нет. Установив закономерности языка, можно моделировать на электронно-вычислительной машине и язык, и те операции, которые человек осуществляет над ним. Сюда входят: машинный перевод с одного языка на другой, разгадка древних письменностей, вскрытие связей между разными языками, создание читающих автоматов и т. д.

Более того, записав в машину правила языка и введя в ее память некоторый запас слов, можно научить ее писать стихи.

Вот один из образцов пока белых стихов, сочиненных машиной при запасе всего в 130 слов (имея значительно больший запас слов, иногда из кожи вон лезешь, чтобы составить поздравительный вирш).

Стихотворение № 27

Пока жизнь создает ошибочные, совершенно пустые образы,
Пока время медленно течет мимо полезных дел,

А звезды уныло кружат в небе,
Люди не могут смеяться.

Эта машина пишет 150 подобных четверостиший в минуту. Названия к ним она еще не умеет сочинять, но зато четко их нумерует. Пока это упражнения, игра, но она принесет много «вкусных плодов» людям.

Выстукивая эти строчки на машинке, я узнал о печальном событии — умер поэт Ярослав Васильевич Смеляков. Сразу вспомнились самые любимые мною строчки из его стихов-песен:

...постелите мне степь,
занавесьте мне окна туманом,
в изголовье поставьте
упавшую с неба звезду.

Да, так никогда не напишут машины!

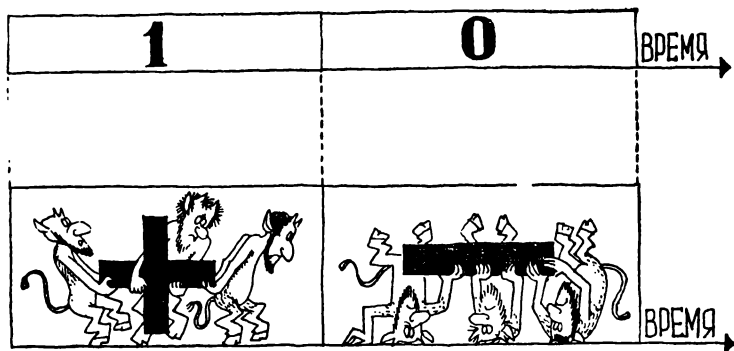
Первую количественную меру информации ввел Р. Хартли. Но эта мера охватывала только частные случаи, когда все сообщения или их элементы встречаются одинаково часто. К. Шеннон подметил, что в большинстве случаев и биты разного качества, и буквы, и слова встречаются в сообщениях с разной вероятностью: одни чаще, другие реже. Для учета этого явления К. Шеннон ввел новое понятие — энтропия. Что означает это таинственное слово?

Предположим, вы работаете в конструкторском бюро в составе небольшой группы из четырех сотрудников и начальника. Последний для удобства вызова к себе подчиненных применил простейшую систему связи: мелодично звенит звонок, и на табло загорается одна из четырех лампочек, на которых нарисованы первые буквы фамилий сотрудников. Вот они: «И» (Иванов), «П» (Петров), «С» (Сидоров), «Д» (Добров). Пусть ваш код «Д».

Первые месяцы шла дружная коллективная работа над проектом с равным участием каждого, и шеф одинаково часто зажигал все четыре лампочки, приглашая то «И», то «П», то «С», то «Д» для консультаций. Царила отличная творческая атмосфера «равенства и братства». Так как использовались сигналы четырех качеств, то вспышка одной лампочки, как мы уже твердо знаем, несла 2 бита информации ($\log 4$ — выбор решения из четырех возможных исходов). Вероятность вспышки ва-

шей лампочки или любой из них (строго говоря, это не вероятность, а частота события) есть отношение

$$P = \frac{\text{число вспышек «Д»}}{\text{число всех вспышек}} = 0,25.$$



Но вот вы предложили оригинальное решение основного узла проекта. Шеф увлекся этой идеей; почти все время загоралась только лампа «Д». Как только раздавался звонок, вы шли на зов, лишь изредка проверяя себя по лампочке. Учет вспышек показал, что вероятность вашего светового кода стала $P = 0,97$, а три других вспыхивали с вероятностью $P = 0,01$ каждая. (Сумма этих вероятностей, очевидно, всегда равна единице: $0,97 + 0,01 + 0,01 + 0,01 = 1$.)

Легко видеть, что чем больше равновероятных сигналов или кодов используется, тем меньше вероятность каждого из них. Если бы в группе было 10 сотрудников и 10 лампочек, то вероятность загорания любой из них была бы уже не 0,25, а 0,1.

К. Шеннон показал, что и при равновероятных, и при неравновероятных сигналах количество информации в послышке или коде определяется вероятностью его появления. И зависимость эта обратная: чем чаще появляется данный код, тем меньше информации он несет. Вот почему вы почти не контролировали себя по лампочке, а сразу шли к шефу, хотя из 100 вспышек только 97 были ваши. Вспышка лампы «Д» была почти достоверной. А количество информации в ее вспыш-

как катастрофически уменьшилось: она составила $\log 1/0,97 = 0,000001$ бита. Но зато информация в редких посылках ламп «И», «П» и «С» резко возросла: $\log 1/0,01 = 3,32$ бита.

Это хорошо иллюстрирует лотерея. Некто проверяет по выигрышной таблице свои билеты: один, другой, третий... десятый — все пусто. Он уже и не ждет выигрыша; каждый очередной билет несет ту же унылую информацию и не вызывает эмоций. Но вот он подпрыгнул, просиял, заметался, покрылся испариной... Это все сделал гигантский залп информационной «пушки»: он выиграл автомобиль, и не какой-нибудь, а «Волгу». Если, допустим, имеется всего один такой выигрыш на миллион билетов, то, естественно, беднягу потряс мгновенный информационный удар в $\log 1/0,000001 = 20$ бит! Говорят, что некоторые со слабыми нервами просто не выдерживают такого удара:

Но вернемся в КБ. Прошло некоторое время, и ситуация резко изменилась. Начальник решил не применять вашу находку («Идея хорошая, но не проверена. А вдруг наткнемся на подводные камни и пойдем ко дну? У нас жесткие сроки. Я не могу рисковать. Проедем еще на старом; хуже, но надежно».) Вы начали упорствовать, искать поддержку. Это вконец испортило отношения. Постепенно вспышки «Д» замерли, старую работу вы кончили, новой не предлагали. Стало тоскливо. На лампы вы уже не смотрите, а чтобы чужие звонки не мешали грустным мыслям, ватой затыкаете уши...

И вот в такой ситуации вспышка лампы с кодом «Д», конечно, несла бы огромную информацию: «увольнение», «принятие предложения», «пас в сторону» — в другой отдел и т. д. И лампа «Д» наконец вспыхивает. Вы не замечаете. Коллеги толкают вас, вы спешите к шефу...

Как же меняется общее количество информации, которое несет табло из четырех лампочек при описанных перипетиях в нашем условном КБ?

К. Шеннон дал общий рецепт: надо вычислить информацию, сообщаемую каждым кодом (у нас каждой лампой), и усреднить по всем кодам (по всем лампам). Только усреднять надо не обычно, а по законам случайных величин: информацию, сообщаемую каждым кодом,

умножать на вероятность его появления и складывать полученные величины.

Проделав это, мы получим знаменитую формулу К. Шеннона для вычисления средней информации, сообщаемой данным набором сигналов. Эту величину К. Шеннон и назвал энтропией, и обозначил буквой H :

$$H = P_1 \log \frac{1}{P_1} + P_2 \log \frac{1}{P_2} + \dots + P_m \log \frac{1}{P_m};$$

где $P_1, P_2 \dots P_m$ — вероятности появления кодов, а m — общее число кодов.

Обозначив в нашем случае вероятности вспышек ламп $P_{\text{и}}$ (Иванов), $P_{\text{п}}$ (Петров), $P_{\text{с}}$ (Сидоров) и $P_{\text{д}}$ (Добров) для ситуации появления новой идеи, получаем

$$H = 0,01 \log \frac{1}{0,01} + 0,01 \log \frac{1}{0,01} + 0,01 \log \frac{1}{0,01} + \\ + 0,97 \log \frac{1}{0,97} = 1,38 \text{ бита.}$$

Легко видеть, что в период «равенства и братства» в КБ, когда $P_{\text{и}} = P_{\text{п}} = P_{\text{с}} = P_{\text{д}}$, формула К. Шеннона переходит в формулу Р. Хартли $H = J = \log 4 = 2$ бита.

Таким образом, неравновероятное вспыхивание лампочек привело к уменьшению информации, сообщаемой световым табло, к уменьшению энтропии.

При каком же распределении вероятностей между кодами будет передаваться максимальная информация или энтропия достигнет своего максимума?

Исследование формулы К. Шеннона дает однозначный ответ — это имеет место при равной вероятности появления используемых кодов, слов, букв, вспышек.

В этом случае имеет место наибольшая неопределенность для адресата (одинаково часто загорается любая лампа), и общее количество передаваемой информации достигает максимума.

Отсюда следует важный практический вывод: наибольшая скорость передачи информации (телеграмм, команд, знаков) будет тогда, когда имеет место равновероятная ситуация.

Для приближения к ней применяют специальные преобразователи, которые выравнивают вероятности появления элементов используемого алфавита.

Далее К. Шеннон показал, что наибольшей энтропией обладают сигналы, имеющие форму... шума! Это звучит парадоксом. Ведь шум — это те самые черты, которые признают только хаос и стараются разрушить, уничтожить, искромсать любую информацию. Как же можно шум заставить нести информацию, как его запрячь в коляску битов, в коляску нулей и единиц? Ведь у шума все меняется. Амплитуда, частота и фаза одного куска шума и другого совершенно непохожи.

Но есть у этих вездесущих и непрерывно меняющихся черт один устойчивый параметр, который даже они не в состоянии изменить — это закон их хаоса. В частности, интересующие нас шумы типа тепловых подчинены закону Гаусса. Есть и другие типы шумов, подчиненные другим законам. Как же себе представить передачу информации с помощью шума?

А вот как. Пусть канал, имеющийся в нашем распоряжении, работает двоичными сигналами, то есть по нему передается информация с помощью нулей и единиц. Записываем кусок шума (например, на магнитофонную ленту) и будем передавать его вместо 1. Для передачи 0 тот же образец шума (его принято называть «реализацией шума») опрокидываем вверх тормашками: эта операция соответствует его умножению на минус 1, и тоже передаем.

А как поступать на приеме; как отличить посланные шумовые сигналы от естественных шумов?

Здесь-то и помогают нам законы хаоса. Если нашу выбранную для передачи «реализацию шума» заранее «сообщить» приёмнику, то он будет сравнивать приходящие шумовые нули и единицы с образцом и правильно восстанавливать передаваемую информацию.

Практически, чтобы упростить систему и исключить «перевозку» образца хаоса на прием, человек нашел способ создавать совершенно одинаковый хаос и на передаче, и на приеме.

Этот искусственный хаос уже не совсем шум, а псевдошум и вполне подвластен нам. На передаче и на приеме ставятся такие генераторы, которые генерируют одинаковый псевдошум. При передаче 1 приходящий и местный псевдошумы должны быть одинаковы, а при передаче 0 — приходящий перевернут с ног на голову.

Какой же все-таки резон заменять нашу стройную,

правильно очерченную посылку-сигнал куском шума, «псевдошума», то есть десятком беснующихся чертей-помех? Ведь тогда придется при том же числе битов информации расширить в десятки раз полосу пропускания канала связи или при той же полосе в десятки раз снизить скорость передачи?

Верно. Но зато шумовой сигнал позволяет создать ряд новых удивительных систем связи.

Вот один только пример.

«Набивая» все больше и больше псевдочертей в посылку, что требует все большего расширения занимаемой полосы частот, мы можем сделать их в десятки и сотни раз меньше «ростом», чем естественный шум приемника. Тем самым мы замаскируем сигнал под шумы.

Но тот приемник, который знает их реализацию, сразу распознает их, соберет всех, распыленных в гигантской полосе, воедино и восстановит передаваемую информацию. Этот процесс называют «сверткой шумового сигнала».

Однако не только скрытностью знамениты эти карлики — наши псевдочерти. Их так много, что безболезненно для информации можем «хирургически» удалять значительную их часть (больше половины).

Такая ампутация требуется в том случае, когда на какую-то часть карликов наваливается сильная помеха, например соседняя радиостанция. Делает ее приемник, который автоматически замечает помеху и вырезает и помеху и поврежденных карликов.

Когда мы впервые стали проверять эту удивительную живучесть псевдошума, то у многих были сомнения в пригодности метода. Гигантские помехи наседали на наших карликов то тут, то там в спектре сигнала, но их спокойно вырезали фильтры-выключатели, а информация продолжала идти без искажений.

Такие системы с шумоподобными сигналами в различных модификациях уже нашли практическое применение. В частности, они дали возможность разобраться в «каше» из ряда копий сигнала, поступающих в приемник с запаздыванием во времени (многолучевое распространение радиоволн), о которой мы говорили в начале главы.

Вот к каким интересным результатам привело нас понятие энтропии.

Если К. Шеннон вскрыл основные законы передачи сигналов по каналам связи любого типа, то Н. Винер поставил вопрос шире. Он заинтересовался основной задачей, ради которой информация вообще передается по каналам связи, и обнаружил удивительное единство решаемых при этом задач и в технике, и в живых организмах, и даже в сообществах живых существ.

Испытания макета, над которым трудилась вся лаборатория больше года, прошли успешно. Наступил долгожданный отпуск. Уж сколько раз твердили друзья-альпинисты, что только горы могут почти мгновенно отключить вас от «суеты мирской», от формул и графиков, которыми переполнена голова. Рискнуть? Рюкзак собран. Самолет. Автобус. И к вечеру мы впервые увидели



снежные горы. На вас доброжелательно смотрела и, кажется, даже чуть-чуть улыбалась гигантская снежная шапка Эльбруса, удивительно гармоничная и удивительно нежно-розовая в заходящих лучах солнца. И действительно казалось, что она заполнила вас всего без остатка, вытеснив все остальное. Вам хочется поделиться радостью с коллегами. Вступаете в контакт с группой туристов. Но почему они так странно смотрят на вас? Да потому, что вы пьяны, неимоверно жестикулируете, беспричинно смеетесь...

И все это влияние высоты. За несколько часов вы набрали высоту около 2 тысяч метров. Совершили нечто подобное выбрасыванию рыбы из воды на песок. Атмосферное давление резко снизилось, количество кислорода во вдыхаемом воздухе заметно упало. Появилось кислородное голодание, и наступила горная болезнь.

Но достаточно пожить на такой высоте два-три дня, как все это исчезает. Организм приспосабливается к новой среде, усиливается легочное дыхание, кровь лучше начинает поглощать кислород за счет увеличения числа эритроцитов и гемоглобина и т. д.

Схема описанного такая: организм (живая система), получив извне информацию об изменении давления в окружающей среде, начинает перестраиваться (акклиматизация) для лучшего приспособления системы к новым условиям. Имеет место процесс управления системой по поступившей информации.

Только благодаря подобным процессам управления или саморегулирования зародившаяся на Земле жизнь смогла просуществовать более трех миллиардов лет, несмотря на колоссальные изменения климата, состава атмосферы, почвы, водных бассейнов, радиации. И не только просуществовать, но и пышно расцвести в сотнях тысяч видов.

Тут вспоминаются слова академика А. Харкевича: «Жизнь начинается там, где начинается информация». В скобках заметим, что сейчас на Западе встречается обратная точка зрения: «Жизнь кончится там, где начнется информационный взрыв». Но об этом мы поговорим в последней главе.

Обратив свой взор к технике, к машинам, созданным человеком, мы увидим буквально на каждом шагу тот же процесс управления.

Теперь большинство пассажиров не пугается, когда пилот, оставив пульт управления, спокойно проходит в салон. Все знают, что есть автопилот, которому экипаж временно передает управление. Автопилоту задается курс, по которому он и ведет самолет. Любое отклонение от курса, превышающее чувствительность гироскопов, следящих за направлением движения, вырабатывает команду рулям, возвращающим самолет на заданное направление.

Читатель уже заметил, что схема та же: поступает информация о нарушении состояния системы, и начинается процесс управления ею.

Те же процессы регулирования мы наблюдаем в сообществах живых, разумных и неразумных существ. Они, конечно, различные по существу, но схема остается та же.

Так, например, коллектив завода для выполнения плана и по количеству, и по качеству, и по номенклатуре регулирует использование людей, техники, сырья.

Новая наука — кибернетика, созданная Норбертом Винером, изучает именно такие системы, в которых протекает процесс управления состоянием системы. Основой этого управления является информация о состоянии системы и среды. Вот и ответ на вопрос, поставленный в начале новеллы: информация нужна для управления организмом и сообществом живых организмов, машиной и объединением машин.

Для кибернетики характерен так называемый иерархический подход к системам управления. Самолет, как мы видели, переведенный на управление автопилотом, есть система регулирования.

Но пилот контролирует ее работу и в ответственных ситуациях берет управление на себя. Поэтому можно рассматривать более сложную систему с участием и пилота, и автопилота.

Далее, сигналы курса и сигналы посадки самолет получает из аэропорта назначения. Можно рассматривать систему регулирования, включающую и самолет, и аэропорт.

Но аэропорт управляет одновременно движением многих самолетов. Можно все их объединить в одну большую систему регулирования.

Наконец, аэропорт связан с другими аэропортами, можно... Пора остановиться, дабы не замучить читателя.

В несколько схематизированном виде любая простая система регулирования, или, как теперь принято говорить, кибернетическая система, может быть сведена к элементарной схеме из двух «ящиков» и двум связям между ними.

Первый ящик — это управляющая система, которая вырабатывает команды и посылает их второму ящику — управляемой системе. Второй ящик не просто получает команды, а обязательно имеет линию связи с управляющей системой, по которой он сообщает или сигнализирует о выполнении или невыполнении полученной им команды и вообще о состоянии управляемой системы. Это очень ответственная связь, так как по информации, идущей по ней, вырабатываются команды управления.

Эта связь получила название «обратной связи», без которой немислимо управление.

Слово «обратной» отражает направления движения информации — от управляемого объекта к управляющему; обратное направлению движения команд.

Командир управляет ожесточенным боем, регулирует движение войск, резерва, техники. Дела его безнадежны, если эта самая линия обратной связи оборвалась, если он не знает состояния управляемого объекта, то есть состояния его войск, если он не знает, как выполняются его команды.

Кстати, и такие системы управления изучает кибернетика, конечно, не при оборванной нити обратной связи, и не только изучает, но и указывает лучшие методы управления для одержания победы.

Надо отдать должное Н. Винеру, который первым подметил такую всеобщую роль цепи обратной связи в, казалось бы, совершенно не связанных живых творениях природы и приборах, или системах, создаваемых человеком. Парадокс состоит в том, что сегодня это кажется совершенно очевидным.

Как прямая, так и обратная связи, естественно, могут нарушаться. Например, вспомним отлично работавшую систему управления «земной оператор — луноход — земной оператор». Командная цепь и цепь обратной связи имели протяженность в 380 тысяч километров. И конечно, на сигналы управления и обратные сигналы наседали наши старые знакомые черти-помехи. Но принятые меры защиты, введение избыточности, которую мы уже разбирали, защитили сигналы, и луноход послушно следовал командам и исправно сообщал свои точные координаты на Землю.

А может быть и так.

Радиолокационная антенна исправно следила за движением цели. Ее система регулирования плавно вела огромный параболоид антенны за медленно перемещавшейся целью. Но нас волновал вопрос — как будет идти слежение при наличии помех. Стали вводить в систему регулирования помехи. Антенна шла уже не так плавно, но еще следила за целью. Добавили еще чертей. Появились срывы в слежении. Антенна временами теряла цель. Приходилось помогать ей снова ее находить. Добавили еще помех. Антенна начала метаться, дергаться.

ся, «нервничать» и совсем потеряла цель. Было жалко смотреть на этого гиганта, напоминавшего рептилий периода их расцвета, в состоянии нервного припадка.

Вот что могут сделать черти с умной системой управления, с умнейшим роботом, если им завладеют.

В живых системах управления также могут быть помехи. Это нарушение нервных внутренних каналов связи организма, по которым передаются команды и осуществляется обратная связь. Это, по существу, различные заболевания организма. Вот здоровая рука с отлично развитыми мышцами, но она не поднимается: команды из пункта управления — мозга — до них не доходят.

Ужасной помехой системе управления является алкоголь. В этом случае команды, скажем, до мышц доходят, но никакого контроля за их выполнением нет, и «пьяная система» движется не по прямой, а выписывает невероятные кренделя. Бывает и хуже, контроль за командами полностью утрачивается, и человек, это высшее творение природы, как та сумасшедшая от помех антенна локатора, начинает творить черт знает что.

Итак, кибернетика охватывает все многообразие систем управления и рассматривает их не в покое, не в статике, а в динамике, в процессе непрерывного или дискретного управления. В чем же суть этого присутствующего всем кибернетическим системам процесса управления?

Суть его состоит в выборе. Ведь любая управляемая система, как мы видели, может совершать разные движения (имеются в виду любые движения; механические — лишь их частный случай), и управление состоит в выборе предпочтительного движения. Известный афоризм четко отображает эту мысль: искусство управлять есть искусство выбирать.

Для правильного выбора, естественно, человек или автомат должен иметь полноценную информацию. Если ее нет, то кибернетическая наука бессильна. Вот почему вопросы надежной передачи сбора, обобщения, переработки информации являются основными в кибернетике. В некоторых словарях и энциклопедиях так и написано: информация — основное понятие кибернетики. Это, конечно, ловкое уклонение от трудностей определения самого понятия, но важность информации оно отображает правильно.

Даже при наличии полноценной информации перевод системы в новое состояние может быть сделан многими путями. И тут встает задача об оптимальном управлении.

Если говорить о таких системах, как автоматические заводы, автоматические поточные линии, автоматические станки, то выбор оптимального управления дает экономию таких показателей, как расход человеческого труда, времени, энергии, вещества. В этом огромное народнохозяйственное значение кибернетики.

Вскрытая кибернетикой общность человека и машин немедленно привела к вопросу: а нельзя ли сотворить машины, близкие по ряду исполняемых функций к человеку, а в некотором смысле даже лучше его, и взвалить на них часть его умственной работы?

Справедливость требует отметить, что такие попытки делались и задолго до появления кибернетики. Но это были попытки одиночек, «кустарей», обгонявших свое время. Поэтому они не имели должного успеха.

Книга Н. Винера «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» появилась в 1948 году и буквально произвела революцию во многих областях человеческих знаний. Любопытно отметить, что написать эту книгу предложил Н. Винеру мелкий издатель в Париже. «Так как счета сыпались со всех сторон, а я не накопил никаких богатств, чтобы компенсировать растущие расходы, — пишет Н. Винер в своих воспоминаниях, — то договор был заключен и книга написана». Книга стала научным бестселлером, издатели (она вышла одновременно и в США) были поражены, «и я не менее», замечает Н. Винер.

К этому времени развитие радиоэлектроники, систем автоматического управления и других областей науки и техники подготовило почву для того, чтобы нарождавшаяся кибернетика могла дать обоснованный утвердительный ответ на поставленный вопрос.

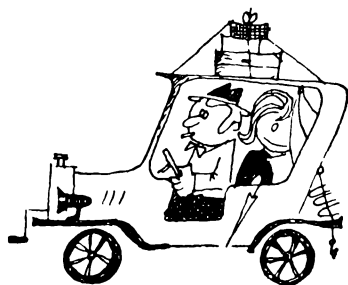
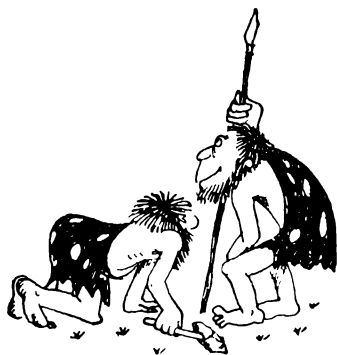
Да, кибернетические машины могут взять на себя многие функции человеческого мозга! Они знаменовали собой новый шаг в развитии земной цивилизации, шаг, который уже дал большие плоды и принесет во сто крат большие.

Есть ли предел в совершенствовании ЭВМ? Ведь можно построить машину, которая будет совершенство-

вать предыдущее поколение своих собратьев, затем машину, которая будет улучшать полученное новое поколение, и т. д.

Академик А. Колмогоров, например, причисляет себя к тем «отчаянным кибернетикам», которые не видят принципиального предела в совершенствовании ЭВМ.

**БЮРАКАН.
ОСЕНЬ-71**



Почему в последнее время слово «Бюракан» стало часто мелькать в газетах и журналах, упоминаться во многих докладах и научных дискуссиях и просто в разговоре? Зачем спешили туда люди из разных уголков нашей планеты и, невзирая на адскую жару в ту пору, вели там в течение недели не менее горячие дискуссии? И самое интересное для нас состоит в том, что именно вопросы передачи информации и ее расшифровки явились лейтмотивом бюраканского слета. Но будем последовательными...

У писателя Ашота Арзуманяна мы читаем: «На неприступном склоне Арагаца, там, где бьют тысячи родников, где стекают тысячи ручейков, мои предки возвели крепость, а местности дали имя Бюракан, что по армянски означает «великое множество ручейков».

Прошли века, и вместо военной крепости мы видим в этих местах научную крепость — Бюраканскую астро-



номическую обсерваторию. Уже четверть века ее глаз-телескопы, неутомимые, как у многоглавого Аргуса, следят за звездным небом через прозрачный горный воздух. Здесь не отдельным звездам уделяется основное внимание, а целым звездным системам — галактикам, изучается их строение и развитие.

Так, в Бюраканской обсерватории были открыты галактики с аномально яркой ультрафиолетовой частью спектра. По имени их открывателя Б. Маркаряна они получили общепризнанное название «галактик Маркаряна». У нас и за рубежом эти объекты усиленно изучаются для разгадки путей эволюции галактик.

Землю с множеством ручейков на весь мир прославил также цикл работ по обнаружению активности ядер

галактик. Оказалось, что проявляется эта активность по-разному: взрывы, при которых выбрасываются плотные сгустки материи, истечение огромных потоков газа, выбрасывание облаков релятивистского газа, длительное истечение спиральных рукавов. Из этого следует, что процесс звездообразования продолжается и в нашу эпоху. При этом звезды, как правило, возникают не поодиночке, а группами.

За этот цикл работ академик Виктор Амазаспович Амбарцумян, директор Бюраканской обсерватории, был удостоен в 1971 году высшей награды Академии наук СССР — Золотой медали имени М. В. Ломоносова.

Но не эти успехи астрофизиков Бюракана явились причиной события, происшедшего осенью 1971 года, с которого мы начали наш рассказ. И тем более не величавый Арарат, одна из глав которого увенчана, наверное, за мудрость блистательной шапкой из вечных снегов и льдов, открывающейся взору из Бюракана. Причина в другом: она на двух небольшого формата листках программы симпозиума. Впрочем, даже не на этих двух листках с русским и английским текстом, а всего в одной ошеломляющей строчке маленькой заглавной строки:

**Академия наук СССР
Национальная академия США
Академия наук Армянской ССР**

**СВЯЗЬ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ
БЮРАКАН**

6—11 сентября 1971 г.

Тут не сказано «К вопросу о возможности установления связи», «Целесообразно ли искать разум в просторах вселенной?» или «Существуют ли иные цивилизации?». Нет, судя по заглавию к программе, эти вопросы не возникают, здесь просто по-деловому говорится об установлении связи с «нечеловеческим» разумом. Тем самым «болото» длительных споров по вопросу «одинок ли мы во вселенной или нет?» просто остается позади. Впервые на международном форуме ученых дана такая постановка вопроса, явно зовущая к практическим действиям.

Проблема контакта с иными цивилизациями не нова. Скорее, напротив, стара, как мир. Но многие тысячелетия она была чисто умозрительной, если хотите, философской и никак не связанной с практической деятельностью обитателей нашей планеты. В последние столетия все чаще и чаще в научно-фантастических рассказах, юмористических новеллах более или менее талантливо и ярко (а иногда и вовсе бесталанно и бездарно) рассказывается о встречах землян с обитателями иных миров и о различных коллизиях с этим связанных. Не исключено, что такая популярность тематики в какой-то мере отодвинула проблему контакта с иными цивилизациями и придала ей некий веселый оттенок.

На тех, кто пытался серьезно обсуждать проблему связи с инопланетянами, смотрели в лучшем случае с улыбкой. Она часто играла даже на лицах весьма компетентных ученых... И вдруг, как гром среди ясного неба, международный симпозиум по этой проблеме с явной направленностью на конкретные практические деяния.

Попробуем установить те сдвиги, те пружины, благодаря которым произошло коренное изменение взглядов ученых на возможность установления контакта с другими цивилизациями (есть надежда, что хотя бы в некоторых других цивилизациях это произошло значительно раньше).

История свидетельствует, что практическое решение той или иной проблемы тогда идет успешно, когда, во-первых, имеется глубокое ее научное понимание и, во-вторых, имеются технические средства для ее решения. Так, Максвелл предсказал существование феномена радиоволн, но только спустя 23 года А. Попову удалось передать с их помощью первую радиограмму.

Одна из самых увлекательных наук — астрономия — последние десятилетия сыплет на нас потрясающие открытия как из рога изобилия. Это и обнаружение новых загадочных объектов радиовселенной — квазизвездных радиоисточников, названных квазарами. По одной из гипотез квазар — это гигантская сверхзвезда, ядро возникающей новой галактики. Ее масса составляет миллионы масс Солнца, а диаметр в несколько раз больше диаметра орбиты Земли. Квазары находятся где-то у границ наблюдаемой нами части вселенной, на расстоянии десятка миллиардов световых лет и поэтому

удаляются от нас со скоростью, близкой к скорости света.

Это и открытие пульсаров — космических объектов, которые излучают строго периодические импульсы. Эта периодичность была столь необычна, что их вначале приняли за сигналы внеземных цивилизаций.

Это и обнаружение космического теплового излучения с температурой 2,7 градуса по Кельвину. Оно возникло, по всем данным, около 10 миллиардов лет назад, до образования галактик и звезд, и существует по сей день!

Эти и многие другие открытия непосредственно связаны с совершенствованием телескопов и радиотелескопов, конструированием радиометров с очень низким уровнем собственных шумов и т. д. Сюда необходимо добавить появившуюся недавно и уже используемую возможность вести астрономические наблюдения со спутников и ракет.

В послевоенные десятилетия, как мы уже знаем, возникла новая наука — кибернетика. Сейчас делаются первые попытки построить общую кибернетическую теорию цивилизации как системы с огромным числом взаимосвязанных элементов (элемент — это, например, одна живая особь сообщества).

Но наибольший интерес для нас представляет та ветвь кибернетического древа, плодами которой являются системы передачи информации по каналам связи (независимо от их вида). На основе кибернетики, в частности, можно моделировать различные варианты систем связи между обитателями различных звезд.

Несколько слов об успехах биологии. Разгадка наследственного кода вполне законно считается величайшим достижением XX века. Этот шаг знаменует целую эпоху в биологии и, возможно, позволит в будущем проникнуть в тайну зарождения жизни и ее дальнейшую эволюцию не только на нашей планете, но и в других мирах.

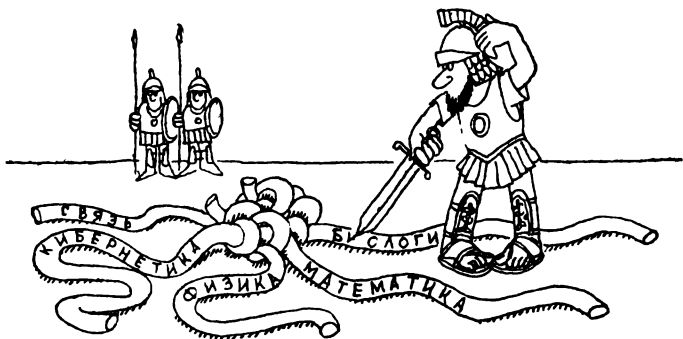
Наконец земляне шагнули за пределы своей колыбели — Земли — и начали освоение солнечной системы. Это существенно расширило наши возможности в познании вселенной.

Уже из этого далеко не полного обзора достижений земных наук вырисовывается лавинообразное их наступление в последние десятилетия, которое и привело

к новому этапу в проблеме внеземных цивилизаций, к этапу экспериментальному и наблюдательному. Этим и объясняется и организация бюраканского симпозиума и, как удачно выразился один журналист, тот наблюдающийся на нашей планете всплеск оптимизма в отношении контакта с братьями по разуму.

Проблема связи с внеземными цивилизациями напоминает гигантский узел, в котором переплетены и запутаны почти все фундаментальные науки землян. Развязывание гордиева узла этих наук сулит, возможно, власть над всей солнечной системой и даже ее окрестностями. По составу бюраканского симпозиума легко заключить, какие науки входят в это хитросплетение.

Наиболее многочисленную группу составляли, естественно, астрономы и радиоастрономы. Здесь надо назвать академика В. Амбарцумяна, главу советской делегации, и его коллег из Бюраканской обсерватории. Профессора Ф. Дейка, автора первого аппаратного комплекса по поиску радиосигналов от «цивилизованных» звезд («Проект Озма». США). В 1960 году гигант-



ский радиотелескоп этого комплекса диаметром в 27 метров в течение нескольких месяцев следил за звездами Тау Кита и Эпсилон Эридана в надежде принять сигналы, которые нам шлют обитатели планет этих звезд. Но либо они не слали нам сигналов, либо наша аппаратура их не улавливала, либо там некому слать, либо... В общем, сигналы не были обнаружены.

Далее, профессор В. Троицкий, возглавляющий работы по поиску сигналов из других миров, проводимые в Советском Союзе. Им проведено обследование 12 ближайших звезд, подозреваемых в «разумности». Обнаружен ряд новых естественных излучений, но разумные сигналы пока упорно «уклоняются» от земных телескопов и радиоприемников.

Профессор Национальной радиоастрономической обсерватории фон Хорнер (США), известный своими расчетами возможного числа цивилизаций, их средней длительности существования, возможности возникновения нового очага разума на месте угасшего и т. д., выполненными на основе теории вероятностей.

Доктор Н. Кардашев, советский астрофизик, автор классификации цивилизаций разного уровня развития, основанной на энергетическом принципе, получившей общее признание и широко использовавшейся на конференции.

Чехословацкий астроном Р. Пешек, один из инициаторов проведения бюраканского симпозиума. Кстати, он же автор утвердившегося названия проблемы связи с внеземными цивилизациями на английском языке «Communication with Extraterrestrial Intelligence» и его сокращения СЕТІ. Популярность этого сокращения связана еще и с тем, что «seti» — это родительный падеж от латинского слова «СЕТУС», что значит «кит». А это уже мостик к одной из ближайших к нам звезд — звезде тау Кита, которая очень похожа на Солнце и давно подозревается в наличии разума.

Группу физиков и астрофизиков украшал ряд известных имен. Это Ч. Таунс, получивший Нобелевскую премию вместе с советскими учеными Н. Басовым и А. Прохоровым за основополагающие работы по созданию лазеров. Академик В. Гинзбург, известный своими работами по космологии, член-корреспондент АН СССР И. Шкловский, автор известной книги «Вселенная, жизнь, разум». Профессор Маррисон (США), предложивший искать сигналы на частоте природного «стандарта» частоты, на волне возбужденного водорода, длина которой равна 21 сантиметру.

Среди биологов, присутствовавших на симпозиуме, бесспорно, яркой фигурой был Ф. Крик, профессор Кембриджского университета, лауреат Нобелевской премии, присужденной ему вместе с Д. Уотсоном и Уилкинсо-

ном за расшифровку структуры молекулы ДНК, хранящей информацию о наследственных признаках организма.

На конференции присутствовали и представители новой, совсем молодой веточки на древе биологии — экзобиологии, изучающей зарождение и развитие жизни за пределами нашей планеты. Американскую делегацию возглавлял именно экзобиолог профессор К. Саган, известный, в частности, своей идеей заселить атмосферу Венеры микроорганизмами, которые, бурно размножаясь, должны преобразовать ее и сделать похожей на земную.

Чтобы не отбить у читателя охоту читать дальше наш бюраканский дневник, не стоит перечислять участвовавших в симпозиуме специалистов по кибернетике, теории связи и лингвистике, лучше сразу шагнуть к более экзотическим научным направлениям. Например, профессор Массачусетского технологического института М. Минский, известный своими работами по кибернетике и вычислительной технике, числится в списке участников симпозиума как специалист по искусственному разуму. Так как до сих пор не удается определить, что есть разум, а тем более искусственный, то такая специальность вызывала в равной степени и восхищение и недоумение.

Была тут представлена и такая специальность, как будущее человека. Но не думайте, что футуролог, фамилия которого значилась против этой специальности, действительно мог уже сегодня начертать хотя бы контурно будущее земной цивилизации.

Были здесь, конечно, и антропологи. Бросалась в глаза фигура профессора Ричарда Ли (США). Он прожил несколько лет в Африке среди бушменов, досконально изучил их язык и обычаи и чуть не остался с любившимися ему бушменами навсегда. Слушая по ночам у костра древние истории и сказки бушменов и удивляясь их фантазии и памяти, Ли пришел к выводу: мозговая деятельность бушмена и человека технически развитой страны не имеет заметных различий. Ли пытался обучить нас красивым щелкающим звукам, характерным для речи бушменов, но тут цивилизованный человек слаб — они нам никак не давались.

Были на симпозиуме и философы (не в переносном, а в самом прямом смысле слова). Их участие в дискус-

сиях раскрывало горизонты познания до безграничности. Но иногда уводило в сторону. Возможно, это случилось потому, что были приглашены философы, довольно далекие от рассматриваемой проблемы.

Несмотря на такое созвездие ученых экстра-класса, ни один из них, конечно, не мог себя назвать знатоком или специалистом проблемы СЕТИ. Пока это только мощнейший узел земных наук, и только коллективный разум может вступить с ним в единоборство.

Время от времени участники дискуссии для большей убедительности приводили те или иные формулы. Но была одна формула, которую почти все участники писали на доске мелом или ссылались на нее. На вид она очень проста: некая величина N равна простому произведению семи коэффициентов. Эта «некая величина» есть не что иное, как самая сверхсекретная величина для землян, в том числе и для участников симпозиума, — число внеземных цивилизаций в нашей Галактике, способное по своему уровню развития науки и техники вступить с нами в контакт! Раз есть формула, да еще такая простая, значит, можно вычислить N и тут же узнать, сколько у нас братьев по разуму? Можно было бы! Но эти семь коэффициентов как раз и образуют тот гордиев узел, который землянам предстоит развязать или разрубить. Обратимся к самой формуле.

Вот она:

$$N = N_0 q_1 q_2 p_1 p_2 p_3 \frac{\tau}{T}.$$

Сомножители, вокруг которых и шли горячие споры, имеют следующие значения:

N_0 — число звезд с очень длительным устойчивым состоянием, необходимым для зарождения и эволюции жизни от простейших форм до разумных и далее.

q_1 — доля звезд, удовлетворяющих первому условию, но обязательно имеющих планетные системы.

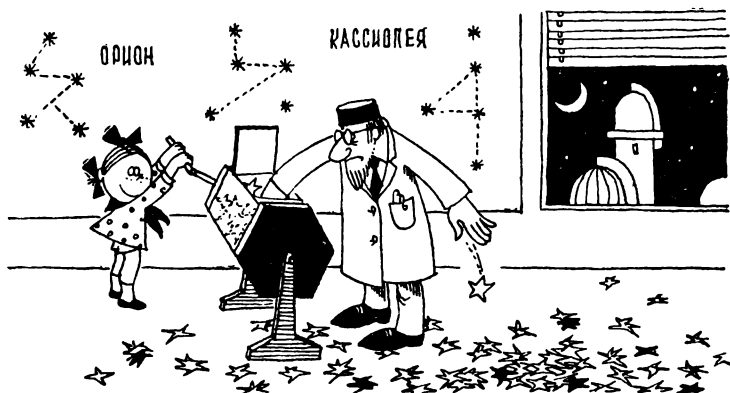
q_2 — доля звезд, удовлетворяющих первому и второму условию, но планеты которых находятся в «зоне жизни» (на них не слишком жарко, но и не слишком холодно, и жизнь возможна).

p_1 — вероятность зарождения жизни на планетах, находящихся в зоне жизни.

p_2 — вероятность того, что зародившаяся жизнь успешно эволюционирует в разумную.

p_3 — вероятность того, что развитие разума идет по технологическому пути (создание и непрерывное со-

вершенствование орудий труда), а не по пути приспособления к окружающей среде (путь, начатый у нас дельфинами)



$\frac{\tau}{T}$ — отношение времени существования цивилизаций от

периода достижения высокого технологического уровня (например, от освоения радиосвязи) до своей гибели, к полному времени существования биологического вида (от его зарождения до гибели).

Эта формула была выведена несколько лет назад участником симпозиума Ф. Дрейком и известна как «формула Дрейка». Для ее полного освоения давайте сделаем сообща расчет по ней. При этом, задаваясь теми или иными значениями сомножителей, мы, по существу, будем моделировать некую вселенную, которая им удовлетворяет и, возможно, очень непохожа на ту, в которой мы с вами, читатель, фактически обитаем. Вот куда завлекла нас эта простая с виду формула.

Будем считать, что, например, из 100 звезд нашей Галактики только на одной из них длительное время существуют стабильные температурные, радиационные и другие условия, необходимые для зарождения и развития жизни хотя бы на одной из ее планет (на Земле этот процесс занял три миллиарда лет с гаком). Общее число звезд в Галактике равно 10^{11} . Следовательно, первый коэффициент равен $N_0 = \frac{10^{11}}{10^2} = 10^9$

Далее будем считать, что, допустим, половина из этих звезд совершает свой путь в просторах холодного космоса не в скучном одиночестве, а со свитой планет (мини-свита — одна планета). Прямых методов наблюдения планет у звезд, исключая, естественно, Солнце, пока нет. Они слишком бледны на фоне пылающих звезд. Однако различными косвенными методами установлено, что звезды с планетной свитой весьма распространенное явление. В частности, профессор Стенфордского университета Боб Оливер рассказал на симпозиуме об изучении пульсаций в движении «летающей звезды Бернарда» (она совсем «рядом» — 6 световых лет от Земли). Анализ пульсаций показал, что вокруг этой звезды вращаются, как минимум, три планеты с массами всего лишь в 200, 300 и 400 раз большими, чем масса нашей планеты. Итак, полагаем $q_1 = \frac{1}{2}$.

Планеты, очень близкие к своей звезде и очень далекие от светила, находятся вне «зоны жизни» (если жизнь вне Земли мыслить в какой-то мере похожей на нашу). Если обозначить эту зону для солнечной системы, то в нее попадают Венера, Земля и Марс. В отношении Земли сомнений в существовании жизни и даже разумной (во всяком случае, по нашим земным критериям, которые другим цивилизациям могут показаться очень «частными и узковедомственными») как будто нет. Великую же тайну Марса и Венеры скоро нам раскроют автоматы или космонавты, которые уже нацеливают туда свои траектории.

Пусть из каждой четырех звезд с длительным устойчивым режимом и имеющих планеты окажется одна счастливая, у которой есть планета в зоне жизни. Тогда коэффициент $q_2 = \frac{1}{4}$.

Переходим к тайне зарождения жизни. Здесь земная наука пока только разводит руками или сваливает все на этот «случайный, случайный, случайный мир». В «густом соленом бульоне», который заполнял впадины нашей планеты в глубокой древности, случайно образовалась (и возможно, только одна-единственная) сложная молекула, способная к размножению, к повторению себя. Вот она и заварила кашу, которую мы теперь гордо называем земной цивилизацией.

Как-то в докладе я имел неосторожность сказать

приблизительно то же, и меня стал буквально преследовать один из слушавших. Он никак не мог согласиться с тем, что все живое на нашей планете: и разум, и наша пышная цивилизация, и, наконец, он сам — есть чисто случайное явление (по простому и ясному определению, случайное явление — это явление, которое может либо произойти, либо нет). В конце концов его удалось несколько успокоить тем, что, невзирая на случайность зарождения жизни на Земле или на конкретной планете любой другой звезды, общее число возникающих цивилизаций в Галактике подчиняется определенным, пока нам неизвестным закономерностям.

Вместе с тем профессор Ф. Крик подверг резкой критике идею чисто случайного зарождения жизни. Если подсчитать вероятность возникновения сложной молекулы, способной размножаться от простого «перетряхивания» молекул в бульоне, то она оказывается невероятно малой, сверхуникальной. И это ставит всю проблему СЕТИ под великое сомнение. Ф. Крик считает, что, возможно, при определенных физических условиях возникают какие-то силы, которые способствуют образованию больших и сложных молекулярных структур типа белков.

В связи с этим чрезвычайно важно для всей проблемы установить, есть ли жизнь в любой форме на других планетах нашей звезды.

Возвращаясь к нашему коэффициенту, примем «среднепотолочное» его значение $p_1 = 1/10$. То есть из десяти звезд с планетами, находящимися в зоне жизни, только у одной происходит это таинственное явление — зарождение жизни.

Какие шансы у зародившейся жизни достичь в процессе длинной, отнюдь не прямолинейной эволюции, разумного рубежа, рубежа самопознания материи? Примем для нашего примера этот шанс также равным одному из десяти, то есть $p_2 = 1/10$.

Возможен ли нетехнологический путь развития цивилизации? Мне кажется это невероятным. Ведь только труд, создание и совершенствование орудий труда формирует сознание. Но имеется и другая точка зрения. Поэтому примем коэффициент $p_3 = 0,8$ (из десяти только две цивилизации приходят к разуму, не намозолив рук или щупалец).

Наконец, последний коэффициент. Не останавливаясь

здесь на возможных путях развития цивилизации (гибель ее в результате, например, атомной войны; потеря интереса к технике и отказ от технологического пути развития; физическое и духовное вырождение и т. д.), примем для нашего примера время существования вида равным одному миллиарду лет, а время технологической эры равным одному миллиону лет. Следовательно,

$$\frac{\tau}{T} = \frac{10^6}{10^9} = 10^{-3}$$

Теперь, подставляя все величины в формулу Дрейка, получаем:

$$N = 10^9 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{8}{10} \cdot 10^{-3} = 1000 = 10^3$$

Таким образом, из наших расчетов следует, что при сделанных допущениях в нашем Млечном Пути число созревших для контакта с нами цивилизаций составляет одну тысячу, то есть в среднем каждые сто миллионов звезд имеют только одну цивилизацию!

Но мы просто упражнялись, чтобы выявить пружины этого таинственного числа N . А что говорят ученые? Расчеты по формуле Дрейка и другими методами делали ученые разных стран, в том числе и трое из участников симпозиума: К. Саган, И. Шкловский, фон Хорнер. Наибольший оптимизм в выборе исходных данных проявил К. Билс, его результат $N_b = 10^{10}$. Это значит, что в среднем на десять звезд приходится одна «цивилизованная». На полюсе пессимизма оказался фон Хорнер. По его расчетам, $N_x = 10^4$. Или одна «цивилизованная» звезда приходится только на десять миллионов звезд!! (Число, близкое к полученному нами в примере.) Тут невольно вспоминаешь несколько вольное определение, кто такой пессимист: оказывается, это есть не что иное, как хорошо проинформированный оптимист.

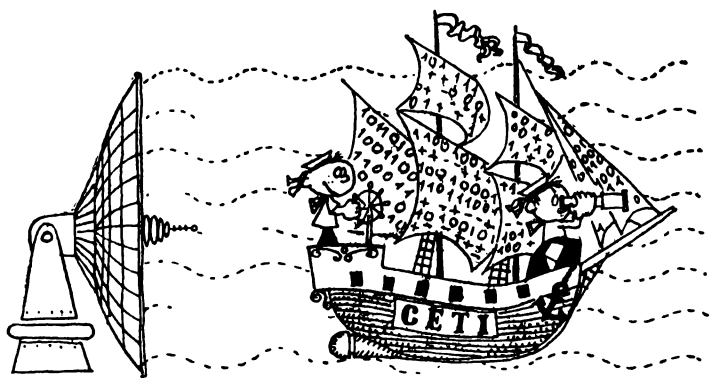
Тем не менее различие приведенных оценок на шесть порядков, или в миллион раз, говорит о слишком большом «коэффициенте незнания» данного вопроса. Но нам сейчас даже не так важно знать, сколько их, а есть они или их нет. Если нет, то и нечего копыя ломать: искать их, пытаться наладить контакт, приглашать их в гости или напрашиваться к ним. А на этот фундаментальный вопрос мы получаем из всех расчетов, даже при самых пессимистических допущениях, положительный ответ: да, они есть! Мы не одиноки! Мы не уникальны!

Это мнение, этот оптимистический взгляд на жизнь и разум вселенной красной нитью проходил во всех бюраканских дискуссиях, и он нашел отражение в решении, о котором речь впереди.

Итак, мы установили, что земная наука твердо стоит на позиции множественности обитаемых миров во вселенной. Но, сказав А, следует сказать и Б. Раз мы не одни в просторах вселенной, то немедленно встает вопрос о возможности контакта с другими разумными существами. И если он возможен, то в какой форме? Лететь к ним в гости, преодолевая фантастические расстояния в десятки и сотни световых лет, слать умного разведчика — робота или возводить радиомост?

Излюбленный путь контакта у писателей-фантастов предельно прост: мужественный землянин, поскучив изрядное время в космическом корабле, подлетает к намеченной планете «цивилизованной» звезды, совершает мягкую посадку и начинает браться с неземными существами.

К сожалению, этот простой путь контакта, назовем



его прямым, является самым сложным, самым трудно-реализуемым из всех известных нам сегодня. Для установления прямого контакта нужно прилететь именно на ту единственную, скажем, из миллиона (это число, возможно, из-за «круглости» часто использовалось в Бюракане) цивилизованную звезду. (Как ее разыскать среди миллиона «нецивилизованных», фантасты упорно скрывают.)

Давайте мысленно очертим вокруг нашей звезды сферу, в которой бы находился один миллион ближайших к нам звезд. Радиус такой сферы приблизительно... одна тысяча световых лет. Это значит, что световой луч или радиоволна, движущаяся с максимально возможной в природе скоростью около 300 000 километров в секунду, посланные с Земли, достигнут границы этой сферы только через 1000 лет! По масштабам космоса это расстояние мизерное. Так, только в нашей родной галактической спирали сфер такого радиуса можно было бы очертить порядка сотни тысяч. По земным же масштабам это невообразимо большое расстояние.

Попытаемся теперь поставить мысленный эксперимент: отправимся в нашу сферу на самом быстроходном космическом корабле, уже созданном землянами. Пусть это корабли типа «Союз» и «Аполлон», развивающие вторую космическую скорость, то есть около 11 километров в секунду. Направим наш бриг к ближайшей к нам звезде Альфе Центавра. Она лежит в самом начале нашего гигантского радиуса в 1000 световых лет, всего лишь на расстоянии 4,3 светового года. Нам предстоит приятный полет в течение (не пугайтесь!) более 100 тысяч лет! Значит, на таких космических черепахах можно летать только у своего дома, в районе колыбели человечества, то есть в солнечной системе. Выход за ее пределы, даже к ближайшим звездам, требует неизмеримо больших скоростей, не говоря уже о «прочесывании» всей нашей сферы с возможным одним-единственным очагом разума.

Для борьбы с расстояниями в десятки и сотни световых лет нужны не черепахи, а лихие скакуны со скоростью, соизмеримой со скоростью света. Для этого нужна реактивная тяга с потоком частиц, выбрасываемых со скоростью, также близкой к световой. Но ведь такие корабли, скажете вы, читатель, уже описаны даже в журналах «Юный техник» и др. Там сказано: на корабле создается установка, излучающая мощнейший поток световых частиц — фотонов (отсюда и название двигателей — фотонные). По законам отдачи фотонный корабль приобретает стремительное, почти с такой же скоростью, движение в обратную от потока сторону. Дьявольски простая штука! Но где взять этот бортовой источник электромагнитного излучения невиданной и неслыханной мощности? Его можно питать за счет ан-

нигиляции вещества или ядерных реакций. Но все это вместе огромная и пока неразрешимая проблема.

Даже заполучив фотонный корабль, мы не сможем полностью его использовать. Человек — хрупкое существо. Уже при ускорении в 2 земных ускорения на пассажира взваливается рюкзак, равный его собственному весу. Заметно переступать эту черту при длительных полетах даже для альпинистов рискованно. Значит, надо медленно набирать скорость и медленно ее сбрасывать.

Далее, расчет числа Циолковского — отношение массы корабля на старте к его массе на финише — приводит к малоутешительным величинам. При дальних полетах оно достигает десятков тысяч и миллионов. Практически реализовать такие корабли при технике сегодняшнего и даже послезавтрашнего дня не представляется возможным.

Так, расчеты показывают, что для полета и возвращения обратно за время жизни одного поколения к звездам на расстоянии 1000 световых лет начальная масса ракеты должны превышать все современное потребление массы вещества нашей земной цивилизацией, при полете к ближайшим галактикам она должна превышать массу планет солнечной системы, а для полета к границам наблюдаемой вселенной потребуется масса, превышающая массу Галактики!

Все эти соображения и ряд других, не менее существенных, которые мы опустили, приводят к выводу: прямой контакт, как ни печально, придется отложить на много десятков лет, а может, и навсегда. Ведь надо не просто долететь до ближайших звезд (это возможно), но найти обитаемую звезду. А для этого надо основательно пошарить в нашей сфере: уходить от своей базы на сотни световых лет, уходить во всех направлениях, обследовать несметное число звезд и планет.

Но есть и обнадеживающие факторы. Первый из них: случайность в расположении обжитых звезд. Ведь, допустим, у нас один шанс на миллион. Один выигрышный билет на миллион пустых. Но это в среднем. Случается, что два выигрышных билета вытаскиваются из барабана почти подряд. Может быть, землянам еще раз повезет в лотерее природы (первый раз «повезло», когда на нашей планете образовалось удивительное сочетание условий, необходимых для зарождения и развития жиз-

ни), и ближайший очаг разума окажется вблизи центра нашей сферы, среди ближайших звезд?!

Второй благоприятный фактор — возможность сжатия, замедления времени! Космический корабль при скоростях, близких к скорости света, становится машиной времени. Но не фантастической, как у Герберта Уэллса, а реальной (мы это обсуждали во второй главе). Но этот трансформатор капризен, он начинает заметно сжимать время (как гармонист в экстазе резко сжимает растянутую гармонию), тогда и *только тогда*, когда корабль становится по скорости опасным соперником светового луча. А это требует... (но не будем утомлять читателя повторением — иногда это «мать учения», но может стать и мучением).

Наконец, есть третий обнадеживающий фактор. Это прием сигнала от внеземной цивилизации и определение по нему звезды, его пославшей. Это сразу снимает необходимость «шарить» в нашей сфере. И если это не очень далекая звезда, то есть надежда когда-нибудь к ней пришвартоваться.

Все сказанное выше о прямом контакте отнюдь не исключает медленной экспансии цивилизаций от звезды к звезде, с созданием на них поселений и необходимой техники для «прыжка» к следующей ближайшей звезде.

Сюда же примыкает выдвинутая на симпозиуме Ф. Дайсоном (США) идея заселения комет солнечной системы. На краю нашей системы их очень много — миллиарды. Их жизненное пространство в тысячи раз больше, чем всех наших планет. И самое главное, как считает Ф. Дайсон, земная цивилизация при этом разобьется на небольшие почти изолированные кланы, и от этого наступит новый расцвет цивилизации. Это положение он подкрепил примерами из истории, когда небольшие почти изолированные города давали расцвет культуры (Иерусалим, Афины, Флоренция). Но чувствовалось, что эти примеры не убедили участников дискуссии. Тогда Ф. Дайсон привел свой последний «довод»:

«На кометах можно будет окончательно оторваться от всяческого земного начальства, полицейских и бюрократии».

Переходим ко второму виду контакта с инопланетя-

нами — робот-контакту. Он отличается от забракованного нами прямого контакта тем, что умное живое существо выдворяется из корабля (как малонадежное и капризное) и заменяется роботом, хотя и не столь пока умным, но зато очень четким исполнителем воли пославшего его человека и менее избалованным. А воля, например, может быть такая (она записывается в виде набора цифр в памяти робота): прилететь в такую-то звездную систему, стать искусственным спутником звезды (или одной из ее планет) и начать передавать для нее информацию. Она должна постепенно нарастать по сложности, обучая инопланетян нашей азбуке, нашей логике. Затем робот гордо сообщает, что он посол великого племени землян и даже может передать телевизионную картину квадрата неба, где он был сработан.

Робот-контакт снимает часть проблем прямого контакта: возвращение робота на родную планету отпадает, длительность полета не ограничивается длительностью жизни экипажа, допустимые ускорения можно увеличить, ему не потребуется ни воды, ни воздуха, ни пищи. (Правда, этот робот будет пожирать много своей любимой пищи — электрической. Но ее выработать проще.)

Все это делает несколько более вероятным появление таких послов-роботов в районах той или иной звездной системы, чем любителей прямого братания с инопланетянами. Может быть, такие послы уже прилетали и прилетают в нашу звездную глушь, сигналият нам, но мы их не слышим. Мы пока слабо следим за небесными сигналами.

Но даже с помощью этих умных послов исследовать нашу сверх-сверх-сверх... гигантскую сферу, радиус которой равен $300\,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 \times 1000$ километров (читатель легко догадается, откуда столько сомножителей), — задача неимоверной трудности. Она требует не только невиданной техники, но и невиданной энергии, невиданного количества вещества...

И наконец, третий путь — радиоконтакт. Электромагнитная волна (сюда входят радиоволны, оптические лучи и др.) и есть тот идеальный галактический корабль, о котором мечтают фантасты и который так нам нужен для контакта. Он летит практически со скоростью света. Стартует сразу на предельной скорости. Не требует торможения и мягкой посадки на финише. Он как бы

ускользает от могучих цепей тяготения. Если хотите, это быстроногий Ахиллес, которому не страшны космические пустыни протяженностью в миллионы и миллиарды световых (световых!) лет с редкими оазисами в виде скоплений звезд, облаков космической пыли, комет и метеоров. Но, как и у мифического героя Троянской войны, есть и у него своя уязвимая «пятая». Он не может перевезти в пространстве даже миллиграмм вещества. Но зато он могуч другим: на него можно взвалить гигантский груз информации!

А разве этого мало? Любые знания, добытые в битве с тайнами природы, любой опыт в социальной эволюции сообщества разумных веществ (белых, зеленых, фиолетовых — любых!) может принести радиокорабль. И это может быть, как это ни кажется удивительным, например, простая последовательность всего лишь значков: 1001011110100010110010000... (Конечно, очень длинная!)

Некоторым она может показаться случайным сочетанием нулей и единиц, но тот, кто разгадает тайну, ее логику, кто расшифрует эту простейшую азбуку из двух знаков (0 и 1), тот может узнать возможное будущее человечества (если эти значки придут к нам по радиомосту из ушедшей вперед цивилизации).

В создании таких величественных радиомостов между цивилизациями, которые будут строить уже не строители-мостовики, а бригады энтузиастов из радиотехников, радиоастрономов, кибернетиков, лингвистов, математиков, есть и свои трудности, и очень большие. Но они неизмеримо меньше, чем при организации прямых контактов или робот-контактов.

Мы еще коснемся деталей этого моста, в котором нет ни опор, ни ферм, ни заклепок, ни даже электросварки. А сейчас заметим только, что, поскольку мы, земляне, пока еще энергетические бедняки и не можем прокричать далеко в космос свое «ау-ау», то нам для начала надо ловить сигналы тех, кто уже повелевает большими энергиями. И пусть нас не смущают большие расстояния и большое время плавания радиокорабля с информацией (например, 100 лет!). Умные обитатели ушедших вперед цивилизаций, сверхцивилизаций прекрасно понимают это. Они не будут ждать нашего ответа им «Мы вас слышим!». Они сразу за сигналами привлечения внимания будут обучать нас своей азбуке

(вот пример подлинного заочного обучения) и затем сыпать как из рога изобилия все свои секреты.

Итог наш таков: наиболее возможный вид контакта, насколько хватает силы сегодня заглянуть в наше будущее, — это радиокорабли, набитые всяческой радиоинформацией.

Их надо, во-первых, ждать, искать, дружески швартовать к планете Земля и, во-вторых, по мере роста силы землян закладывать свои челны и слать их в таинственный космос.

Это проходило красной нитью в бюраканских дискуссиях и зафиксировано в решении.

Мы рассмотрели три возможных пути получения информации о внеземных цивилизациях: прямой контакт, робот-контакт и радиоконтакт. Но это еще не все пути.

Цивилизации, далеко ушедшие от нас по пути прогресса, или сверхцивилизации, из-за нехватки энергии и вещества на своей планете должны в конце концов начать добывать и то и другое на ближайших планетах, звездах, а может, и галактиках. Такая грандиозная инженерная деятельность собратьев по разуму должна быть замечена нашими земными астрономами и радиоастрономами. Однако до сих пор ни одного такого «космического чуда» не обнаружено. Обсудим возможные объяснения этого факта.

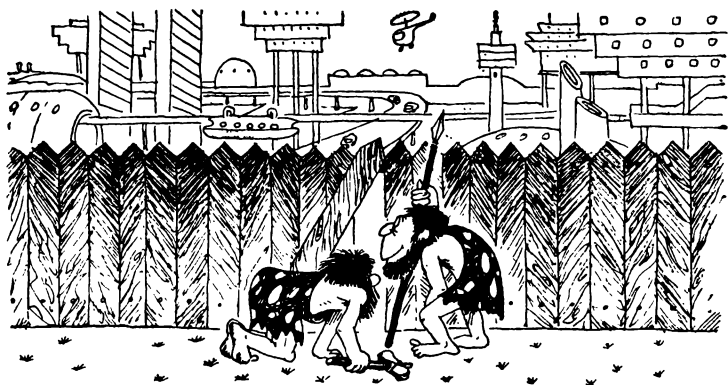
Термин «космическое чудо» с легкой руки участника симпозиума советского астрофизика И. Шкловского, с которым читатель уже знаком, путешествует в нашей и зарубежной литературе десятков лет. Так он назвал явления космического масштаба, которые не могут произойти «сами по себе», то есть явления, не объяснимые с точки зрения астрономии и являющиеся проявлениями инженерной деятельности высокоразвитых внеземных цивилизаций.

Если эта деятельность оперирует энергиями, соизмеримыми с энергией звезд, то ее можно наблюдать на расстоянии в сотни и тысячи световых лет. Эту информацию нельзя спрятать, нельзя сделать скрытной.

Но как обитатели планеты могут управлять своей звездой, превосходящей их планету по массе в сотни тысяч и миллионы раз? Разве нам, могучему племени землян, подвластно Солнце?

Сейчас еще нет. Но в будущем это отнюдь не исключено. В настоящее время рост населения и потреб-

ляемой энергии на земном шаре идет очень быстро, по экспоненциальному закону. Если приблизительно такие темпы сохранятся и дальше, то ресурсы нашей планеты скоро будут исчерпаны. Где же выход? Он в лучшем



использовании энергии Солнца и переработке для своих нужд вещества других планет. Фантастика? Нет!

Еще К. Циолковский высказывал и развивал мысль о грядущей перестройке человеком солнечной системы. Люди будущего, утверждал он, постепенно колонизуют межпланетное пространство и создадут искусственную биосферу вокруг Солнца. Они будут жить в искусственных «эфирных городах», обращающихся вокруг Солнца почти по круговым орбитам.

В последние годы в этом же направлении ведет исследования известный американский физик Ф. Дайсон. Он был в составе американской делегации в Бюракане и активно участвовал в дискуссиях.

В чем суть проекта Ф. Дайсона?

Для того чтобы завладеть всей, именно всей, энергией Солнца (сейчас мы поверхностью своей планеты улавливаем лишь жалкую ее долю — одну пятисотмиллионную часть от всей излучаемой энергии), строится ажурная сфера вокруг... Солнца. (Что бы сказал египтянин, искренне считавший наше светило богом, узрев такое строительство?) Радиус сферы может составлять ни много ни мало величину, приблизительно равную расстоянию от Земли до Солнца.

Заготовим стальные стержни диаметром в 1 санти-

метр и длиной в 1 метр. Из 12 таких стержней можно сделать октаэдр. Затем соединим друг с другом вершинами 100 таких октаэдров и создадим конструктивный элемент — «стержень» — второй ступени. Из 12 получившихся таким образом стержней соберем более крупный октаэдр и т. д.

Расчеты Ф. Дайсона показывают, что, переплавив планету Юпитер на такие стержни, из них можно собрать ажурную сферу вокруг Солнца с экватором, близким по размерам к орбите Земли.

Но ведь сфера дырявая — решето, через которое лучи Солнца будут легко проходить насквозь. А это преодолеть уже просто. Сфера покрывается пленкой, задерживающей энергию. (Кстати, ее можно сделать с электрическим управлением прозрачностью и, нажимая на некоем центральном пульте внутри сферы кнопку, можно мигать сферой либо во всех направлениях, либо только в избранных.)

Не останавливаясь здесь на способах переработки какой-либо планеты на стержни (Ф. Дайсон указывает принципиальные пути решения этой задачи), идем дальше. Сооруженная сфера, в литературе она названа именем ее смелого автора («Сфера Дайсона»), по второму закону термодинамики, сама становится источником новых сигналов (независимо от желания ее создателей). Так как вся энергия Солнца локализуется в сфере, то этот закон требует, чтобы сфера в соответствии с температурой ее внешней оболочки излучала очень мощные инфракрасные (тепловые) лучи.

Таким образом, цивилизация, движимая борьбой за свое существование, за сохранность своего вида, а может быть, и другими неизвестными пока нам идеями и желаниями, может соорудить такую или подобную ей сферу (на что уйдут, по Ф. Дайсону, тысячелетия), организовать внутри нее искусственную биосферу и тем самым обеспечить себе весьма длительное дальнейшее развитие. Но «скрыть» себя ей не удастся. Сфера становится независимо от желания ее творцов сильнейшим маяком инфракрасных лучей.

Единственное ли это «чудо», которое могут сотворить сверхцивилизации? По-видимому, далеко не единственное. Например, И. Шкловский говорит о принципиальной возможности взрыва, то есть искусственного образования сверхновых звезд. Спичкой, поджигающей такой

пороховой погреб, может служить сверхмощный пучок гамма-излучения, направленный разумным существом на свою жертву. Таким способом можно перестраивать звезды и добывать вещество. Ф. Дайсон предлагает и другие, «более гуманные», пути отбора вещества у своей звезды.

Далее, по одной из гипотез квазары являются генераторами невиданной энергии, созданными разумом. На эту мысль наводит «компактность» этого источника: при размерах ядра квазара порядка солнечной системы он дает излучение более мощное, чем тысяча галактик!

Доктор Н. Кардашев при обсуждении «чудо-контакта» сказал, что эта гипотеза заслуживает внимания.

Наконец мы подходим к нашему информационному вопросу: почему до сих пор ни одного подобного «чуда» не обнаружено землянами в нашей Галактике? Ведь обнаружение его — это уже прямой путь к контакту.

Первый ответ: в Галактике нет ни одной успешно развивающейся длительное время сверхцивилизации. В противном случае ее астроинженерия бросалась бы в глаза: свет не везде разбрасывался бы расточительно по всей Галактике, а кое-где бережно задерживался бы и регулировался, звездами как-то заметно управляли бы. А раз этого нет, то мы либо одиноки во всем Млечном Пути и нет у нас млечных братьев по разуму, либо есть некий барьер в длительном технологическом развитии цивилизаций, который не удастся переступить.

Например, профессор фон Хорнер (США), рассматривая возможные пути развития цивилизаций, назвал в своем докладе на симпозиуме ряд причин появления такого порога: гибель цивилизации из-за атомных войн; потеря интереса к технике и возврат к пещерному существованию; физическое и духовное вырождение. Я не верю в эти пессимистические гипотезы фон Хорнера. Они противоречат главным свойствам разумных сообществ, выработанным миллионами лет жестокой борьбы за существование: непрерывное совершенствование орудий труда, непрерывное расширение знаний об окружающей природе и неизбежное преодоление всех препятствий на пути прогресса.

А может, цивилизации в Галактике развиваются совсем не по технологическому пути, а сами приспосабливаются к среде существования? Тогда они никаких «чудес» в космосе не творят. (Вместе с тем это не ис-

ключает наличия живых существ, способных излучать и принимать электромагнитные колебания.)

В качестве примера приводят нашу земную «дельфинью цивилизацию».

Но, во-первых, никто еще не доказал, что дельфин разумное существо. (Пока среди землян идут разумные, а чаще неразумные споры о критериях разумности вообще.)

А во-вторых, история человечества говорит, что только труд, только создание орудий труда и их совершенствование приводит к формированию разума и разумного сообщества.

Поэтому нетехнологический путь возникновения и длительного развития цивилизаций выглядит нереальным.

Второе объяснение отсутствия «чуда», на позициях которого стоит и автор этих строк, — мы слишком плохо наблюдаем небо, наши приборы слишком примитивны, мы наблюдаем не во всех возможных диапазонах волн, слишком плохо изучены миллиарды звезд Галактики.

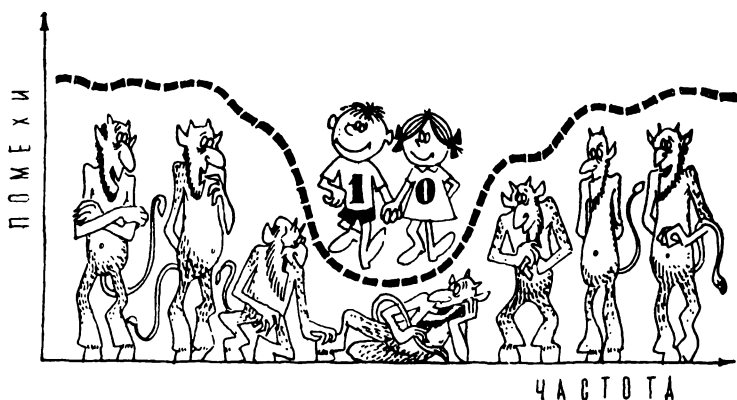
Итак, кроме рассмотренных ранее прямого контакта, робот-контакта и радиоконтакта, открывается еще один вид контакта или полуконтакта, назовем его «чудо-контактом». (Звучит?)

Этот чудо-контакт сводится к «подглядыванию» с затаенным дыханием дикарей за повелителями звезд. Будем надеяться, что наши земные дикари — астрономы заметят эти «чудеса» в космосе и расскажут остальным землянам об этом.

В решении Бюраканской конференции рекомендуется наряду с поиском сигналов иных цивилизаций вести поиск следов их астроинженерной деятельности в широком диапазоне частот.

В решении Бюраканского симпозиума записано: «Конференция рекомендует начать новые конкретные исследования, направленные на разработку методов поиска сигналов от внеземных цивилизаций. Список некоторых таких исследований прилагается». Этот шестой пункт решения наряду с пятым, в котором рекомендуется продолжение и усиление опытов по поиску жизни на других планетах солнечной системы с помощью космических средств, является весьма конкретным. Его стоит разобрать подробнее.

Среди рассмотренных нами четырех путей получения какой-либо информации об иных сообществах разумных существ (прямой контакт, робот-контакт, чудо-контакт, радиоконтакт) только два связаны с поиском сигналов



других цивилизаций. Это радиоконтакт и чудо-контакт. Первый имеет в виду специально излучаемые для установления связи сигналы, а второй — прием радио- или оптических излучений, вызванных инженерной деятельностью ушедших вперед (по сравнению с земной цивилизацией) разумных существ.

При этом мы, земляне, вынуждены пока взвалить всю инициативу на другие цивилизации, на энергетических магнатов, на повелителей невиданных на Земле мощностей, которые необходимы для радиоконтакта.

В самом деле, если мы захотели бы соорудить на Земле мощный передатчик, сигнал которого мог бы достичь любой звезды в нашей сфере радиусом в 1000 световых лет, имея при этом хотя бы небольшое превосходство над возможными помехами в точке приема (они определяются в основном космическим фоном — суммой излучений всех звезд), то нам понадобилась бы мощность, излучаемая антенной передатчика в 1 000 000 000 ватт. Словами это звучит еще внушительней: тысяча миллионов ватт, или один миллион киловатт. При этом такая мощность понадобилась бы нам не на мгновение и не на секунду, а на многие месяцы и годы, чтобы шарить в нашей сфере, перебирая звезду

за звездой. Ведь в сфере такого радиуса 10 миллионов звезд. Даже если отобрать из них только «подозреваемые в разумности», то вряд ли удастся уменьшить их число более чем в 100 или 1000 раз. Читатель может возразить против выбора сферы с неслыханно большим радиусом: вспышка света или радиоимпульс, посланные из центра сферы, достигнут ее поверхности только через 1000 лет! (Соответственно ответный сигнал, если он пойдет от звезды, близкой к поверхности сферы, потребует того же времени.) Мы выбрали столь большую сферу потому, что только в этом случае в нее попадет хотя бы одна или несколько цивилизаций. Очень большое время ожидания ответа приводит к необходимости шарить нашим сигналом по всем, именно по всем, подозреваемым звездам, не уповая на быстрый ответный сигнал и не дожидаясь его.

Исключение, безусловно, составит случай обнаружения землянами некой астроинженерной деятельности в районе одной или группы звезд. Тогда наша радио- или световая «пушка» может быть нацелена в этот район, и его облучение не потребует столь большого времени.

Необходимость шарить своим сигналом по всей сфере может быть также исключена в том случае, если на передаче использовать антенну, не устремленную на какую-то конкретную звезду, а всенаправленную. Такая антенна будет создавать сигнальное поле во всей сфере. Отсюда уже ясно, что мощность передатчика соответственно должна быть увеличена еще в тысячи и миллионы раз! Зато все звезды сферы сразу будут получать сигнал.

Читатель уже, наверное, сам сделал вывод, что даже направленная передача (не говоря уж о всенаправленной) сегодня нам еще не по силам. Кстати, в одной из дискуссий в Бюракане кто-то предложил очень целесообразное использование всех атомных бомб, накопленных на земном шаре: собрать их в кучу и в безопасном месте (например, далеко за пределами атмосферы) взорвать для создания мощного сигнального импульса другим цивилизациям. Грубая прикидка показала, что такой импульс преодолит заметную часть нашей сферы. Но ведь это был бы только один, всего лишь один-единственный импульс, который инопланетяне легко могут проморгать или отнести к случайным флуктуациям космического фона. Несмотря на это, предложение вызва-

до одобрительное оживление у всех участников симпозиума.

Таким образом, энергетическая бедность (и это далеко не единственная бедность) землян заставляет нас пока идти по пути только поиска и приема сигналов. Конечно, до ближайших звезд мы можем и сегодня дотянуться своими сигналами, но слишком мала вероятность обнаружить среди этого небольшого числа звезд развитый разум. Так, в сфере радиусом в 10 световых лет, описанной вокруг Солнца, насчитывается всего лишь 12 звезд.

Следовательно, удел землян — кропотливо вылавливать сигналы. Но как это делать? Ведь мы о них абсолютно ничего не знаем. Нам неизвестны ни направление их прихода, ни возможный диапазон волн, ни рабочая волна, ни полоса частот, ни метод модуляции и кодирования, ни время работы, ни... (достаточно и этих «ни»). Но хотя бы что-нибудь нам известно о тех, кто пошлет нам сигнал?

Да, кое-что известно. А именно:

1. Существа, пославшие сигнал, разумны.
2. У них действуют те же законы физики, что и на Земле.

Второй пункт вызвал дебаты в Бюракане. Если верны физические законы, открытые на Земле, в любых других уголках вселенной, то можно надеяться на некое единство логики всех разумных существ, невзирая на различие их биофизической «конструкции». Это, в свою очередь, создает возможность, во-первых, в какой-то мере прогнозировать вероятные параметры ожидаемого сигнала и, во-вторых, обучиться их азбуке по сигналам и понять их сообщения.

Академик В. Гинзбург, приглашенный как эксперт по этому кардинальному вопросу, высказался за единую физику, действующую во всей наблюдаемой части вселенной и в течение всего охватываемого наблюдениями времени ее эволюции. Установленные земной наукой законы, по-видимому, справедливы везде (безусловно, сверхцивилизации могут знать куда больше, но наши скромные знания должны входить в них, составлять их частичку).

Конечно, это смелое утверждение не обошлось без оговорок. Законы верны, если верны исходные условия, при которых они выводились. Возможно, что обычная

физика не годится для нейтронных звезд с их чудовищной плотностью вещества, а физика коллапсирующих звезд и ранних стадий эволюции вселенной должна оперировать квантовой теорией гравитации... Далее В. Гинзбург отметил, что даже единая физика во вселенной разрешает много возможных биологий. Например, не исключено использование в живых организмах даже такого явления, как сверхпроводимость (оно мыслимо не только при очень низких температурах).

Профессор Т. Голд (США), опираясь на единый рисунок спектральных линий элементов у звезд и галактик, поддержал идею единства физических законов во вселенной.

Единство физических законов должно, например, подсказать и посылающим сигнал и ищущим его, что наибольшую дальнобойность связи при прочих равных условиях можно достичь, используя так называемые «фоновые ямы». В этих ямах уровень космических помех существенно ниже, чем в других частотных участках.

В связи с этим на конференции отмечалась необходимость измерения уровня космического фона в широком спектре частот и поиска этих ям в малоизученных диапазонах.

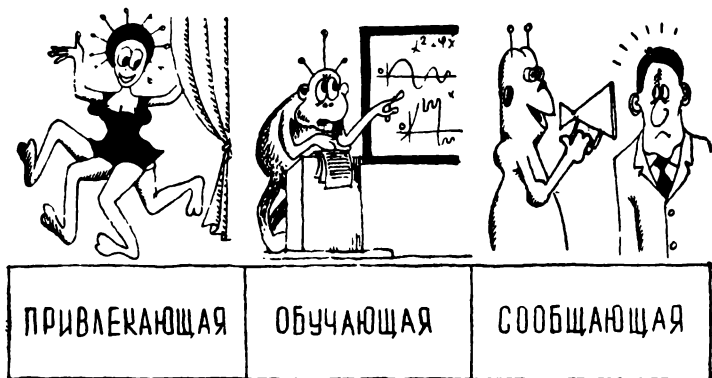
Основываясь на этом же единстве, можно сделать некие предположения об использовании на передаче наиболее устойчивых к помехам способов модуляции и кодирования сигналов и т. д.

Вылавливание далеких слабых сигналов будет идти тем успешней, чем больше будет наш земной невод. Такими неводами являются антенные системы радиотелескопов. В решении конференции, в частности, ставится задача создания гигантских радиотелескопов в четырех диапазонах частот с площадью: дециметровый — порядка миллиона квадратных метров; миллиметровый — порядка десяти тысяч квадратных метров; субмиллиметровый — порядка тысячи квадратных метров; инфракрасный — порядка ста квадратных метров.

Кроме того, ставится задача создания системы постоянного контроля за излучением всего неба. Пока земляне не имеют полной картины излучения и поэтому легко могут «проворонить» рвущиеся к ним сигналы других цивилизаций.

Наконец надо поговорить о структуре самих сигналов. Не тех, которые земляне, сильно разбогатев энергетически, начнут посылатъ в разных направлениях в космос с желанием рассказать о себе, о мудрой (к тому времени) земной цивилизации, а тех, которые мы сегодня ждем из космоса. Этот прогноз, конечно, есть детище нашей земной физики, нашего сегодняшнего понимания законов окружающего нас материального мира. Послезавтра или даже завтра он будет уточняться, меняться, а может быть, и отвергаться.

Высокоразвитая цивилизация, или по отношению к нам, «темным», сверхцивилизация, выбирая сигналы для мирного обстреливания звезд и даже галактик, числящихся в их детальной картотеке под рубрикой «Разум



весьма возможен» (Эх, заглянуть бы в нее одним глазком и узнать, занесены ли мы туда), наверное, организует дискуссию лучших своих умов. Но, возможно, ее и не будет. Как так?

А очень просто. В электронный мозг будет введена имеющаяся информация о возможных разумных звездах, об их положении на неизбежной шкале для всего живого и мертвого («рождение — развитие — зрелость — затухание — гибель»), о возможном развитии науки и техники на этих звездах и обязательно о возможных вариантах сигналов, которые можно использовать для установления контакта. Мгновенно переварив эту информацию в своем электронном чреве и опираясь на заданный живым разумом критерий («быстрейшее установление контакта с разумом на более низких ступенях развития», «быстрейшее отыскание сверхцивилизаций близкого уровня», «контакт с суперсуперциви-

лизацией» и т. д.), просчитав миллионы вариантов и сравнив их, холодная машина подскажет своим, не обязательно теплокровным, творцам оптимальный вариант.

Допустим все же, что дискуссия будет. И конечно, в ней будет участвовать знаток истории развития техники передачи сообщений с помощью электромагнитных колебаний в своей суперцивилизации. Перенесемся на эту дискуссию, на этот симпозиум сверхразумов, где будет установлено, что посылаемый в далекое плавание сигнал должен состоять из трех основных частей: одна часть — для привлечения корреспондентов, другая — для их обучения и третья — для сообщения информации.

При обсуждении первой части знаток, конечно, выступит с такой речью:

«Выбирая сигнал, привлекающий к себе внимание других цивилизаций, надо особое внимание уделить случаю обращения к цивилизациям, стоящим на первых ступенях технического прогресса, только-только освоившим радиоволны. Ведь наши предки также не могли избежать этого этапа. Я заглянул в анналы нашей истории и установил, что в тот далекий период использовался в основном только радиодиапазон и было только два простейших носителя информации: гармоническое, или синусоидальное, колебание и периодическая импульсная последовательность. Поэтому я предлагаю именно эти две формы носителей, без всякого наложения на них информации, чтобы их не усложнять, и использовать как сигналы привлечения внимания.

Их следует начать передавать в тех участках радиодиапазона, где космические помехи имеют относительное понижение, в помеховых ямах.

По-видимому, с этого гуманного акта и следует начинать нашу кампанию, с акта помощи наиболее отставшим (конечно, по не зависящим от них причинам) сообществам разумных существ».

С замечанием по этому предложению также выступит известный «сверхрадиоастроном».

«Предложение выглядит разумным. Но должен напомнить, что есть космические объекты, излучающие подобные сигналы без всякого участия разума. Так, синусоидальное колебание (или почти синусоидальное) излучает возбужденный атом водорода, а его очень много в космическом пространстве, на волне 21 сантиметр. Есть такие излучатели и на других волнах.

Периодическую последовательность импульсов излучают нейтронные звезды. В свое время прием нашими предками этих простейших форм сигналов ввел их в колоссальное заблуждение. Они были приняты за сигналы разумных существ. Это дало великий всплеск оптимизма, а потом не менее великий всплеск пессимизма, когда истина была установлена. Такой ошибки легко избежать, если время от времени менять параметры этих двух сигналов: частоту синусоидального колебания или его амплитуду и период следования или длительность последовательности импульсов».

На том и порешили.

При обсуждении структуры обучающих сигналов (вторая часть) нашлись скептики, которые усомнились в возможности обучить заочно, только с помощью односторонних сигналов (то есть без всякой обратной связи), особой иной цивилизации некоему условному языку и потом, пользуясь только им, передавать те или иные, хотя бы простейшие, сообщения. Но это мнение было опровергнуто доводами виднейшего лингвиста-математика.

«Представьте себе, что вы принимаете сигналы, представляющие две группы импульсов, между которыми расположен один из двух значков. Разумное существо, знакомое с простейшей математикой, считая число импульсов (как считают пальцы, щупальца, усики или любые другие органы), легко догадается, что эти два значка имеют очевидный смысл — «больше» или «меньше». Постепенно вводя все новые значки и поясняя их смысл через примеры и упражнения, есть возможность обучить инопланетян некоему искусственному языку и дальше его использовать для передачи хотя бы простейшей информации. При этом может быть использована и общность физических законов во вселенной: таблица Менделеева, гравитационные постоянные, картина неба и т. д. Известную трудность при этом составляет большое число вводимых значков. Их потребуется много — сотни и тысячи. При малом их числе это могут быть импульсы разной длительности или посылки равной длительности, но излучаемые на разных несущих частотах. При большом их числе можно набирать их из более простых. Так, используя только посылки двух качеств, при их числе в комбинации равном 14, можно получить более 15 тысяч различных комбинаций. Это и будет аз-

бука для передачи информации младшим братьям по разуму.

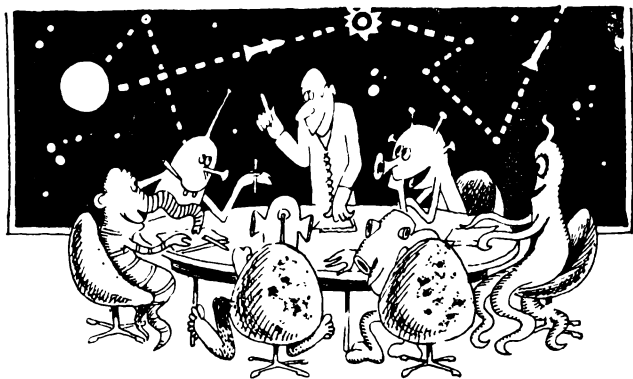
Конечно, для усвоения этой азбуки и для ее надежного приема все эти упражнения надо передавать достаточно долго и с повторениями. Только после этого можно переходить к передаче простейших сообщений».

При обсуждении в Бюракане вопроса о возможных сигналах пишущий эти строки обратил внимание на следующую возможность. Могло случиться, что некая ушедшая вперед цивилизация нашла способ генерирования сверхгигантских по амплитуде импульсов (а именно такие и нужны для преодоления сверхгигантских расстояний между цивилизациями), но очень короткой или даже предельно короткой длительности. Такой импульс на шкале частот занимает широкий участок или, как говорят, имеет очень широкий спектр, в связи с чем отдельные участки спектра этого импульса будут распространяться в космической среде с различной скоростью. Хорошо известно, что это всегда приводит к искажению формы импульса, к его растяжению во времени и деформации, или, используя образное выражение связистов, к его размазыванию. Расчеты, имеющиеся во многих книгах, показывают, что только при передаче длительных импульсов, длящихся не менее миллисекунд, размазывание почти не происходит. В связи с этим для поиска и приема импульсов из других миров земляне используют только приемники с узкой полосой, пригодной для приема импульсов не уже миллисекунд. Но ведь сверхзнающие и сверхумные представители сверхцивилизаций могли овладеть техникой коррекции на передаче своих предельно коротких импульсов (изучив свойства среды) для любой трассы! Тогда импульс может прийти в нашу солнечную систему в своем сверхкоротком облике. Естественно, наши узкие по полосе приемники, или, еще раз используя образные выражения связистов, приемники с узким горлом, даже не заметят его приход на вход приемника из антенны. Ситуация, похожая на забитие в хоккейные ворота шайбы, если бы она по диаметру была бы больше ширины ворот. Поэтому целесообразно наряду с наблюдениями на узкополосных приемниках вести поиск и на приемниках с предельно широкой полосой (эта полоса численно равна средней частоте настройки приемника, то есть $\Delta f \cong f_0$). Пока таких приемников не создано.

Полосы пропускания существующих приемников в сотни и тысячи раз уже. Даже если сверхкороткие «разумные» импульсы не будут обнаружены, то наблюдения на таких приемниках, возможно, откроют новые тайны еще совсем юной, совсем таинственной радиовселенной. Ведь она на много веков моложе оптической.

Кончились горячие дискуссии в Бюраконе. Участники симпозиума разъехались в разные стороны, в разные страны, вернулись к своей повседневной научной работе, у многих очень далекой от проблемы СЕТИ. Как будто ничего не изменилось. Как будто проблема добычи информации о внеземных сообществах разумных существ так и висит, как и висела туманным облаком в умах отдельных обитателей нашей планеты. Так? Нет, это далеко не так.

Пожалуй, самое главное заключается в том, что состоявшийся международный симпозиум знаменует и фиксирует новый важный факт в истории нашей цивилизации: земляне созрели, или почти созрели, для поиска и установления тем или иным способом контакта с иными, возможно совершенно непохожими на нас сообществами разумных индивидуумов. Так же как человек



не может существовать вне общения с себе подобными, так и любая цивилизация, по-видимому, достигнув определенного уровня развития, неизбежно выходит на поиски контакта с другими формами разума, на поиски информации о возможных собратьях.

И эта зрелость является неким итогом науки, техни-

ки, культуры и широты нашего взгляда на вселенную.

В решении конференции прямо сказано: *«...перспективы контакта с внеземными цивилизациями достаточно благоприятны для того, чтобы оправдать развертывание ряда хорошо подготовленных программ поиска... существующая технология дает возможность установления контакта с цивилизациями».*

Вместе с тем там же отмечается, что эффективное наступление на проблему потребует значительного времени и усилий, а также затраты средств, соизмеримых с затратами на космические и ядерные исследования. Но весьма полезная разведка может быть начата и в более скромном масштабе.

Далее, на бюраканском форуме развернулась ожесточенная дискуссия по одной из самых коварных цепочек вопросов: «Нужно ли нам вообще вступать в контакт? Если да, то кричать или только слушать? Если возникнет контакт, то какие могут быть его последствия?»

Была высказана и такая точка зрения: просто заткнуть уши и даже не идти на такой вид контакта, как прием сигналов. Мотивы приводились разные. Землянам не нужны знания и информация, к которым они еще не готовы. (Путь к истине не менее, а иногда и более важен, чем сама истина.) Или такой: ОНИ, эти таинственные и коварные ОНИ, могут навязать нам свою или «испеченную» для нас религию или систему взглядов, не подходящую для земных условий. Могут, наконец, развратить землян, и цивилизация погибнет. В пылу дискуссии академик В. Амбарцумян на это заметил: «Не думаю, что ОНИ будут нам слать по радиоканалу секреты новых наркотиков или порнографию на высшем уровне».

Но концепция «заткнутых ушей» отнюдь не была популярна в Бюракане. Здесь торжествовала вера в разум, в его способность преодолевать препятствия и идти вперед и вперед.

В конце концов в решении записали: *«Если когда-нибудь внеземные цивилизации будут открыты, это будет иметь огромное влияние на научный и технологический потенциал человечества, а также может оказать положительное влияние на будущее человечества... Последствия открытия могут способствовать значительному расширению человеческого познания».*

Последняя фраза первоначально звучала так: «*Последствия открытия могут быть только положительные*». Против слова «*только*» категорически возражал Ф. Дайсон. Тогда американский химик Л. Оргел предложил приведенную выше концовку об увеличении знаний человечества, без оценки последствий этого события.

Таким образом, несмотря на поправки, конференция высказалась за контакт, за его плодотворность для будущего землян.

Это впервые записано черным по белому в международных документах нашей планеты.

Кроме фиксации принципиальных узлов проблемы СЕТИ, в решении нашли отражение практические рекомендации по ближайшим исследованиям. (Мы их уже касались выше.)

Для их успеха необходимо международное сотрудничество ученых. Конференция единодушно высказалась за организацию международной координационной группы. Ее создание поручено образованной на конференции рабочей группе в составе: Ф. Дрейк (США), Н. Кардашев (СССР), Ф. Моррисон (США), Б. Оливер (США), Р. Пешек (ЧССР), К. Саган (США), И. Шкловский (СССР), Г. Товмасян (СССР), В. Троицкий (СССР).

Стенографический отчет конференции будет опубликован на русском и английском языках.

В Советском Союзе начата разработка программы по проблеме связи с внеземными цивилизациями (СЕТИ). Проект ее докладывался на VII Всесоюзной конференции по радиоастрономии.

Он был встречен с большим интересом и поддержан участниками конференции.

Не следует думать, что единственным результатом исследования проблемы СЕТИ может быть установление или неустановление контакта с внеземным разумом. Нет и еще раз нет!

Создание и использование мощных радиотелескопов, особенно в малоизученных диапазонах частот, обязательно откроет некие новые тайны космоса.

Биологические эксперименты по искусственному зарождению жизни откроют новую эру в этой науке.

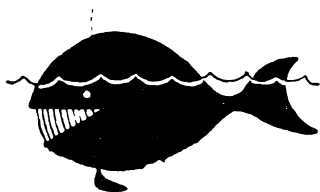
Математическая лингвистика построит новые про-

стые и логичные языки, пригодные не только для них, но и для нас.

Наконец, построение общей теории цивилизаций вскроет возможные варианты будущего землян.

Хочется верить, что объединение усилий ученых разных стран, и в первую голову Советского Союза и Соединенных Штатов, не только приведет к раскрытию тайны внеземного разума, но и будет способствовать деловому, научному сотрудничеству между странами и обеспечению мира на нашей планете, пока единственной из известных нам «разумных и цивилизованных» планет.

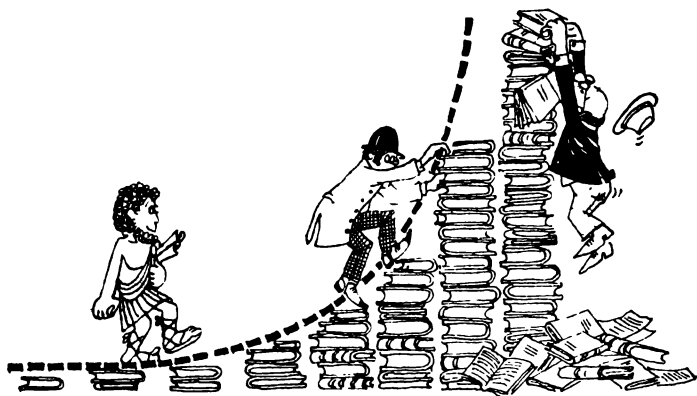
**ЧТО НАС ЖДЕТ
ЗАВТРА?**



Для разговора о будущем нам необходимо, хотя бы кратко, познакомиться с основными тенденциями в развитии нашей земной цивилизации. Для этого стоит познакомиться с так называемым экспоненциальным законом, по которому сейчас растут почти все основные показатели нашего сообщества; познакомиться тем более, что этой экспонентой то и дело пугают землян западные футурологи.

Темп развития земной цивилизации, и, наверное, не только земной, можно в целом оценивать по темпу роста таких основных показателей, как потребляемые энергия и вещество, народонаселение, количество научной и технической информации и т. д.

Анализ роста этих показателей за ряд последних столетий убеждает, что он происходит очень быстро,



по так называемой экспоненте. И этот закон, эта экспонента стали неким жупелом. «...Как услышу я слово жупел, так руки-ноги затрясутся», — писал А. Н. Островский).

Давайте обследуем этот закон.

Выглянуло весеннее солнце. Снег подтаивает. Вы слепили снежок, пустили его вниз по крутому склону и наблюдаете, как он катится. Снежок обливает снегом и быстро растет, как на дрожжах: чем больше его масса, тем больше на него налипает снега, и тем быстрее он разрастается. В этом и есть вся премудрость экспоненты, ее грозный закон. Но откуда это замысловатое слово?

Оно введено в математику более двухсот лет назад Леонардом Эйлером. Сам закон получается вот откуда.

Обозначим нарастающую массу нашего снежного кома через y ; тогда скорость ее нарастания есть производная массы по времени, то есть $\frac{dy}{dt}$. Если обходиться без высшей математики, то можно эту же скорость вычислить, деля прирост массы кома Δy на время Δt , за которое он произошел, $\frac{\Delta y}{\Delta t}$. Экспоненциальная зависимость требует прямой пропорциональности в каждый момент между растущей массой кома y и скоростью налипания на ком снега $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ (точнее, $\frac{dy}{dt}$).

Пусть начальный снежок, который вы слепили, имел массу, равную 1 килограмму ($y = 1$); пустив его по склону, вы предоставили возможность ему набрать скорость. Через секунду у него возникла скорость налипания в $\frac{\Delta y}{\Delta t} = 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}$ (сто граммов в секунду). В средней части склона его масса возросла в 50 раз ($y = 50 \text{ кг}$). Если есть прямая пропорциональность между y и $\frac{\Delta y}{\Delta t}$, то скорость налипания снега на ком тоже должна возрасти в 50 раз и стать $\frac{\Delta y}{\Delta t} = 50 \times 0,1 = 5 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}$. Следовательно, общее условие прямой пропорциональности запишется так

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = \text{const} \cdot y.$$

Если такая зависимость справедлива, например, для народонаселения планеты, то с увеличением его, скажем, в три раза скорость его прироста тоже должна возрасти в три раза. Это, в свою очередь, ускорит дальнейшее нарастание численности населения и, соответственно, такое же нарастание скорости его прироста и т. д.

Если ничто не нарушит прогресса с такой прямой пропорциональностью, то y может достичь сколь угодно больших величин.

В примере со снежным комом естественным ограничением явится длина снежного склона.

Если склон очень длинен, например, вы бросили свой снежок с вершины Эльбруса, то при больших значениях y сильно возрастет сопротивление воздуха, это

замедлит его движение, скорость налипания $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ упадет, нарастание кома замедлится, прямая пропорциональность нарушится.

Теперь естественно спросить: по какому же закону должна нарастать во времени масса нашего снежного кома y , чтобы была прямая пропорциональность между y и $\frac{\Delta y}{\Delta t}$?

Оказывается, есть только одна удивительная функция, которая при всех значениях пропорциональна своей производной (и своему интегралу), удовлетворяющая нашему уравнению. Вот она

$$y = y_0 \cdot e^{\alpha t},$$

где y_0 — начальная масса нашего кома (снежок) в момент $t = 0$, а α — постоянный коэффициент, зависящий в нашем примере от крутизны склона и состояния снега.

Графическое изображение этой зависимости называется экспонентой. А нарастание какой-либо величины по такому закону получило название экспоненциального.

Кривая эта спокойно занимала свое скромное место в гигантском арсенале математических функций и не подозревала, что ей уготована такая великая честь — определять развитие основных показателей земной цивилизации (в том числе и самой математики).

Теперь эта роль вскрыта, и ее загадочное имя — экспонента — замелькало в книгах, журналах, докладах.

Количество вырабатываемой на земном шаре энергии растет по экспоненте. Так как вся энергия в конечном счете переходит в тепловую, то это может привести к изменению климата планеты. В самом деле, Земля ежесекундно поглощает, а следовательно, и излучает обратно около $5 \cdot 10^{23}$ эрг солнечной радиации. Для того чтобы климат Земли заметно не изменился, надо ограничить вырабатываемую энергию приблизительно одним процентом от этой величины. Можно принять, что современная энергетика вырабатывает $4 \cdot 10^{19}$ эрг в секунду. Подсчитаем и увидим, как скоро начнем портить природный климат.

Мировая статистика показывает, что период удвоения количества вырабатываемой на Земле энергии составляет всего 25 лет. Подставив эти данные в уравне-

ние экспоненты, находим, что через время $t = 125$ годам энергетика землян достигнет этого рубежа в 1 процент от получаемой от Солнца энергии. Значит, если, как говорят математики, экспонента будет продолжать все эти 125 лет работать, то нашим внукам и правнукам грозит изменение климата Земли, к которому человек так привык и приспособился за последние сотни тысяч лет.

Где выход? Можно предложить «заморозить» нашу энергетику на уровне одного процента или вблизи него. Но это значило бы «заморозить» и цивилизацию. А цивилизация, как мы уже говорили, или может успешно развиваться, или «катиться дальше вниз». Среднего устойчивого состояния у этой сложнейшей системы нет! Тем более что народонаселение планеты также растет по экспоненте, и жизнеобеспечение требует обязательного роста энергетики.

Но ведь нас окружают необъятные просторы космоса. Для вселенной, как это ни парадоксально звучит, характерны не сгустки материи в виде звезд и их скоплений, а бескрайние просторы, космические пустыни, почти лишенные материи. Значит, можно энергодобывающие и энергопоглощающие предприятия размещать в окружающем космосе и не калечить колыбель человечества — дорогую старушку Землю.

Весь «ужас» экспоненты проявляется в полную меру, если продолжить наши расчеты дальше, на дальнейшее существование человечества.

Так, сохраняя тот же период удвоения в 25 лет, что составляет 4 процента годового прироста, в течение 240 лет добыча энергии должна превзойти всю энергию, посылаемую Солнцем Земле; через 800 лет превысит всю энергию, излучаемую Солнцем; а через 1500 лет — даже превзойти излучение Галактики!

Аналогичные парадоксальные цифры можно получить и для других показателей, определяющих развитие нашей цивилизации.

Теперь нам ясны корни «экспоненциального жуেলা». Они проистекают от формального распространения законов истекшего периода на ближайшее и более далекое будущее.

Но ниоткуда не следует, что, во-первых, эти законы именно такими должны быть и дальше (ведь «система» умная, с регулированием и обратной связью) и, во-вто-

рых, что не будут найдены принципиально новые решения (как, например, с энергетическими трудностями).

О так называемом «информационном взрыве» сейчас много говорят и пишут. По некоторым прогнозам этот взрыв приведет к такому перепроизводству информации, что человечество если не утонет в ней, то, во всяком случае, не сможет ее освоить. Начнется застой в научном развитии и, может быть, даже загнивание земной цивилизации. Попробуем заглянуть в этот огнедышащий кратер, откуда ожидается столь страшное извержение.

Как мы уже отмечали, к двум гигантам, на которых стоял ньютоновский классический мир — массе и энергии, — теперь пристроился третий, не менее могучий, — информация.

Кибернетика открыла глаза людям на него. Нет живого организма, в котором не бежали бы по внутренним каналам биты информации; и нельзя построить



умную машину, в которой не сновали бы те же биты, несущие команды управления и информацию о ее состоянии.

Можно даже всю нашу земную цивилизацию рассматривать как единую кибернетическую систему, как систему регулирования с огромным числом элементов (например, каждый человек — один элемент) и сложной обратной связью. Отсюда, кстати, вытекает определение цивилизации как системы, стремящейся получить максимум информации об окружающей среде и о

себе самой, абстрактно анализирующей эту информацию и использующей ее для выработки реакций, сохраняющих и укрепляющих саму систему.

Такие явления, как войны, эпидемии и т. п., можно рассматривать как временные внутренние помехи в системе, которые, несомненно, будут устранены в процессе ее регулирования по цепи обратной связи.

Можно спорить с этой схемой, но нельзя отрицать главный факт — в основе развития человечества лежит непрерывный процесс получения, накопления, переработки и использования информации.

Безусловно, если бы удалось приостановить этот процесс хотя бы временно, то загнивание цивилизации было бы неизбежным. Но миллионы лет жестокой борьбы человека за свое существование выработали в нем непобедимое стремление к новому, к неизведанному, к совершенствованию орудий труда и самого себя. Вот почему процесс накопления информации принципиально остановить невозможно.

А есть ли реальная угроза перепроизводства информации?

Для ответа на этот вопрос обратимся к фактам.

Человек в силу своей материальной природы все время подвержен действию сил земного тяготения. Можно сказать, что он обитает в поле сил тяготения. Поле это, к счастью, постоянно, мы с детства к нему привыкаем и почти не замечаем. (Бывают, конечно, и «нежные» слова в его адрес от альпиниста с тяжелым рюкзаком на крутом подъеме или прыгуна, пытающегося хотя бы повторить рекорд Валерия Брумеля.)

Но есть другое поле, в котором живет современный человек, которое он сам сотворил и от которого начинает терпеть бедствия. Это поле информации. Если поле тяготения создается одним источником — Землей (если пренебречь притяжением всех остальных космических сил), то информационное поле создает тысячи и десятки тысяч источников. Они хорошо известны: газеты, журналы, книги, радио, телевидение, кино, театр, реклама, конференции, симпозиумы, коллоквиумы, собрания, заседания, совещания, беседы и, наконец, самое человеческое — просто разговоры с себе подобными и просто наблюдение окружающей жизни.

Поле это не избежало экспоненциальной участи

других основных показателей цивилизации. Оно тоже нарастает по экспоненте. Это сотни миллионов экземпляров газет в день, это более полумиллиарда радиоприемников, это сотни миллионов телевизоров. При этом рост количества этих источников информации идет значительно быстрее, чем рост народонаселения земного шара (последнее тоже растет по экспоненте, но имеет больший период удвоения).

Человеческая психика имеет определенные границы в восприятии информации. С одной стороны, она (разумеется, не очень переутомленная) плохо реагирует на замедление потока поступающей информации: возникает ощущение скуки и томления.

С другой стороны, имеется и верхний предел восприятия информации человеком. Как мы уже разбирали, эта величина порядка 25 битов в секунду или одного слова в секунду.

Количество книг, например, которое может прочесть человек за всю свою жизнь, не превышает 2—3 тысяч. И это довольно высокая норма. Ее можно выполнить, читая ежедневно приблизительно по 50 страниц. За время нашей «читающей» части жизни будет издано более 20 миллионов книг. Значит, в среднем мы могли бы прочесть только одну из 10 тысяч.

Но ведь все мы любим классиков. У каждого есть свои любимцы, к беседе с которыми иногда непреодолимо тянет. Значит, полученную нами оценку надо еще уменьшить.

Гигантская диспропорция между возможностями человека и потоком информации, который обрушивает на него современная цивилизация, требует больших ухищрений в «упаковке» информации; чтобы именно эта информация пролезла через узкую щель человеческого восприятия в сознание индивида. Некоторые зарубежные фирмы тратят на рекламу товара больше, чем стоит сам товар. (Правда, эти расходы все равно взыскиваются с покупателя!) Доходы фирм показывают, что до некоторого предела это выгодно.

Но как выбрать из огромной пирамиды (на фоне которой пирамида Хеопса лишь карлик) книг, журналов, радио, телевизионных передач и всякой другой информации то, что отражает вкусы, желания, настроения, устремления именно данной конкретной личности?

Некоторые, и их, вероятно, большинство, махнув рукой на эту пирамиду, идут по случайному пути: что попало под руку, то и ладно. Другие вырабатывают некие свои принципы, например собирают сведения о книгах, картинах, постановках у знакомых и только потом решают, какую информацию «вводить» в себя. Есть категория лиц, которая следит за всеми рецензиями и по ним решает эту проблему (часть берет то, что хватит, а часть то, что ругают).

Но мы сейчас отвлечемся от общей проблемы и обсудим вопросы накопления и использования только научной информации. Ибо именно эта информация наиболее сильно влияет на прогресс человечества, так как именно она определяет основной фактор исторического развития — совершенствование средств производства.

Характерным признаком современного этапа развития нашей цивилизации является быстрый рост числа ученых. Удвоение населения Советского Союза произошло за 70 лет; со 124 миллионов в 1897 году до 236,7 миллиона в 1968 году. Число ученых в СССР удвоилось всего лишь за 10 лет — с 1950 года по 1960 год. Но следующее удвоение произошло еще быстрее, за пять лет — с 1960 года по 1965 год. Если распространить такие же темпы роста числа ученых на будущее, то и тут мы придем к парадоксу — через 80 лет все взрослое население страны превратится в ученых. Но эти «шутки» экспоненты мы уже разбирали и на них не будем здесь останавливаться.

Удвоение новых результатов мировой науки происходит приблизительно за 10 лет. Но сопровождающая это удвоение научно-техническая информация за это время не удваивается, а увеличивается значительно быстрее, в 8—10 раз. Эта «плодовитость» информации и привела нас к огнедышащему вулкану, угрожающему информационным взрывом. Ведь информационный поток удваивается каждые 3—4 года!

В настоящее время в 100 тысячах журналах, издаваемых в разных странах, публикуется ежегодно более 4 миллионов статей. Сюда нужно добавить десятки тысяч выходящих книг, сотни тысяч патентов и авторских свидетельств. Кстати, общий фонд изобретений достиг астрономической цифры — 13 миллионов!

Если все это просуммировать, то «на душу» каждо-

го специалиста в данной узкой области ежедневно издается до 100 печатных листов. Если эта бедная «душа» будет тратить все свободное время на чтение этой литературы по своей специальности, отбросив надежду на свои собственные исследования и новые результаты, то и то она сможет осилить только не более 10 процентов чужих мыслей. В этом смысле на храме информации вполне уместны слова А. Данте «Оставь надежду, всяк сюда входящий».

Такая диспропорция уже привела к большой потере информации и к большой потере времени в надежде «наткнуться» именно на нужную информацию. Так, в США и Англии подсчитано, что из-за отсутствия информации об уже выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах 10—20 процентов разработок дублируют старые работы.

В СССР, например, удельный вес повторных «изобретений» в области угольного комбайностроения возрос с 40 процентов в 1946 году до 85 в 1961 году (подсчет Г. М. Доброва в книге «Наука о науке»).

Это уже сейчас. Но экспонента продолжает круто возрастать. Если ее ход продолжить по закону прошедших десятилетий, то к 2000 году информационный поток должен возрасти еще в 30 раз! Это неизбежно привело бы к колоссальной потере информации. Дальнейшее возрастание с некоторого момента привело бы почти к полной потере информации. Эта ситуация получила название «информационной насыщенности». Если определить человека как животное, самой лакомой пищей которого является информация, то в этой ситуации он будет напоминать муху, пытающуюся съесть... слона.

Вот это надвигающееся насыщение специалистов информацией, ее обесценивание и привело некоторых западных футурологов к выводу о приближающемся застое в развитии нашей цивилизации, снижении темпов технического прогресса и возможном загнивании того, что десятки тысяч лет неизменно двигалось вперед и вперед.

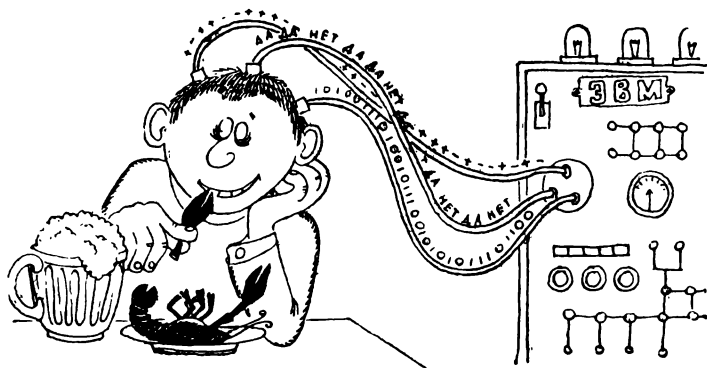
Вот какие ужасы и мрачные прогнозы вызвал грозный информационный вулкан, пока только дымящийся, в кратер которого мы заглянули. И горе землянам, если начнется его извержение, если действительно наступит информационный взрыв.

Итак, экспонента привела нас к довольно мрачной картине. Наступит перепроизводство информации. Ученые уже не будут знать, что известно науке, а что нет, и какие проблемы надо решать. Наступит хаос в мире науки. Прекратится прогресс.

Какие же пути замедления приближения и предотвращения «информационного взрыва» уже сегодня вырисовываются?

Может быть, окружающий мир обладает ограниченной информацией и он не сможет долго обеспечивать рост наших знаний по экспоненте? Если так, то наступит естественный спад добываемой человечеством информации.

Но, к счастью или к несчастью, это не так. По экспоненте растут не только знания, но и новые проблемы,



которые порождаются этими знаниями. И сейчас даже принято среди ученых называть фундаментальной проблемой только такую, при решении которой обязательно возникает ряд новых.

Природа бесконечно разнообразна. И. Ньютон эту мысль выразил очень красиво: «Природа неистощима в своих выдумках». И действительно, заглянув ли в бездонный атом или в бескрайние просторы вселенной, мы всюду находим этому подтверждение.

Поэтому надежду на естественное затухание информационного потока следует выбросить в «яму ложных идей», куда мы уже кое-что бросали.

Теперь давайте подумаем, может ли современная наука и техника помочь найти в нарастающем «информационном поле» нужную журнальную статью или другую публикацию ученому или инженеру. Ведь, попросту говоря, проблема именно в этом — как найти.

Мозг человека формировался в эпохи, когда поступающая информация была очень ничтожна по сравнению с современной, и выработанные эволюцией скорости восприятия информации были вполне достаточны. (Конечно, это далеко не предел для биологических систем.) Но цивилизация резко увеличила поток информации. Мозг уже не в состоянии ее своевременно осваивать, хотя у него есть, как мы видели, большие резервы, которые мы пока не умеем использовать.

Как мы уже отмечали, человека условно можно считать кибернетической системой, способной воспринимать и усваивать информацию со скоростью, не превышающей заметно предел в 25 бит в секунду. Но ведь кибернетика «не даром ест хлеб». Один из ее главных плодов — быстродействующие электронные вычислительные машины (ЭВМ). Скорость их работы перешагнула рубеж в 1 миллион бит в секунду. Они и должны принять на себя основную лавину информации, и каждому выдать только то, что ему нужно. Как будто все очень просто, но...

Одна из основных трудностей заключена в том, что люди и машины разговаривают на разных языках: у нас буквы, у них цифры, наш алфавит содержит 32 буквы, их алфавит содержит только две буквы, точнее, только две цифры.

Все наши источники информации — статьи, книги, отчеты написаны и пишутся «человеческим» языком, а не машинным. Поэтому, чтобы использовать колоссальную память машин ЭВМ и их способность почти молниеносно находить то, что нужно, следует перевести информацию, имеющуюся в том или ином виде, на язык машин. И это только полдела. Ведь переработанную уже информацию потребителю надо выдать снова на человеческом языке.

Ближайший шаг в реализации этих возможностей состоит в оснащении наших библиотек ЭВМ. В замене существующих каталогов электронно-справочными машинами, которые смогут и полнее и быстрее помочь читателю.

На меня обычно нападает страшная тоска и усталость, когда мечешься в течение нескольких часов от систематического каталога к алфавитному, от него к предметному, затем к генеральному и еще двум-трем вспомогательным каталогам, перебираешь сотни карто-

чек в полумраке (такова странная традиция библиотек) и так и не находишь нужной работы. Эх, скорей бы электроника шагнула в наши библиотеки!

Первые шаги уже сделаны и у нас и за рубежом. Так, библиотека конгресса США проводит частичную автоматизацию каталога. Комплекс цифровых вычислительных машин будет комплектовать и вести учет литературы, осуществлять ее каталогизацию, следить за ее использованием и, главное, отвечать на запросы читателей более полно, чем традиционный каталог.

Читательский пульт будет иметь клавиатуру для кодирования запроса, ответное выходное устройство типа телевизионного экрана и устройство для получения копии ответа. Читатель не только прочтет на экране необходимые ему сведения о разыскиваемой публикации, но и может взять с собой их копии.

Таких пультов проектируется 200. Значит, автомат-каталог «спокойно» (кавычки оттеняют тот факт, что много миллионов бит будет при этом проноситься по жилам ЭВМ) может одновременно вести беседу с 200 читателями.

Более дальние шаги в борьбе с информационным взрывом также намечаются и усиленно дискутируются.

Один из них идет очень далеко, если не сказать слишком далеко. Он ставит под сомнение традиционный метод накопления и запоминания информации с помощью журналов, книг и других печатных документов. Вся информация, записанная электронными запоминающими устройствами, микрофильмами и другими экономными средствами, хранится в библиотеках нового типа, где нет читателей и почти нет людей вообще. Послав запрос, скажем, по видеотелефону, вы можете у себя дома на экране читать интересующую вас статью и даже книгу. Оперативное запоминающее устройство позволит повторять текст и снимать с него копию.

А как же жить без книг? — спросит читатель. Любимую книгу иногда просто хочется полистать еще раз, положить под подушку, взять с собой в командировку или засунуть в рюкзак, отправляясь в горы. Согласен, что сейчас нам это кажется невозможным и даже оскорбительным. По-видимому, в будущем будет найден некий симбиоз новых и старых методов хранения и пере-

дачи информации, и книге в нем все же будет отведено заслуженно почетное место.

Есть и еще более неожиданные прогнозы того, как люди справятся с информационным вулканом. Так, профессор Б. Шарлоуз (США) считает, что через несколько десятилетий для пополнения своих знаний и обучения вообще не потребуется ни печатный текст, ни изображение на экране, ни звуки речи. Достаточно будет погрузить голову в селектор, и электрические импульсы в соответствии с заказанной информацией будут переносить знание из электронного хранилища непосредственно в сознание.

Таким образом, опасность приближения «смутного времени» в земной науке, когда из-за избытка информации будет потеряна связь между отдельными учеными и их коллективами, явно преувеличена.

Во-первых, на помощь человеку уверенно шагает армия быстродействующих и даже сверхбыстродействующих ЭВМ с колоссальным объемом запоминающих устройств.

Во-вторых, как учит нас история, экспоненциальный рост каких-то показателей обычно нарушается при изменении условий, в которых он происходил.

Так, например, рост числа лошадей на земном шаре происходил по экспоненте в прошлом веке. Это грозило в XX столетии превратить все население в «конюшенные кадры», так как их число должно было превысить 10 миллиардов. Но этого не случилось, к счастью: железная дорога, автомобиль и самолет спасли нас.

Сейчас аналогичная ситуация с автомобилями в некоторых больших городах Запада. Продолжение экспоненциального роста числа автомобилей грозит полной закупоркой транспортных магистралей и бесславной гибелью их жителей от выхлопных газов. Очевидно, скоро экспонента начнет переходить в более плавную кривую. Например, на днях в газете промелькнуло сообщение, что в Нью-Йорке усиленно рекламируется и стало очень модным ездить на... велосипедах (маленькие габариты и никаких газов, скорость с учетом «пробок» почти та же плюс полезная физическая нагрузка).

Для успешного развития земной науки, по-видимому, не обязателен экспоненциальный рост информации.

Простое линейное возрастание не так уж плохо. Особенно если применить предварительную фильтрацию информационного потока и исключить многие повторения, работы, не несущие новых результатов и т. д.

Мы все время говорили о будущем. Но ведь уже сегодня дела с отысканием нужной информации обстоят далеко не блестяще. Иногда большую часть времени научные сотрудники посвящают этому. Иногда проще заново провести разработку, чем «убить» драгоценное время на поиск сообщения о ней, не будучи уверен, что он увенчается успехом. В США даже имеет хождение количественный критерий: если разработка стоит менее 10 тысяч долларов, то нет смысла заниматься поиском. В последнее время эту цифру предлагают поднять до 100 тысяч долларов.

Наши журналы завалены статьями, которые упорно ждут своей очереди (несмотря на старение). Вместе с тем читатель из всего журнала прочитывает одну-две статьи.

Был даже предложен обидный для журналов количественный критерий для оценки этого явления — «maculaturfactor» (макулатурфактор):

$$M = \frac{S - S^1}{S},$$

где S — количество печатных страниц журнала, S^1 — количество прочитанных читателем страниц (устанавливается путем анкетного опроса).

Исследование, проведенное автором этого выразительного термина, немецким ученым Н. Вассом, показало, что для 45 тысяч научных и технических изданий в 1960 году макулатурфактор составил 85 процентов. То есть миллионы страниц не были прочитаны теми, кому они предназначались.

Отсюда и вытекает предложение отказаться от публикации в журналах полного текста статей, а давать только краткие рефераты или аннотации. Желающие иметь полный текст запрашивают редакцию, которая высылает копию статьи. Это позволило бы охватить на порядок больше работ и «омолодить» их на 1—2 года. Надо сказать, что многие журналы уже ввели отделы кратких сообщений, и это надо приветствовать.

Наша служба информации медленно, но делает успехи (сюда, к сожалению, экспонента еще не добралась). Появилось много реферативных изданий, анноти-

рованных указателей, обзоров. Но в большинстве случаев они запаздывают со своими сообщениями на год, а иногда и более.

Армия служителей информационной службы растет очень быстро, но комплектуется она либо лингвистами, очень смутно представляющими себе реферируемый раздел науки и техники, либо инженерами, не знающими тайн классификации, каталогизации и практически не владеющими иностранными языками, либо вообще случайными людьми.

Положение, как мы видели, настолько серьезно, что нужны специальные кадры. Организация в ведущих вузах страны информационных факультетов через некоторое время стала бы приносить экономию в научных разработках, десятикратно превышающую расходы на эти факультеты.

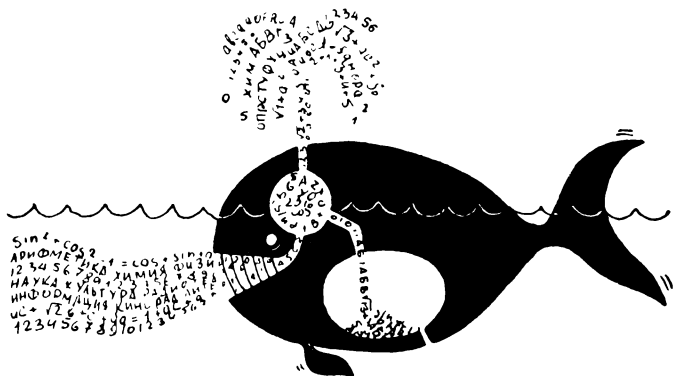
Правда, встречаются и отличные «солдаты» информационного фронта. Мне посчастливилось работать с одним из них.

Хорошее знание почти десяти языков, одержимость помочь нам, «слепым котятam», как она нас называла, так как мы читали лишь по слогам и лишь английские журналы, хорошее интуитивное понимание наших задач и ориентирование во всяких индексах, каталогах, справочниках буквально со скоростью света делали чудеса. Эта милая, высококультурная женщина, парадоксально далекая от техники, утерла всем нам нос — одна сократила разработку не менее чем на год. Ее уже нет. Может быть, это была одна из первых жертв экспоненты. Она одна хотела с ней бороться и хотела помочь всем нам.

Разберем, какую роль будут играть системы передачи информации в гашении или ослаблении «информационного взрыва». Увеличение глобального потока информации неизбежно требует увеличения пропускной способности средств связи и увеличения достоверности передаваемой информации (повторять текст нет времени!). Средства связи позволят активно «бороться» с нарастающим потоком информации. Они дадут дополнительное время и силы человеку в этом неравном бою. Как так?

Сейчас научный работник для поиска нужной статьи или других материалов тратит изрядное время: роется в каталогах одной, а чаще нескольких библиотек, прерывает собственную библиотеку, опрашивает специалистов, работающих в этой области (по телефону или пу-

тем визитов), запрашивает патентную службу и т. д. Один научный сотрудник так описал свои информационные муки: «Работаю китом, из моря воды добываю всякую питательную мелочь, планктон». Часто, обессилев



на этом пути, ищущий «махает рукой» и пытается сам, пренебрегая результатами своих собратьев по оружию, решить задачу или даже проблему.

Теперь представим себе такую «райскую» картину. На своем рабочем месте (и даже дома) вы имеете телевизионную установку для просмотра интересующих вас материалов. Позвонив по видеотелефону в Центральную информационную службу и объяснив, что вас интересует (без всякого заполнения листов запроса в трех экземплярах), или просто набрав по телефону код интересующего вас вопроса, вы почти тотчас благодаря сверхбыстроногим битам в ЭВМ получаете на экране исчерпывающую справку и по желанию тут же просматриваете выбранные из нее материалы. Вот и получилась экономия времени, сил и, конечно, государственных средств на решение научного или технического вопроса. Освободившееся время можно использовать на лучшее совладение с информационным потоком.

Для неискаженной передачи большого потока информации на предприятия, институты, заводы, частные дома нужны очень широкополосные, быстродействующие (десятки и сотни миллионов битов в секунду) каналы связи. Если говорить о передаче в пределах одного города, то есть в пределах прямой видимости, то тут может

быть использован УКВ-диапазон, то есть метровые, сантиметровые и даже миллиметровые волны, и оптическая связь. Как мы уже разбирали, эти диапазоны чрезвычайно емки, и в них можно разместить, например, тысячи и сотни тысяч телевизионных каналов.

Эти волны, как мы уже знаем, «ленивы» — не хотят огибать землю и бежать за пределы прямой видимости. На выручку пришли спутники. Пределы прямой видимости со спутника гигантские, они охватывают до трети поверхности земного шара. Поэтому, разместив УКВ-ретранслятор на спутнике, мы можем слать большие потоки информации на всю эту поверхность. Для охвата системой передачи всей планеты (то есть любой пункт может держать связь с любым другим), как мы уже обсуждали, нужно несколько спутников. Таким образом, «разбросав» несколько спутников вокруг планеты (минимум их нужно три) с УКВ-ретрансляторами и наладив каналы связи Земля — спутник, спутник — Земля и спутник — спутник, мы получим всемирную систему связи, способную передавать гигантский поток информации. Но... Построение такой системы требует решения ряда задач. Так, для приема сигналов спутника типа «Молния» требуется параболическая антенна диаметром в 30 метров, следящая за движением спутника по орбите. Приемная установка с такой антенной принимает сигнал со спутника и обычными наземными средствами ретранслирует их потребителям. Ясно, что массовым средством связи такая антенна служить не может. Для ее упрощения и удешевления, чтобы каждый потребитель мог непосредственно принимать информацию со спутника, необходимо увеличить мощность передатчика на спутнике. Сейчас она составляет для «Молнии» 40 ватт, и этот спутник имеет самый мощный передатчик из всех спутников связи, запущенных вокруг нашей планеты. Это увеличение должно быть значительным — в десять и более раз. На смену солнечным батареям, от которых питается «Молния», придут новые бортовые источники, и проблема будет решена.

Немалые трудности вызывает проблема кодирования сообщений. Ведь надо, чтобы сообщение, пропутешествовав в космосе, нашло своего корреспондента за тридевять земель. Это легко сделать, когда отправителей и получателей мало. Когда их тысячи или сотни тысяч, когда они размещены по всей планете и хаотически

«разбросаны» по времени работы, то решение проблемы вызывает большие трудности. Однако методы теории информации и кибернетики позволят решить и эту проблему. Одно из многообещающих решений — набор адреса сообщения из шумоподобных сигналов (помните?). Эти сигналы имеют великое разнообразие форм, хорошо селективируются на приеме и, самое главное, почти не мешают друг другу при одновременном поступлении от разных корреспондентов. Кроме того, не обойтись без введения избыточности в передаваемые сигналы, для обеспечения высокой достоверности.

Таким образом, имеется принципиальная возможность организовать информационно-справочную службу не только для отдельных стран, но и единую службу для всей планеты. Применяя все те средства, которые мы обсуждали выше, и располагая спутниковыми системами связи, можно успешно бороться с грозной экспонентой.

Но не только научным работникам эти системы связи сослужат службу. Каждый житель планеты получит экономию времени, сил. Видеотелефон (городской, междугородный и международный) позволит легко общаться людям, исключив многие поездки, визиты, переписку и т. д. Всемирное телевидение даст полноценную информацию о событиях на планете, позволит легко изучать языки, улучшит понимание культуры других народов. Всемирная библиотека позволит...

Широкое развитие получит так называемая персональная связь. Карманный приемо-передатчик, размером со спичечную коробку, а то и меньше, позволит держать связь между сотрудниками предприятий, заводов, участниками экспедиций, не требуя привязки к телефону. Это тоже даст экономию времени и повышение эффективности труда.

Наконец, успехи в освоении космоса позволят вынести наши приемники и передатчики за пределы земной атмосферы, разместив их на орбитальных станциях, на Луне, на космических кораблях.

Это позволит исключить влияние земной атмосферы на сигналы и тем самым обеспечить связь с космическими кораблями, уходящими в глубь вселенной, расширить наши знания о радиовселенной и, возможно, обнаружить сигналы внеземных цивилизаций.

Подведем итоги. Надвигающийся «информационный

взрыв» пока дает непрерывное увеличение информационного потока. В будущем он тоже всегда будет расти, но, вероятно, не столь резко по экспоненте, а по более плавной кривой. Однако широкое внедрение ЭВМ совместно с новыми разветвленными широкополосными системами связи в информационно-справочную службу и ряд других мероприятий (форсирование работы мозга по усвоению информации, фильтрация ненужной информации, повышение информативности речи, создание логических кратких языков и т. д.) позволит справиться с таким нарастанием информации и не допустить извержения информационного вулкана, хотя клочкотать он будет все время, пока будет существовать наша цивилизация.

СОДЕРЖАНИЕ

НЕЗРИМАЯ, ВЕЗДЕСУЩАЯ...

Жизнь любого человека можно представить как некую непрерывную цепь принятия тех или иных решений. Как же он осуществляет их?	4
Пчела-разведчица, отыскав корм, спешит в улей, чтобы сообщить другим пчелам координаты цветов с нектаром. Как ей удастся это сделать?	8
Муравьев можно заставить хоронить своего вполне здорового собрата. Как объяснить эти странные их действия?	10
Рыба издавна считалась абсолютно безгласным созданием. Но оказалось, что она так же любит сотрясать воду звуками, как человек воздух	14
Если бы мы могли видеть тепло, нашему взору открылась бы любопытная картина. И обидно, что мы теряем такую информацию. Но есть животные, не страдающие этой температурной слепотой	17

Начав с жестов, гримас и нечленораздельных звуков, люди пришли к современным средствам связи. Вот основные вехи этого пути 19

От родителей будущий человек получает полную программу на созидание своего организма, упакованную всего в одну яйцеклетку. В чем суть этого таинственного механизма передачи наследственной информации? 24

ЕЕ ПОДВЛАСТНО ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

Информация не может распространяться в пространстве сама по себе без какого-либо материального носителя. Этот носитель, или «бегун», схватив информацию в одной точке пространства, мчит ее в другую 32

Природа волн, способных распространяться в разных средах и переносить информацию, различна. А нельзя ли описать их единым уравнением? 33

Как грузят информацию на «бегунов» и что происходит с ними при увеличении груза? 35

Только благодаря наличию атмосферы люди имеют возможность разговаривать. Как работают голосовой и слуховой аппараты человека? 39

Глаза — основные ворота, через которые поступает информация в наш мозг. Приносит ее световой луч, природу которого ученые разгадывают более двух тысяч лет 42

Познание света существенно углубилось после открытия любопытного его свойства, названного поляризацией. В чем его суть? 45

Совершенствование теории света связано с именами выдающихся ученых К. Максвелла, А. Эйнштейна, М. Планка. Какие новые идеи внесли они в эту теорию? 49

Звуковые и световые волны не решали проблемы переноса информации на большие расстояния. На помощь им пришел новый «бегун» — электрический ток 54

Погрузить информацию на этого «бегуна» и разгрузить его оказалось не так-то просто. Несколько десятилетий ушло на поиски практически пригодных решений 57

Электрический ток распространяется только по «рельсам» — проводам, кабелям. С изобретением радио люди получили универсальный носитель информации, который не требует рельсов и может преодолевать любые расстояния как на Земле, так и в космосе 62

Информацию люди передают не только в пространстве, но и во времени. Как они это осуществляют и в каком из двух возможных направлений? 66

ЧТО ЖЕ ЭТО ТАКОЕ?

Ни одно живое существо, созданное природой, ни одна умная машина, придуманная человеком, не могут успешно функционировать без приема и передачи информации. Что же такое информация? 74

Информацию измеряют битами. Какова величина информации в один бит? 80

К мирному городу летит вражеский самолет со смертоносным грузом. Какое количество битов информации нужно передать на зенитную ракету, чтобы она сбила самолет?.. 84

Информацию, передаваемую дискретными сигналами, удобно измерять в битах. А как быть с информацией, отображаемой непрерывными сигналами типа человеческой речи, музыки, изображения? 87

Рассматривая передачу любой информации в пространстве, нельзя умолчать о ее непримиримых и вездесущих, коварных и безжалостных врагах. Кто же они? 92

ИДЕАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК ВЛАДИМИРА КОТЕЛЬНИКОВА

Почему уравнение идеального приемника В. Котельникова и его схема в виде квадратиков получили всемирную известность? 98

- На вход приемника поступает сообщение, посланное в виде посылок А и В. Помехи их сильно исказили. Как приемник распознает, когда послано А, а когда В? 100
- В. Котельников нашел алгоритм работы идеального приемника. Почему нельзя собрать его из обычных радиодеталей: катушек, конденсаторов, сопротивлений и транзисторов? 104
- Наиболее универсальной и перспективной является передача любых сигналов двоичными посылками типа «да — нет». Как рекомендует теория В. Котельникова передавать и принимать такие сигналы? 107
- Наилучшим способом передачи двоичных сигналов является фазовая телеграфия. Но она практически нереализуема. Есть ли способ передачи этих сигналов, близкий к наилучшему, но реализуемый? 111
- ### ИДЕИ КЛОДА ШЕННОНА И НОРБЕРТА ВИНЕРА
- В. Котельников показал, что из-за помех даже идеальный приемник дает ошибки. К. Шеннон же установил, что определенное число битов в секунду можно передать без единой ошибки даже при действии помех. Как примирить эти два вывода? 116
- Помехоустойчивое кодирование, то есть введение в сигнал избыточных символов, не несущих информации, позволяет исключить ошибки. Всегда ли это возможно? 121
- Кроме искусственно вводимой избыточности, есть и естественная, например в человеческом языке. Какую роль играет избыточность в языке? 126
- Для точного определения количества информации, которое несет сообщение, К. Шеннон ввел новое понятие — энтропия. Что означает это слово? 132
- Н. Винер обнаружил единство решаемых задач при передаче информации в машинах, в живых организмах и даже в сообществах живых существ. В чем суть этих задач? 138

БЮРАКАН. ОСЕНЬ-71.

- За последнее время Бюракан стал часто упоминаться в газетах, журналах, во многих докладах и дискуссиях. Что же там произошло? 146
- Проблема связи с внеземными цивилизациями напоминает гигантский узел, в котором запутаны почти все науки землян. Какие это науки? 150
- В бюраканских дискуссиях фигурировала одна формула, которую почти все участники писали мелом на доске или ссылались на нее. Кому принадлежит эта популярная формула? 153
- Земная наука утверждает, что обитаемых миров много. Как установить с ними контакт: лететь к ним, слать умного робота или возводить радиомост? 158
- Сверхцивилизации в конце концов должны начать добывать энергию и вещество на соседних планетах, звездах, а может, и галактиках. Земная астрономия пока не обнаружила признаков такой деятельности. Какие выводы из этого следуют? 164
- В решении бюраканской конференции записано, что наиболее перспективный путь установления контакта — поиск сигналов других цивилизаций. Как организовать этот поиск? 168
- Для успешного поиска разумных сигналов из космоса необходимо иметь какие-то гипотезы о возможной их структуре. Есть ли сегодня такие гипотезы? 173
- Кончились горячие дискуссии в Бюракане, участники симпозиума разъехались в разные страны. Что изменилось в состоянии проблемы после этих дискуссий? 177

ЧТО НАС ЖДЕТ ЗАВТРА?

- Почти все основные показатели нашей цивилизации растут по так называемому экспоненциальному закону. Что это за закон? 182
- По некоторым прогнозам, человечеству грозит «информационный взрыв». На чем базируются такие прогнозы? 186
- 205

Какие пути предотвращения «информационного взрыва» уже сегодня вырисовываются?

191

Новые системы связи в союзе с ЭВМ позволят активно бороться с нарастающим потоком информации и дадут дополнительные силы и время человеку. Что это за системы? , ,

196

Петрович Н. Т.

ПЗ0 Поговорим об информации. М., «Молодая гвардия», 1973.

208 с., с илл. (Эврика.) 65 000 экз. 46 коп.

Сегодня волны информации захлестывают челн ее создателя — мозг человека. Он с трудом выдерживает натиск новых фактов, новых открытий, новых идей.

Что же такое информация? Как она передается, принимается, накапливается, обрабатывается в живых организмах и технике?

Существует ли опасность «информационного взрыва»?

Об этом и многом другом ведет беседу с читателем автор этой книги.

6Ф0.1

п $\frac{062}{078(02) - 73}$ 112—73

Петровиц Николай Тимофеевич

ПОВОРОРИМ ОБ ИНФОРМАЦИИ. М., «Молодая гвардия», 1973.

208 стр., с илл. (Эврика)

6Ф0.1

Редактор *В. Федченко*

Художник *К. Мошкин*

Художественный редактор *Б. Федотов*

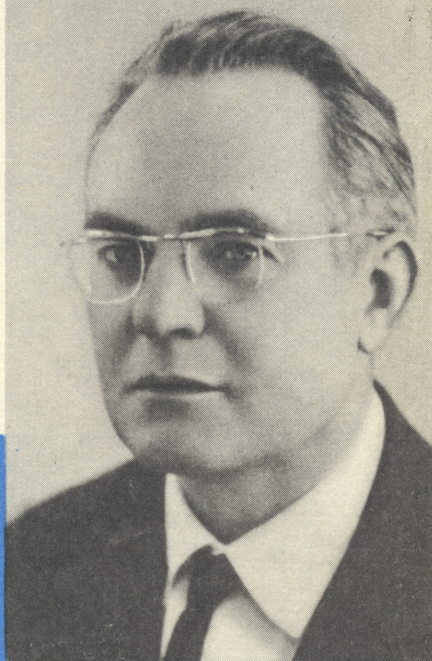
Технический редактор *Л. Курлыкова*

Корректор *Г. Василёва*

Сдано в набор 6/IV 1973 г. Подписано к печати 11/IX 1973 г. А03080. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 2. Печ. л. 6,5 (усл. 10,92). Уч.-изд. л. 10,6. Тираж 65 000 экз. Цена 46 коп. Заказ 596. Т. П. 1973 г. № 112.

Издательство ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия»,

Типография издательства ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес издательства и типографии: Москва, А-30, Сушевская, 21.



НИКОЛАЙ ТИМОФЕЕВИЧ ПЕТРОВИЧ

Читатели знакомы с доктором технических наук, профессором Николаем Тимофеевичем Петровицем по его книге «Кто вы?», вышедшей в серии «Эврика» в 1970 году.

Научные интересы Николая Тимофеевича всегда были связаны с изучением поединка сигналов и помех в земных и космических системах передачи информации.

Им опубликовано более сотни статей и книг, в которых исследуется эта битва и отыскиваются пути усиления сигнала, несущего информацию, и ослабления помех. Этот поиск привел к созданию одного из самых помехоустойчивых методов передачи информации — относительной фазовой телеграфии, нашедшей широкое применение в наши дни.

Страстный альпинист, мастер спорта, он убежден, что романтика научного поиска может захватить куда сильнее, чем даже штурм неизведанных сверкающих горных великанов.

«Поговорим об информации» — вторая книга автора. В ней он, отбросив сложные формулы и схемы, интересно рассказывает широкой аудитории об информации.