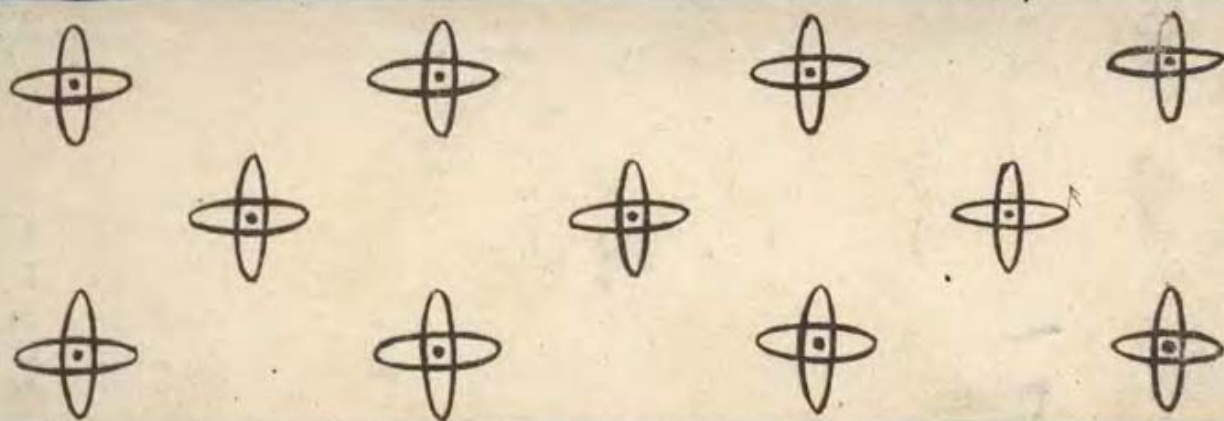


Глеб Анфилов



**ЧТО ТАКОЕ**



**ПОЛУПРОВОДНИК**

ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

*Глеб Анфимов*



Государственное Издательство Детской Литературы  
Министерства Просвещения РСФСР

Москва 1957

Кто из вас, юные читатели, не хочет узнать, что будет представлять собой техника ближайшего будущего? Чтобы помочь вам в этом, Детгиз выпускает серию популярных брошюр, в которых рассказывает о важнейших открытиях и проблемах современной науки и техники.

Думая о технике будущего, мы чаще всего представляем себе что-нибудь огромное: атомный межпланетный корабль, искусственное солнце над землей, пышные сады на месте пустынь.

Но ведь рядом с гигантскими творениями своих рук и разума мы увидим завтра и скромные облик, хоть и не менее поразительные технические новинки.

Когда-нибудь, отдыхая летним вечером вдали от города, на зеленом берегу реки, вы будете слушать музыку через «поющий желудь» — крохотный радиоприемник, надетый прямо на ваше ухо. Потом стемнеет. Вы вынете из кармана небольшую коробку, откроете крышку, и на матовом экране появятся бегущие футболисты. Телевизор размером с книгу!

В наш труд и быт войдет изумительная простотой и совершенством автоматика. Солнечный свет станет двигать машины.

Жилища будут отапливаться... морозом.

В городах и поселках зажгутся вечные светильники.

Из воздуха и воды человек научится делать топливо, пластмассы, сахар...

Создать все это помогут новые для нашей техники вещества — полупроводники.

О них эта книжка.

---

## ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

**В**ы сели за стол, включили свет, раскрыли книгу. Оторвитесь на минуту от чтения и оглядитесь вокруг.

В электрической лампочке сияет тоненькая спиралька из металла вольфрама. К ней идут медные провода — передатчики энергии. Медь и вольфрам отлично пропускают электрический ток. Этим свойством обладают и другие металлы. Поэтому они именуются *проводниками*.

А вот стеклянная колба лампочки, фарфоровые ролики на стене, резиновая трубка, охватывающая провод, ток почти совсем не пропускают. Их называют *изоляторами*.

Проводники и изоляторы — главные материалы электротехники. Но, кроме них, в природе есть как бы промежуточные вещества.

Возьмем к примеру графит — сердцевину карандаша. Ток он пропускает, но гораздо хуже металлов. Многие кристаллы, сплавы, всевозможные соли, окислы похожи в этом отношении на графит. Они-то и получили название *полупроводников*.



Окружающий нас мир богат подобными веществами. Их можно извлекать из простого песка, сажи, камня. Пожалуй, можно сказать, что мы каждый день едим полупроводники за завтраком, обедом и ужином, топчем их своими ногами. Ведь самый распространенный в земной коре элемент *кремний* и основа жизни *углерод* образуют полупроводниковые кристаллы.

С давних времен человек старался освоить все, чем одарила его природа. Сырье, содержащее полупроводники, он применял в металлургии, в химии, в строительном деле — всюду, кроме электротехники.

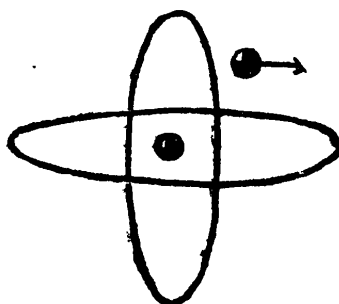
Здесь полупроводники считались непригодными. Думали так: от проводников они ушли, а к изоляторам не пришли. Ими не заменишь ни медного провода, ни фарфорового ролика. Казалось, никакой пользы из их половинчатых свойств не извлечешь.

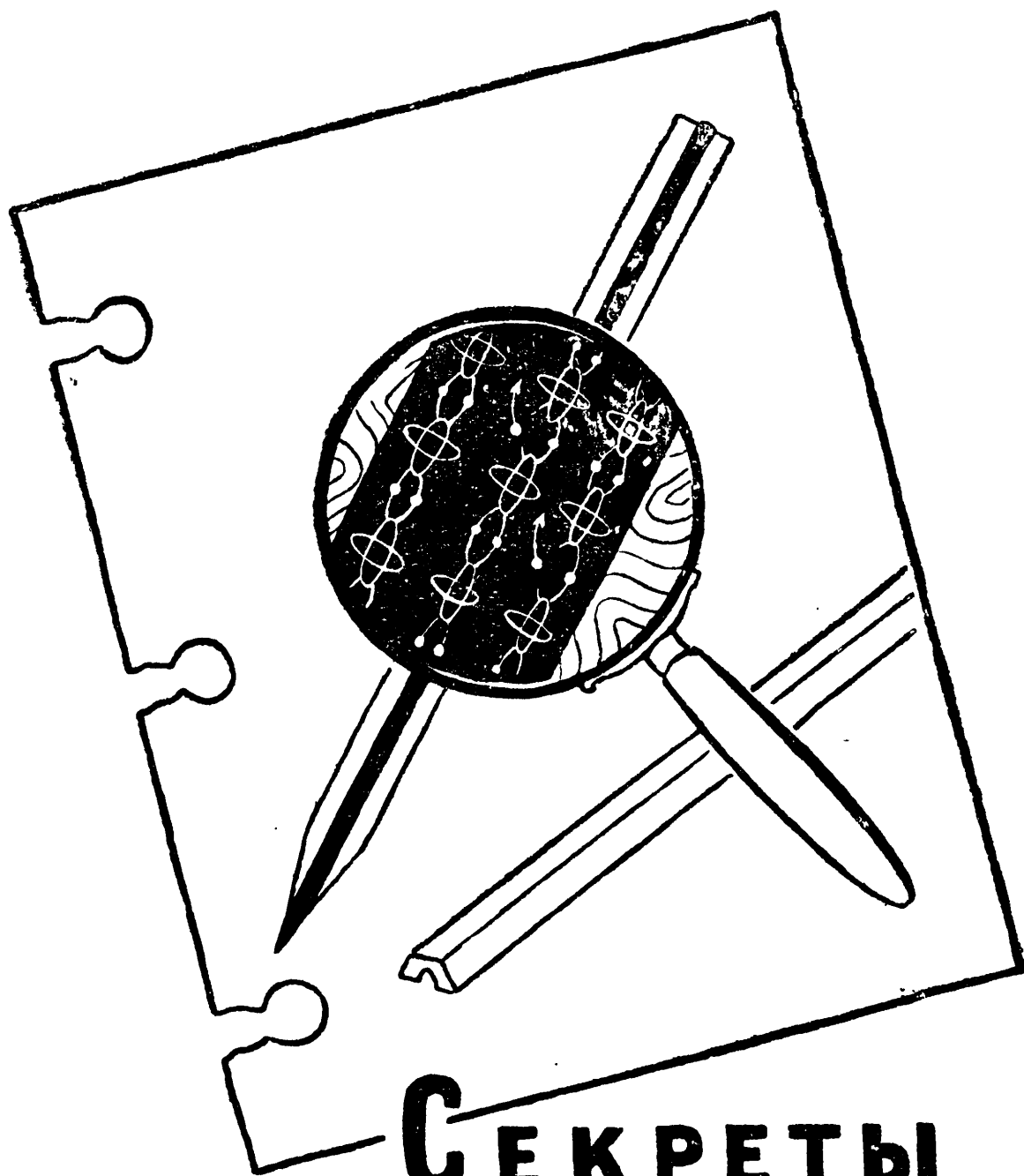
И на протяжении многих десятилетий никто не желал разобраться поглубже в электрических особенностях полупроводников.

Но время показало, что такое пренебрежение было большой ошибкой. В наши дни исследователи постигли огромное практическое значение этих веществ. Множество ученых занято теперь теорией и техникой полупроводников.

В чем же их ценность?

Не будем спешить с ответом. Прежде разберемся в более простых вещах.





# **СЕКРЕТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ**



---

## АТОМЫ

**З**

емля и воздух, скалы и море, цветок и тончайшая жилка нашего тела — все построено из неисчислимых мириадом атомов.

Каждый из них невообразимо мал. Возле булавочной головки атом словно булавочная головка рядом с Эльбрусом. А построен атом из частичек, еще в сотни тысяч раз меньших, чем он сам.

В центре его массивное *ядро* — кладовая атомной энергии, до которой сейчас дотянулась рука человека. Ядро несет положительный электрический заряд. Вокруг ядра движутся легкие, отрицательно заряженные электроны. Они удерживаются возле ядра, послушные всеобщему физическому закону: тела, которые имеют разноименные электрические заряды, притягиваются друг к другу.

Разнообразны ли атомы?

Не слишком. Вместе с созданными в последние годы искусственным путем науке известно сто видов атомов. Вот и все, если не считать разных сортов каждого вида. И из этого ассортимента частиц построено бесконечное многообразие тел и веществ Вселенной.

Отличаются атомы разных видов неодинаковым зарядом ядер.

У ядра простейшего водородного атома самый маленький заряд. И электрон в таком атоме один-единственный. Ядра атомов меди гораздо богаче зарядом — в двадцать девять раз. Стало быть, и электронов там по двадцать девять у каждого атома.

Располагаются электроны атома в строгом порядке. Они движутся по замкнутым путям-орбитам, которые образуют несколько оболочек, охватывающих ядро.

Чем ближе электронная оболочка к ядру, тем крепче связаны с ним ее электроны. Чтобы выбить электрон с внутренней оболочки, нужен сильный толчок — большая энергия. Легче оторвать электроны, «обитающие» на последующих оболочках.

Электроны самой верхней, внешней, оболочки играют важнейшую роль. Они связывают атомы в кристаллическую структуру, соединяют их в молекулы. Химические процессы, электрическое состояние тел и многое другое определяются поведением электронов внешних атомных оболочек.

Как же ведут себя внешние электроны в различных веществах?

### **ЭЛЕКТРОНЫ В МЕТАЛЛЕ И ИЗОЛЯТОРЕ**

Внешние электроны не удерживаются в атомах медной проволочки: слишком слабо они связаны с ядрами «своих» атомов. Атомы все время беспорядочно перемещаются и как бы стряхивают с себя внешние электроны. Эти «оторвавшиеся» электроны блуждают по кусочку металла, участвуя в общем беспорядочном тепловом движении, которое тем активнее, чем выше температура проволочки.

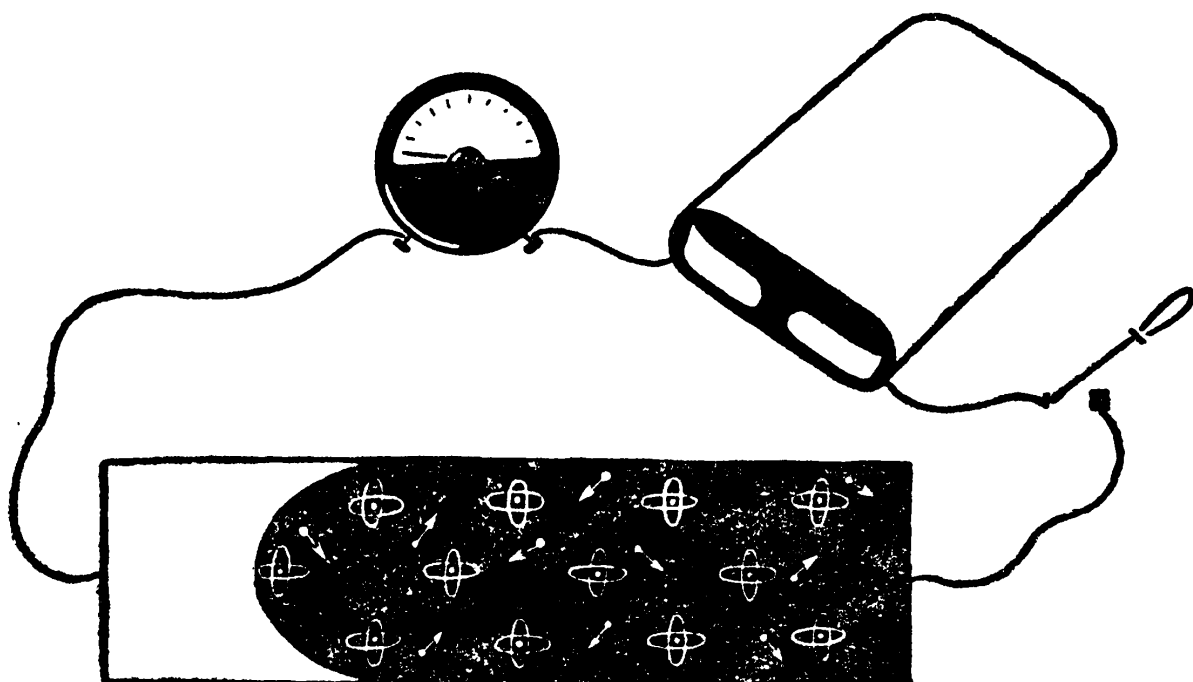
В мире электронов незаметно тяготение Земли. Объясняется это просто: слишком легки такие частицы и слиш-



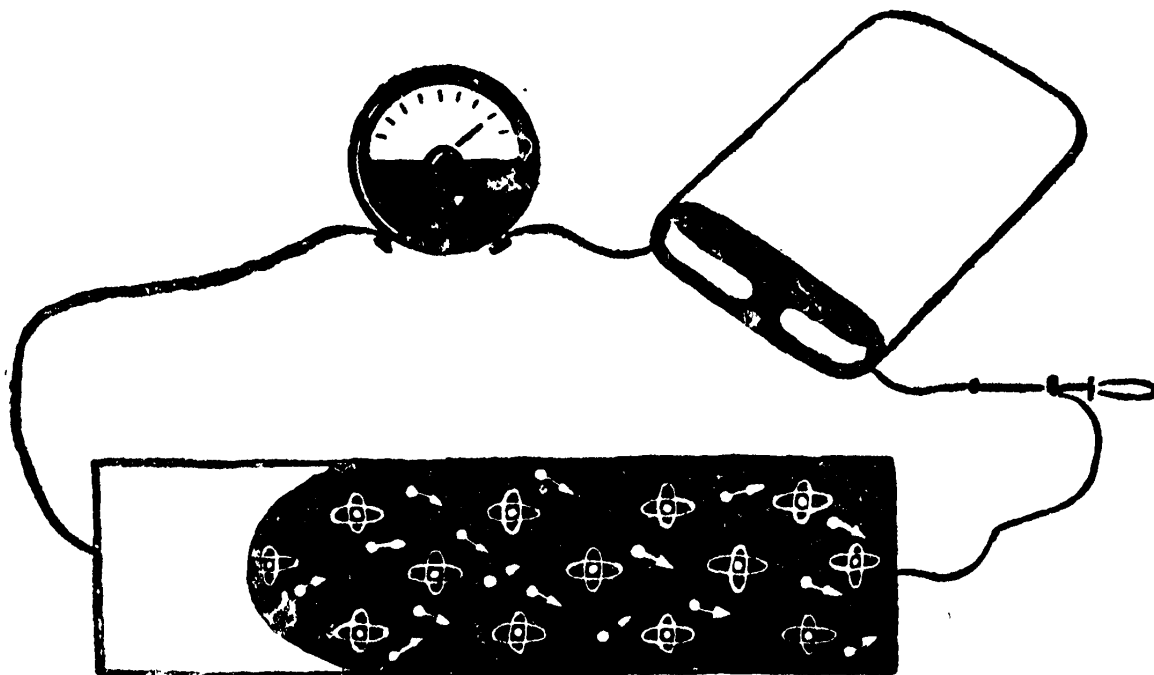
ком быстро они движутся. Зато электроны послушны другой силе — электрической. Как камень падает вниз, притягиваемый Землей, так электроны, наделенные довольно значительным для такой легкой частички зарядом, меняют движение под действием электрического поля, которое создается в пространстве любым заряженным телом.

Прижмем концы проволоочки к полюсам электрической батарейки — металл тотчас пронизывается электрическим полем. Свободные электроны теперь не только участвуют в тепловом беспорядочном движении, но и перемещаются по проволочке к положительному полюсу батарейки, подхваченные полем. На место, освобожденное ушедшими электронами, поле выталкивает другие из отрицательного полюса батарейки. Они тоже уходят, уступая место новым и новым отрядам электронов: по проволочке побежал электрический ток.

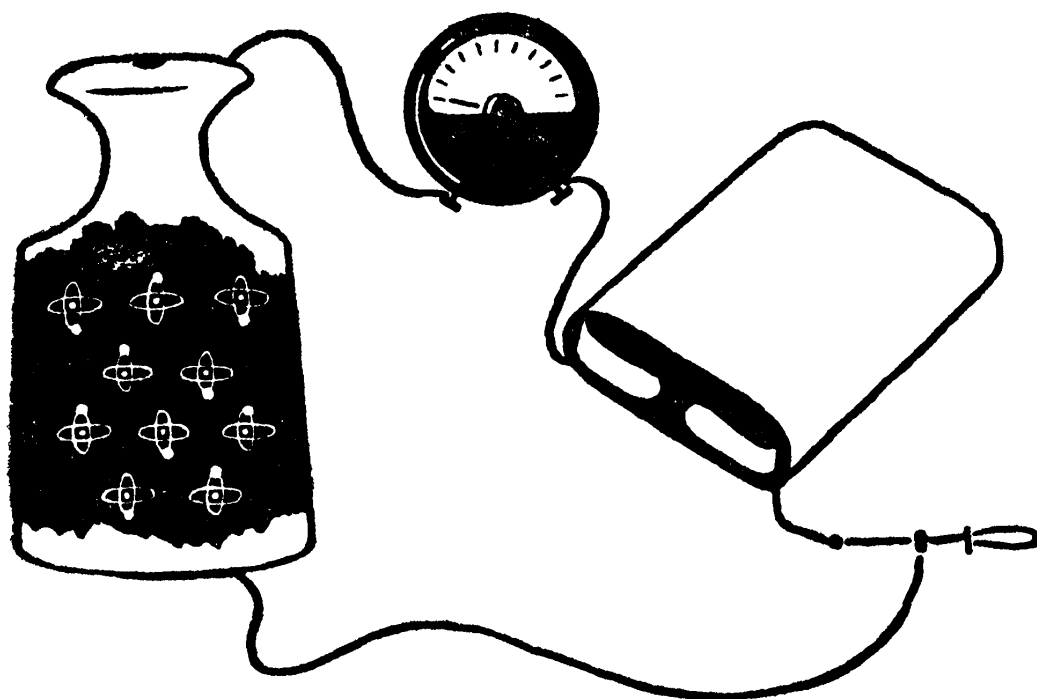
Поток электронов в металле беспокойный. Ведь на их пути то и дело попадаются атомы, которые к тому же сами перемещаются, участвуя в тепловом движении. Поэтому при нагревании проволоочки электронному потоку труднее становится пробиваться вперед. По мере повышения



В металле многие электроны не связаны с каждым атомом в отдельности и беспорядочно блуждают между ними.



Кусочек металла соединен с полюсами электрической батарейки. Его пронизывает электрическое поле, которое подхватывает электроны и устремляет их к положительному полюсу.



В изоляторе внешние электроны прочно удерживаются у своих атомов. Поэтому здесь нечему переносить электрический ток.

температуры сила тока уменьшается. В этом свойстве — важный признак электропроводности металла.

Заметим кстати: электрический ток и сам разогревает проволочку. Чем обильнее поток электронов, тем сильнее он расталкивает атомы, увеличивая энергию их теплового движения.

В изоляторе все обстоит проще. Резина, фарфор, стекло тоже, конечно, построены из атомов. Как и в металле, атомы там подвержены беспорядочному тепловому движению. Но электроны внешних оболочек надежно связаны с ядрами атомов изолятора. Там нет свободных электронов, а значит, нечему создать электрический ток.

Впрочем, если мы раскалим изолятор, он может потерять изолирующие свойства. Связи между атомами станут иными. Поэтому при сильном нагревании некоторые изоляторы превращаются в полупроводники. Каковы же особенности полупроводников?

## ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО

. Бросим медную проволочку в жаркую печь — с температурой в тысячу градусов. Проволочка только-только не расплавится, а на ее поверхности начнется активная реакция химического соединения металла с кислородом воздуха. Каждая пара атомов меди свяжется с одним атомом кислорода. Пройдет несколько минут, и проволочка покроется черным веществом, которое называется закисью меди. Соскоблим ее и отдадим в химическую лабораторию — попросим тщательнейшим образом очистить закись от примесей. И если химики аккуратно выполнят наше задание, мы получим от них кусочек идеально чистого, классического полупроводника.

Проведем с ним несколько опытов.

Проверим сначала, как он будет проводить электрический ток.

Выяснится, что гораздо хуже меди. Это для нас не будет неожиданностью: поэтому он и носит название полупроводника.

Зато нам покажется странным результат другого эксперимента. Чем сильнее мы станем нагревать кристаллик закиси, тем лучше он будет проводить ток. В медной проволочке, как мы помним, наблюдалось прямо противоположное явление.

В чем же тут дело?

В полупроводнике внешние электроны принадлежат обычно сразу паре соседних атомов, осуществляя их связь в кристалле. Но связаны они с ядрами не слишком сильно. Поднимается температура — и увеличивается энергия беспорядочного теплового движения. В результате при нагревании нарушаются связи между атомами, все больше электронов обретает свободу, а заодно и способность переносить электрический ток.

Теперь как будто все стало понятно. Но если бы мы только из этих соображений составили математические уравнения и провели теоретический расчет электропроводности кристаллика закиси, нас постигло бы разочарование. Вычисленная электропроводность получилась бы почти вдвое меньше, чем действительная, наблюдающаяся на опыте.

Значит, какой-то стороны явления мы не учли.

Какой же?

Чтобы отыскать ответ, отправимся в экскурсию — в театр юного зрителя.

## ПУСТОЙ СТУЛ

Сегодня идет отличная пьеса, и театральный зал полон. Но мы не будем смотреть на сцену. Обратим внимание на незначительное происшествие в зрительном зале.

Мы сидим возле прохода и смотрим на другую его сторону. Все места с первого ряда до последнего заняты. Ребята с увлечением смотрят спектакль. Но вот в первом ряду с краю освободилось место. Сидевший на нем школьник почему-то ушел.

Как только стул в первом ряду освободился, на него немедленно перескочил вихрастый пионер — обитатель крайнего места во втором ряду. Пионера можно понять: во втором ряду сидеть неплохо, но в первом, разумеется, лучше. А дальше? Девочка с косичками, что сидела с краю в третьем ряду, быстро перебежала на место вихрастого пионера во втором ряду. На опустевший стул девочки пересела ее подруга из четвертого ряда, на ее место — мальчик из пятого ряда. Словом, все обитатели крайних стульев у прохода передвинулись на одно место вперед. А пустое место в то же время перекечовало через весь зал назад — от первого ряда до последнего. Вот и все, что нам нужно было увидеть в театре. Теперь можно вернуться в мир атомов и электронов.

## КАК В ТЕАТРЕ

Представим ненадолго, что мы сжались в миллионы миллионов раз и научились видеть невидимые явления, причем в тысячи раз медленнее, чем они происходят на самом деле. Обретя эту сказочную способность, проникнем в недра нашего кусочка закиси, присоединенного к электрической батарейке — правым концом к ее положительному полюсу, а левым к отрицательному.

Какая картина предстанет перед нами?

В общих чертах ее можно представить себе следующим образом (очень условно и упрощенно).

Безостановочно движутся атомы. Их связывают между собой электроны внешних оболочек. Вот один из внешних электронов получил толчок. Связь нарушилась — в



ней словно образовалась брешь, а электрон стал свободным и унесся вправо, подхваченный невидимой силой электрического поля.

Но место, где только что пребывал электрон, лишь мгновение оставалось пустым. Подобно тому, как в театре вихрастый пионер из второго ряда быстро пересел на опустевший стул в первом ряду, место улетевшего электрона тотчас занял другой электрон — с внешней оболочки соседнего слева атома. Этот «пересевший» электрон вовсе не обладал большой энергией. Никаких чрезмерно сильных ударов он не получил. Он просто как бы соскользнул с одного места на другое, словно сдутый легким ветерком электрического поля. Ведь в атомах полупроводника электроны связаны слабее, чем в изоляторе.

После этой «пересадки» между первым левым атомом и его соседом электронная связь нарушилась — там осталось пустующее место. Его тут же занимает электрон со следующей влево связи атомов. Туда соскальзывает внешний электрон третьего слева атома и так далее.

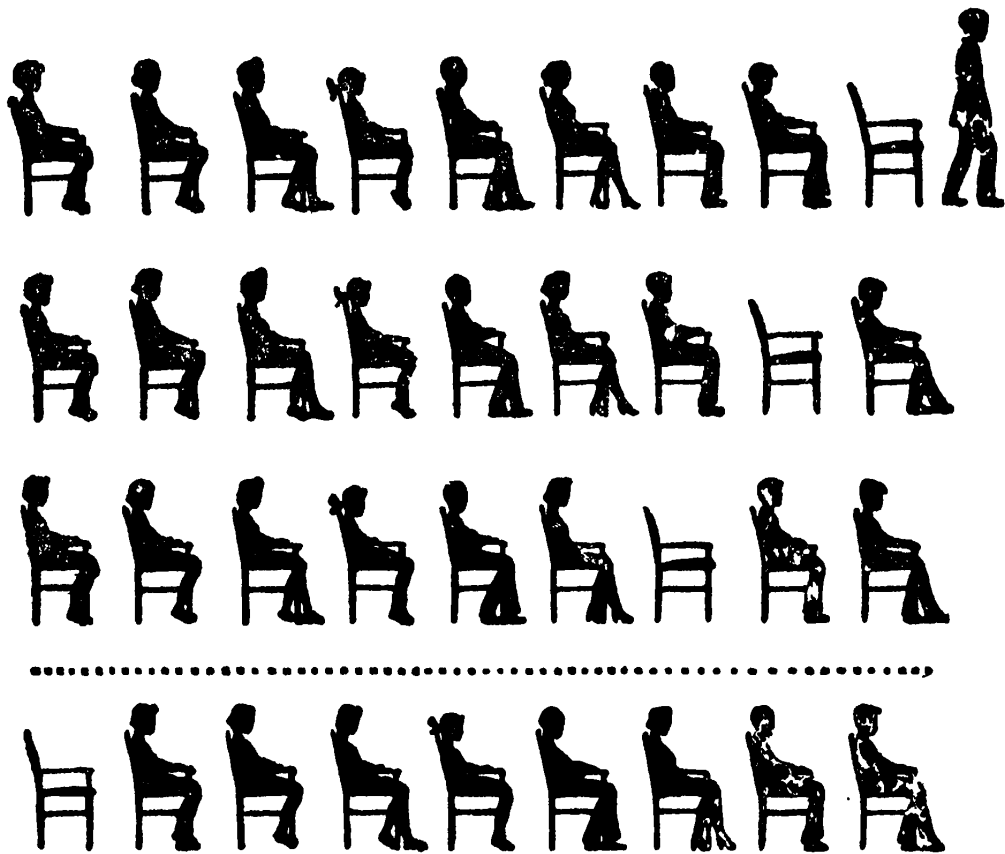
В зрительном зале театра ребята пересаживались на стул вперед, стремясь быть поближе к сцене. Здесь же внешние электроны атомов перескакивают один за другим вправо (туда их тянет электрическое поле). Причем каждый — на один только шаг.

Правда, на самом деле это явление значительно сложнее, оно сильно запутывается беспорядочным тепловым движением частичек. Но в основе оно именно таково, как мы описали.

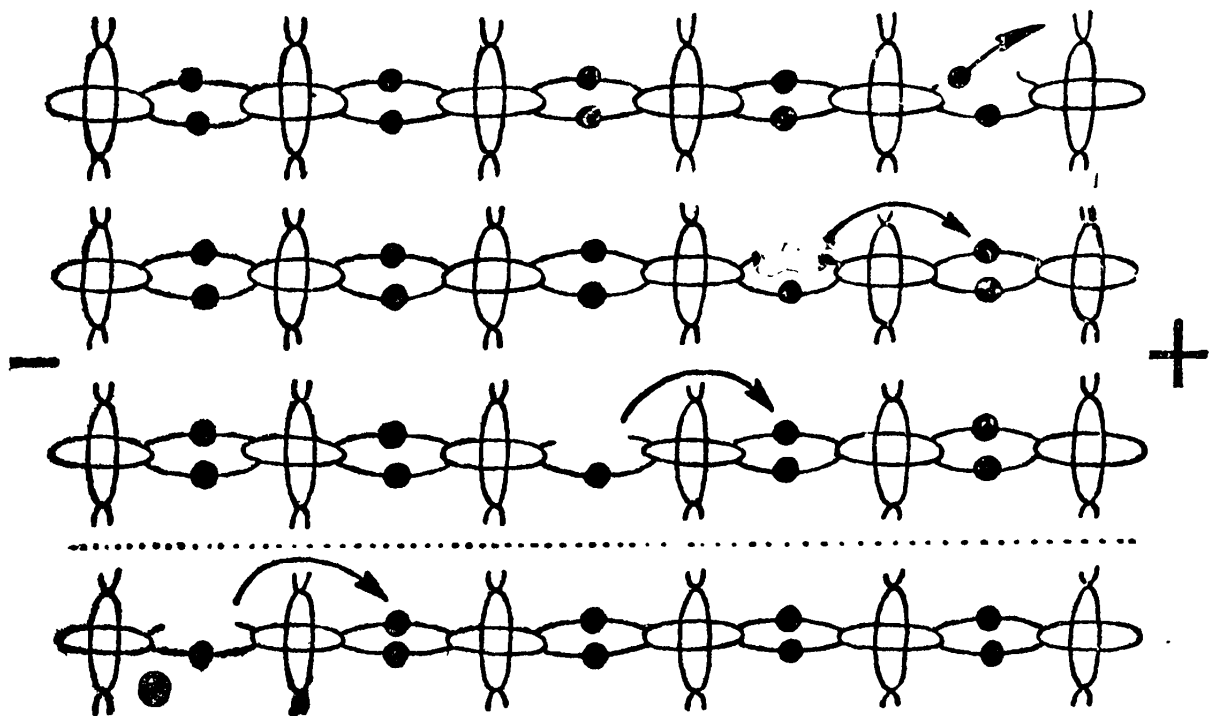
## ДВА ТОКА

Итак, в полупроводнике электрический ток создается не только теми электронами, которые по каким-то причинам освобождаются из «плена» атомов.

Электроны, не освободившиеся совсем, а только



Зрители в театральном зале один за другим пересаживаются ближе к сцене.



Внешние электроны атомов полупроводника «меняют хозяев» — перескакивают на «освободившиеся места» в том направлении, куда их влечет электрическое поле. А нарушенная связь между атомами (дырка) тем временем перемещается назад, словно освободившееся место в зрительном зале театра.

перескакивающие с атома на атом, перемещаются туда, куда их влечет электрическое поле. А такое движение зарядов тоже представляет собой не что иное, как электрический ток.

Мы приходим к выводу: в полупроводнике существуют два электрических тока. Первый обусловлен вытолкнутыми из атомов свободными электронами. Он и называется *электронным*. Второй объясняется движением электронов, связанных с атомами. Ему дали имя *дырочного*. Откуда взялось это название?

Давайте сообразим, как можно рассказать о происшествии, которое мы наблюдали в зрительном зале детского театра.

Приходят в голову такое описание: на освободившееся место в первом ряду пересел зритель из второго ряда; на место, освобожденное зрителем второго ряда, пересел зритель из третьего ряда; . . . . .  
. . . . .  
на место, освобожденное зрителем тридцать девятого ряда, пересел зритель из сорокового ряда. Как много слов! Как долго их читать! А попробуйте обойтись без них, когда еще неизвестна сущность явления. Трудно! Не случайно примерно так мы и объясняли его в первый раз. Иначе запутались бы.

Но если мы знаем, какое событие произошло в зрительном зале, сказать о нем можно уже гораздо экономнее: освободившееся место переместилось с первого ряда в сороковой.

В кристаллике полупроводника мы подметили похожее явление. И опять, вместо того чтобы нудно перечислять перемещения электронов на один шаг слева направо, мы можем коротко сказать: нарушенная связь между атомами перекечевала через весь кристалл справа налево. Эту нарушенную связь физики предложили назвать попросту *дыркой*. Теперь явление описывается совсем экономно: дырка движется через кристаллик справа налево.

## ФАЛЬШИВАЯ ЧАСТИЦА

Дырка кочует в направлении к отрицательному полюсу электрической батарейки. Значит, она ведет себя как частица, имеющая положительный электрический заряд. Если продолжать такую чисто условную аналогию, то окажется, что заряд ее можно принять равным по величине заряду электрона.

Таким образом, для удобства описаний и расчетов физики условились говорить, что в полупроводнике, кроме отрицательно заряженных частичек — свободных электронов, — носителями тока служат и положительно заряженные дырки. Отсюда и название двух токов — электронный и дырочный.

Надо всегда помнить, что подлинными носителями тока — электроны, а дырка — это совсем не настоящая частица. На самом деле в ней нет ни массы, ни заряда, как нет теста в дырке бублика.

В нашем полупроводниковом кристаллике освобождению электронов сопутствует возникновение такого же количества дырок. Под действием электрического поля электроны и дырки устремляются в противоположные стороны. Это значит, что в кристалле одновременно возникают электронный и дырочный токи. Они вместе определяют электропроводность полупроводника. Добавим, что свободные электроны несколько подвижнее дырок: Поэтому электронный ток здесь преобладает — он немного сильнее дырочного.

Вы думаете, мы уже полностью раскрыли внутренние причины проводимости кристалла? Нет. Недаром мы отдавали закись меди на очистку в химическую лабораторию.

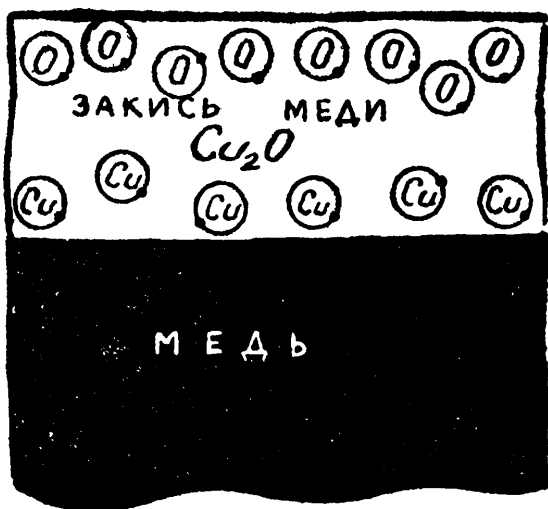
То, о чем вы до сих пор читали, относится только к идеально чистым материалам. В реальных же полупроводниках, где обязательно есть примеси, хотя, может быть, и очень небольшие, дело обстоит сложнее.

## АТОМЫ-ГОСТИ

Вспомним знакомый нам слой окиси меди на проволочке, побывавшей в горячей печи.

Какие примеси он имел до того, как попал на очистку в лабораторию?

С наружной стороны он был наверняка загрязнен лишними атомами кислорода. Они попали туда из воздуха. С внутренней стороны (той, что прилегает к металлу) в окись вкраплены лишние атомы меди.



Из меди в слой окиси проникают «лишние» атомы меди, а из воздуха — «лишние» атомы кислорода.

Сравним, что лучше пропускает электрический ток: идеально чистая окись или же загрязненная небольшим количеством атомов меди?

Опыт покажет, что добавка «лишних» атомов меди резко увеличивает электропроводность полупроводника.

Чем это объяснить?

Внешние электроны пришлых атомов меди обретают свободу гораздо легче, чем внешние электроны атомов

окиси; причем освобождение электронов из медных атомов примеси не сопровождается появлением дырок. На опустевшие места в пришлых медных атомах электроны атомов окиси не попадают, им на это не хватает энергии. Таким образом, «лишние» атомы меди служат источниками *только* свободных электронов, которые и играют в таком полупроводнике роль *основных* носителей тока. Подобные примеси называются *донорными*<sup>1</sup>, а включающие их полупроводники — *электронными*.

<sup>1</sup> От латинского слова «дарящий».



Итак, излишек меди увеличил проводимость закиси. Пожалуй, такой исход опыта не явился для нас неожиданностью: к полупроводниковому материалу подбавилось немного металла, и резонно было ожидать, что электропроводность вещества от этого улучшится. Но если так, то, вероятно, добавка кислорода, который не проявляет никаких свойств металла, должна уменьшить электропроводность закиси?

Ничего подобного!

Поставив опыт, мы убедимся, что этого не наблюдается. Малая примесь атомов кислорода не только не снижает, а, наоборот, значительно повышает проводимость закиси — почти так же, как и добавка атомов меди. Опять загадка!

Разгадывается она, впрочем, довольно легко.

## ЛОВЦЫ ЭЛЕКТРОНОВ

Мы помним: не только свободные электроны могут быть в полупроводнике передатчиками тока. Ведь такую роль способны играть и дырки — места, оставленные электронами. И оказывается, избыточными атомами кислорода в закиси меди создаются дырки. Как это происходит?

«Лишний» атом кислорода не только крепко держит собственные электроны. Он втягивает на свою внешнюю оболочку электроны со стороны. Электрону, связанному с атомом закиси, гораздо легче переместиться на пришлый атом кислорода, чем совсем вырваться на волю. Но выловленные примесью кислорода электроны оставляют бреши, пустые места, в электронных связях между атомами закиси. В полупроводнике появляется избыток этих не занятых электронами мест — излишек дырок. Они и становятся здесь основными носителями тока.

Полупроводники, наделенные такими примесями, фи-

зики называют *дырочными*. А сами примеси получили имя *акцепторных*<sup>1</sup>.

Как мы видели, закись меди может быть и электронным и дырочным полупроводником — смотря по тому, что к ней примешано. Это относится и ко всем другим полупроводниковым материалам. Выходит, атомы-гости очень сильно влияют на характер и поведение атомов-хозяев. Часто самые ничтожные дозы примесей резко меняют электрические свойства полупроводника. Электропроводность повышается в десятки, сотни, тысячи, даже в сотни тысяч раз! Исключительно возрастает зависимость ее от температуры и других внешних воздействий.

Но главное вот что: вводя в очищенный полупроводник те или иные примеси в определенных количествах, человек может сознательно управлять электрическими свойствами подобных материалов. «Лишние» атомы оказываются совсем не лишними. В конечном счете именно эта возможность повела к созданию великого множества полупроводниковых приборов и устройств.

## О ПОДЛИННОЙ ТЕОРИИ

Прежде чем рассказывать дальше, автор вынужден принести извинение.

Для наглядности и понятности объяснений пришлось несколько упростить изложение физической сущности процессов. На самом деле ученые учитывают здесь многое, о чем нам пришлось умолчать.

Существует, в частности, на первый взгляд странное условие: электрон обладает противоречивыми свойствами: он ведет себя не только как частица, но и как волна. Этот факт трудно сразу осознать, физики к нему попросту привыкают — ничего не поделаешь, такова уж особенность

---

<sup>1</sup> От латинского слова «принимающий».

мира мельчайших частичек. Но доказано это совершенно неопровержимо.

И вот если учесть волновые свойства электрона и другие специфические особенности мельчайших частиц — их связи друг с другом, их взаимное влияние, — то все, о чем вы читали, удастся изложить совершенно строго, с точным количественным расчетом.

Такая работа очень трудна. На пути физиков появляется масса непредвиденных препятствий. Чтобы освободиться от них, приходится выдвигать разнообразные гипотезы, проводить огромные вычисления, ставить сложные опыты.

Вот почему создание теории полупроводников — замечательная победа науки. Это итог многолетних исканий многих исследователей. Немалая роль среди них принадлежит советским физикам во главе с Героем Социалистического Труда академиком Абрамом Федоровичем Иоффе.

Сейчас теория полупроводников продолжает развиваться и совершенствоваться.



Герой Социалистического Труда  
академик Абрам Федорович  
Иоффе.

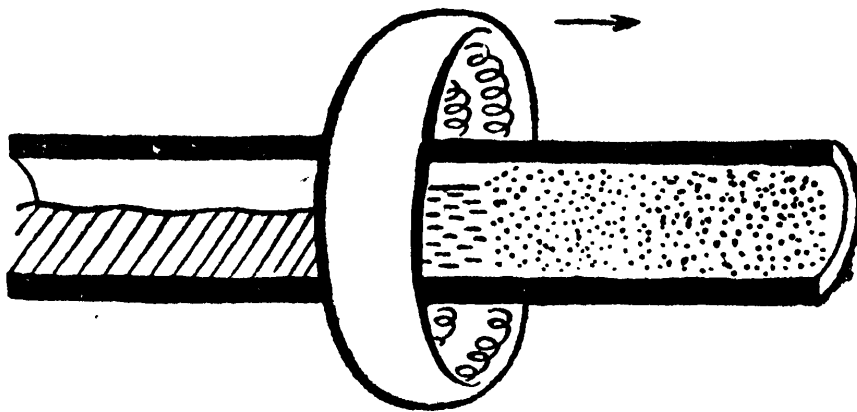
## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Итак, наука разгадала секреты электропроводности полупроводников. Стала понятной роль свободных электронов и дырок, а также причина влияния примесей на свойства полупроводниковых материалов.

Что требуется сделать, чтобы получить полупроводник с теми или другими заранее «заказанными» свойствами?

Теория подсказывает: надо сначала тщательнейшим образом очистить материал, а потом чуть «загрязнить» его специально подобранным веществом.

Загрязнить полупроводник, внести в него примесь, труда не составляет. А вот предварительно очистить его бывает подчас очень нелегко. Ведь иной раз требуется довести материал до такой степени чистоты, чтобы на десять миллиардов атомов приходился только один атом-чужак! Попробуйте-ка найти несколько красных песчинок, затерявшихся в большом самосвале, доверху нагруженном желтым песком! Задания, которые получают химики, очи-



В кварцевой трубке — размолотый в порошок полупроводник. Кольцевая печь медленно движется слева направо. Порошок под ней плавится, и из жидкости выталкиваются примеси. Так полупроводники очищают от примесей.

щающие полупроводники, еще труднее: ведь атомы не ухватишь рукой: в одной песчинке их столько, сколько песчинок на морском берегу. И все-таки современная химия и металлургия успешно справляются с этой трудной задачей.

Засолила хозяйка на зиму бочонок огурцов и поставила его в сарай. Однажды ударил сильный мороз, и рассол сверху замерз. Попробуйте кусочек льда. Вы удивитесь: он совсем несоленый.

Вода вымерзла из рассола в чистом виде, а примесь соли осталась в растворе.

Вымерзающее вещество почти всегда чище жидкости, из которой оно кристаллизуется. Явление это давно известно науке, и именно его обычно используют химики для очистки полупроводников. Материал размалывают в порошок и засыпают его в длинную кварцевую трубку толщиной в палец. Трубка укреплена горизонтально. Вдоль нее — от одного конца к другому — еле заметно движется маленькая электрическая печка: кольцо из керамики, с внутренней части которого проложена спираль (как у электроплитки). Эта кольцевая печка плавит порошок в трубке, а по мере ее перемещения вперед расплав сзади застывает. Примеси словно выталкиваются вперед и отчасти назад (здесь играет роль неодинаковая способность примесей растворяться в твердом и жидком веществах).

В середине трубки получается чистое вещество. Впрочем, и при таком способе очистку приходится повторять много раз.

Для более тщательной очистки практикуют и другой метод: материал плавят, вводят в него маленький очищенный кристаллик, который затем медленно-медленно поднимают вверх. Кристаллик

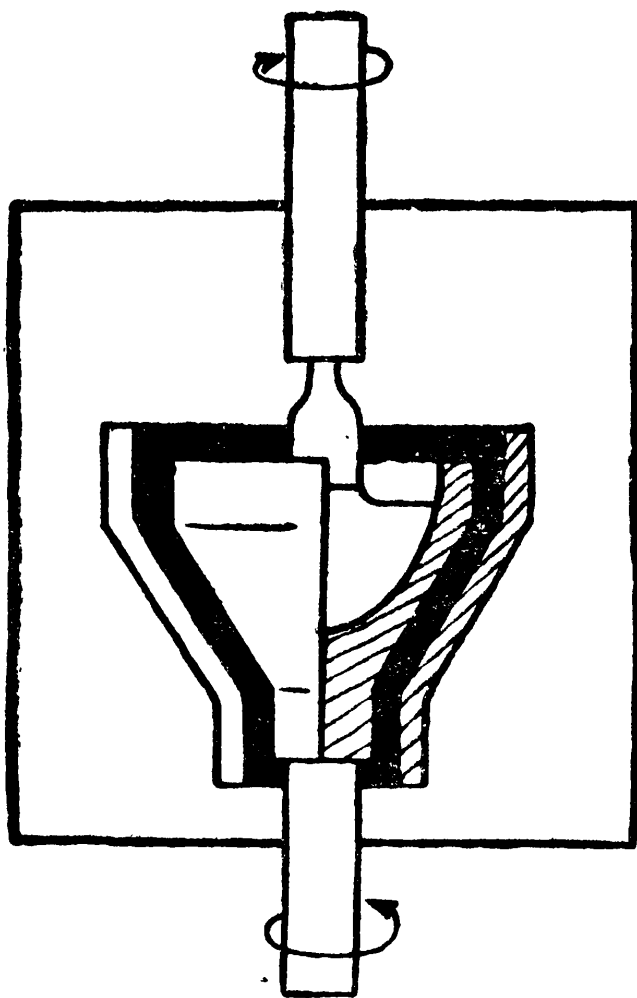
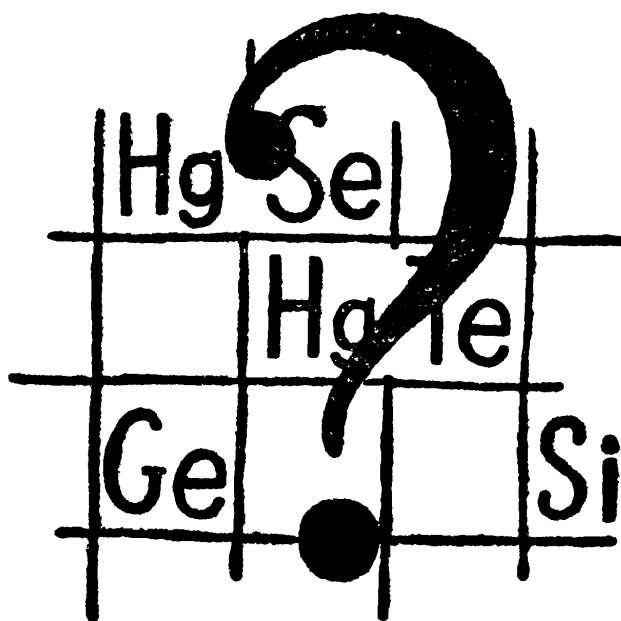


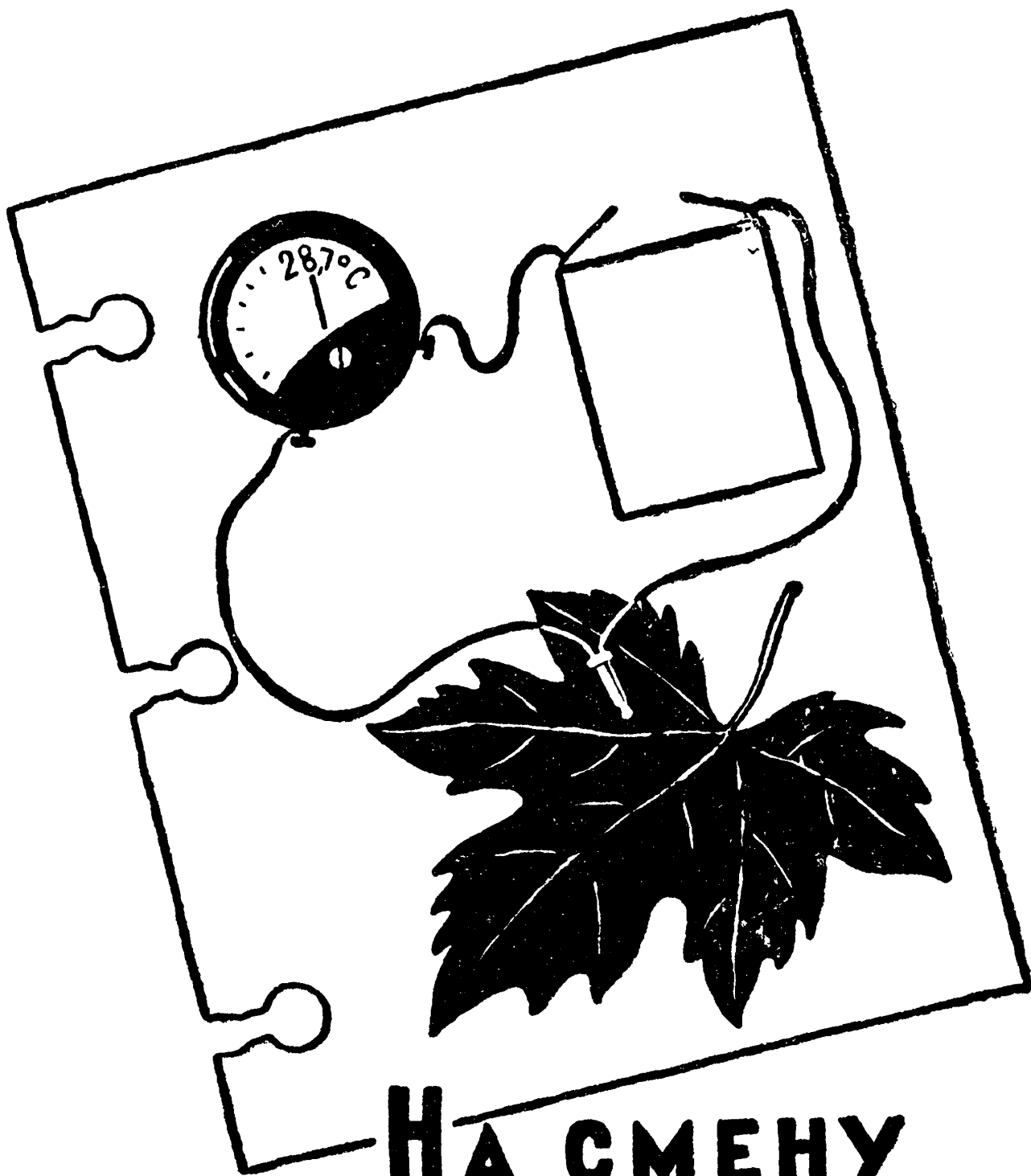
Схема установки для вытягивания полупроводниковых монокристаллов из расплава. Чтобы кристаллизация шла равномерно, ванна с расплавом и кристалл непрерывно вращаются в разные стороны.



разрастается. Чтобы кристаллизация шла правильнее, сосуд и затвердевший кристалл непрерывно вращают в разные стороны. Иногда всю эту операцию ведут в безвоздушной среде или в специальной защитной атмосфере. Из жидкого камня вытягивается целый столбик очищенного материала. С первого раза он и не всегда достаточно чист. Вытянутые столбики опять плавят, вытягивают новый, более чистый столбик, и так далее.

Получение химически чистых полупроводников — сложнейший производственный процесс. Он требует пока огромных сил и средств. Вот почему полупроводники еще недешевы, несмотря на обилие природного сырья для них. Научиться быстро и просто извлекать это сокровище — вот к чему стремятся сейчас ученые. И они добьются своего. Задача поставлена, путь ее решения виден.





**НА СМЕНИ  
ТЕРМОМЕТРУ**



---

## ГРАДУСНИК УСТАРЕЛ

**М**

ногое из привычного, знакомого нам с детства, развитием техники осуждено на уничтожение. Уходит в прошлое свеча. Медная кастрюля уступает место своим алюминиевым сестрам. Прославленный в веках шелк — детище кокона тутового червя — сменяется чудесными тканями из древесины и угля. Паровозы заменяются тепловозами, электровозами, газотурбовозами.

А вот на стене ртутный термометр, казалось бы, неуми-рающая вещь. На самом же деле и термометр понемногу собирается на покой, в музей, оставляя наследника — маленький полупроводниковый прибор.

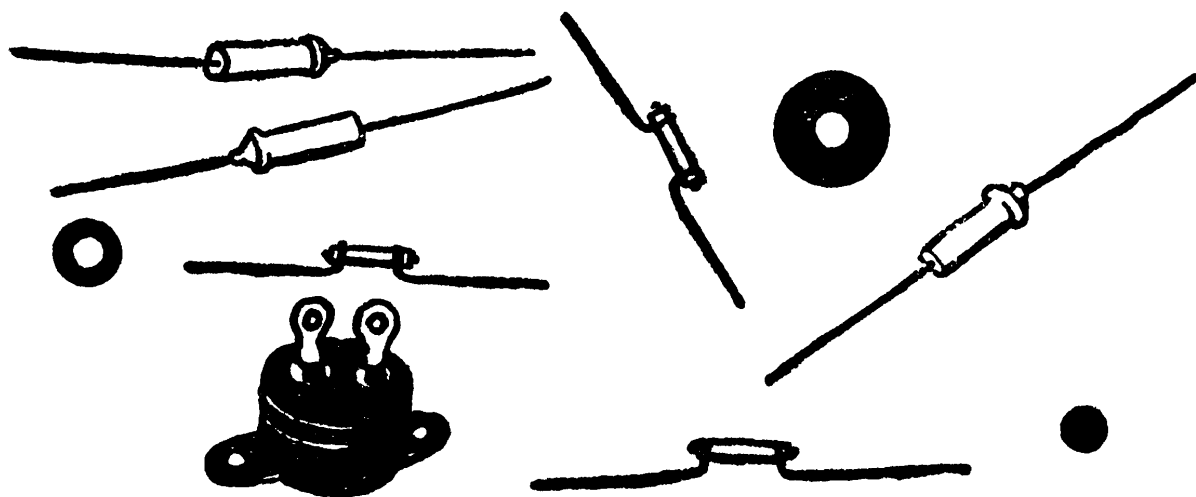
Мы подметили интересную особенность полупроводни-ка: при нагревании резко увеличивается его электропро-водность. Это свойство очень удобно применить для изме-рения температуры.

На стеклянной пластинке — слой полупроводника. С двух сторон к нему примыкают металлические прово-лочка. Через гальванометр — прибор, регистрирующий пе-ремены тока, — они подключены к электрической бата-

рейке. Это простейший полупроводниковый электротермометр — *термосопротивление*, или *термистор*.

На холоде ток через него невелик, но чем теплее, тем ток сильнее. Стрелка прибора отмечает увеличение температуры, показывая ее прямо в градусах Цельсия.

Наши заводы выпускают самые разнообразные термисторы. Это и пластинка, и стеклянный баллончик или бу-



Так выглядят некоторые термосопротивления, выпускаемые советской промышленностью.

синка с проволочными хвостиками, и таблетка размером с кружочек конфетти, и просто чуть заметное пятнышко полупроводника, нанесенного прямо на стрелку гальванометра.

### ТЫСЯЧА ИЗМЕРЕНИЙ

Не доверяя собственным ощущениям, вы нередко поглядываете на комнатный градусник. Если столбик серебристой жидкости упирается, скажем, в цифру 14, значит, холодновато, надо пожарче протопить печку или отвернуть кран у батареи центрального отопления.

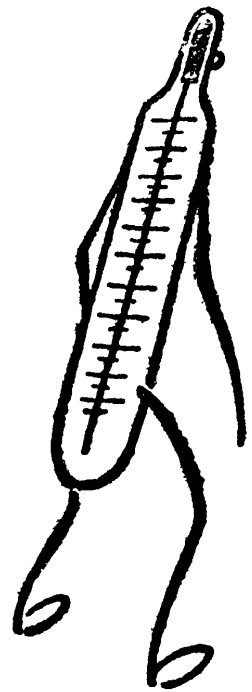
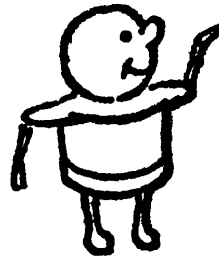
Но поставьте себя в положение коменданта большого здания, который обязан непрерывно следить за темпера-

турой сразу в сотне, в тысяче помещений. Пусть это будет завод каких-нибудь точных приборов, требующих при изготовлении и испытании строго постоянной температуры. Как поступить в этом случае?

Попробуем повесить в каждом помещении те же испытанные помощники — ртутные термометры. Но разве одному человеку уследить за ними? Пришлось бы содержать целый штат курьеров. Зато, если вы откажетесь от ртутных термометров и замените их термосопротивлениями, задача решится очень легко. Провода, проложенные от термисторов из тысячи цехов, складов, лабораторий, быстро и надежно принесут показания о температуре на прибор в комнату коменданта. Отсюда — один шаг до централизованного автоматического управления отоплением.

Инженерам в наши дни приходится следить за температурой в таких местах, где обыкновенный термометр совсем неприменим. Попытайтесь-ка узнать с его помощью, как нагрета деталь где-нибудь в недрах сложной машины. Не выйдет. Хрупкий прибор туда не поднесешь, да и показания его не разглядишь. А ведь это нужно, чтобы предупредить опасный перегрев трущихся частей, избегать плавления подшипников, устанавливать особенности работы механизмов в разных условиях.

Большую пользу сулят принести термисторы и нашему сельскому хозяйству. На Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в павильоне «Ленинград — Северо-запад» большим успехом у посетителей пользуется стенд Ленинградского агрофизического института Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина.



Вы увидите на этом стенде самые разнообразные электротермометры. Есть среди них длинные, многометровые штанги. Их вводят в ворох зерна и проверяют, не разогревается ли хлеб, не грозит ли ему порча, самовозгорание. Другие термисторы, похожие на кинжалы, агрономы весной втыкают в землю и узнают, как глубоко она прогрелась. Это очень помогает определять правильные сроки сева. Той же цели служит аппарат с характерным названием: «термопаук». Его проволочные «лапы» кончаются небольшими термисторами, которые фиксируют степень нагрева поверхности почвы, а стрелка прибора показывает среднюю температуру.

Но, пожалуй, интереснее всего здесь автоматический дистанционный электротермометр. В правлении колхоза или в избе-лаборатории стоит на столе небольшой аппарат, от которого тянутся провода в амбары, овощехранилища, закрома с семенами. Всюду там установлены термисторы. И чуть где-нибудь изменится необходимая, заранее заданная температура, на центральном аппарате раздается тревожный звонок. Это сигнал агроному: в хранилище нарушился температурный режим, надо принять срочные меры.

Дистанционные термометры — новое слово в сельскохозяйственном приборостроении.

Подобные устройства ждут применения и во многих других областях науки и техники.

Метеорологи нуждаются в сведениях о температуре облачных высот, геологи — глубоких недр земли. Во всех таких случаях самым простым и эффективным измерителем температуры зарекомендовал себя термистор.

## ЧУТКАЯ ИГЛА

Заболела голова, по спине пробежал озноб. Вы ставите под мышку медицинский термометр и минут десять — пятнадцать сидите сложа руки — дожидаетесь, пока подни-

мется ртутный столбик. Лениво работает прибор. Правда, в домашних условиях это не причиняет больших неудобств. Но в крупных больницах измерение температуры выливается в сложную процедуру. Иное дело—термистор.

Первыми у нас приспособили термосопротивление для медицинских целей московские физики А. Б. Фромберг и А. С. Егоров-Кузьмин. Приглашенный на испытание прибора профессор-медик за полсекунды измерил им температуру кожи на собственной руке! Потом профессор коснулся термистором кровеносного сосуда — и стрелка заметно передвинулась. Прибор уловил ничтожную разницу температуры. Врачи, обступившие профессора, пришли в восторг.

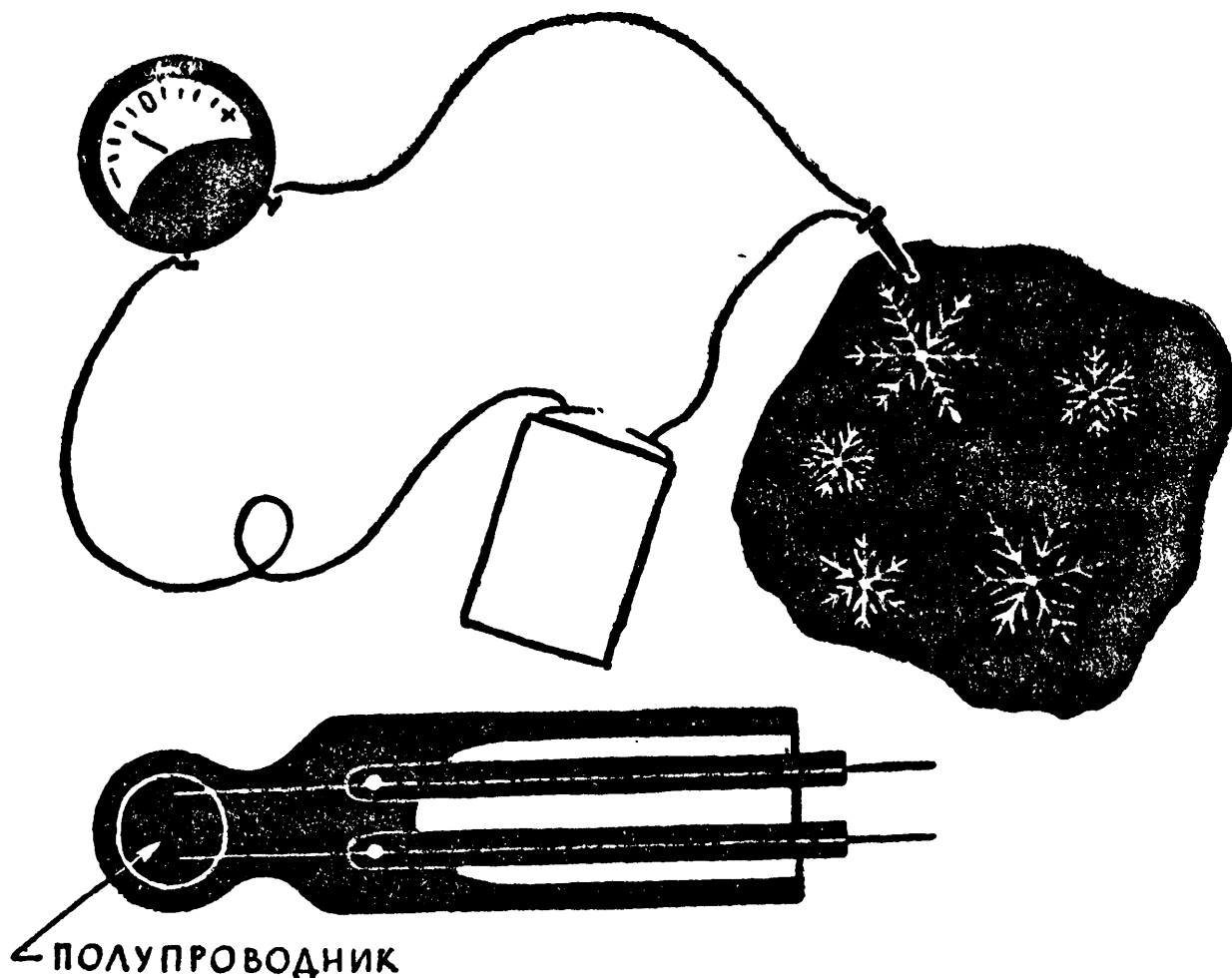
Позднее несколько типов подобных устройств — микроэлектротермометров — создал сотрудник Агрофизического института в Ленинграде В. Г. Карманов. Изобретатель дал им название «игла». Прибор похож по форме на отточенный карандаш. На конце — полупроводниковый шарик. Диаметр его — от 0,5 миллиметра до 50 микрон (50 микрон — толщина человеческого волоса). Крохотный кусочек полупроводника защищен снаружи тончайшей стеклянной оболочкой, в него введены две платиновые проволочки, подающие электрический ток.

Чтобы прибор работал быстрее, четче отзывался на перемены температуры, шарик сделан очень маленьким. Благодаря этому он скорее нагревается и остывает. «Игла» фиксирует неуловимые прежде колебания температуры, происходящие за десятые, даже за сотые доли секунды.

Есть электротермометры, обладающие настолько незначительными размерами чувствительных элементов, что их можно ввести непосредственно в пищевод или желудок. Микроскопический шарик безошибочно измеряет температуру крови прямо в кровеносном сосуде.

В Москве в Научно-исследовательском институте хирургических аппаратов и инструментов создана целая





Один из микроэлектротермометров. Прибор настолько миниатюрен, что может измерить температуру снежинки. Внизу — схема микроэлектротермометра «игла».

серия разнообразных медицинских электротермометров. Врачи уже начали применять их на практике. Созданы микроэлектротермометры, которые одинаково хорошо измеряют температуры от 70 градусов мороза до 250 градусов тепла. Такой широкий диапазон в сочетании с быстротой действия открывает новому прибору широкую дорогу в самые разнообразные области техники.

### К ТЫСЯЧЕГРАДУСНОЙ ЖАРЕ

Как ни хороши термосопротивления, но есть у них один недостаток: слишком сильного нагревания они не выносят. Существуют приборы, которые выдерживают

+250, +300 градусов Цельсия. Но это пока предел. Нагрейте полупроводник сильнее, и вы его безнадежно испортите.

Между тем потребность в простых и безотказных измерителях температуры в 900, 1000 градусов и выше очень велика. Металлурги, машиностроители давно уже жалуются: трудно существующими методами достигнуть необходимой точности измерений температуры при плавке металла, закалке изделий.

Неужели физика полупроводников здесь пасует?

Нет, решение проблемы возможно.

Мы раньше упоминали об изоляторах, которые при сильном нагреве становятся полупроводниками. Теперь им можно найти применение. Сделаем из такого вещества стержень и внесем его в печь. По изменению электропроводности стержня можно судить о его температуре. Такие тугоплавкие стержни созданы в Ленинграде, в Электротехническом институте имени Ульянова (Ленина).

Правда, иметь стержень — это еще не всё. Надо ведь включить его в электрическую цепь. Как это можно сделать? Просто присоединить стержень к металлическим проводам в печи нельзя. При высокой температуре немедленно начнутся химические реакции, на месте соединения образуется слой окиси, и контакт получится плохой.

Вывести концы стержня через стенку печи наружу тоже невозможно. Выведенные концы ведь будут холодными, они потеряют свои полупроводниковые свойства, опять станут изоляторами и откажутся проводить электрический ток.

Чтобы найти выход, приходится искать обходные пути, усложнять установку.

Впрочем, есть еще один замечательный способ определения температуры. Применяя его, не нужно помещать термометр непосредственно на раскаленное тело или вблизи него. Он позволяет проводить измерения температуры на расстоянии, притом иногда очень большом.

## ТЕМПЕРАТУРА ИЗДАЛЕКА

Солнце находится от нас в 150 миллионах километров. Никто к нему не подлетал, никто не касался его термометром. И тем не менее температура поверхности светила стлично известна науке. Эти сведения принес сам солнечный свет.

Достигнув Земли, луч солнца попал в физическую лабораторию. Здесь на его пути поставили стеклянную призму, он тотчас растянулся в радужную полоску и словно сказал: вот я каков, все мои секреты на виду; теперь догадывайтесь, что за жара у меня на родине.

Ученые до этого провели опыты с обыкновенными земными лучами — теми, что испускает любой раскаленный предмет. Проходя сквозь призму, они тоже растягивались в полоску-спектр. И лучи, которые тело испускало при различных температурах, давали различные спектры. Накаляли тело до 1000 градусов — больше всего лучистой энергии получалось в красной части спектра; нагревали до 2000 градусов — в красной части энергии становилось поменьше, зато прибавлялось в желтой; доводили температуру до 3000 градусов — появлялся избыток энергии в голубой части спектра, и так далее. Много таких опытов провели физики и в конце концов открыли закон распределения энергии в спектре в зависимости от температуры.

Закон известен, и над солнечным спектром долго ломать голову не пришлось. Оказалось, на его родине — на поверхности Солнца — температура +6000 градусов Цельсия.

Вы спросите: а причем здесь герои книжки — полупроводники?

Вопрос резонный.

Оказывается, удобнее и точнее всего оценивать энергию разных частей спектра специальным полупроводниковым термистором.

## ЧУДЕСНЫЙ БОЛОМЕТР

Миниатюрное термосопротивление, выполненное в виде тонкой пластинки, выкрасили в глубокий черный цвет. Потом термистор заключили в стеклянный баллончик и удалили оттуда воздух, чтобы прибору не мешала внешняя среда. Получился так называемый болометр. Вся падающая на пластинку лучистая энергия поглощается черным красителем. При этом она превращается в тепло и нагревает термистор.

Материал для термистора подобран с таким расчетом, чтобы самые небольшие перемены температуры заметно меняли его электропроводность. Это дает возможность измерять полупроводниковым болометром ничтожные дозы лучистой энергии. Им можно, в частности, регистрировать количество лучистой энергии в разных частях спектра.

Откройте заслонку печи и выпустите оттуда луч. Исследовав его спектр болометром, вы сможете определить, в каком месте сосредоточено там больше всего энергии. А по этим данным вы узнаете температуру с точностью, в которую трудно поверить, — до стотысячных долей градуса!

Конечно, установка прибора, расчеты — довольно кропотливое занятие. Но все эти действия поддаются механизации.

Теперь поставим другую задачу: измерить на расстоянии температуру темного, несветящегося нагретого предмета.

Неужели и это возможно?

На проволочной подставке — чугунный утюг. Горячий он или холодный? По виду не отличишь. Значит, надо прикоснуться? Необязательно. Поднесите поближе ладонь, и вы почувствуете, как из металла струится тепло. Может быть, нагретый воздух омывает руку? Нет, воздух здесь ни при чем. Повторив опыт в пустоте, вы тоже ощутите

тепло. Оказывается, это та же лучистая энергия, испускаемая любым нагретым телом. Только здесь лучи невидимые. Их называют в физике инфракрасными. Они, как и световые, способны преломляться в призмах, образуя полосы спектра (уже невидимого). И спектр этот для разных температур также различен. Полупроводниковым болометром инфракрасный спектр удастся исследовать не хуже, чем видимый. Значит, температуру утюга можно определить на расстоянии.

Инфракрасные лучи струятся и из просто теплых предметов. Их источником, в частности, служит наша кожа. Выходит, температура тела человека тоже доступна измерению на расстоянии? Нет. Пока это не удастся — возникает масса технических трудностей. Но никто не сказал, что путь закрыт. Быть может, недалеко время, когда появится медицинский дистанционный полупроводниковый электротермометр. Не тревожа больного, врач будет на расстоянии узнавать его температуру.

Полупроводниковый болометр необычайно чувствителен. Это особенно ясно видно на примерах простой регистрации тепловых лучей (без измерения температуры). Поместив такой прибор в фокусе вогнутого параболического зеркала, вы сможете уловить издали малейшее ненормальное нагревание в работающей машине. Прибор без труда зарегистрирует тепло пролетающей птицы; на расстоянии в несколько километров он обнаружит горящую папиросу.

Был сделан такой опыт. Невидимый инфракрасный луч послали с Земли к Луне. Отразившись от лунной поверхности, он вернулся и был уловлен полупроводниковым болометром.

Мы убедились, насколько широк диапазон применения термосопротивлений — уловителей тепла и измерителей температуры: от медицины до металлургии, от глубоких земных недр до поднебесья, даже до самой Луны.

Но только ли термометрами могут быть термисторы?

## СИЛА ДУНОВЕНИЯ

Дуновением мы гасим свечу. Оказывается, тем же способом можно и включить свет.

В Московском Политехническом музее демонстрируется любопытный автомат-игрушка. Перед вами крошечный термистор. Стоит слегка дунуть на него — и сбоку загорается лампочка.

Загорается и вскоре гаснет. Что произошло?

От дуновения чуть-чуть изменилась температура и, следовательно, электропроводность полупроводника. Ток, текущий через прибор, увеличился и включил реле, зажигающее лампочку. Таково простейшее автоматическое реле на термисторе.

А вот более важное применение этого принципа автоматики.

По магистральному трубопроводу движется к городу горючий газ. Чтобы он поступал в наши квартиры без помех и задержек, нужно постоянно следить за газовым потоком в трубе и регулировать его. Надо знать, в частности, скорость невидимой струи.

Легче, проще и точнее всего такое измерение вести термисторами.

Установленные в трубе, они все время слегка подогреваются небольшим током, но в то же время остывают, отдавая тепло газу.

И чем быстрее движение газовой струи, тем сильнее охлаждается термистор — тепло как бы сдувается с прибора. Он «зябнет» и отзывается на это уменьшением силы тока.

Так можно измерить скорость газовых струй, чтобы затем автоматически управлять их движением.

Применяя системы из нескольких термосопротивлений, удастся определить даже направление потоков газа. Невидимые вихри раскрывают свою сложную структуру, словно становятся зримыми.

## ОЧЕРЕДЬ ДВИГАТЕЛЕЙ

Без минуты восемь часов. В огромном цехе-автомате металлообрабатывающего завода все готово к началу трудового дня. Тысячи электродвигателей ждут включения, чтобы приняться за работу.

Дежурный инженер подходит к рубильнику и быстрым движением поднимает вверх его трехпалую лапу.

Но не сразу загудели двигатели. Сперва завертелся ротор одного мотора, спустя несколько секунд к нему присоединился другой, потом третий, четвертый... Деловитый гул нарастает, разливается по цеху, и вот уже всё кругом в разумном, до мелочей рассчитанном движении.

Почему двигатели начали работать неодновременно?

Иначе нельзя. При одновременном их включении на полную мощность слишком резким было бы изменение нагрузки в сети. Да и сами моторы не могут рвануть «с места в карьер» — они должны раскручиваться постепенно.

Но почему они включились один за другим? Ведь рубильник-то был один на всех.

Здесь опять поработали полупроводники, введенные в систему распределения энергии между двигателями.

Электрический ток поступает в двигатель через термистор. В первый момент после включения рубильника температура полупроводника мала, и он плохо проводит ток. В электродвигатель поступает недостаточное количество энергии, вал его пока еще не вращается. Но под действием тока полупроводник постепенно разогревается, сопротивление его падает, соответственно растет и ток, который, в свою очередь, разогревает термистор и уменьшает его сопротивление.

И вот наконец ротор двигателя начинает вращаться. Теперь надобность в термосопротивлении отпала. Несложное приспособление автоматически отключает его.

Так же и со всеми остальными двигателями. Чтобы они

принимались за работу по очереди, термисторы на них устанавливают различные. И задержать включение двигателей они могут на разные промежутки времени: от долей секунды до нескольких минут.

Еще не так давно, когда термисторов не было, туго приходилось инженерам при решении подобных задач. Применяли сложные и капризные электронные реле времени. Иногда ставили даже различные часовые механизмы. Теперь все стало несравненно проще, дешевле, а главное — надежнее.

### ДЫХАНИЕ ДОМНЫ

Много хлопот доставляет обслуживание доменной печи. Надо вовремя и строго по рецепту давать ей обильную «пищу» — шихту, надо тщательно следить за ее «дыханием»: количество, температура, влажность воздуха, вдуваемого в печь, должны быть строго постоянными.

На глазок, вручную при нынешних режимах чугунолитейного производства возле домны не поработаешь. Что стоит недосмотреть какую-нибудь мелочь! Скажем, солнце припекло, воздух стал чуть суше. Человек и не заметил — до того ли рядом с пышащей жаром машиной! А домна заметила. Сразу изменился «ход» печи, ухудшился чугун. Вот почему инженеры оснастили домну множеством автоматов. Человек может теперь вполне положиться на них.

Один из самых важных приборов домны — автоматический регулятор влажности дутья. Основой его может отлично служить термистор.

Термосопротивление, поставленное в потоке дутья, покрыто полоской ткани, которая все время искусственно увлажняется. Но ткань обдувается воздухом, и влага с нее испаряется — словно белье сохнет на ветру. Испарение всегда сопровождается охлаждением (вспомните, как на ветерке после купанья «мороз пробегает» по коже). Белье сохнет лучше в ясный день. Значит, если чуть суше

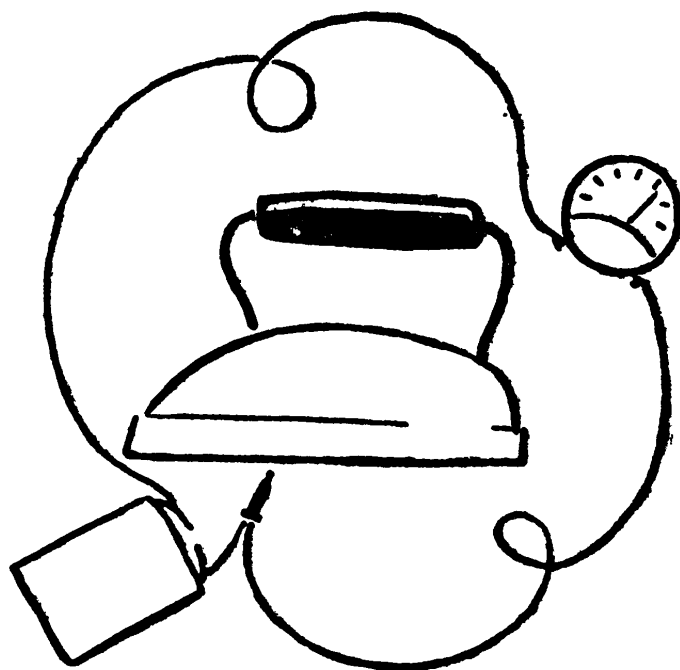


воздух дутья—сильнее испаряется влага с ткани. Но при этом ткань больше охлаждается и остужает термистор. Сразу уменьшается ток, текущий через прибор. Эту перемену тут же воспринимает механизм, который вводит в дутье добавочный водяной пар. Влажность воздуха автоматически поддерживается одинаковой.

Другие устройства регулируют температуру дутья и его количество. Автоматы гарантируют домне спокойное, ровное «дыхание».

Можно без конца рассказывать о применениях термосопротивлений. Но, пожалуй, и без того понятно, как велика практическая важность этих несложных приборов.

Термисторы воплотили в себе только одно свойство полупроводников: резкую зависимость электропроводности от температуры. Но при нагревании полупроводников проявляется и другая их особенность — несколько более сложная, но чрезвычайно интересная и важная для технического прогресса. К ней мы сейчас и переходим.





**ПОГОНЯ  
ЗА ТЕПЛОМ**



---

## В ЛЕСНОЙ ИЗБУШКЕ

**М**

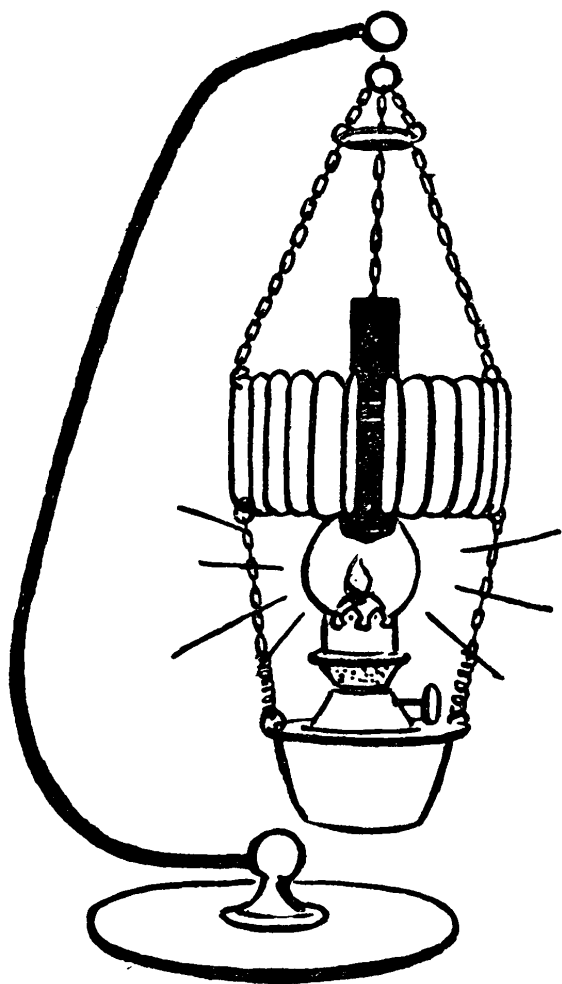
ы далеко от города — в таежном краю, в непроходимой лесной чаще.

Среди занесенных снегом могучих елей приютилось несколько приземистых избушек охотничьей фактории.

Зимний день короток. Рано загораются огоньки керосиновых ламп за морозными узорами окошек. С наступлением темноты совсем тихо, спокойно становится кругом. Тайга спит. Но люди бодрствуют, они живут, связанные незримыми нитями со всей страной.

Войдите в любой из домиков. Вы услышите перезвон курантов Спасской башни, голос прославленного ученого из столицы, музыку дальних стран. Радио! Оно особенно дорого в глуши, куда не дотянулись еще линии электропередач.

Приемник черпает энергию от электрических батарей. Когда они в порядке, комната полна звуками большого мира. Но случается — батареи подводят. Истощились они, и стало тихо, сиротливо. Еще совсем недавно это считалось неизбежностью. А теперь батарейный приемник может работать без батарей.



Термоэлектрогенератор на керосиновой лампе.

Под потолком на цепочках висит странного вида керосиновая лампа. В верхней части ее — темная трубка. Она окружена большими металлическими пластинами — словно старинный воротник «жабо» надет на лампу. Изпод «воротника» тянется пара проводов к стоящему рядом приемнику «Родина».

Возвращается к вечеру домой охотник или лесник, зажигает лампу. В комнате светло. Проходит несколько минут, и приемник словно пробуждается. Освещается шкала настройки, набирает громкость голос далекого города.

Почему ожил приемник?

## НОВОЕ СВОЙСТВО

Раньше мы подробно говорили о двух видах полупроводников — электронном и дырочном. В первом при нагревании освобождаются электроны, во втором — появляются дырки.

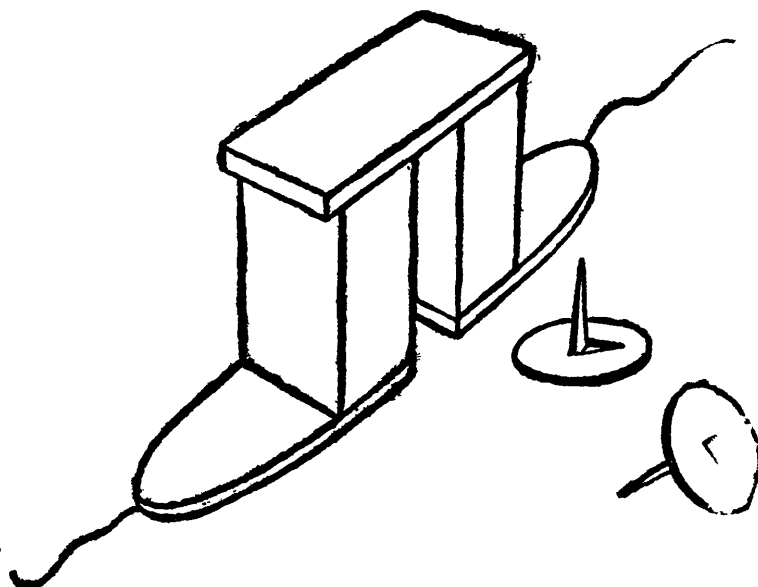
Сделаем из каждого такого полупроводника по брусочку, поставим их рядом и припаяем сверху к их торцам металлическую пластину. Получилось нечто вроде буквы «П» — так называемая термопара, или термоэлемент. Теперь прижмем спаянные концы брусочков (верхнюю перекладину буквы) к чему-нибудь горячему, а свободные концы, наоборот, охладим.

В нагретом конце электронного брусочка появятся

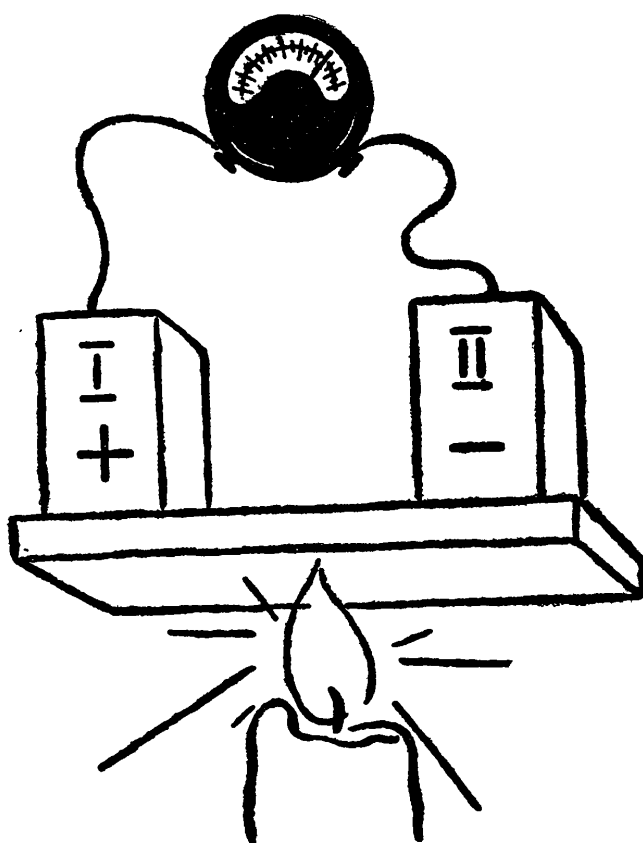
освобожденные нагреванием электроны. Они забегают, начнут сталкиваться между собой, разлетаться в разные стороны. И при этом многие переключаются в холодный конец брусочка — туда, где свободнее, меньше «толкотни». Но мы помним, что электроны — отрицательно заряженные частички. Стало быть, как только в холодном конце брусочка появится их избыток, там возникает отрицательный электрический заряд.

В горячем конце дырочного бруска возникают дырки. Они также перемещаются в холодный конец. Но, как вы помните, дырка ведет себя подобно частице, наделенной положительным электрическим зарядом. Значит, холодный конец дырочного брусочка термопары приобретает положительный заряд.

Эти заряды тем больше, чем значительнее разность температур горячего и холодного концов обоих брусочков.



Простейшая полупроводниковая термопара.



Справа — столбик электронного полупроводника, а слева — дырочного. В концах столбиков скапливаются освобожденные теплом электрические заряды. Так тепло преобразуется в электрическую энергию.

Итак, на холодных концах термопары появились разноименные электрические заряды. Стоит соединить их проволочкой, и по ней потечет электрический ток. Тепло превращено в электроэнергию. Это и происходит в нашей лампе.

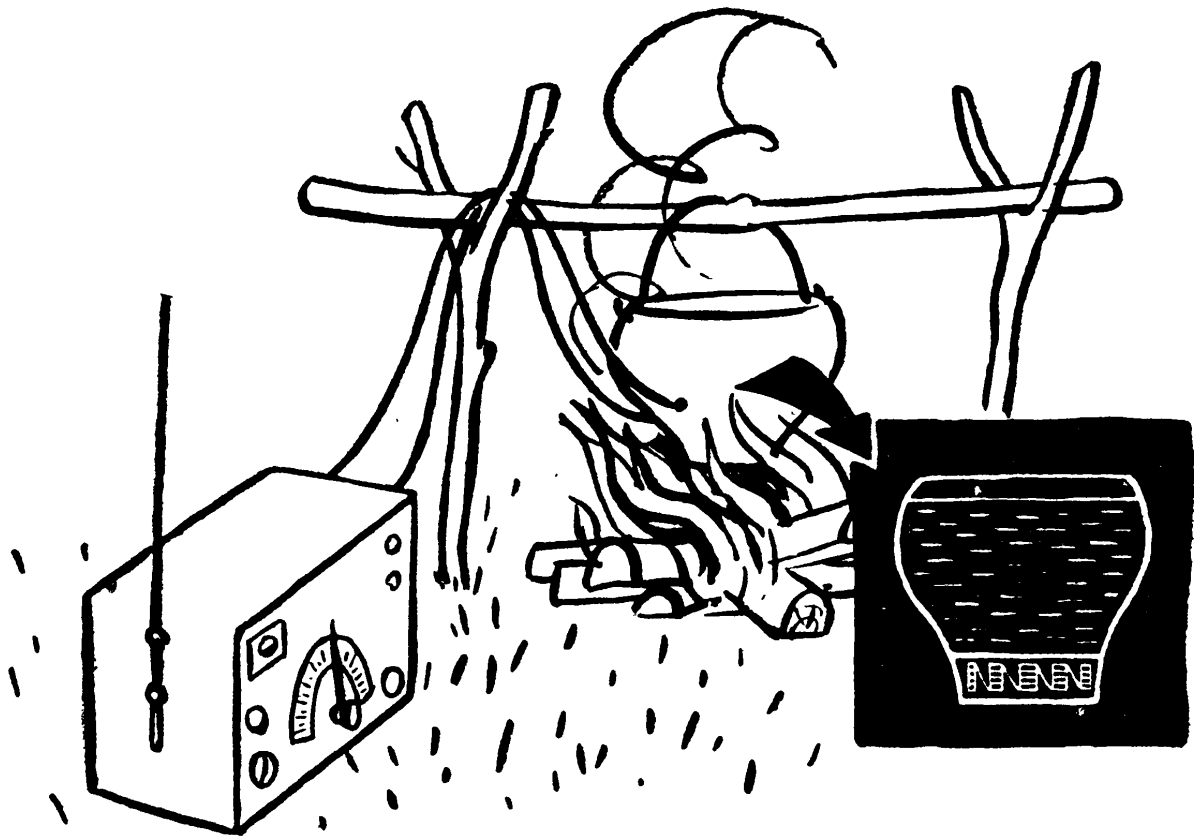
### СЕКРЕТ „ВОРОТНИКА“

Заглянем под «воротник» лампы. Там тесно прижались друг к другу серые, тускло блестящие столбики величиной с ириску «Золотой ключик». Это термоэлементы. В них и рождается электрический ток.

Какие полупроводники можно применить для термопар? Нетрудно понять, что они должны удовлетворять следующим требованиям: во-первых, создавать нужное количество электронов или дырок при нагревании; во-вторых, неплохо проводить электрический ток (тогда электроны или дырки легче перекочат от нагретых концов к холодным); в-третьих, плохо передавать тепло (чтобы резче была разница температур на противоположных концах термопар).

Нелегко найти вещества, наделенные одновременно всеми этими свойствами. Как правило, материал, хорошо проводящий электрический ток, отлично проводит и тепло. Только глубокий теоретический анализ явления и многочисленные опыты помогли ученым создать нужные материалы — особые сплавы со специальными примесями; сплавы эти неплохо проводят ток, а примеси как бы укрепляют, «дисциплинируют» внутренний строй атомов, удерживают их от чрезмерно сильного теплового движения. В результате теплопроводность материала уменьшается. Из таких сплавов и сделаны термоэлементы нашего «воротника».

Соединенные друг с другом последовательно и параллельно, термопары образовали трубку. Когда лампа зажжена, внутренние их спаи нагреваются «отсветившими», но еще горячими газами, которые поднимаются от фитиля.



«Прадедушка» современных термоэлектрогенераторов—«партизанский котелок».

А наружные спай охлаждаются комнатным воздухом через пластины радиатора (их-то мы и сравнивали со складками «жабо»). Разница температур достигает 250—300 градусов. Этого вполне хватает, чтобы получить энергию для питания многолампового радиоприемника.

Удивительный светильник, с которым мы познакомились, носит название ТГК — термоэлектрогенератор керосиновый. Сейчас такой аппарат уже не редкость. Первые образцы его появились в 1950 году, а теперь он значительно усовершенствован и продается во многих сельских магазинах.

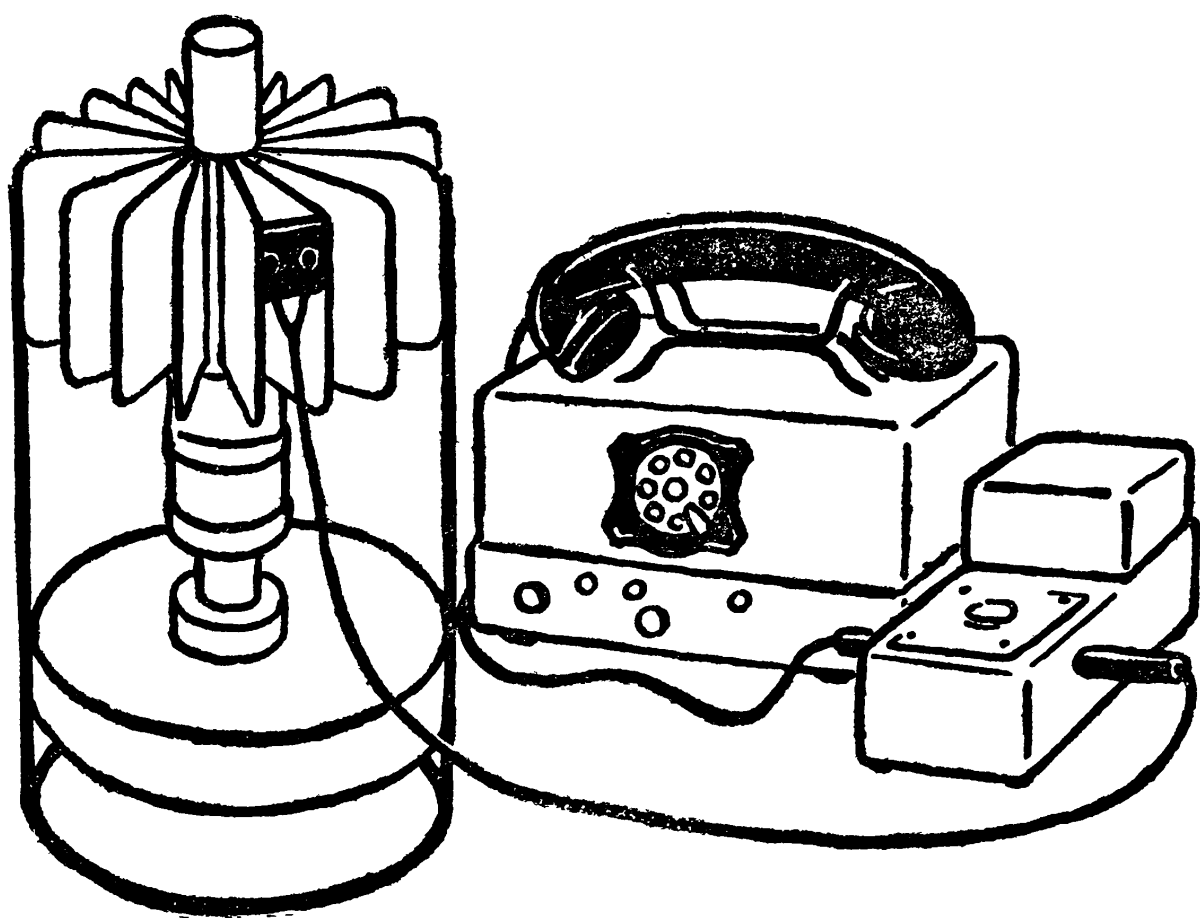
У этой установки любопытная история. Еще не имея полупроводников, физики пробовали строить термоэлектрогенераторы с термопарами из металлов. Однако экономичность таких устройств была ничтожной. В годы Великой Отечественной войны у нас был создан «партизанский котелок» — прадедушка современных термоэлектро-



генераторов. То был металлический сосуд в форме крестьянского чугуна, в дне которого находился блок полупроводниковых термоэлементов. В «партизанский котелок» наливали холодную воду и вешали его над горящим костром. Энергии, которую он вырабатывал, было достаточно для маленькой армейской радиостанции «Север».

В 1946 году появились термоэлектрогенераторы в виде самовара. Они обладали уже довольно высоким коэффициентом полезного действия — около 4 процентов (такую долю тепла они превращали в электроэнергию). Еще пять лет спустя советские физики создали печь-термоэлектрогенератор на дровах. Она вырабатывала 100—200 ватт электроэнергии.

Сейчас промышленность начинает выпускать термоэлектрогенератор типа ТГУ-1 мощностью 16 ватт. Он дей-



Термоэлектрогенератор на керогазе. Прибор питает энергией колхозную радиостанцию «Урожай».

ствует от керогаза и питает энергией колхозную радиостанцию «Урожай». На полевых станах смеются: наши связисты стали сродни поварам. Шутки шутками, а энергия, «приготовленная на керогазе», дешевле, чем полученная от батарей. Любой МТС гораздо выгоднее приобрести керосиновый термоэлектрогенератор, чем покупать для своей радиостанции батареи. Над термоэлектрогенераторами трудятся и зарубежные физики. В США, например, созданы установки, где в электроэнергию преобразуется тепло горючего газа.

### МЕЧТА СБЫВАЕТСЯ

Какое странное сочетание: керосиновый светильник и полупроводники. Воедино слились прошлое и будущее. То, что человек изобрел века назад, что уже уходит в историю, нашло поддержку в замечательном открытии, призванном обогатить технику завтрашнего дня. Ведь наш нехитрый термоэлектрогенератор — это исполнение давней мечты физиков и инженеров: в нем происходит непосредственное преобразование тепла в электрический ток.

Давайте, вспомним, как рождается энергия на современных тепловых электростанциях.

Уголь, сгорающий в топке, нагревает в котле воду, которая превращается в пар. Пар вращает турбину, а та, в свою очередь, движет вал генератора, вырабатывающего электроэнергию. Сколько этапов! Сколько преобразований энергии из одного вида в другой! Сколько дорогих механизмов, движущихся частей, которые и смазки требуют и изнашиваются!

А что происходит на современной атомной электростанции? Ядерная энергия выделяется в реакторе главным образом в форме тепла. Это тепло тем или иным способом выводится из реактора и тратится на производство того же пара. Дальше, как на обычной тепловой станции, сле-

дуют турбины и генератор. Словом, от тепла до электричества опять длинный окольный путь. Снова сложные механизмы, неизбежные потери энергии.

Иное дело — термоэлемент. В нем тепло превращается в электроэнергию сразу, без промежуточных звеньев.

Уже в наши дни термоэлементы из полупроводников обладают коэффициентом полезного действия 6—8, а в лабораторных условиях — до 10 процентов. Это немало. С таким коэффициентом полезного действия работают небольшие паросиловые установки. Вероятно, уже очень скоро будет выгодно перевести небольшие тепловые машины (мощностью до 100 киловатт) на питание от термоэлектрогенераторов.

Сейчас ученые стремятся удвоить коэффициент полезного действия термобатарей. Тогда он будет таким же, как и у средних тепловых электростанций. А дальше возможно новое повышение экономичности термоэлементов. И если сегодня полупроводники еще не могут заменить обычное оборудование электростанции, то, совершенствуясь по мере развития науки, они, несомненно, изменят лицо энергетики. Придет время, когда электрический ток станет рождаться прямо в топке тепловой электростанции или в реакторе атомной электростанции.

Но вот что важно: не только в промышленной электроэнергетике полупроводниковые термоэлементы способны принести пользу нашему народному хозяйству. Они открывают и совершенно новые пути получения энергии — пути, о которых раньше и не мечтали инженеры.

### **БЕРЕГИТЕ ТЕПЛО**

В зимние морозные дни на входах в дома хозяйственные управдомы расклеивают плакаты: «Берегите тепло. Закрывайте двери».

Берегите тепло! Этот призыв справедлив не только

зимой и не только по отношению к отоплению наших зданий.

Знаете ли вы, какая часть тепла, полученного от сжигания топлива — угля, торфа, газа, дров, — сейчас идет на пользу человеку? Не более одной пятой. Все остальное пропадает, бесполезно рассеивается в атмосфере.

Почему теряется такое огромное количество тепла?

Дело здесь вот в чем.

От нас ускользает та тепловая энергия, которая заключена в массах вещества с невысокой температурой. Это тепло — в сточных водах промышленных предприятий, в дыме фабричных труб, в отходящих газах металлургических печей. На первый взгляд его и в самом деле невозможно использовать. Попробуйте-ка вскипятить чайник водой, нагретой, скажем, до 15 градусов. Вы скажете: не удастся. Ну, а хорошо обогреть помещение такой водой можно? Вы, вероятно, ответите, что этого также нельзя сделать, как бы много ее ни было. Так люди считали долгое время и без сожаления расставались с тепловыми отходами. Но потом додумались повышать температуру воды, увеличивая на нее давление.

Подогретую этим способом воду пускают в отопительные батареи, и она отдает на обогрев помещения энергии больше, чем ушло на сдавливание воды. Однако такой метод далеко не везде применим, сложен, не дает возможности сильно нагреть воду.

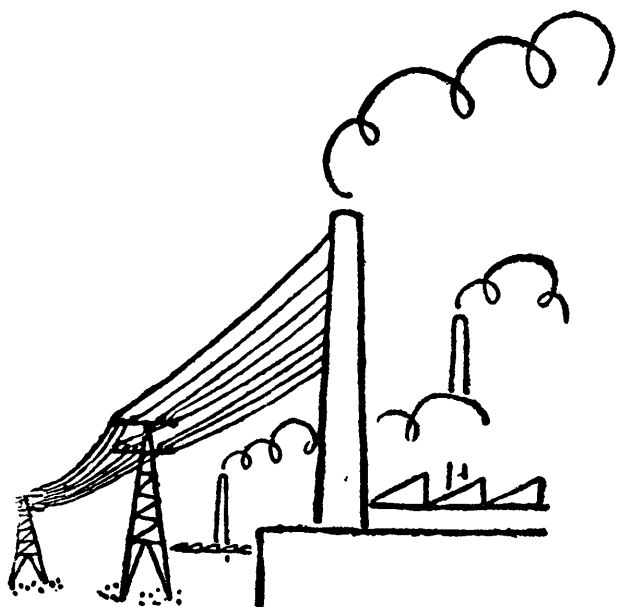
Несравненно более широкие возможности открывают здесь полупроводниковые термоэлементы. Всюду, где есть тепло, они способны легко превратить значительную его долю в самый удобный вид энергии — электрическую. Ведь электроэнергию можно использовать тысячью способами — либо сразу превратить ее в свет и движение машин, либо передать по проводам на далекие расстояния, либо, наконец, собрать про запас в электрических «копилках» — аккумуляторах.

Каждый дымоход, каждую трубу с горячим или просто

теплым газом, с чуть нагретой сточной водой можно одеть в кольца из батарей полупроводниковых термоэлементов. Когда мы сделаем это, бросовое тепло, преобразованное в электрический ток, станет двигать машины, питать энергией приборы, освещать улицы. Оснастив термобатареями котельные жилого дома, мы сможем в придачу к теплу получить столько электроэнергии, сколько требуется на все бытовые нужды — в том числе на электроплитки, холодильники, пылесосы — всем обитателям квартир.

Шоферу или владельцу автомобиля, попавшему в какой-нибудь глухой уголок, порой немало хлопот доставляет зарядка аккумуляторов. Полупроводники избавят его от этой заботы. Ведь отработанные газы автомобильного двигателя довольно сильно нагреты. И если заключить в кольца термоэлементов выхлопную трубу, по которой газ выбрасывается наружу, от них в аккумуляторы потечет ток.

Кто знает, быть может, в будущем, когда полупроводниковых материалов станет много (а к этому стремятся наука и индустрия), заводские трубы станут складывать не из кирпичей, а из полупроводниковых термопар. Внутри трубы — горячий дым, снаружи — прохладный воздух. В полупроводниковых «кирпичах» рождается электроэнергия. Заводская труба играет роль электростанции.



А если доменную печь сложить из термоэлементов? Получится сдвоенное предприятие: домна — электростанция. Конечно, до этого еще далеко. Предстоит найти полупроводники с идеальным сочетанием нужных свойств, сделать их дешевле цемента. Труднейшие задачи! Но каждый день приближает нас к их решению.

## ЭНЕРГИЯ ИЗ НЕДР

Давно уже работает наука над прогрессивным способом освоения угольных залежей — подземной газификацией. Вместо того чтобы извлекать уголь из пластов и поднимать его на поверхность, в недра нагнетают кислород и прямо под землей поджигают уголь. Там твердое топливо сгорает, но лишь частично. В процессе горения образуется газ, который сам служит отличным горючим и к тому же ценным химическим сырьем. Этот газ может идти на заводы, химические комбинаты, в наши квартиры.

Подземная газификация экономит огромное количество сил и средств, а главное — избавляет человека от тяжелого подземного труда. Но как много тепла теряется напрасну! Ведь оно уходит на бесполезный разогрев земных недр!

И вот представьте себе, что скважины, по которым поднимается раскаленный газ из огневых забоев станций подземной газификации, охвачены блоками полупроводниковых термоэлементов. Сколько драгоценной энергии пойдет тогда от пылающего пласта!

Полупроводники будут добывать электроэнергию и из природных источников тепла.

В Башкирии, на реке Юрюзань, один из прибрежных холмов окрестные жители называют Яган-тау — Горящей горой. Это название оправдано. В глубине холма тлеют сланцы, и из щелей бьют струи горячего пара. Чтобы превратить такой холм в электростанцию, достаточно забить в него сваи из полупроводников.

Получив обилие этих замечательных материалов, мы преобразуем в электроэнергию и тепло горячих гейзеров, подземных вод и газов, наконец, само солнечное тепло. Здесь полупроводники открывают поистине необозримые перспективы. Мы еще будем говорить о них дальше.

А сейчас вернемся к нашей термопаре, чтобы рассказать о ее другой интересной особенности.

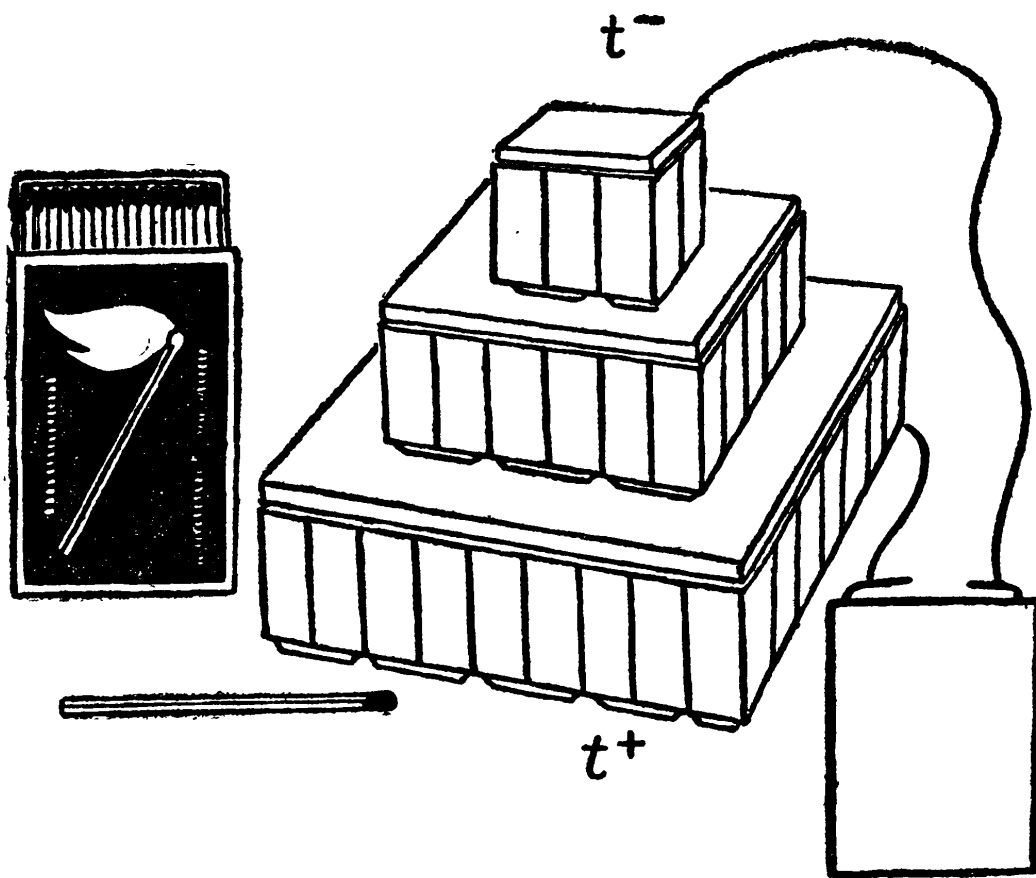
## ЭЛЕКТРОННЫЙ МОРОЗ

Идея полупроводниковых термоэлектрогенераторов зародилась в Ленинграде, в лаборатории полупроводников Академии наук СССР, которая впоследствии была преобразована в Институт полупроводников Академии наук СССР. Здесь возникла и другая мысль: создать на основе полупроводников новые оригинальные холодильные устройства.

Мы знаем, что если один конец термопары нагреть, а другой охладить, то в ней рождается электроэнергия. Оказывается, существует и обратный эффект: пропустите через термопару постоянный ток, и с одной стороны она начнет нагреваться, а с другой — остывать.

На холодном спае появляется иней, лед.

В применении к металлам это явление открыл в 1834 году французский физик Жан Пельтье. Год спустя



Стопа полупроводниковых охлаждающих батарей.

петербургский академик Э. Х. Ленц на спае стерженьков из сурьмы и висмута заморозил электрическим током каплю воды. Но лишь в наши дни удалось найти полезное применение этого интересного явления. Дело в том, что в полупроводниковых термопарах эффект Пельтье проявляется очень резко — несравненно сильнее, чем в металлах.

### **ХОЛОДИЛЬНИК БЕЗ МОТОРА**

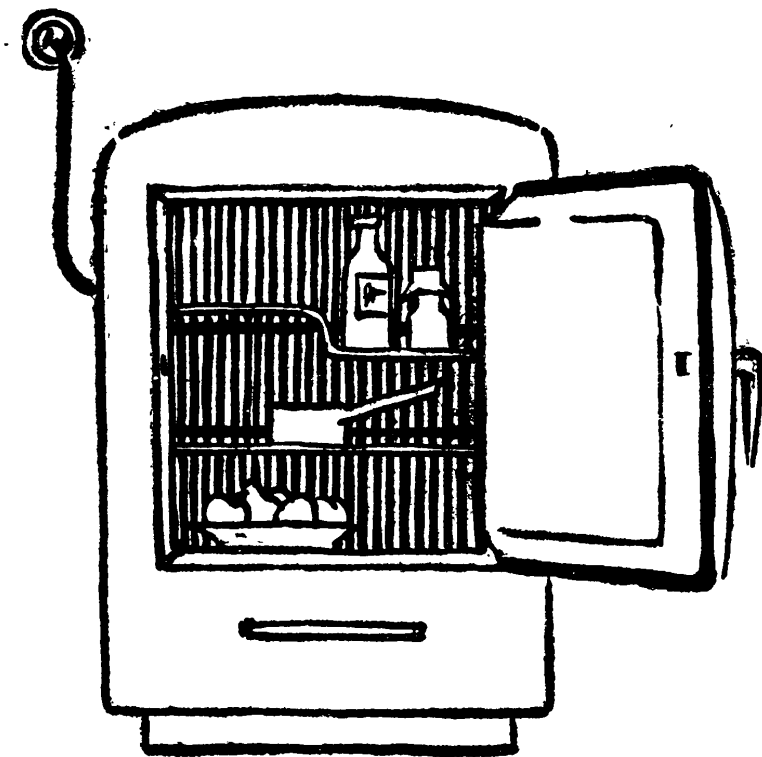
Несколько полупроводниковых термопар соединили последовательно и сложили в плитку. Включили ток. Наверху плитка охлаждается, внизу разогревается. Сделали другую такую же плитку. Включив и в нее ток, положили на первую, причем теплыми спаями вниз. Эти спаи остывают в холоде нижней плиты, а наверху второй плитки возникает еще более сильный мороз. Такую многоэтажную стопу полупроводниковых плит — блоков термопар — очень удобно использовать для получения искусственного холода. Не потребуются никаких двигателей, насосов, жидкостей. А ведь прежде они считались обязательной принадлежностью холодильных установок.

Простота создания электронного мороза открывает ему широкую дорогу в жизнь. Быть может, скоро в ларьках с газированной водой баки будут оснащены стопами полупроводников. Тепло встретят этот новый искусственный холод и продавцы мороженого. Ведь не нужно будет возить издалека тонны льда, твердую углекислоту. Всюду, где есть электроэнергия, появится возможность без хлопот иметь и холод.

Для небольшого домашнего холодильника не понадобится даже стопы, достаточно одной—двух одноэтажных плиток из термопар.

В Институте полупроводников построили уже несколько моделей домашнего электронного холодильника. Вот одна из них (см. страницу 58).





Полупроводниковый холодильник.

Белый шкаф — такой же, как у всех подобных аппаратов. В задней части его гребень металлических пластин радиатора. С ним соединены нагревающиеся концы брусочков полупроводниковых термопар, чтобы они легче отдавали свое тепло наружу. Такой же гребень (но уже не отдающий тепло, а как бы вбирающий его в себя) смонтирован внутри холодильного

шкафа. Его пластины соединены с теми концами полупроводников, которые охлаждаются при прохождении через термопары электрического тока. Сама батарея — небольшая прямоугольная пластинка, составленная из нескольких десятков полупроводниковых брусочков. Вот и все оборудование холодильника.

Он гораздо вместительнее, чем широко известный у нас холодильник завода «Газоаппарат», но вместе с тем в десятки раз надежнее.

Уже разработаны и промышленные конструкции полупроводниковых холодильников. Их размещают в известных шкафах «Газоаппарат» и «Днепр». Эти простые и неприхотливые электроаппараты скоро начнут сходиться с заводского конвейера.

### **ХОЛОДИЛЬНИК ВЫВЕРНУТ НАИЗНАНКУ**

Любопытная деталь. Стоит переменить направление тока в элементах холодильника, и он словно вывернут наизнанку. Теперь греется внутренний радиатор, а наруж-

ный охлаждается. Так вместо холодильника получается своеобразный духовой шкаф.

Переключением тока мы словно перебрасываем тепло и холод, меняем их местами. Это и понятно. Ведь тогда в термопарах направление движения электронов и дырок обращается в противоположные стороны.

На радиостанциях стоят так называемые кварцевые стабилизаторы частоты — они следят за постоянством длины волны, на которой идет передача. Стабилизатор должен находиться в камере, где температура всегда строго постоянна. Иначе он будет вибрировать то чаще, то реже — в зависимости от перемен температуры. Чтобы не допустить этого, в камеру вводят половину батареи термопар и термистор. Термистор все время измеряет температуру и, если она почему-либо понизится, немедленно дает электрическую команду на реле, которое включает ток в термопару. А если температура понижается, направление тока также автоматически меняется на противоположное. Тогда камера начинает нагреваться. Полупроводниковые приборы бдительно следят за температурой в камере.

Подобные термостаты и холодильники нетрудно сделать, если нужно, очень маленькими — с чайный стакан, даже с наперсток. Одни из них спасают от опасного перегрева миниатюрные детали различных аппаратов. Другие охлаждают живые ткани, микроорганизмы, сохраняя их температуру при исследованиях под микроскопом. На основе миниатюрного полупроводникового холодильника, состоящего из одной термопары, удалось построить очень удобный гигрометр — прибор для измерения влажности воздуха.

Итак, электроохлаждение помогает решать множество задач науки.

Но физики стремятся еще более эффективно поставить электроохлаждение и нагревание на службу практике. Высказана идея: создать на этой основе оригинальную отопительно-охлаждающую систему для зданий.

## ИСКУССТВЕННЫЙ КЛИМАТ

Заглянем в обычный жилой дом будущего. Нам бросятся в глаза узорные металлические решетки под окнами. Это не украшения. Войдем внутрь. В комнатах под подоконниками — такие же решетки. Что же это? Да не что иное, как радиатор полупроводниковых термопар. Через них проходит электрический ток, и пластины в комнате нагреваются. Но вот в помещении стало жарко. Хозяйка квартиры поворачивает выключатель. Теперь ток течет в обратном направлении, и комнатные пластины радиатора начали охлаждаться, вбирая в себя излишнее тепло. Жара быстро спадает. Впрочем, хозяйкам таких квартир, вероятно, не придется заботиться о температуре в комнатах. Заботу эту наши инженеры передадут автоматическим аппаратам на термопарах и термисторах. В целом доме температура будет поддерживаться всегда на нужном уровне, как в камере кварцевого стабилизатора.

Преимущества такой системы отопления очень велики. Мало того, что она проста и гигиенична (ведь не будет никаких топок, котлов, угля, шлака), она сможет действовать круглый год: зимой отапливать помещение, а летом создавать в комнатах приятную прохладу. Система эта к тому же исключительно экономична. Например, нагрев воздуха на 20 градусов потребует энергии в четыре—пять раз меньше, чем ее расходуется в лучших современных отопительных системах.

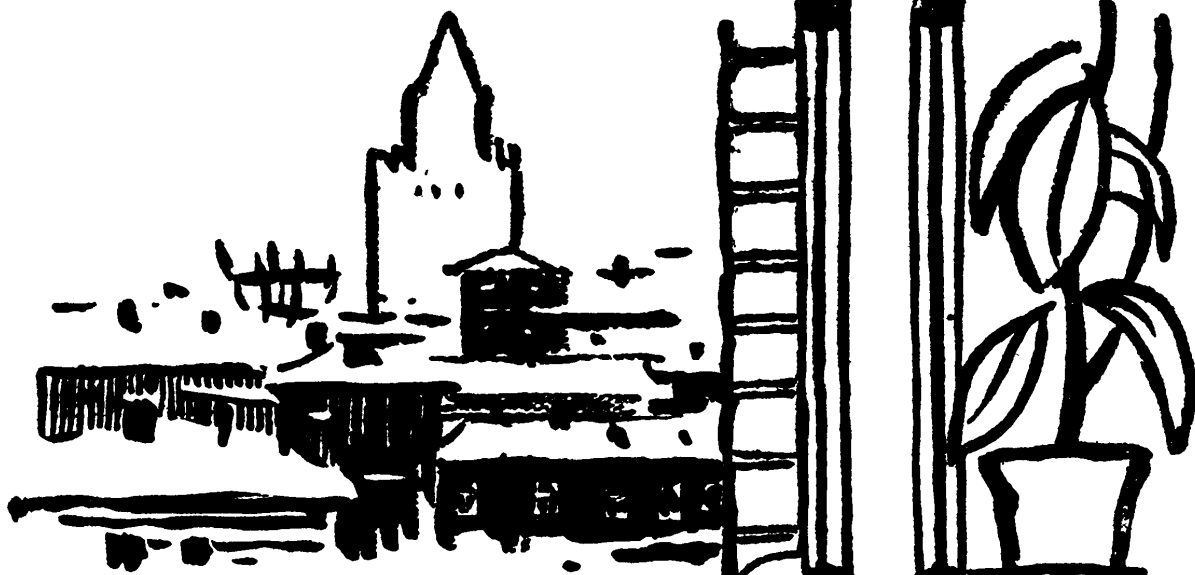
Как это можно объяснить?

Оказывается, помещение станет обогреваться не только за счет электрического тока. В какой-то мере тепло будет черпаться снаружи, с улицы, — за счет охлаждения и без того холодного наружного воздуха.

Уличный воздух здесь тоже будет «работать» на отопление — отнимать тепло от наружных радиаторов.

Вдумайтесь в это!

Истари считалось, что греть может лишь что-то горя-



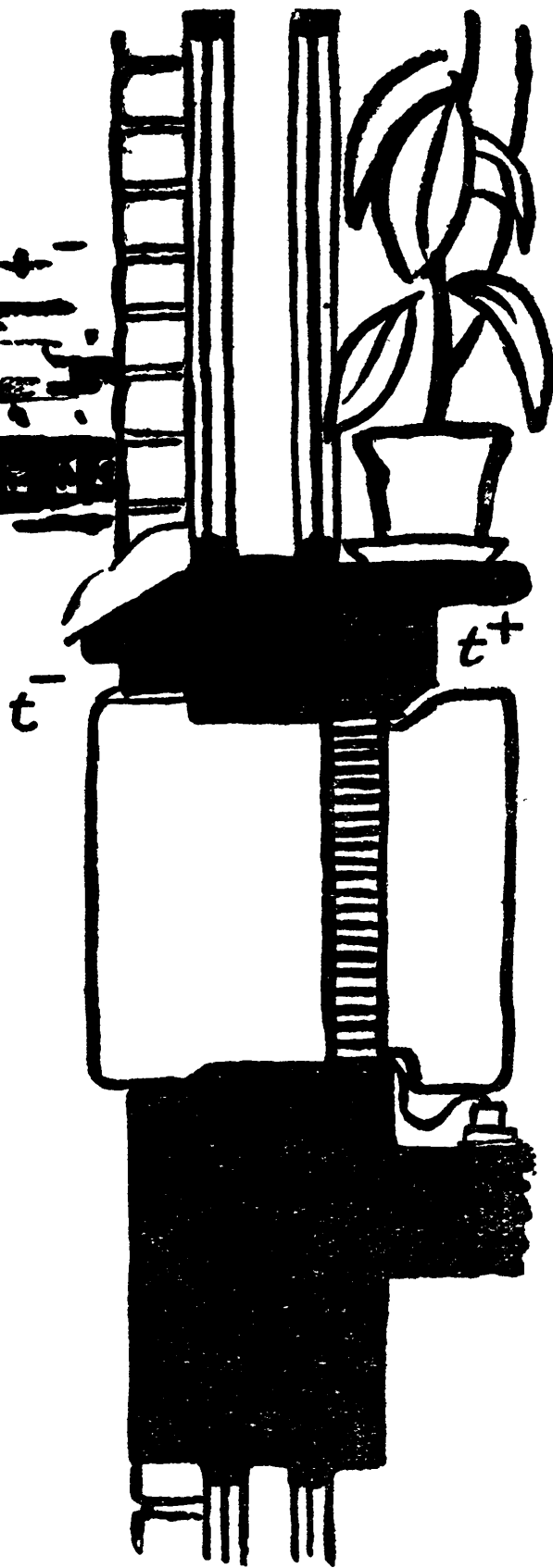
чее: огонь, солнце. А оказывается, в полупроводниковой термобатарее мороз и электрический ток способны рождать тепло.

Овладев полупроводниками, мы сумеем извлекать пользу даже из зимней стужи!

Устройства, о которых вы читали в этой главе, по своему назначению не новы.

Давным-давно существуют системы машин, преобразующих тепло в электрический ток, есть у нас и холодильники, и установки искусственного климата.

Но все эти знакомые нам технические устройства отличаются общей особенностью — в них обязательно работают какие-то механизмы: вращаются валы двига-

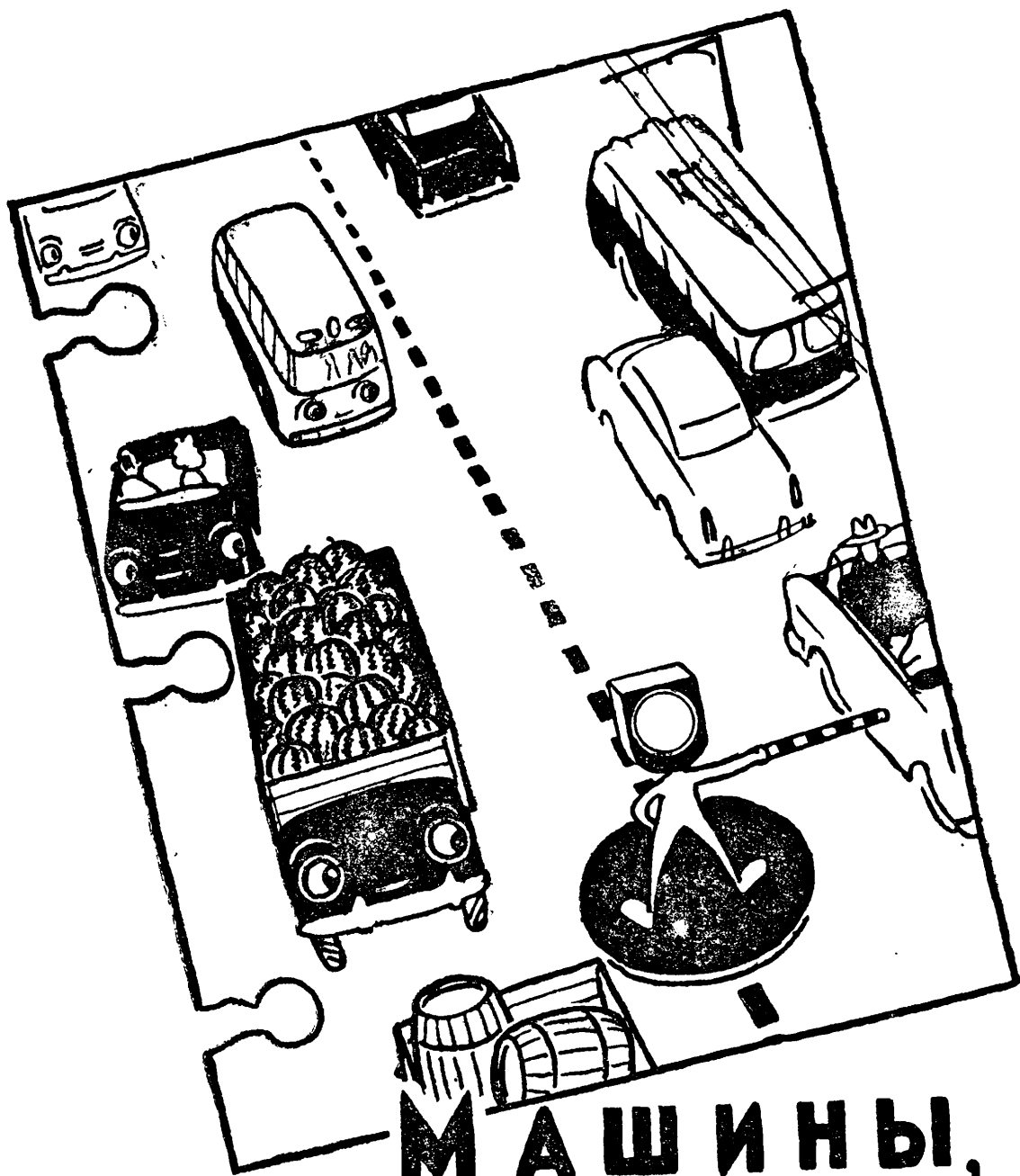


Так может выглядеть отопительно-охлаждающая система на полупроводниках в жилых домах будущего.

телей, ходят поршни насосов, бегут трансмиссии. А любое механическое движение обязательно сопровождается потерей энергии на трение, износом деталей. За механизмами приходится заботливо ухаживать, то и дело ремонтировать их, заменять испортившиеся части. Неудивительно, что современная техника стремится освободиться от механического движения всюду, где это возможно.

В самых разнообразных областях производства сейчас внедряются процессы, которые президент Академии наук СССР А. Н. Несмеянов метко назвал «безмеханизменными». И наиболее яркими примерами этой новой прогрессивной техники могут служить такие полупроводниковые устройства, как термоэлектрогенераторы, электронные холодильники, их всевозможные сочетания. Это бесспорно предвестники завтрашнего дня нашей индустрии.





**МАШИНЫ,  
КОТОРЫЕ ВИДЯТ**

---

## ГЛАЗА АВТОМОБИЛЮ

**И**спокон веков работала на человека лошадь. А потом человек построил взамен нее машины: автомобиль, трактор... Они сильнее лошади в десятки раз: и везут быстрее и груза берут несравненно больше. Но у лошади есть великое достоинство — зрение.

Где-нибудь в старой Москве садился ямщик на облучок, дергал вожжу и поглядывал себе по сторонам. Лошадь сама дорогу видела. Вот и задумался человек: надо, чтобы у машины тоже были глаза.

В одном из научно-фантастических рассказов описан «зрячий» автомобиль. Он сам останавливается перед красным огоньком светофора, при зеленом свете трогается в путь, объезжает препятствия и даже тормозит перед зазевавшимся прохожим. Вот это машина! Шофер на ней чувствовал бы себя не хуже, чем ямщик с отлично выдрессированной лошадью. А может, шофер и не понадобился бы вовсе. В том же рассказе «зрячий» автомобиль самостоятельно совершает долгое путешествие.

В этой фантастике нет ничего несбыточного. Давно известны фотоэлементы — «электронные глаза» машин.

С применением полупроводников они становятся удивительно простыми и дешевыми.

Идея электрического зрения зародилась еще в прошлом веке. И прежде всего техника получила от физики так называемые *вакуумные фотоэлементы*. Начало их созданию положил своими исследованиями видный русский ученый А. Г. Столетов.

## ОБСТРЕЛ СВЕТОМ

Много труда потратили ученые, чтобы постичь загадки самого, казалось бы, ясного явления в природе — света. Лишь полстолетия назад секреты его удалось раскрыть.

Природа света оказалась двойкой.

Не вдаваясь подробно в сложнейшую физическую сущность, укажем только, что, с одной стороны, свет — волновое движение электромагнитного поля (те же радиоволны, только очень короткие). С другой стороны, свет — поток частиц *фотонов*. Получается, что, освещая предмет, мы словно обстреливаем его своеобразными сгустками электромагнитных вибраций.

Что происходит, если такая «пуля света» ударяется о поверхность металла или полупроводника? Она может отдать свою энергию электронам вещества. Некоторые из них при этом получают настолько сильные толчки, что вырываются прочь из вещества — улетают в окружающее пространство.

Представьте себе несложный прибор. В стеклянный, освобожденный от воздуха баллончик впаяны две металлические пластинки. Две проволочки соединяют их с электрической батареей.

Пошлем световой луч на катод — пластинку, соединенную с отрицательным полюсом. Из нее начнут вылетать электроны. Но как только они покинут металл, их немедленно подхватит электрическое поле и понесет к поло-



жительно заряженной пластинке — аноду. Пока катод освещен, через прибор летят электроны. Электрический ток рожден лучом.

Описанный нами прибор — не что иное, как простейший вакуумный фотоэлемент.

### **„СТЕКЛЯННЫЙ ГЛАЗ“**

Есть у вакуумного фотоэлемента важная особенность — он действует исключительно быстро. Этот «стеклянный глаз» на освещение мгновенно отзывается толчком электрического тока. Вот почему прибор служит всюду, где требуется частые световые вспышки превратить в электрические колебания.

Например, в киноаппарате звукового кино неуловимо быстро пробегают полоски «звуковой дорожки». Фотоэлемент преобразует их мелькание в пульсации тока, и в громкоговорителях звучит музыка.

На экране телевизора танцует балерина. Глядя на нее, вы тоже пользуетесь услугами «стеклянного глаза». В студии перед артисткой установлена передающая телевизионная трубка — своеобразный вакуумный фотоэлемент. Каждую секунду в нем возникают миллионы электрических импульсов, в которых и запечатляется изображение.

Итак, вакуумный фотоэлемент очень расторопен. Но зато он подслеповат. Его чувствительность к свету не удовлетворяет технику. К «стеклянному глазу» волей-неволей приходится добавлять ламповые усилители, а это удорожает и ограничивает его практическое применение.

Изобретатели приложили много остроумия и выдумки, желая увеличить чувствительность прибора. Катод фотоэлемента покрывали специальными веществами, в баллон вводили газ, придумали даже хитроумные умножители электронов.

И все-таки «стеклянный глаз» не приобрел достаточной чувствительности к свету. Да и не только в этом видели инженеры недостатки прибора. Как и всякое стекло, он был хрупок, не очень долговечен, неэкономичен. Плохо чувствовал себя нежный стеклянный прибор в машине, около грохочущих валов и шестерен. Трудно было приспособить его к работе в заводском цеху.

Много бились над усовершенствованием «стеклянного глаза», но решающих успехов достичь так и не удалось.

Между тем еще семьдесят лет назад было открыто явление, подсказывающее выход из создавшегося положения.

### ЗАБЫТОЕ ОТКРЫТИЕ

Для одной из своих работ английский физик Уиллоубай Смит подыскивал материалы с большим электрическим сопротивлением. Ученый перепробовал множество веществ и в конце концов решил остановиться на палочке из полупроводника — селена.

Смит включил селеновую палочку в свою электрическую схему. И спустя некоторое время произошло непонятное: внезапно ток в цепи резко возрос. Ученый проверил, нет ли где короткого замыкания. Все оказалось в порядке. И вдруг он заметил: на селеновую палочку падает из окна золотистое пятнышко солнечного света. Неужели это оно так изменило электропроводность? Смит загородил луч рукой — и ток уменьшился. Виновник был найден!

Ученый сообщил об открытии своим коллегам, и вскоре было создано первое селеновое фотосопротивление. Идеально простой прибор — маленький кусочек полупроводника — оказался в десятки раз более чувствительным к свету, чем человеческий глаз!

Как и многое в физике полупроводников, изобретение фотосопротивления вначале не вызвало интереса. О нем

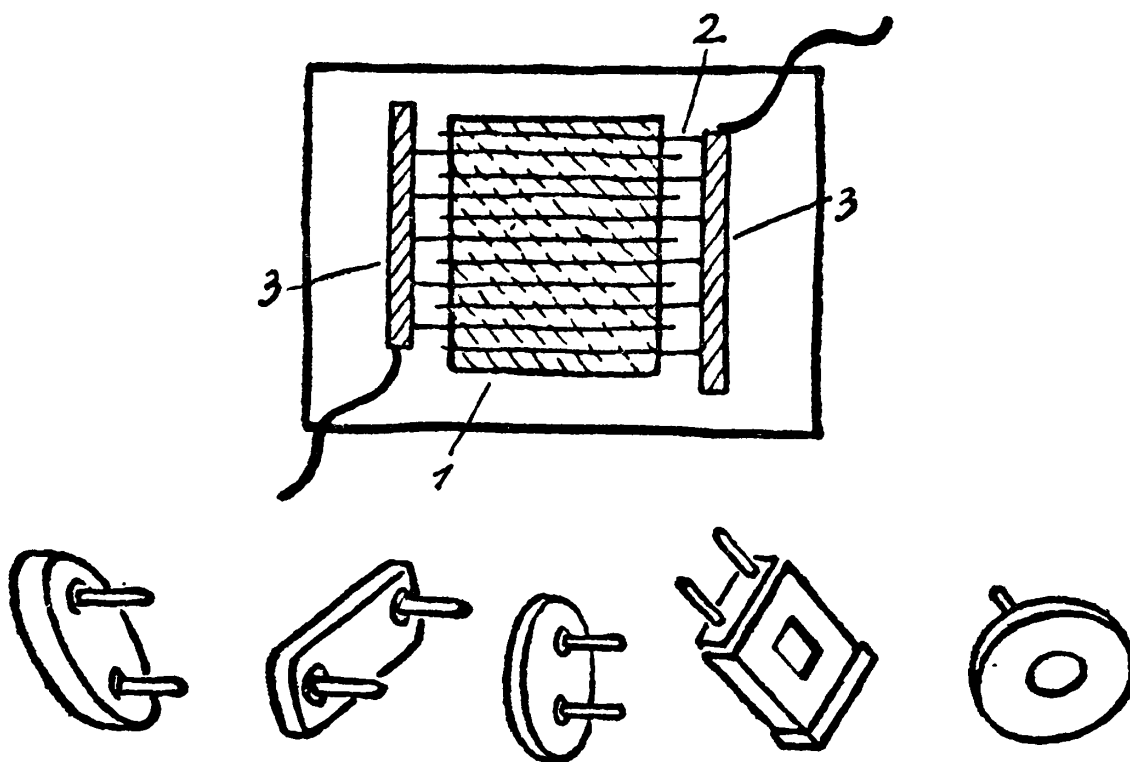
быстро забыли и вспомнили лишь через полстолетие, когда удивительная способность селена «чувствовать» свет была открыта заново.

### „ЗРЯЧИЕ“ МАТЕРИАЛЫ

За последние десятилетия исследователи нашли множество полупроводников, обладающих в той или иной мере замечательным свойством селена.

Удалось подробно выяснить и сущность их взаимодействия со светом. Все там получается куда проще, чем в баллоне вакуумного фотоэлемента.

Очередь «световых пуль» вонзается в толщу полупроводника. Там фотоны растрачивают свою энергию на освобождение электронов из плена атомов, на создание дырок.



Наверху — схема конструкции селенового фотосопротивления: 1 — селен; 2 — штырьки на стекле; 3 — электроды. Внизу — внешний вид фотосопротивлений, выпускаемых отечественной промышленностью.

Получившие свободу носители тока не вылетают за пределы вещества, как в вакуумном фотоэлементе. Их тут же, прямо в глубине полупроводника, подхватывает электрическое поле.

Сейчас из разных материалов создано великое множество фотосопротивлений. Их устройство и внешний облик разнообразны — в зависимости от назначения. Правда, фотосопротивления уступают вакуумным фотоэлементам в расторопности, скорости работы, иногда меняют свойства при переменах температуры. Но все они легки в изготовлении, надежны, долговечны, дешевы. А главное, эти «каменные глаза» в тысячи раз чувствительнее «стеклянных глаз».

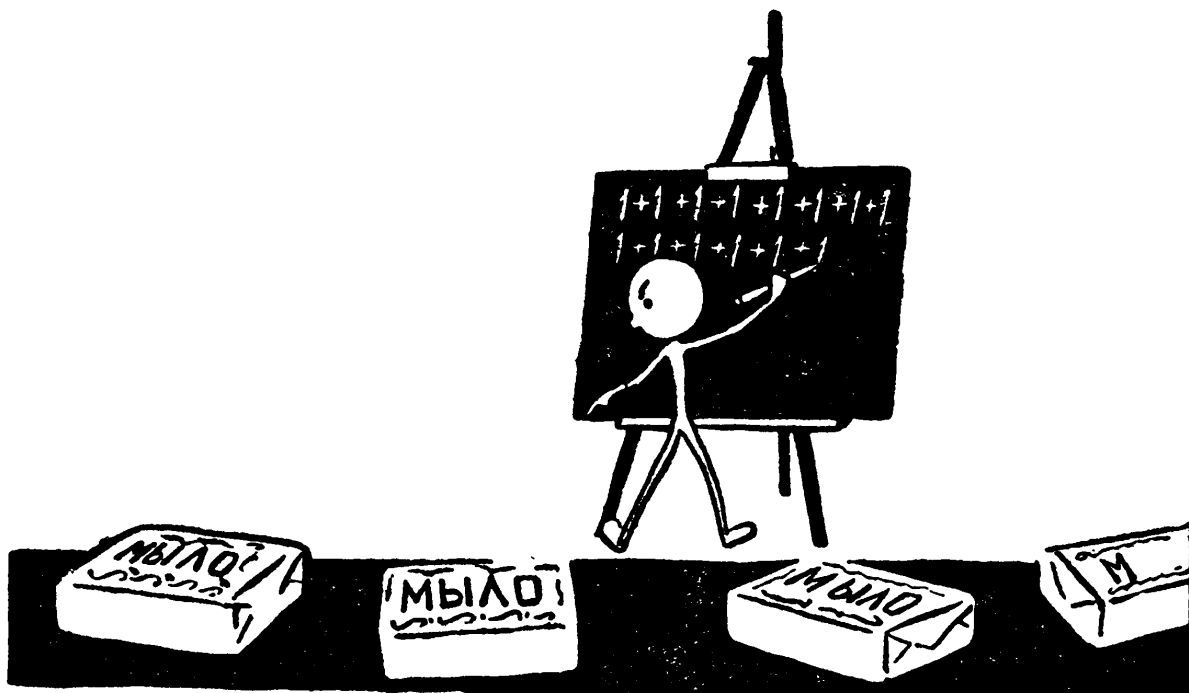
Есть фотосопротивления, которые, подобно термисторам, улавливают инфракрасные лучи (даже и те, что испускаются человеческим телом). Другие регистрируют ультрафиолетовое излучение, лучи Рентгена, радиоактивные гамма-лучи. И неудивительно, что на основе этих неприхотливых приборов начала бурно развиваться самая разнообразная автоматика.

В нашей стране большая заслуга в создании и внедрении фотосопротивлений принадлежит неутомимому энтузиасту физики полупроводников — ленинградскому ученому Б. Т. Коломийцу.

## **В ЗАВОДСКИХ ЦЕХАХ**

У нас первую путевку в жизнь фотосопротивления получили на Ленинградском мыловаренном заводе имени Карпова. Здесь они добросовестно считают куски мыла, сходящие с конвейера.

Двигается кусок мыла и пересекает световой луч, направленный на фотосопротивление. Ток в приборе ненадолго уменьшается, что тотчас фиксирует электромеханический счетчик.



Уже четыре года автоматика действует безотказно.

Новаторы завода соединили со счетчиком особый прибор — «ритмомер». Взглянув на него, можно в любой момент судить о выполнении сменного и месячного плана.

Вот другой пример.

По желобу катятся отшлифованные шарики для подшипников. Они не все одинаковы. Те, что хорошо обработаны, — блестящие, яркие, словно капельки ртути. Но попадаются и тусклые. Эти недостаточно отшлифованы.

Шарики быстро бегут и доходят до перепутья: желоб раздваивается, а на перекрестке — калитка.словно по взмаху волшебной палочки, она открывает то правый путь, то левый. Все блестящие шарики беспрепятственно проходят вправо — к сборке, а тусклые — влево, в ящик брака.

Как устроен автомат? Тоже на основе фотосопротивления.

Оно стоит возле желоба, перед калиткой. Прибор успевает «осмотреть» каждый шарик и дать электрическую команду калитке — какую дорожку открыть. Ведь свет от блестящих и тусклых шариков отражается по-

разному. На заводах шарикоподшипников этот простой механический контролер заменяет десятки людей.

Фотосопротивления потрудились и при печатании книжки, которую вы сейчас читаете. В типографии они следили, чтобы в машину не попал лишний лист бумаги, чтобы листы ложились ровно, не рвались. При любой неполадке фотосопротивления тотчас останавливали печатную машину.

### ЗАБОТЛИВЫЙ ПРЕСС

Цех автомобильного завода. Работница быстро кладет под пресс стальную заготовку. Удар — и готов корпус будущей фары. Через секунду — новый удар, еще одна фара вынута из-под штампа. Опять удар — готова следующая деталь... Вы подошли поближе, любуетесь, как ловко мнет машина толстые стальные круги. И вдруг работница предлагает вам:

— Суньте руку под ползун!

Что это? Послышалось вам или с ума сошел человек? Нет, она улыбается:

— Что, трусите? Боязно испробовать?

— Что ж тут пробовать! Ведь разожмет руку, мокрое место останется!

— Ну, так я попробую!

Не успеваете вы опомниться, как она сует руку под самый ползун... и тут же грозная махина металла, сердито рывкнув тормозами, замирает на месте.

— Техника безопасности! — гордо поясняет работница.

Если вы расспросите ее, почему же рука осталась цела, она расскажет вам много интересного.

Чего только не изобретали инженеры для безопасности работы на прессах! Делали, например, не одну кнопку включения машины, а две, чтобы обе руки рабочего занять. Придумали и такое: когда ползун движется вниз,

вперед выдвигается планка, отбрасывающая руки человека, если они попадут в опасное место. Пробовали даже привязывать руки рабочего на тонкие цепи — при каждом движении ползуна вниз руки поднимались на цепях. Нетрудно представить, как неудобны были такие приспособления, как они раздражали людей, мешали работать.

А этот пресс зрячий. Он не только работает, но и глядит, как бы не прищемить человека. Попадешь невзначай рукой под ползун — пересекается световой лучик от лампы к фотосопротивлению, и оно дает команду тормозам. Работать стало легко и безопасно.

### СВЕТОВАЯ ЭСТАФЕТА

Знаете, как охотятся на волков? Берут гирлянду красных флажков и развешивают ее на деревьях вокруг леса. Волки натываются на флажки, их непривычный вид пугает их, и они отбегают назад. Но в одном месте в гирлянде устроен разрыв. Волк бросается туда и попадает под выстрел охотника, спрятавшегося в засаде.

В одном из цехов Московского завода «Прожектор» прежде тоже можно было видеть такую гирлянду. Зачем?

Представьте себе, что идет испытание прожектора. Высоковольтная испытательная установка находится прямо в цехе. Когда ток включен, проходить близко нельзя: напряжение смертельное — 3000 вольт. И вот, чтобы обезопасить людей, установку окружали гирляндой флажков. Это условный сигнал — не входи в запретную зону.

Только человек, в отличие от волка, не боится флажков. Бывало, понадобилась слесарю отвертка, которая лежала на станке за гирляндой, — и он рисковал, шел в опасное место. Такие случаи происходили нередко. Приходилось испытателям зорко следить за окружающими людьми, всегда быть наготове вовремя выключить ток.

Теперь никаких флажков в цехах завода не увидишь. Испытатели перестали нервничать. Они поставили на стражу фотоспротивления.

Свет маленькой лампочки, собранный линзой в узкий луч, передается, как по эстафете, несколькими зеркалами, опоясывает запретную зону и попадает на «кристаллический глаз». Если кто-нибудь войдет на опасное место, он неминуемо разрывает луч — ток, идущий через фотоспротивление, резко слабеет, а вследствие этого немедленно выключается высокое напряжение.

Подобных зрячих автоматов-спасителей теперь сотни.

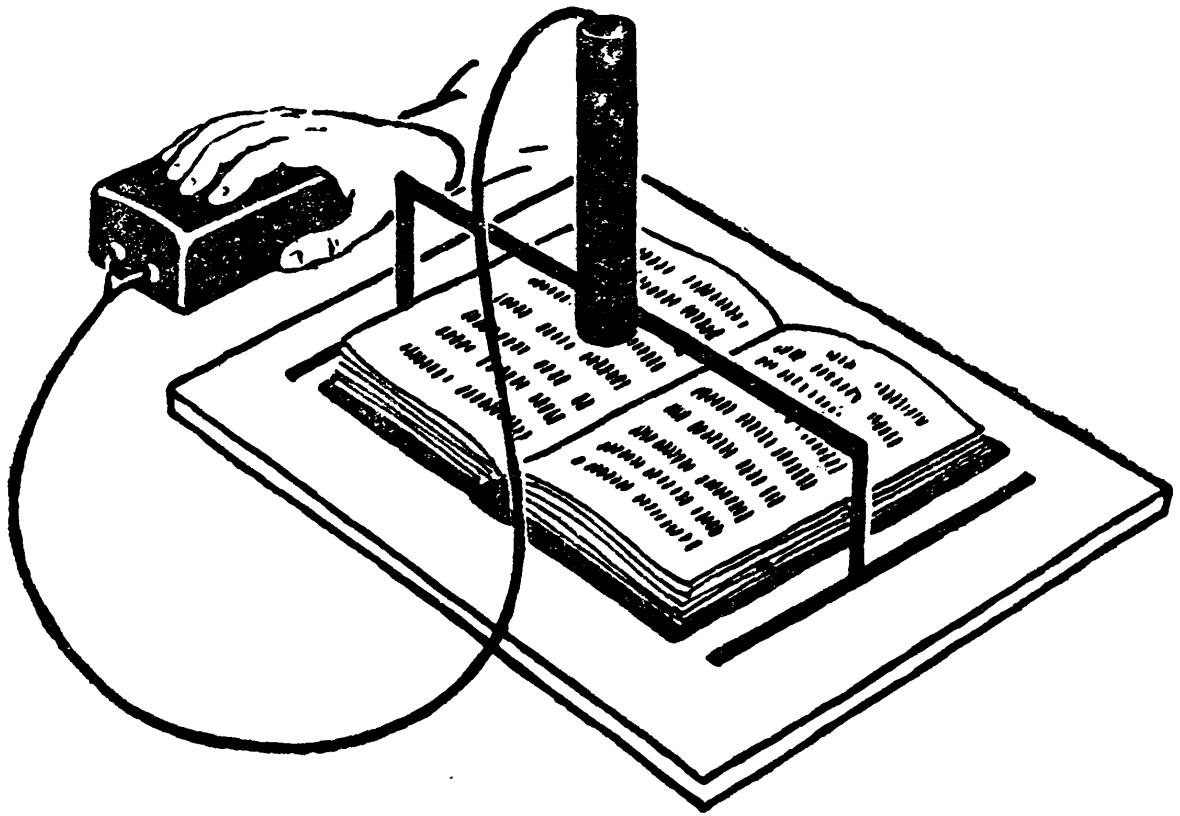
### **МАШИНЫ-ЧТЕЦЫ**

За столом сидит человек в темных очках. Он совершенно слепой. Но перед ним книга — обыкновенная книга, такая же, как и та, что сейчас раскрыта перед вашими глазами. И слепой читает эту книгу.

Известно, что люди, лишенные зрения, читают на ощупь — пальцами. В книгах, которые издаются для слепых, буквы, цифры, знаки препинания изображаются сочетаниями выпуклых точек. Но теперь слепые могут читать и любой обычный печатный текст — книгу, журнал, газету и т. д.

Над книгой, которая лежит перед человеком в темных очках, вплотную к странице движется вдоль строки небольшой металлический цилиндр. А рядом укреплена дощечка, на которой покоится рука слепого. Под его пальцем рядом расположены шесть отверстий, из которых то и дело выскакивают кончики металлических стерженьков. Цилиндр движется вдоль строки, и стерженьки быстро меняют расположение: одни прячутся, другие появляются. Оказывается, конфигурация стерженьков в отверстиях соответствует буквам в книге, над которыми в это время проходит цилиндр.





Читающая машина для слепых.

Чем же это достигается?

Когда цилиндрок проходит над той или иной буквой, он освещает ее и через маленькую линзу проектирует ее изображение, как в фотоаппарате, на шесть крохотных фотосопротивлений. В зависимости от очертания букв фотосопротивления освещаются в разном порядке, и поэтому электрический ток, идущий через них, меняется. С каждым из фотосопротивлений связан через реле электромагнит, приводящий в движение один из стерженьков. Касаясь пальцем стерженьков, слепой и читает книгу. Аппарат как бы переводит ее на язык, понятный людям, лишенным зрения.

Чтобы обучиться читать с помощью этого устройства, слепому требуется всего несколько часов. Нетрудно представить себе, с каким восторгом приняли незрячие люди эту замечательную «читающую машину».

Сконструирована и другая система подобного аппарата. В ней фотосопротивления соединены со звуковыми

электрическими генераторами, создающими звуки разной высоты. Читающая головка-цилиндрик ползет над буквами, фотосопротивления затемняются в разных сочетаниях и включают разные генераторы. Из громкоговорителя слышится нечто похожее на быструю смену простеньких музыкальных аккордов.

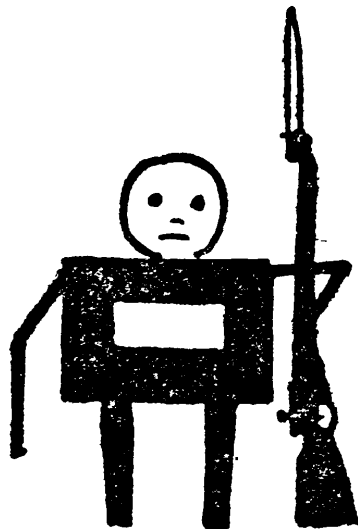
Слепой быстро усваивает голоса и особенности «поющих букв». Аппарат как бы читает ему вслух.

Можно без конца писать о других примерах доброй службы фотосопротивлений. Области их применения множатся буквально с каждым месяцем. И используется в таких незамысловатых приборах чувствительность полупроводников к свету — вторая особенность этих материалов.

Впрочем, только ли фотосопротивления могут быть созданы на основе этого свойства?

Вспомните чувствительность полупроводников к теплу. В наиболее простом виде она дала технике термисторы. Но как только ученые скомбинировали электронный и дырочный полупроводники, то же свойство привело к созданию других ценнейших устройств — термоэлементов.

Что, если испробовать подобный путь и в практическом освоении светочувствительности полупроводников? Не поможет ли это еще дальше усовершенствовать «зрение» машин и приборов?





# Зрячие приборы

---

## ЧУДЕСНОЕ ЗЕРКАЛЬЦЕ

**Н** а маленький стальной кружок нанесли слой селена. Толщина его такая же, как у лезвия безопасной бритвы. Поверхность селена покрыли тончайшей и потому почти совершенно прозрачной пленочкой золота. От стали и золота сделали наружу металлические выводы. Сверху защитили прибор прозрачным лаком и заключили в пластмассовый корпус с широким круглым окном. Получилось нечто похожее на миниатюрное зеркальце, только тусклое. Это вентильный фотоэлемент — новый светочувствительный полупроводниковый прибор. Он имеет характерную особенность. Если фотосопротивление под действием света увеличивает ток, который поступает извне, скажем, из батарейки, то вентильный фотоэлемент не нуждается ни в какой помощи. Осветите его — и он сам без всякой батарейки создаст электроэнергию, способную отклонить стрелку гальванометра.

В чем здесь дело?

Оказывается, слой полупроводника сделан здесь как бы двойным. Для изготовления прибора исходным мате-

риалом послужил селен с дырочной электропроводностью. Именно он составляет нижнюю часть слоя. Но сверху в полупроводник перекечевали атомы из пленки золота. И эта добавка превратила дырочный селен в электронный. В приборе слились воедино два разнородных полупроводниковых слоя. Какую это играет роль?

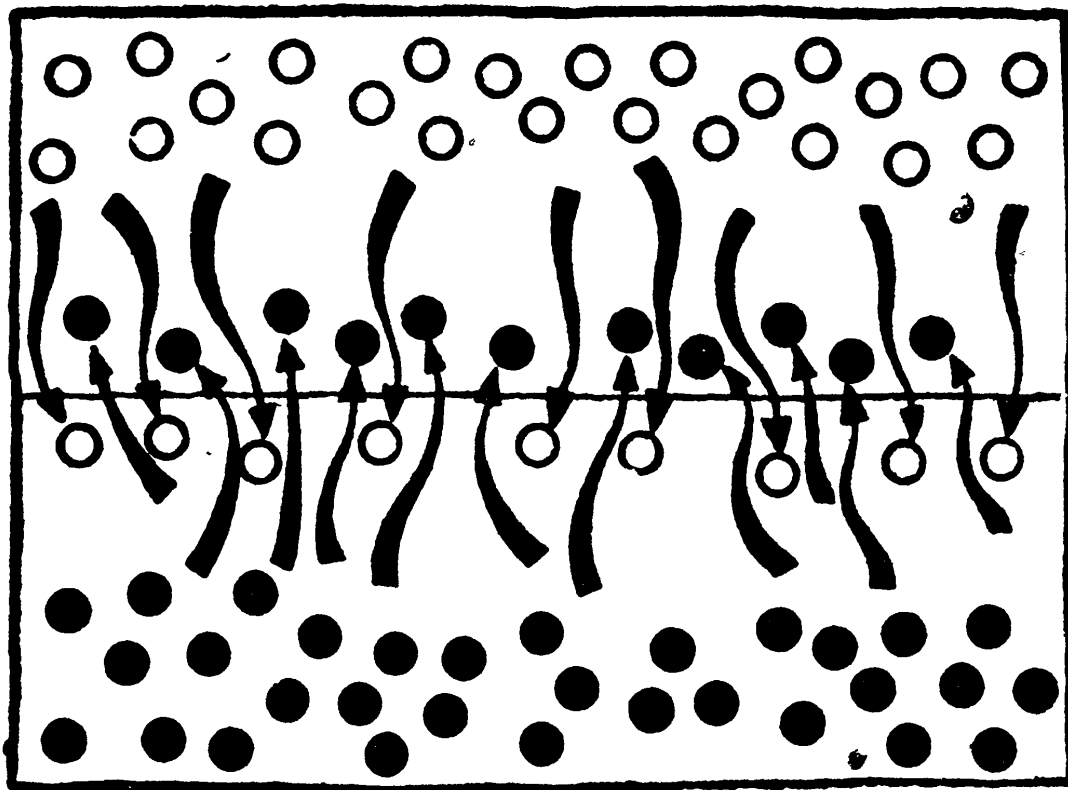
### **ЭЛЕКТРОНЫ-, ПОГРАНИЧНИКИ«**

Попытаемся выяснить, что происходит на месте соприкосновения электронного и дырочного полупроводников.

Допустим, что мы просто наложили пластинку электронного селена на пластинку дырочного селена. Как только пластинки соединились, электроны, которыми обильно насыщен электронный селен, начали перекечевывать в пограничную область пластинки дырочного селена. Но большое их количество перейти границу не смогло. Почему? Потому, что первые пришлые электроны, скопившись в дырочной пластинке, словно встали на стражу. Своим отрицательным зарядом они отталкивают назад все другие электроны, которые стремятся проникнуть в дырочную область. Одновременно из дырочной области перекечевывают дырки-«пограничники». Они тоже встают на стражу границы, только с другой стороны, и не пропускают через нее дырки из дырочной области. Так на границе образуется *запирающий слой*.

Такой слой отделяет электронный селен от дырочного и в нашем чудесном зеркальце — вентильном фотоэлементе.

Направим на фотоэлемент луч света. В электронной области полупроводника световой обстрел освобождает новые электроны. Они мечутся, сталкиваются и, не уминаясь в тоненькой области электронного селена, уходят в пленку золота. Иного пути ведь у них нет — в дырочную область дорога преграждена запирающим слоем.



Возникновение запирающего слоя на границе электронного и дырочного полупроводников.

В результате в золотой пленке накапливается избыток электронов, то есть отрицательный электрический заряд.

Во время светового обстрела в электронной области полупроводника возникает также некоторое количество неосновных носителей тока — дырок (всюду, где электроны покидают собственно полупроводниковый атом). А для дырок пограничный слой совсем не преграда. Ведь они ведут себя как положительно заряженные частицы. Положительный заряд — словно пропуск для прохода через границу. Электроны-«пограничники» свободно пропускают дырки через запирающий слой в дырочную область селена. Там образуется избыток положительного заряда, который накапливается на стальном кружке.

Итак, на золотой пленке — отрицательный полюс, на стальной подкладке — положительный. Соединим их проволочкой через гальванометр. Пока полупроводник освещен, течет ток и стрелка прибора отклоняется. Таков принцип работы вентильных фотоэлементов.

## АВТОМАТ-ЛАБОРАНТ

Каждому приходилось сдавать кровь на медицинское исследование. Но все ли знают, как много лабораторного труда уходит на такие анализы!

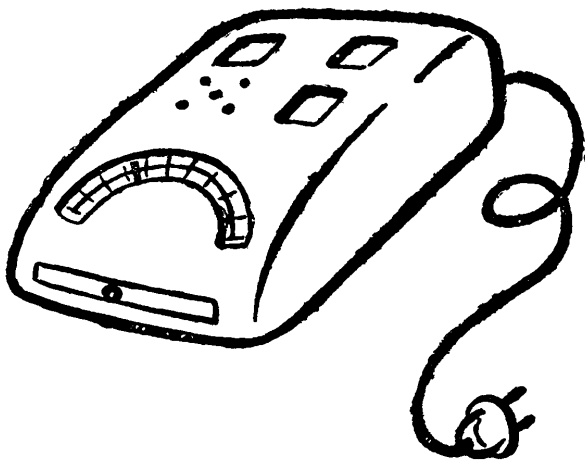
Кровяные тельца — эритроциты — лаборант пересчитывает под микроскопом.

В нескольких квадратиках нужно точно подсчитать количество телец (а в каждом их бывает 60—70), сложить, затем помножить на определенное число. Нелегко это. Зрение напрягается, глаза очень скоро устают. И как ни старайся, все-таки подчас получается довольно большая ошибка: в ста тысячах телец иной раз не досчитывают десяти тысяч!

Теперь для таких анализов создан зрячий прибор-автомат — *эритрогемометр*. Вместо человеческих глаз в приборе работает вентильный селеновый фотоэлемент.

Видом и размером аппарат напоминает футляр портативной пишущей машинки. Внутри — лампочка, кассеты для стеклянных кюветов с кровью, светофильтры и фотоэлемент, а снаружи — гальванометр.

Кровь, разбавленную особым раствором, наливают в кювет. Его вкладывают в аппарат. Свет лампочки, пройдя через инфракрасный светофильтр, пронизывает кровь и попадает на фотоэлемент.



Эритрогемометр.

Чем больше в крови кровяных телец, тем меньше попадает на селеновый слой инфракрасных лучей. Стрелка прибора останавливается на цифре, соответствующей числу эритроцитов в поле зрения микроскопа. Эритрогемометр выполняет и другую лабораторную работу — определяет содержание в

крови красного вещества — гемоглобина. Точность анализов получается значительно выше, времени на них уходит в несколько раз меньше. Утомительный для глаз человеческий труд уже не нужен.

### ПОМОЩНИК ХИРУРГА

В светлом операционном зале больницы идет обычная работа. Хирург поглощен сложной операцией. Вокруг — ассистенты, медицинские сестры. Каждый молча и сосредоточенно делает свое ответственное дело. В напряженной тишине слышатся спокойные команды: «скальпель», «пинцет», «ножницы», «проверьте кислород»...

«Проверьте кислород» — что это значит?

Это команда ассистенту: узнайте, достаточно ли кислорода в крови больного. Усыпленный наркозом, больной дышит редко, еле заметно поднимается его грудь. Случается, что легкие не могут вполне насытить животворным воздухом кровь. Тогда нужно искусственно вдохнуть в человека целительный кислород.

Как же определить его содержание в крови?

Обычно практикуют химические анализы. Но это долгий и трудоемкий способ. Постоянно следить за кровью невозможно.

Давно уже хирурги мечтали о приборе, который мог бы непрерывно контролировать количество кислорода в крови. И теперь такой аппарат — *оксигеомограф* — к их услугам.

На мочку уха больного или, лучше, на тонкую часть ушной раковины надевают нечто похожее на серьгу «клипс». Это датчик аппарата — его чувствительный элемент. С одной стороны «серьги» вмонтирована лампочка со светофильтром, а с другой — миниатюрный селеновый вентильный фотоэлемент. Между ними — живая ткань, заполненная кровеносными сосудами. Фотоэлемент слов-



по видит ее на просвет. Когда кровь богата кислородом, она светлая, и на селен проходит от лампочки много световых лучей. Поэтому и электрический ток в нем возникает сравнительно большой. Но как только кислорода становится меньше, кровь темнеет и ток, рожденный фотоэлементом, слабеет. Эти электрические колебания усиливаются и приводят в действие перо самописца, скользящее по разлинованной бумаге. При необходимости подача кислорода автоматически увеличивается. Хирург может спокойно вести операцию.

Вентильные фотоэлементы делают не только из селена. Мы уже знаем, что если бросить в печь медную проволочку, то на ней возникнет слой закиси меди. Закись меди и послужила материалом для первого в истории техники вентильного фотоэлемента. Делают такие приборы и из сернистого серебра. Оно особенно хорошо чувствует невидимые инфракрасные лучи. Есть еще вентильные фотоэлементы из сернистого таллия. Эти славятся необычайной быстротой действия. Ими удается заменять хрупкие вакуумные фотоэлементы в кинопроекторах (для воспроизведения звука).

### СПИЧКА, ЗАЖЖЕННАЯ НА ЛУНЕ

В главе «На смену термометру» шла речь о полупроводниковых болометрах — чувствительных приемниках лучистой энергии. Поистине сказочной чуткостью обладают такие приборы, если вместо термистора там использовать особый вентильный фотоэлемент — *фотодиод*.

Изобретатель прибора — американец Дж. Сайв применил в качестве материала кристаллический полупроводниковый элемент германий. Специальной обработкой в нем создаются электронная и дырочная области, между которыми возникает запирающий слой. Включают фотодиод как фотосопротивление: последовательно с электри-

ческой батареейкой невысокого напряжения. Батарейка включена так, чтобы создаваемое ею электрическое поле было направлено в сторону электрического поля запирающего слоя (направление поля принято от положительного полюса к отрицательному). Пограничная стража электронов как бы усиливается этим полем, и поэтому в темноте ток через прибор почти совсем не течет. Но вот на полупроводник падает луч света. Попав в область электронного германия, фотоны освобождают электроны и дырки. В обычном вентильном фотоэлементе дырки случайно, не спеша, переходят через запирающий слой. А здесь они подхватываются электрическим полем батарейки и перебегают границу дружно, все вместе, что создает заметный толчок тока в цепи прибора. Особенно резко реагирует прибор на инфракрасные лучи.

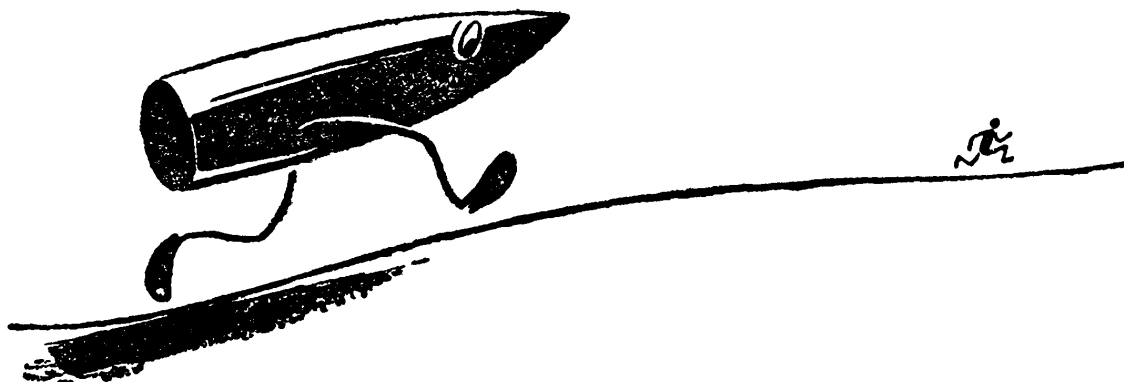
Еще более совершенен светочувствительный полупроводниковый прибор, получивший название *фототриода* или *фототранзистора*. Он не только улавливает световую энергию, отзываясь на освещение толчком тока, но и тут же усиливает этот электрический сигнал. Фототриод — своеобразный кристаллический умножитель электронов. Он как бы совмещает в себе фотодиод и полупроводниковый усилитель (о таких усилителях вы прочтете ниже — в последней главе).

Приведем примеры, характеризующие чувствительность фотодиодов и фототриодов. Самолет в ночной тьме обнаруживается ими лучше, чем радиолокатором. С их помощью можно составить карту теплового излучения загадочного Марса. Когда первый смельчак высадится на Луне, он сможет дать сигнал на Землю, просто чиркнув спичкой. Прибор уловит энергию вспышки за 380 тысяч километров.

Журнал «В защиту мира» писал о фототранзисторах: «Как и всегда, это замечательное открытие можно использовать как в созидательных, так и в разрушительных целях. Ракета, снабженная фототранзисторами, полетит

к городу, притягиваемая теплом, которое он излучает и которое невозможно замаскировать.

Ракета будет преследовать корабли, самолеты, все живое.



Американский генерал Арнольд рассказывал о том, что он чувствовал, когда его оставили в комнате наедине с одной из таких ракет — так называемой ракетой с «ищущей головкой». Ракета поворачивалась за ним на своем цоколе: ее привлекали инфракрасные лучи, создаваемые теплотой его тела. «Будем надеяться, — писал генерал Арнольд, — что эти чудовища никогда не выйдут из своих клеток».

Нельзя не согласиться с этими словами. Добавим только: еще лучше было бы не порождать смертоносных чудовищ, пользуясь великими победами человеческого знания.

### **ЛУЧ ВМЕСТО ПРОВОДА**

Из самого принципа действия фотодиода и фототранзистора нетрудно понять, что подобные приборы работают быстро, мгновенно реагируют на перемены освещенности. Не говоря уже о воспроизведении звука в кино, это открывает множество других заманчивых возможностей их применения.

Уже давно самым простым и удобным в полевых условиях средством связи на недалекие расстояния счи-

тался световой телеграф. Абоненты переговаривались, посылая друг другу световые сигналы. Длинный сигнал — тире, короткий сигнал — точка. Связь вели по азбуке Морзе.

Но, оказывается, на световом луче удастся разговаривать не условными сигналами, а прямо голосом; даже музыку можно передавать, если потребуется.

Световой телефон несложен. Вы говорите в микрофон, там звук преобразуется в пульсации электрического тока. Пульсирующий ток поступает в электромагнит, где заставляет быстро двигаться маленькую стальную пластинку, поставленную поперек узкого светового луча. Пластинка рассекает луч в такт с импульсами микрофона. Этим «оперированным» лучом и передается разговор. Фотоэлемент приемника (в первых опытах обычное селеновое фотосопротивление) улавливает световые вспышки и, переделав их в электрические колебания, подает в телефонные наушники. Еще удобнее вести связь на невидимом инфракрасном луче. Он проходит сквозь дымку, туман.

«Лучевой», беспроволочный, телефон изобретен еще до появления радиосвязи. А теперь он весьма усовершенствован и оснащен полупроводниковыми приборами.

Кристаллы германия отличаются удивительной особенностью: они прозрачны для инфракрасного излучения. Через германиевую пластинку невидимый луч проходит почти не задерживаясь — как обычный свет сквозь стекло.

Теперь представьте себе такой опыт.

Германиевый фотодиод подключили к электрическому генератору и одновременно стали проверять его прозрачность для инфракрасных лучей. И тут открылось интересное явление: при переменах электрического напряжения инфракрасная прозрачность кристалла в том месте, где проходит запирающий слой, менялась. В зависимости от электрических импульсов диод то задерживал невидимый луч, то ослаблял его, то свободно пропускал. Это явление объясняется знакомыми уже нам пульсациями запираю-

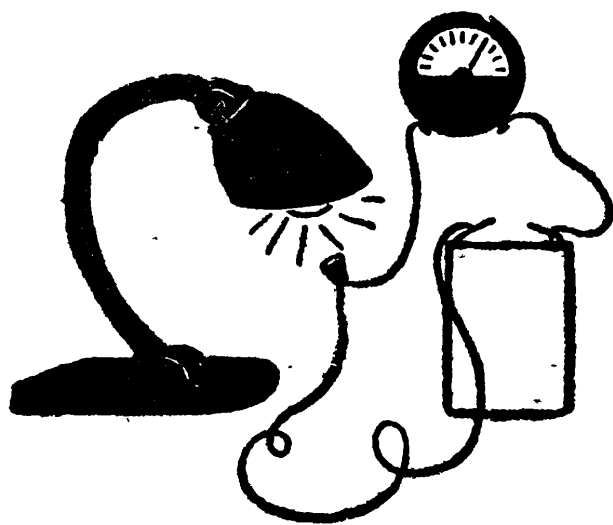
щего слоя. Оно-то и положено в основу нового телефона.

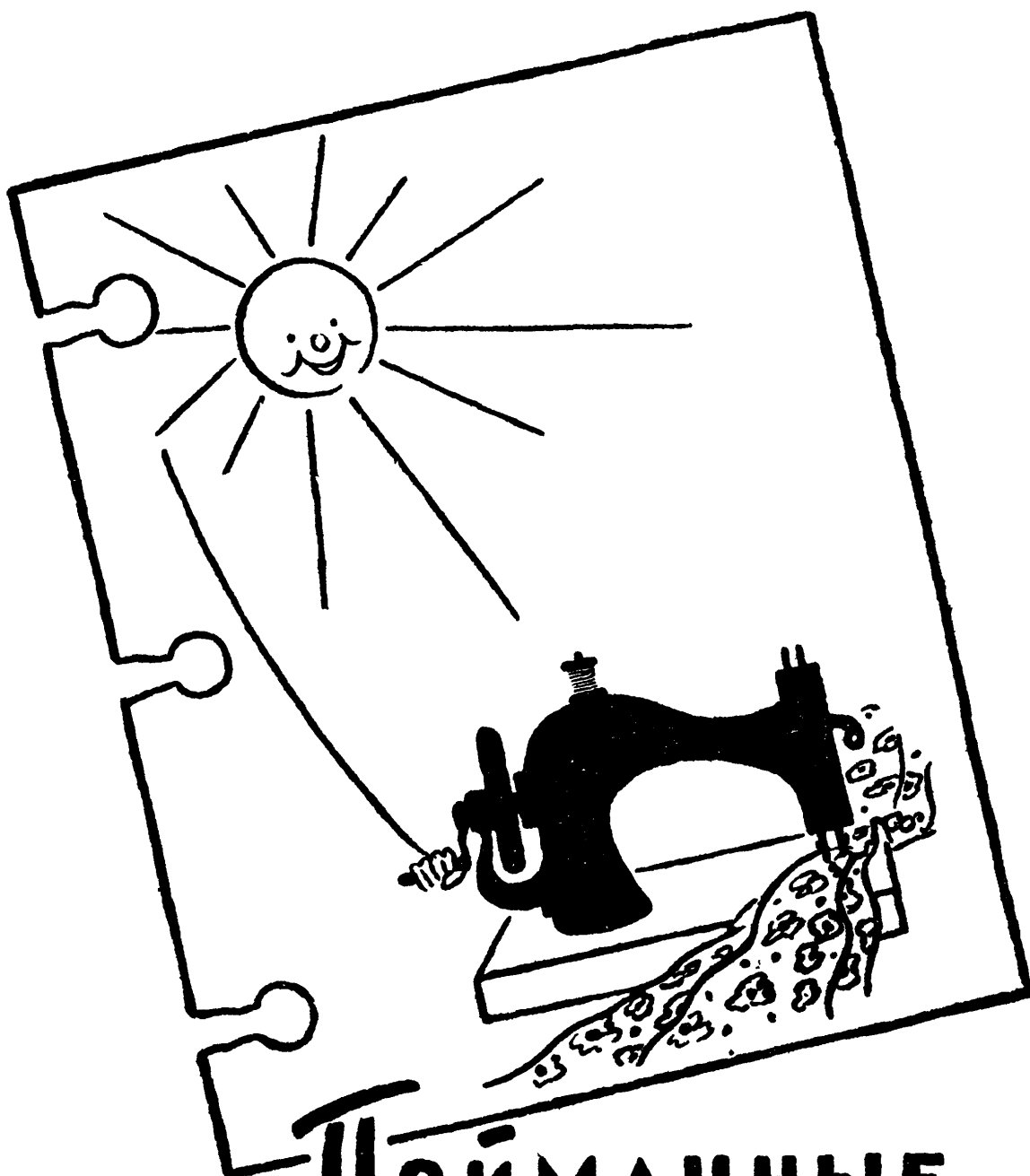
На пути постоянного инфракрасного луча от лампочки ставят диод. К нему подводят усиленный микрофонный ток. Когда абонент говорит в микрофон, звуки его голоса преобразуются в колебания инфракрасной прозрачности кристалла. В результате невидимый луч, проходящий через диод вдаль, к абоненту, меняет свою силу точно в такт с колебаниями микрофонного тока.

Фототриод приемника издалека видит «подмигивания» передающего диода и превращает их в электрические сигналы, которые после усиления становятся снова звуком.

Отличительная черта такой передачи — острая направленность. Подслушать ее невозможно. Ведь чтобы перехватить разговор, надо прервать световой луч, но тогда и абоненты перестанут слышать друг друга.

Итак, человек делает «зрячими» приборы, ставит их на стражу своего здоровья, труда, поручает им работу, от которой прежде портилось зрение, даже заменяет ими свои глаза и уши. А некоторые фотоэлементы обладают замечательными свойствами, которых нет и у нашего глаза.





**Пойманные  
лучи**

---

## РАННИМ УТРОМ

**В**ы просыпаетесь весенним утром. Но не птичье пение вас разбудило. Виновник — маленький братишка. Он сидит в своей постели, размахивает руками и что-то недовольно лепечет. Вы чувствуете: он вот-вот расплачется. В чем же дело? Кто обидел малыша?

Веселый солнечный лучик!

Наивный малыш пытается схватить его в руку, но золотистая стрелка всякий раз ускользает из пальцев. Разве не досадно?!

Утешая братишку, вы могли бы сказать ему, что и сами в его возрасте безрезультатно занимались тем же. Пожалуй, все наши читатели испробовали это в раннем детстве. И всегда упрямый лучик ускользал — не ухватишь его, как ни старайся!

А ведь затея малыша совсем не пустая.

Лучистая энергия в неимоверно огромных количествах льется на землю. За двое суток солнце посылает нам столько тепла и света, сколько способны дать при сжигании все земные запасы угля, нефти, газа, сланцев,

торфа. Но мы еще почти не умеем использовать энергию солнца. Ведь подавляющая доля его лучей ускользает: отразившись от поверхности земли, уходит от нас и теряется в пустоте мировых глубин.

Неужели так и не сбудется детская мечта? Неужели человеку никогда не удастся поймать солнечный свет, удержать его, заставить работать?

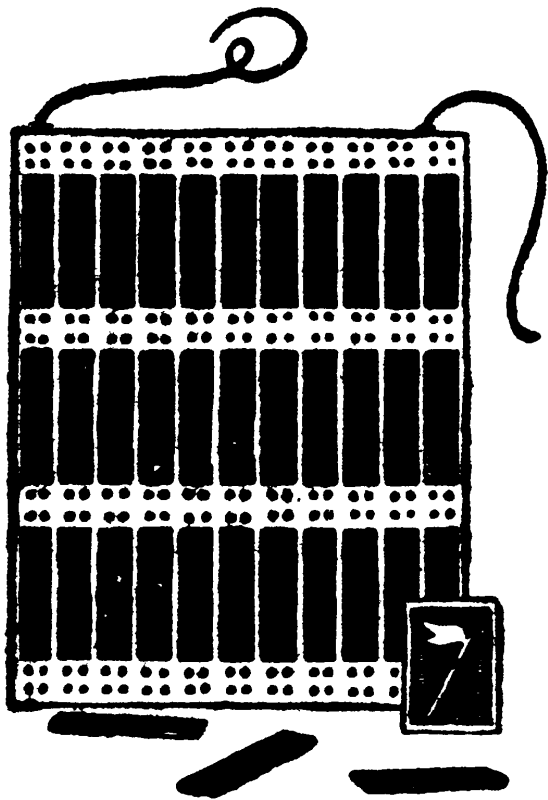
Уже удалось! И помогли в этом те же полупроводники.

### СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ

Представьте себе щит величиной с крышку небольшого обеденного столика. На щите рядами уложены маленькие темные пластинки. Размером и формой они напоминают железнодорожные билеты. Пластинки выполнены из широко распространенного полупроводника — кремния.

Вот, как их делали.

Сначала кремний тщательнейшим образом очистили от примесей, потом из расплава получили крупные кристаллы и разрезали их на тонкие прямоугольные пластинки. На одной из поверхностей каждой пластинки специальной обработкой создали тончайший (в сто раз тоньше человеческого волоса) слой бора. Обработку вели с таким расчетом, чтобы атомы бора неглубоко проникли и в толщу полупроводника. Сверху и снизу покрыли пластинки металлическими пленками, от них сделали выводы наружу, заключили пластинки в пластмассовые оправки и,



Солнечная батарея.



смонтировав на щите, соединили проводами. Что же получилось? Батарея вентильных фотоэлементов.

Наверху (там, где есть примесь бора) кремний имеет дырочную проводимость, ниже — электронную. Между дырочной и электронной областями обязательно возникает запирающий слой.

Мы выносим батарею на яркий солнечный свет и ставим ее так, чтобы лучи падали отвесно. Как и следовало ожидать, она сразу же дает электрический ток. Но какой! 120 ватт электроэнергии с квадратного метра освещенной поверхности. Это немалая мощность. Ее достаточно для питания трех электродвигателей швейных машин.

Чтобы получить такую мощность, скажем, от бензинового моторчика, пришлось бы сжигать каждые три часа стакан горючего. На паросиловой установке за то же время сгорело бы полкилограмма каменного угля. А здесь энергия извлечена из неуловимого и невесомого — из солнечного света.

## К СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Солнечная батарея, о которой вы читали, до 11 процентов энергии падающих на нее световых лучей преобразует в электрическую. Но это не предел. Есть основание полагать, что те же кремниевые фотоэлементы способны превращать в электроэнергию 22 процента световой энергии!

Имеются сообщения о вентильном фотоэлементе из другого полупроводника — сульфида кадмия — с коэффициентом полезного действия 18 процентов. По подсчетам изобретателей, пластина такого фотоэлемента шириной 1,2 метра, длиной 4,5 метра и толщиной в вафлю, уложенная на крыше небольшого дома, снабдит обитателей здания энергией на все бытовые нужды: освещение, отопление, электроплиты, пылесосы, холодильники, радио, телевидение. Днем чудесная полупроводниковая крыша-

электростанция будет набирать энергию, посылая ток в электросеть здания и в электрические копилки — аккумуляторы, которые послужат источником электроэнергии в темное время суток.

Сейчас ведутся исследования ряда полупроводников, способных преобразовывать в электроэнергию бóльшую долю света, чем кремний. Таково, например, соединение сурьмы с алюминием. Ученые ожидают высокого коэффициента полезного действия и от солнечных батарей, созданных на основе соединения сурьмы с индием. Они будут особенно выгодны для освоения инфракрасного излучения солнца, которое, как известно, составляет примерно половину всей лучистой энергии светила.

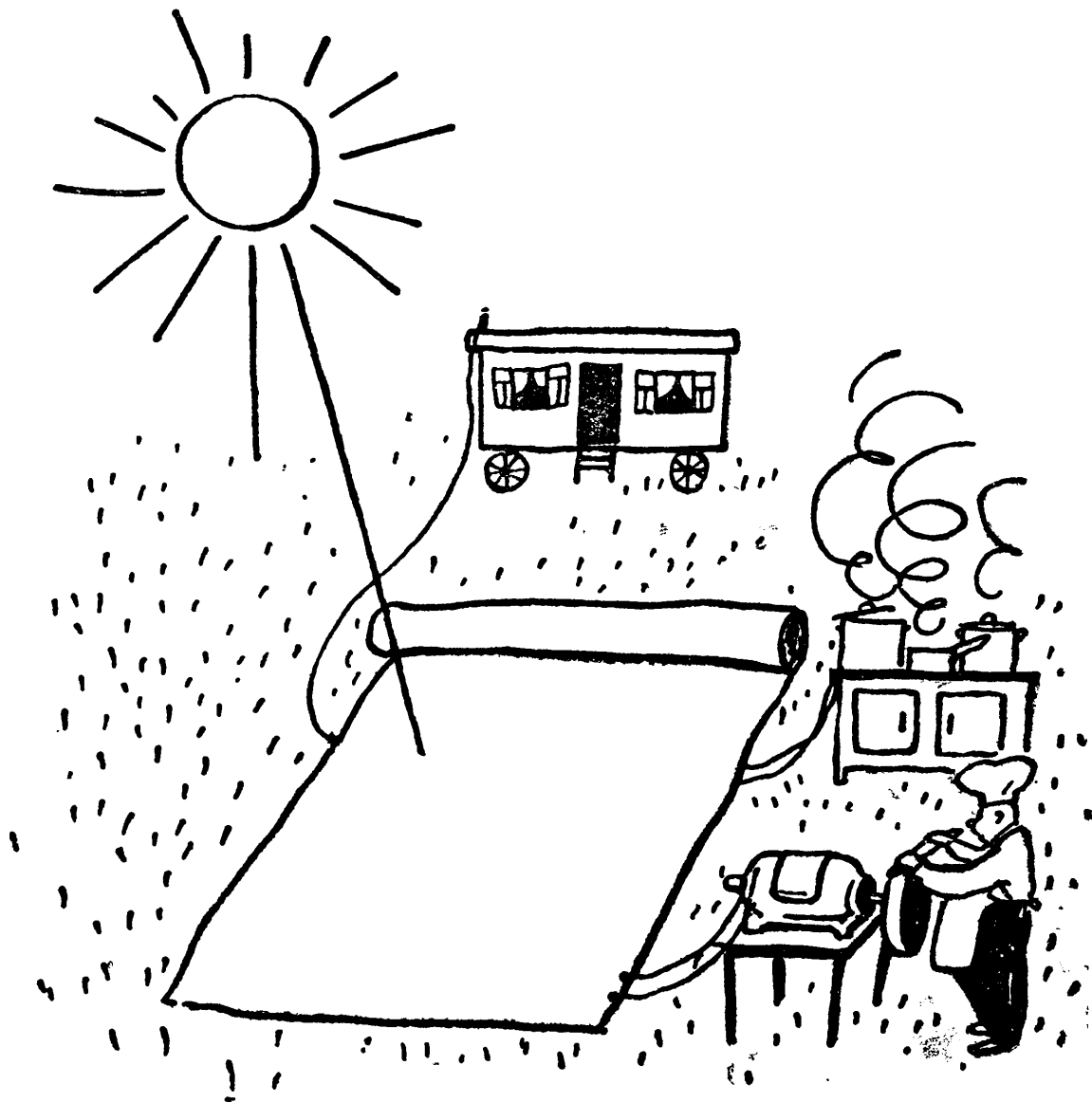
Теоретически возможно создание вентиляльных фотоэлементов с коэффициентом полезного действия 40—50 процентов.

Каким целям будет служить световая энергетика будущего?

Вероятнее всего, на первых порах это будет энергетика малых форм. Солнечные батареи появятся в колхозах и МТС, геологи и туристы станут брать их в экспедиции, моряки оборудуют ими свои суда.

Вот мечта одного из героев научно-фантастической повести В. Немцова «Осколок солнца».

«Представьте себе, Лидия Николаевна, — рассказывал он, прикалывая к чертежной доске бумажный лист и рисуя на нем толстым синим карандашом. — Это вот вагончик трактористов. Видали, наверное, такие? Трактористы привезли с собой большой рулон специально обработанной ткани или пленки, на которой напечатаны — да, да, напечатаны! — фотоэнергетические ячейки со всеми необходимыми соединениями. Рулон этот разматывается прямо на земле, и — пожалуйста! — походная электростанция готова к работе. Она заряжает аккумуляторы, питает радиостанцию, электроприборы, все, что хотите. Таковую пленку можно расстелить возле избушки лесника,



бакенщика, высокогорной обсерватории, у зимовщиков Арктики, где угодно. Из этой ткани можно шить палатки. Вот она, свернутая, за плечами альпиниста... Поймите, что это значит, когда мы получим миллионы метров фотоэнергетической ткани! В магазинах ее будут резать ножницами, как простую клеенку. Заплатили за десять метров — и у вас уже собственная электростанция, без всяких бензиновых движков и генераторов. Разве это не чудо?»

### ЛУЧ ЗА РАБОТОЙ

Солнечный луч можно заставить подавать воду для орошения. Чем беспощаднее будет жечь солнце, иссушая почву и посевы, тем энергичнее станут работать электро-

насосы, соединенные со щитами солнечных батарей. Солнце и согреет землю и снабдит ее животворной влагой. Ведь вода есть почти везде, нужно только поднять ее, направить на поля.

От солнечных батарей будут действовать электродвигатели кранов, лебедок, подъемников. На строительные площадки не потребуются тянуть линии электропередач.

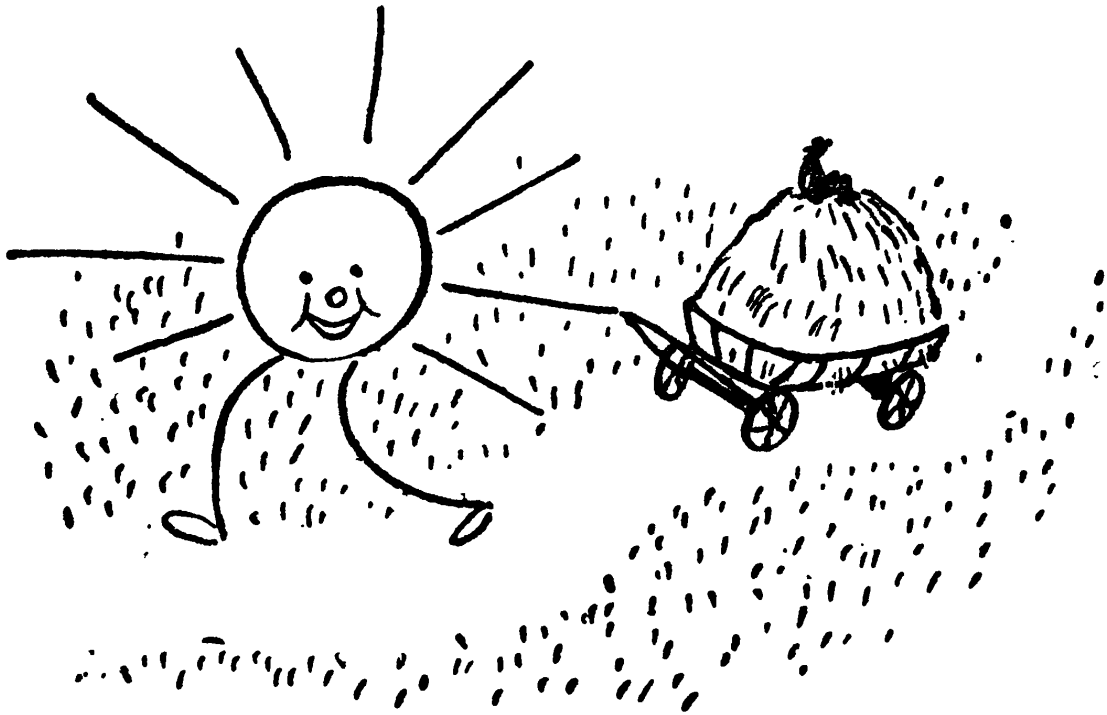
Недавно в Швейцарии и других странах начали делать настольные часы, которые заводятся светом. Пробыв несколько часов на свету (даже слабом, комнатном), часы идут много суток, не требуя завода. Заводной механизм приводится в движение электродвигателем, который черпает энергию от аккумуляторов, связанных с чутким вентиляльным фотоэлементом.

В 1955 году американские инженеры сделали попытку использовать солнечную энергию для движения модели своеобразного электрического автомобиля. На крышу экипажа, которому конструкторы дали название «солнцемобиля», уложили двенадцать вентиляльных фотоэлементов. Они заряжали энергией аккумуляторы. А оттуда электрический ток шел на питание электродвигателя. Опыт удался. Модель поехала без всякого горючего, только потому, что на нее светило солнце!

Может показаться, что этот любопытный экипаж, который смахивает на пресловутый «вечный двигатель», не более, как технический курьез, игрушка. И верно, он слабосилен — даже в самое солнечное время мощность, собираемая им «с неба», раз в тридцать меньше мощности «Москвича». Поэтому даже в будущем, когда вентиляльные фотоэлементы достигнут высокого совершенства, солнцемобили едва ли найдут сколько-нибудь значительное применение как полноценное транспортное средство. С обычными автомобилями они конкурировать не смогут. Однако солнечная батарея станет отлично служить аварийным источником энергии. Если в автомашине израсходуется бензин, до заправочной колонки она «дотянет на солнеч-

ных лучах», улавливаемых щитом вентиляльных фотоэлементов, уложенным на крыше автомобиля.

В колхозах, на заводах, на вокзалах солнечные повозки удобно будет применять для перевозки небольших грузов. Ведь две — три лошадиные силы — это в конце концов не так уж мало. К тому же во время простоев



энергия может накапливаться в аккумуляторах. Солнцемобиль будет набирать запас мощности и во время стоянок. Эта чудесная «электрическая лошадь» будущего станет весь день «питаться светом»!

Подсчет показывает, что энергии, создаваемой солнечными батареями, хватит для того, чтобы привести в движение речную самоходную баржу — ее крыша имеет вполне достаточную площадь, освещаемую солнцем.

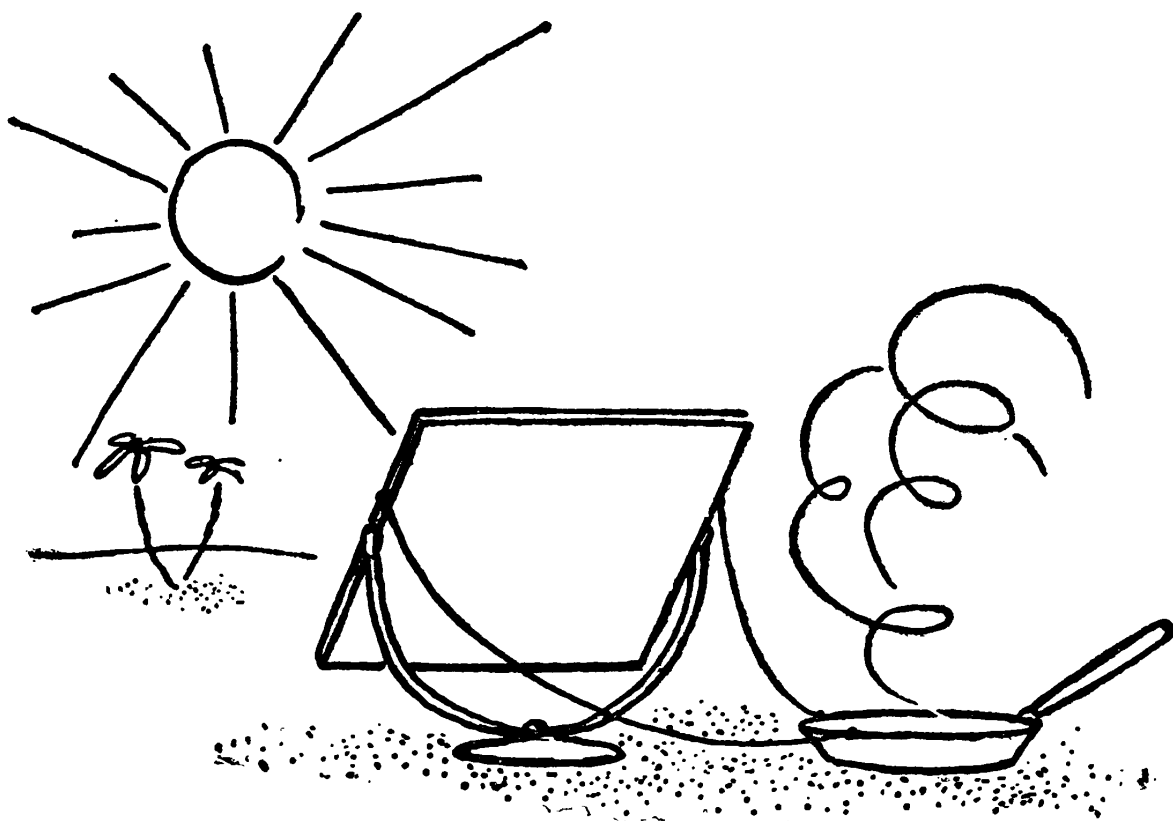
Еще одно увлекательное применение солнечных фотоэлементов — на грядущих межпланетных кораблях. Ведь свет — источник энергии, который не нужно брать в космический полет с Земли. Корабль будет лететь перед незаходящим солнцем, в мощном световом потоке. И если оснастить ракету фотоэлементами с коэффициентом по-

лезного действия всего в 10 процентов, то с 10 квадратных метров их освещенной поверхности приборы за трехмесячное путешествие соберут столько энергии; сколько могла бы дать тонна горючего, взятого с Земли. А для того чтобы разогнать эту тонну до космической скорости при старте корабля, на нем пришлось бы сжечь еще несколько десятков тонн горючего.

Вездесущий солнечный свет, пойманный полупроводниками, уменьшит вес ракетных кораблей.

А как бы было заманчиво покрыть щитами солнечных батарей хотя бы часть пустынь, выжженных степей и других земель, негодных для сельского хозяйства! Ведь 3—4 квадратных километра южной пустыни, покрытые щитами фотоэлементов, могли бы дать почти столько же энергии, сколько вырабатывает в среднем знаменитая Куйбышевская ГЭС! А в пустыне не только свет ждет превращения в электрический ток. Термобатареи и инфракрасные фотоэлементы, установленные под световыми фотоэлементами, преобразовали бы в электроэнергию и значительную долю солнечного тепла.

Быть может, через несколько лет, когда успехи учения



о полупроводниках воплотятся в индустриальные сооружения, когда солнечные батареи удастся сделать простыми и дешевыми, — щитами фотоэлементов, блоками термогенераторов люди оденут горные склоны, крыши и стены домов, заводов. По бесплодным пустыням протянутся от горизонта к горизонту ряды ловушек света и тепла. Солнечными лучами, преобразованными в электрический ток, человек будет поднимать воду, тянуть электропоезда, двигать машины на заводах.

## ЛУЧ И ЛИСТ

Любое топливо — детище растительного мира либо современного, либо давно умершего, жившего десятки и сотни миллионов лет назад.

А из чего сделано растение?

Из земли, воды и воздуха.

В самом деле, ведь только этими материалами располагает природа, создавая свои зеленые творения!

Но мало иметь материалы для какого-нибудь изделия. Чтобы построить дом, недостаточно привезти на строительную площадку кирпич, цемент, железо, — надо еще поработать, чтобы задуманное стало явью. А поработать — это значит затратить какую-то энергию. На строительной площадке лопасти бетономешалок, стрелы кранов, лебедки подъемников движет электричество. А растение? Откуда оно черпает энергию? Какая сила вызывает в нем соединение атомов и молекул?

Эту энергию растение получает, поглощая зелеными листьями солнечный свет. Нет света — растение гибнет. В клеточках живого листа свет вызывает важнейший процесс — фотосинтез, источник всей жизни на Земле.

Световая энергия, поглощенная живым зеленым листом, словно консервируется в растении. И каждое органическое вещество в какой угодно форме — будь то яблоко

или пшеничное зернышко, штабель дров или копна сена, глыба угля или торфяной брикет — мы вправе назвать концентратами лучистой солнечной энергии.

Горит уголь — освобождается солнечная энергия, поглощенная некогда древними папоротниками.

Но растение усваивает и накапливает лишь крошечную долю света — меньше 1 процента. Потому-то так много времени нужно, чтобы вырастить леса. Поэтому так скудны запасы ископаемого топлива на Земле.

### НОВЫЕ ДАРЫ СОЛНЦА

А нельзя ли обойтись без растений, создавая органическое сырье? Нельзя ли, минуя растения, прямо из воздуха, воды и минеральных веществ вырабатывать топливо, пластмассы, сахар?

Писатель А. Куприн в рассказе «Жидкое солнце» фантазировал о том, как «из простых элементов, входящих в воздух, составлять вкусное, питательное и съедобное, почти бесплатное вещество».

Давно уже волнует и ученых такая проблема — воспроизвести искусственно процесс, подобный фотосинтезу, но более эффективный, и в итоге получать органическое сырье в десятки, в сотни раз быстрее, чем оно накапливается в природе в процессе естественного фотосинтеза.

Конечно, этот смелый замысел не сразу будет воплощен в жизнь. Сначала предстоит во всех тонкостях раскрыть взаимодействие света с органическими соединениями. И вот что важно здесь для исследователя: многие из таких соединений — полупроводники, и световой луч вызывает в них электронные процессы.

Работа в этом направлении ведется, и уже есть первые результаты. Ленинградский ученый — академик А. Н. Теренин на одной из научных конференций по полупровод-



никам рассказал об итогах исследований в области фотоэлектроники органических красителей. Например, освещая твердые пленки красителей или окрашенные порошкообразные полупроводники, удалось вызвать превращения световой энергии, похожие на процессы, происходящие в вентильных полупроводниковых фотоэлементах. Эти фотоэлектрические явления представляют собой не что иное, как искусственное осуществление первого этапа фотосинтеза вне живого листа.

Конечно, здесь еще больше нерешенного, загадочного. Осуществить второй этап фотосинтеза, то есть направить электроэнергию, рожденную в веществе светом, на создание новых соединений, пока не удалось. Но перед пытливым взором ученого-творца, не боящегося смелой мечты, раскрывается уже картина будущего.

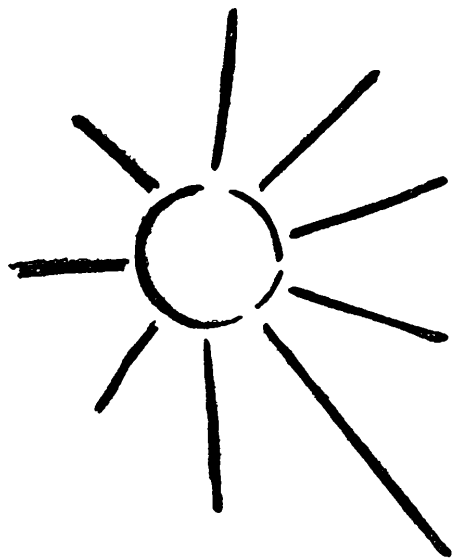
Мы не знаем еще, какой облик получат установки для «консервирования» солнечных лучей. Но призовем на помощь фантазию.

Под потоками солнца протянулся мелкий, но широкий канал. По нему медленно течет черная жидкость. Это вода, смешанная с неведомыми пока добавками — катализаторами, красителями. Жидкость почти полностью поглощает солнечный свет и приобретает способность словно вбирать в себя из воздуха углерод, а возможно, и азот. В конце канала жидкость заметно густеет, превращаясь в тяжелую, желеобразную массу искусственного органического вещества. Ее тут же режут на куски, выгружают из канала и отправляют на химический завод для переработки.

Быть может, человек станет так создавать тысячи и миллионы тонн нового, извлеченного из воздуха топлива, получать обилие небывало ценного сырья для промышленности.

Чуть ли не стопроцентное освоение богатств лучистой энергии солнца — вот к чему стремится наша наука!

## СВЕТ „ПРО ЗАПАС“



Итак, вентиляные фотоэлементы исполнили мечту нашего детства. Они «поймали» свет, тут же превратили его в электроэнергию и пустили в работу. Слов нет, это замечательно. Однако не только об этом можно мечтать, если дать волю фантазии.

Дон-Кихот, обращаясь к воображаемой поклоннице, обещал подарить ей «солнечные лучи, в стеклянный сосуд уловленные». Пустое хвастовство? А между тем, как это было бы удобно: днем поймать солнечные лучи, спрятать их в какую-нибудь банку, а вечером выплеснуть их наружу — пусть освещают улицу! Что ж, оказывается, и эта фантастика с приходом полупроводников стала возможным делом.

Есть среди полупроводниковых материалов такие, в которых атомы способны днем поглощать световую энергию, а ночью излучать ее. Поглощая фотоны, атомы таких веществ, как говорят физики, возбуждаются — накапливают в себе избыток энергии. А спустя некоторое время они освобождаются от излишка, в свою очередь выбрасывая фотоны.

Подобные вещества известны и применяются давно. Большим успехом пользуются, например, елочные украшения, которые в темноте сияют светом, набранным «про запас».

Однако есть у таких веществ один недостаток. Если уж они побыли днем на свету, ночью обяза-



тельно будут светить — хотим мы этого или не хотим. А что, если заставлять их отдавать запасенный свет по команде? Оказывается, этого можно добиться.

Атомы некоторых полупроводников способны хранить в себе накопленную на свету энергию до тех пор, пока мы не воздействуем на них слабым электрическим сигналом.

Поясним это на простой аналогии. Представьте, что у вас в руках игрушечное ружье с пружиной. Чтобы зарядить ружье, вы сжимаете пружину, а перед выстрелом — отпускаете ее, чуть тронув спусковой крючок. Так вот: атомы, о которых мы говорили, как бы заряжаются под воздействием света. А когда мы слегка тронем их электрическим полем, они разряжаются и словно стреляют светом.

Возможно, в наших городах вскоре появятся чудесные светильники. Днем они будут собирать световую энергию, а вечером и ночью по слабой электрической команде сиять за счет накопленного света.

Сообщалось, что в Чехословакии разрабатываются светильники в виде щитов, на которых под электрическим воздействием светятся порошки из особых полупроводниковых материалов. Белого света пока получить не удалось, но исследователи уверены в перспективности работы.

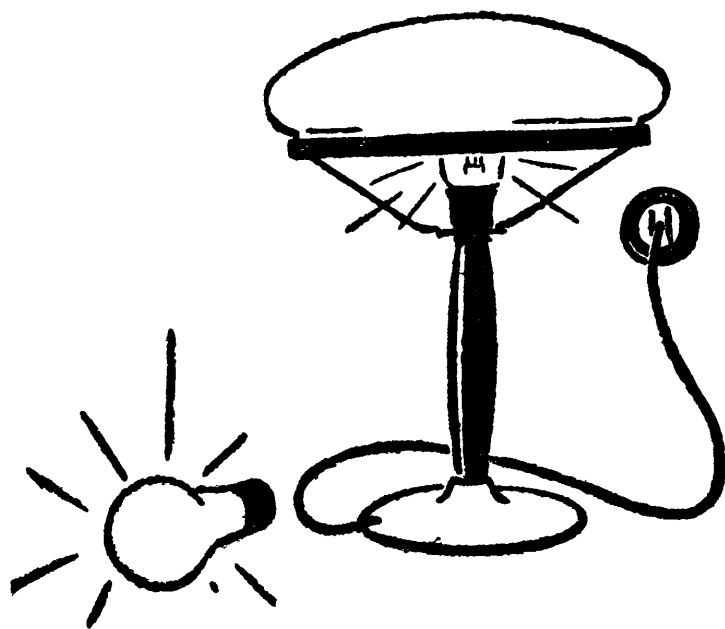
Комнаты со светящимися обоями, с потолками, излучающими мягкое сияние, — быть может, через несколько лет это станет столь же обычным, как в наши дни лампочка накаливания.

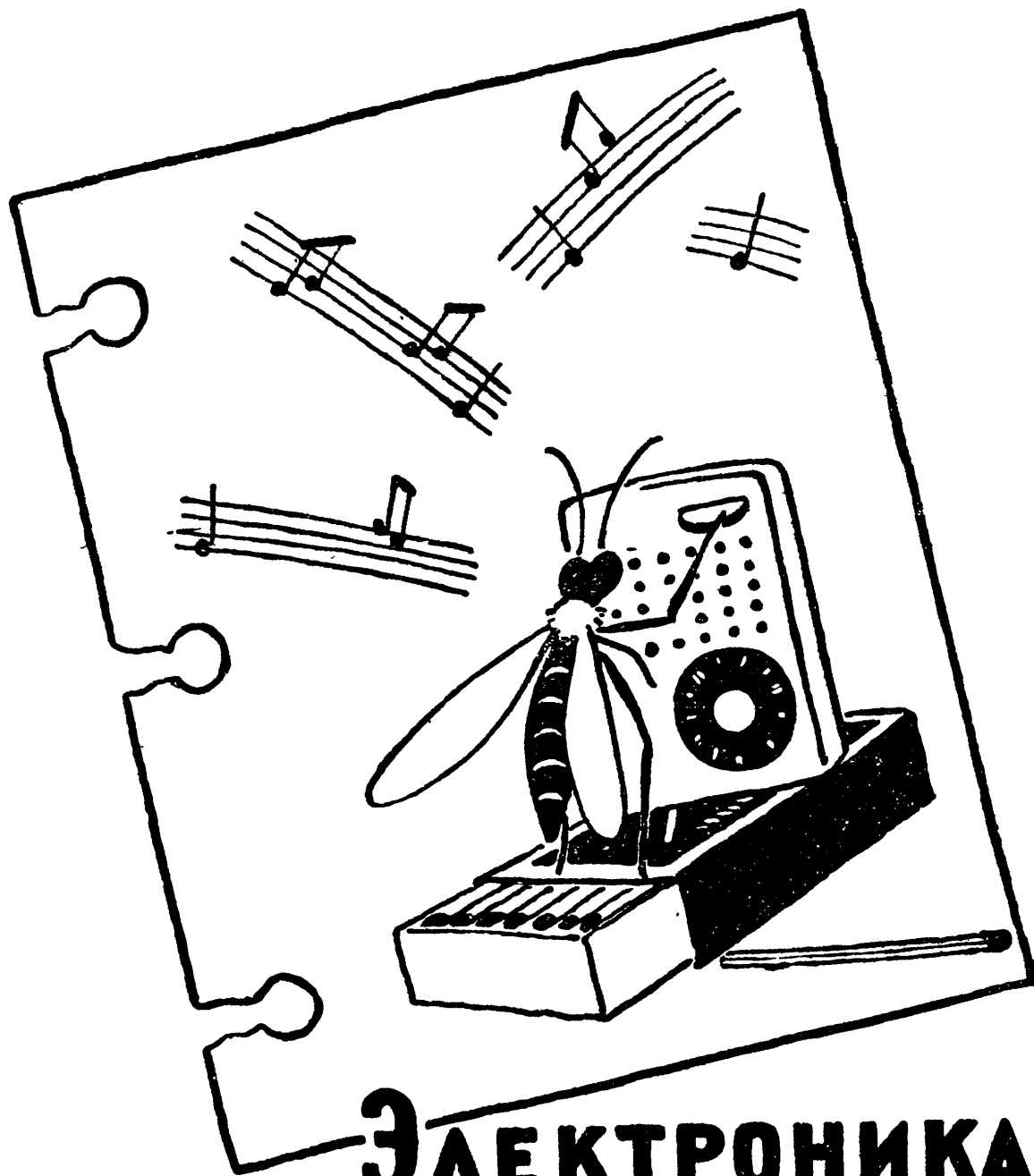
Есть еще много других интересных оптических свойств полупроводников. Они способны, например, превращать невидимые ультрафиолетовые лучи в видимые. На этом основаны знакомые каждому люминесцентные лампы — те самые, что заливают мягким светом станции метро, художественные выставки, залы магазинов, цехи заводов. Некоторые полупроводники отзываются световыми вспышками на обстрел мельчайшими частицами радиоактивных излучений. Это свойство используется при создании осо-

бых счетчиков ядерных частиц. На экранах телевизоров тоже светится полупроводниковый люминофор. Его «зажигают» удары электронов.

Не так давно физики научились делать «вечные» светящиеся указатели. Их не нужно включать в электросеть, присоединять к батарее. Они светят сами — без всяких посторонних источников энергии. В таком указателе слой полупроводникового люминофора светится под воздействием быстро летящих электронов, которые выбрасываются ядрами атомов радиоактивного изотопа стронция. Срок службы указателей — более двадцати лет.

Если поставить подобные светильники, скажем, на речных бакенах, то бакенщику не придется каждый день зажигать фонари. Он будет менять их всего два — три раза в жизни.





# **ЭЛЕКТРОНИКА В КРИСТАЛЛАХ**

---

## НЕУДАЧЛИВЫЙ ПОКУПАТЕЛЬ

**Д**

иректор одного радиомагазина — ветеран торговли радиоприемниками — рассказывал:

— Вот уж лет тридцать регулярно ходит к нам странный старичок-покупатель. Думаете, много он за это время накупил? Ничего! И деньги, видно, припас, и желание есть, да вот беда: слишком быстро бежит вперед техника. Сперва он, помнится, хотел приобрести детекторный приемник. Но, поговорив с продавцом, узнал, что скоро поступят в продажу ламповые, и решил подождать. Появились первые ламповые приемники. Снова пришел этот покупатель, но не купил ничего: узнал о другой ожидающейся новинке — многоламповых супергетеродинах. Потом и супергетеродины стали не в редкость. Но чудак-покупатель опять уходил ни с чем из магазина. Он до сих пор ждет нового. И ведь не зря ждет! Каждый год аппаратура становится совершеннее, экономичнее, надежнее. Только никогда не дождется этот наивный человек самого лучшего приемника — такого, чтобы не устарел за год-другой.

Гениальное создание Александра Степановича Попова — радио — за последние десятилетия получило неви-

данное развитие. Но еще больший, сейчас даже трудно постижимый прогресс ожидает его в будущем. Этот прогресс — детище золотых рук и светлого ума людей, которые не ждут пассивно нового, а сами творят его. И замечательными помощниками человека здесь тоже оказываются полупроводниковые материалы.

## ПЕРВЫЙ ШАГ

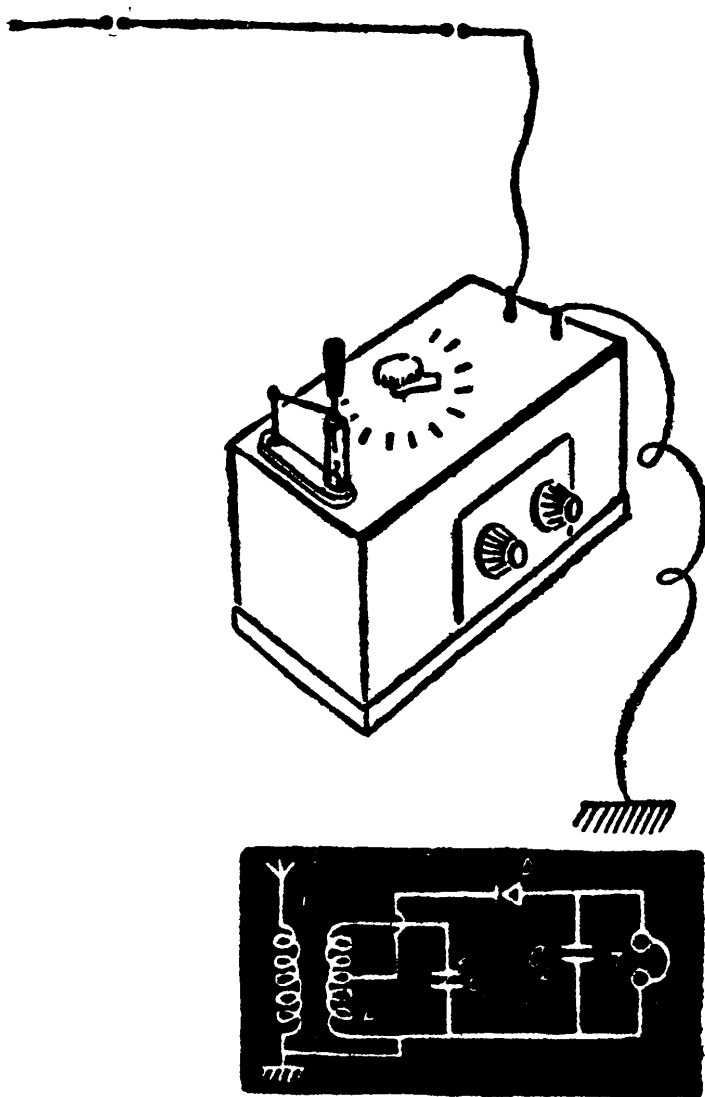
С чего начинает юный радиоловитель?

С детекторного приемника. Предельно прост этот удивительный аппарат. Проволочная катушка, невзрачный камешек детектора, наушники. Вот и вся премудрость.

А какая сказочная сила воплощена в соединении нехитрых деталей!

Расспросите людей старшего поколения, которые своими руками делали первые детекторные приемники. Они скажут: пожалуй, в наши дни новенький телевизор вызывает меньше радости, чем те деревянные ящички.

Вот собранный приемник торжественно водружен на столе. Его создатель залезает на крышу и протягивает длинную, метров в тридцать — сорок, антенну. Идущий от нее провод он подключает к прием-



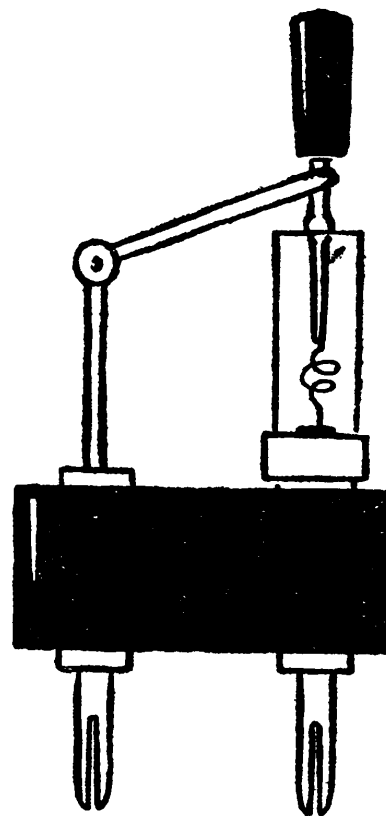
Детекторный радиоприемник.

нику и некоторое время возится с детектором. Упираясь концом упругой пружинки в серебристый кристаллик, помещенный в стеклянной трубочке, надо нащупать на нем чувствительную точку. И как только это удастся, совершается долгожданное «волшебство»: в наушниках звучит музыка или речь.

Кристаллик детектора — это, пожалуй, самый первый полупроводник, нашедший широкое практическое применение. Зачем он нужен?

Радиоволны возбуждают в антенне электрическое поле, быстро меняющее направление. Электрическое поле приводит в движение электроны провода. Они летят в проводе то вперед, то назад. Сотни тысяч раз в секунду происходят такие колебания электронов. Чтобы услышать передачу, нужно словно рассечь пополам эти колебания, пропустить в наушники только те движения электронов, которые направлены в одну сторону. В этом случае переменный ток, как говорят, выпрямляется, превращается в пульсирующий постоянный ток. А в сравнительно медленных изменениях его силы (сотни и тысячи колебаний в секунду) как раз и запечатлены передаваемые звуки. Больше сила выпрямленного тока — значит, сильнее оттягивается электромагнитом стальная мембрана наушника. Слабеет ток — и она отходит от электромагнита. Мембрана вибрирует, передает свои колебания воздуху, и вокруг разносятся звуковые волны.

Такова вкратце сущность действия наипростейшего радиоприемника. Как видим, кроме проводов, здесь требуется всего два устройства: наушники и выпрямитель тока. Детектор и выполняет роль выпрямителя.



Обычный детектор.



## ДЕТЕКТОР РАБОТАЕТ

Кристаллик, который находится в стеклянной трубочке, — полупроводник. Электропроводность его, как мы хорошо уяснили раньше, может быть либо электронной, либо дырочной. Допустим, он наделен электронной проводимостью. Но кристаллик неоднороден. На поверхности его попадаются участки, в той или иной степени засоренные примесями. Есть среди них и такие места, где под влиянием примесей электронный полупроводник превратился в дырочный. А на границе электронной и дырочной областей обязательно возникает знакомый нам запирающий слой — зона, в которой нет ни электронов, ни дырок.

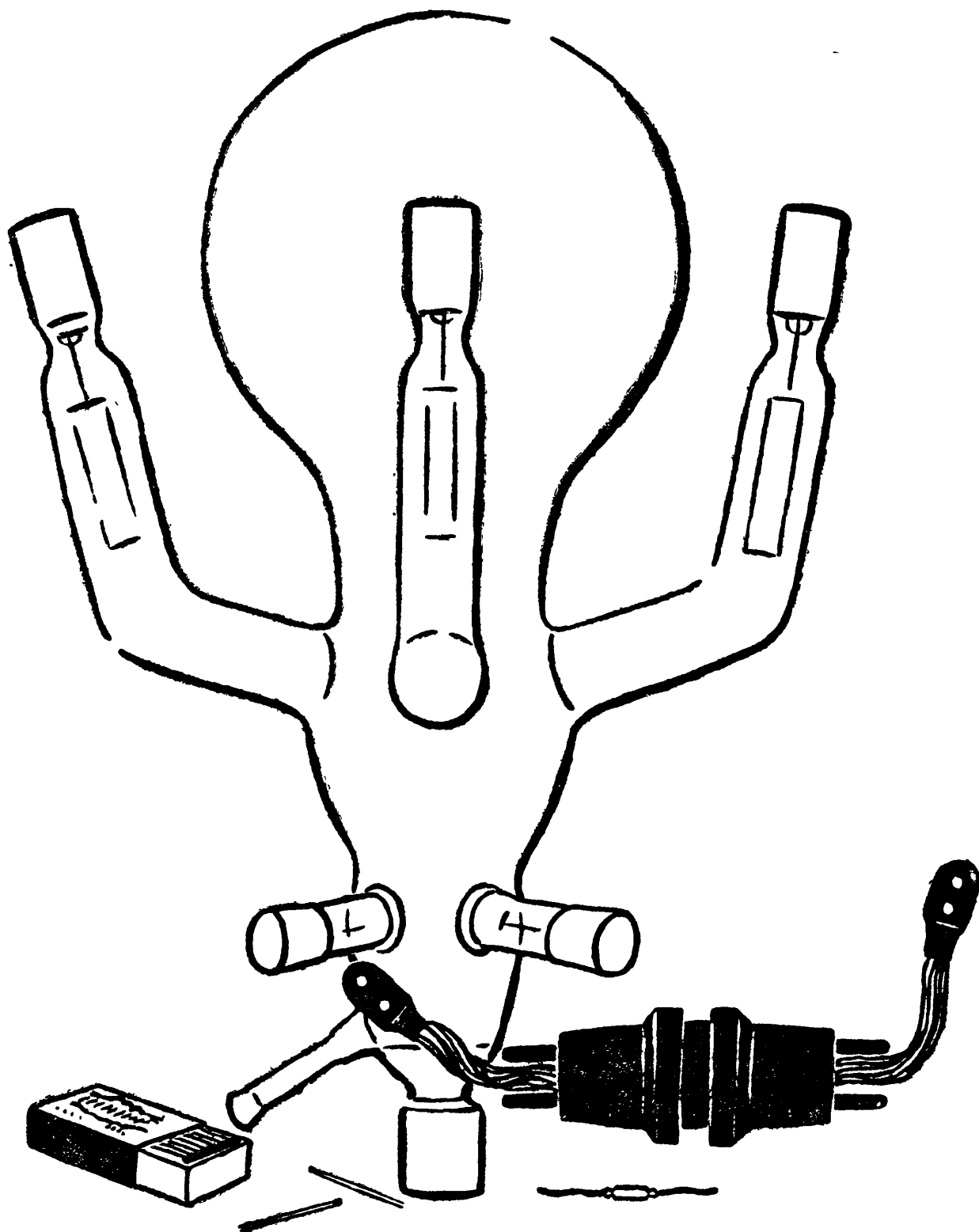
Напомним особенность этого слоя: с одной его стороны как бы стоят на страже электроны-«пограничники». Они отталкивают все свободные электроны в глубь электронной области. По другую сторону границы стоит такая же стража дырок. Они, как вы помните, отталкивают другие дырки в глубь дырочной области. Словом, в запирающем слое возникает пограничное электрическое поле. Оно противодействует продвижению электронов и дырок к границе соприкосновения электронной и дырочной областей полупроводника.

К запирающему слою подведем внешнее электрическое поле. В зависимости от направления оно либо добавит свою силу к силе пограничной стражи в полупроводнике (расширит запирающий слой), либо, наоборот, ослабит и даже сметет прочь электроны и дырки-«пограничники».

А если подвести переменное, то есть меняющееся направление, электрическое поле? Очевидно, запирающий слой будет периодически расширяться и исчезать. Пограничная стража станет то усиливаться, то сниматься вовсе — в такт с изменениями направления внешнего поля. И результат будет такой: в моменты расширения запирающего слоя ток через полупроводник не пойдет (электроны и дырки разбегаются в разные стороны); в моменты же ис-

чезновения запирающего слоя ток через кристалл пойдет (электроны и дырки бегут навстречу друг другу).

Подведем итог. Чувствительная точка детектора — это участок поверхности полупроводника, где носители тока



Ртутная лампа — выпрямитель переменного тока. Прибор этот громоздкий, неэкономичный и хрупкий. Внизу — полупроводниковый германиевый выпрямитель, отличающийся простотой устройства, надежностью, исключительной экономичностью.

иные, чем в остальном кристалле. Значит, под острием пружинки — запирающий слой. Детектор включен в провод, ведущий от антенны к наушникам. Электрическое поле антенны, пронизывая кристалл, то расширяет этот слой, то уничтожает его. И ток через детектор идет лишь в одном направлении — когда электроны и дырки движутся навстречу друг другу.

Нужно сказать, что по этому принципу выпрямляется ток не только в простейшем радиоприемнике. Выпрямители из полупроводников — закиси меди, селена, сернистой меди, а в последнее время из германия — всё шире применяются в технике. Возможности их использования огромны: от простеньких измерительных приборов до радиостанций, электрометаллургических установок, электровозов. И во многих случаях полупроводники-выпрямители оказались наилучшими из выпрямляющих устройств. Их коэффициент полезного действия доходит до 98—99 процентов. Добавьте к этому прочность, надежность, небольшие размеры — и вы поймете, почему производству полупроводниковых выпрямителей уделено особое внимание в Директивах XX съезда партии.

Но вернемся к нашему детектору.

### **ИЗОБРЕТЕНИЕ ОЛЕГА ЛОСЕВА**

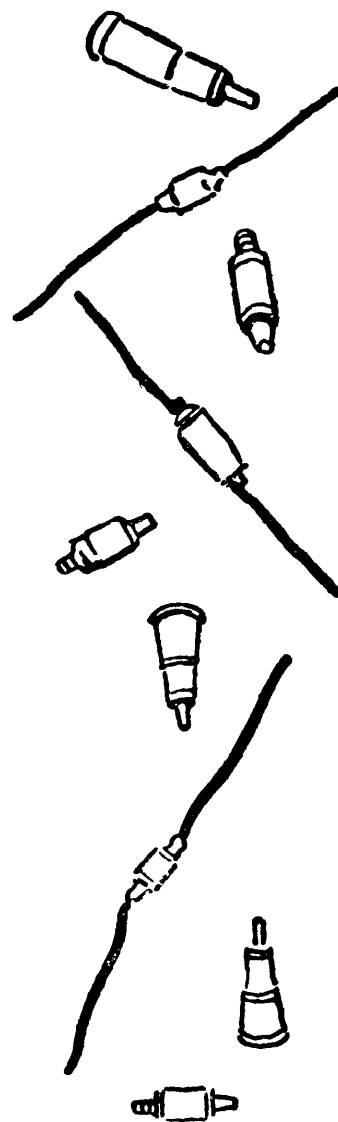
В ту пору, когда появились первые детекторы, они были еще очень несовершенны. Подчас больших трудов стоило найти чувствительную точку. Пружинка с нее то и дело соскакивала. Приходилось снова и снова налаживать приемник. Много изобретательности приложили инженеры, чтобы улучшить детектор.

В 1919 году совершенствованием детектора увлекся молодой радиолюбитель Олег Владимирович Лосев. Мечтая посвятить жизнь радиотехнике, он начал с того, что еще совсем юным поступил рассыльным на первую в на-

шей стране Нижегородскую радиолaborаторию. Здесь заметили любознательного и талантливого юношу. Сотрудники лаборатории помогли ему пополнить образование, и вскоре Лосев приступил к самостоятельной научной работе. Он тщательно исследовал природные минералы, применяемые в качестве детекторов, изучил их электрические особенности и в 1922 году пришел к неожиданному открытию. Молодой ученый доказал, что если особым способом включить в схему приемника два детектора и электрическую батарею, то можно усилить электрические колебания, поступающие в наушники.

Для того времени открытие Лосева было очень важным. Ведь обычный детекторный приемник давал возможность слушать лишь близкие станции. Дальний прием, особенно в городах, где много помех и трудно устроить высокую и длинную антенну, оказывался практически невозможным. А приемники Лосева, которые он назвал *кристаллами*, уверенно принимали передачи сравнительно далеких радиостанций. Изобретатель построил на кристаллах и другие аппараты — генераторы, то есть возбудители электрических колебаний.

Лосев сразу же опубликовал свои открытия, не запатентовав их, не требуя за них никакого денежного вознаграждения. Во многих странах радиолюбители принялись строить приемники по его схемам. Американский журнал писал: «Молодой русский изобретатель передал свое изобретение миру». Французский журнал вторил:



Современные полупроводниковые приборы — наследники первых примитивных детекторов и вакуумных ламп-диодов.

«Научная слава ожидает Лосева. Он обнародовал свое открытие, думая прежде всего о своих друзьях — радиолюбителях всего мира».

Несколько лет имя изобретателя не сходило со страниц журналов, но потом стало появляться все реже и реже. К концу 20-х годов идея его — использовать кристаллы для усиления и возбуждения электрических колебаний — была забыта. Наука еще не созрела для творческого, созидательного развития этого замысла. Теории полупроводников не существовало, искусственно создавать такие вещества почти не умели. Все надежды радиоинженеров сосредоточились на другом новшестве — радиолампах.

### РАДИОЛАМПА РАБОТАЕТ

Радиолюбители старшего поколения хорошо помнят первые годы победного шествия радиоламп. В миллионах радиоприемников, поблескивая стеклом и металлом, гордыми рядами выстроились эти нежные, хрупкие приборы. Какими они казались совершенными по сравнению с примитивными камешками детекторов!

Радиолампам и впрямь было чем гордиться. Ведь с ними мы получили возможность слушать радио без надевших наушников! Именно тогда в наших домах зазвучали первые громкоговорители.

Что же делает радиолампа?

Вспомните, как сегодня утром вы умывались у водопроводного крана. Если кран хорошо отрегулирован, достаточно было чуть его коснуться, и струя заметно уменьшалась или, наоборот, увеличивалась. Ничтожные усилия руки вызывали резкие перемены потока воды.

Нечто похожее происходит и в радиолампе. Там еле уловимые колебания антенного электрического поля изменяют мощный поток электронов.

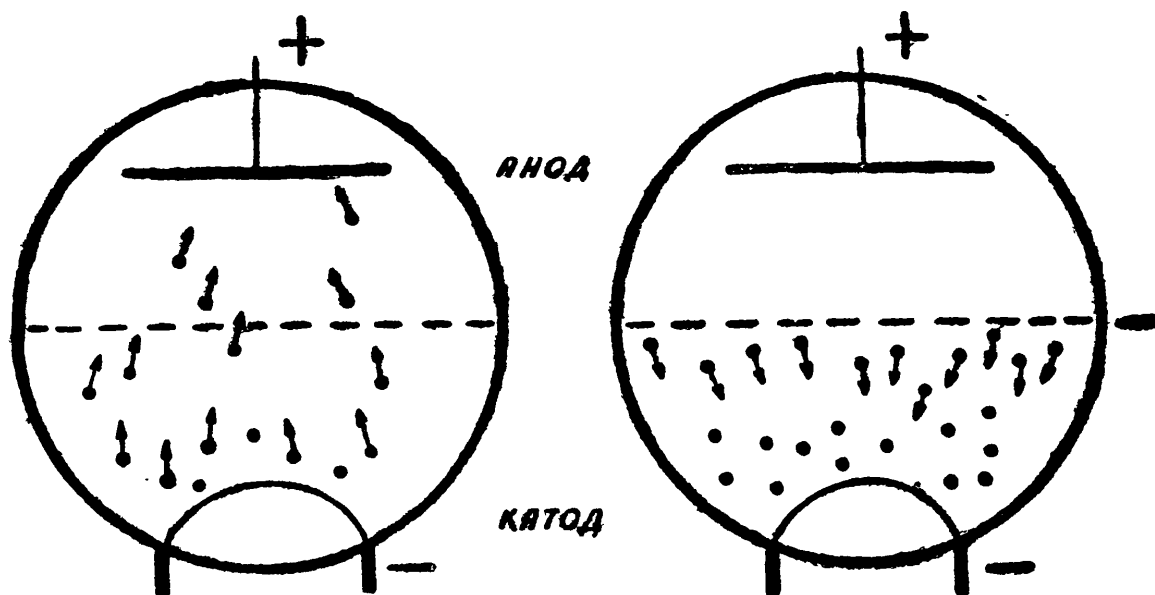


Схема вакуумного триода. Слева — лампа «отперта»; справа — «заперта».

Как это практически осуществляется?

Простейшая радиолампа — стеклянный баллон, освобожденный от воздуха. Заглянув внутрь, мы увидим три изолированных друг от друга металлических электрода: катод, сетку и анод. Катод и анод включены в наружную электрическую цепь с высоким постоянным напряжением. А на сетку подают слабые сигналы антенны.

Тонкая нить катода раскаляется электрическим током. Поэтому из нее вылетают электроны. Подхваченные сильным полем, они немедленно устремляются к аноду. Но на пути электронов — проволочная спираль сетки. Своим небольшим полем она вблизи заметно действует на летящие электроны: либо свободно пропускает их, либо замедляет полет, ослабляя ток, идущий через лампу, либо, наконец, отбрасывает электроны назад к катоду — «запирает» лампу. Все такие перемены электронного потока происходят в такт с изменениями электрического поля сетки. Электронный поток как водяная струя в трубе, а сетка напоминает кран. И как легкие движения крана создают в трубе резкие толчки воды, так и слабые сигналы, уловленные антенной, вызывают в радиолампе заметные импульсы тока.

Сигналы можно усиливать многократно в нескольких лампах подряд. Да и не только усиливать. Радиолампы с двумя электродами (без сетки) выпрямляют переменные токи — играют роль детекторов. Радиолампы, снабженные дополнительными электродами, исключительно тонко управляют потоками электронов. Наконец, в этих приборах нетрудно возбуждать разнообразные электрические колебания.

### ТРИУМФ И КРИЗИС

В руках ученых и инженеров радиолампа стала мощным средством технического прогресса. Непрерывно совершенствуясь, за несколько лет она завоевала всю радиотехнику. Благодаря ей развилось телевидение, появились радиолокация, радионавигация, при ее участии возникли звуковое кино, магнитная звукозапись и множество других замечательных изобретений. Произошла настоящая техническая революция, которая вызвала к жизни новую обширную область знания — *электронику*.

Казалось, и будущее радиотехники неразрывно связано с радиолампами. Однако прошли десятилетия, и постепенно выяснилось, что радиолампы не так уж безупречны.

На полярной зимовке радист терял с трудом налаженную связь — «садилась» очередная лампа. Летчик неудачно приземлял самолет — лампы бортовой радиостанции не выдерживали встряски и портились. В подавляющем большинстве случаев любой радиоаппарат выходил из строя из-за недолговечности ламп. Срок их службы, исчисляющийся сотнями и тысячами часов, перестал удовлетворять технику. И мало-помалу они приобрели репутацию самых ненадежных, капризных элементов радиосистемы.

Потом и размеры радиоламп оказались слишком большими. Ведь не одну сотню, даже не одну тысячу их насчитывают иные современные радиоаппараты. Нелегко кон-

структору компоновать это оборудование так, чтобы оно не занимало слишком много места.

Все это заставило радиоинженеров всерьез подумать о замене радиоламп какими-то другими — компактными и надежными приборами.

Начались поиски новых решений.

### **ЗАЧЕМ НУЖНА ПУСТОТА?**

Любой ламповый радиоприемник, рассуждали ученые, сочетает в себе трудно совместимые конструкционные элементы: твердые тела и... пустоту. Провода, конденсаторы, катушки, сопротивления — все это твердое, все это можно закрепить, сделать прочно, надолго. А радиолампы? Чтобы увеличить стойкость, баллоны ламп выполняют из металла, из специальных пластмасс, керамики. Это, конечно, помогает. Однако главное неудобство — пустота — остается. В ней приходится монтировать сложные электроды, разогревать нить катода. Все там нежное, тонкое, боящееся толчков, тряски.

Казалось бы, пустота незаменима. В ней электронные потоки словно обнажаются, становятся доступными регулировке, попадают во власть слабого электрического поля сетки радиолампы.

Впрочем, только ли в пустоте можно управлять движением электронов?

Что, если попробовать вместо пустоты полупроводниковый кристалл? Надо, очевидно, пропускать через него ток и извне менять электропроводность кристалла. Но каким способом менять ее? Можно ли вообще этого добиться?

От решения этих вопросов зависела судьба всего дальнейшего развития радиотехники.

Так на новой основе возродилась идея О. В. Лосева об усилителях и генераторах на кристаллах.



Конечно, многое в ней изменилось. Применять для такой цели обычные детекторы стало нецелесообразно. Эффект они давали небольшой. Речь шла о создании кристаллического прибора, способного уверенно соперничать с современной радиолампой.

Не сразу нащупали путь решения проблемы. Много было досадных неудач, срывов, сомнений. Но в конце концов ответ был найден: да, проводимостью кристалла можно управлять, можно создать полупроводниковый прибор — заменитель радиолампы. Теорию прибора разработал американский физик Вильям Шокли. Его соотечественники Бардин и Браттейн создали в 1948 году первые образцы приборов, названных *кристаллическими триодами* или *транзисторами*.

Как они устроены? Об этом мы расскажем немного дальше. Прежде — несколько слов о материале, из которого они изготавливаются.

### ПРЕДСКАЗАННОЕ ВЕЩЕСТВО

Делают кристаллические триоды главным образом из полупроводника германия. Мы уже упоминали о применениях этого вещества, сыгравшего огромную роль в развитии физики и техники полупроводников. С ним связана и другая интереснейшая страница истории естествознания.

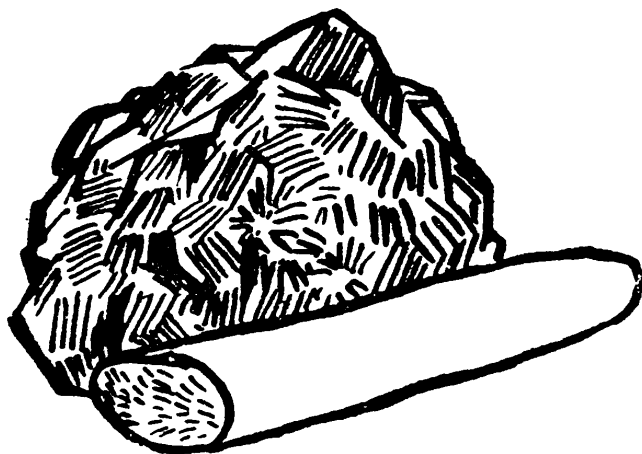
В 1869 году, когда Дмитрий Иванович Менделеев создавал свою знаменитую периодическую систему, о существовании германия никто не подозревал. Но гениальный химик по чисто теоретическим соображениям предсказал его открытие. Ученый отвел ему место в своей многоэтажной таблице и даже описал заранее, какими могут быть его основные свойства. Согласно периодическому закону, это неведомое в ту пору вещество должно было во многом походить на известный элемент кремний. Менделеев по-

этому присвоил ему условное название экасилиций (силиций — латинское название кремния, а приставка «эка» на санскритском языке означает «сходный»).

Спустя шестнадцать лет замечательное предвидение сбылось. Немецкий исследователь Винклер отыскал в одном из природных минералов экасилиций и дал ему имя своей родины. То был подлинный триумф научной мысли.

«Едва ли, — писал Винклер, — можно найти более поразительное доказательство справедливости учения о периодичности... Это не просто подтверждение смелой теории; здесь мы видим... мощный шаг в области познания».

Практического применения вновь открытый элемент сначала почти не получил. Долгое время его серебристо-серые блестящие кристаллы служили лишь уникальными экспонатами в химических коллекциях. Зато за последние годы германий стал важнейшим техническим материалом. И венца славы он достиг, как только стал основой кристаллических приборов — заменителей радиоламп.

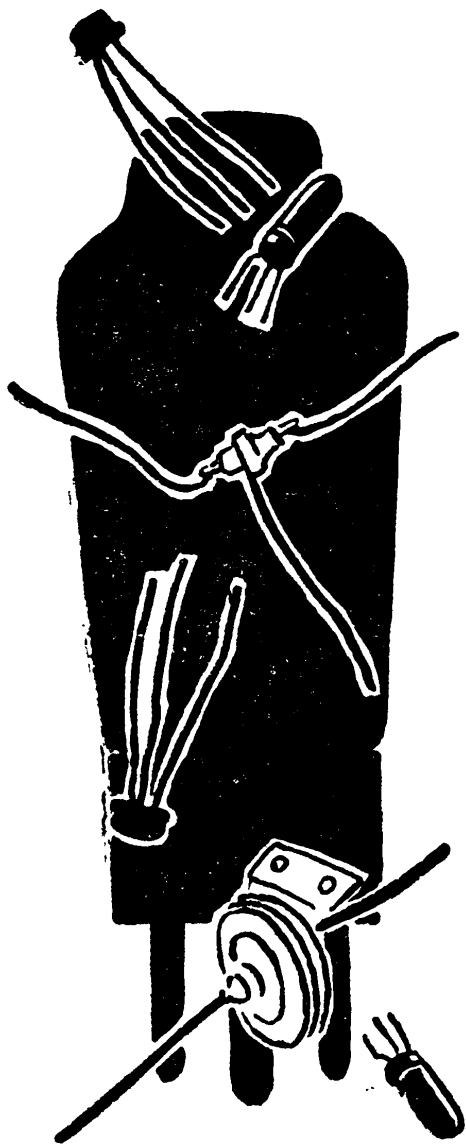


Кристаллический элемент германий — важнейший полупроводник. Впереди — монокристалл германия.

## ПОЛУПРОВОДНИК-УСИЛИТЕЛЬ

Вот он перед нами — германиевый триод, кристаллик, идущий на смену пустоте, на смену стеклянному пузырю радиолампы. Он похож на крошечный, величиной с горошинку, грибок. Из шляпки тянутся три проволочки.

Вскройте его, и вы убедитесь, что даже в столь миниатюрном устройстве подавляющая часть объема занята



Полупроводниковые триоды. Насколько они меньше радиолампы!

корпусом, оболочкой. А сам кристалл еще в десятки раз меньше.

Разберемся, как устроен прибор, как управляет он потоками электронов.

На металлической подножке, которую называют *базой*, покоится кристаллическая пластиночка германия с электронной проводимостью. На верхней поверхности кристалла специальной обработкой создана область с дырочной проводимостью. Между дырочной и электронной областями, как всегда в подобных случаях, возникает запирающий слой. К поверхности кристалла присоединены рядом концы двух тончайших платиновых проволочек. Одна из них называется *эмиттером*, другая — *коллектором*.

Эмиттер, коллектор и база — три электрода кристаллического усилителя. Они соответствуют катоду, аноду и сетке радиолампы.

Но в усилительную схему кристалл вводится не так, как радиолампа.

Источник управляющих сигналов включается между базой и эмиттером. Включение делают с таким расчетом, чтобы запирающий слой не служил препятствием для управляющих сигналов (электрическое поле сигналов направляют против электрического поля запирающего слоя).

Источник тока сравнительно высокого напряжения, которым нужно управлять, подводят через сопротивление к коллектору и базе. Но его включают в противоположном направлении, чтобы запирающий слой не пропускал тока.

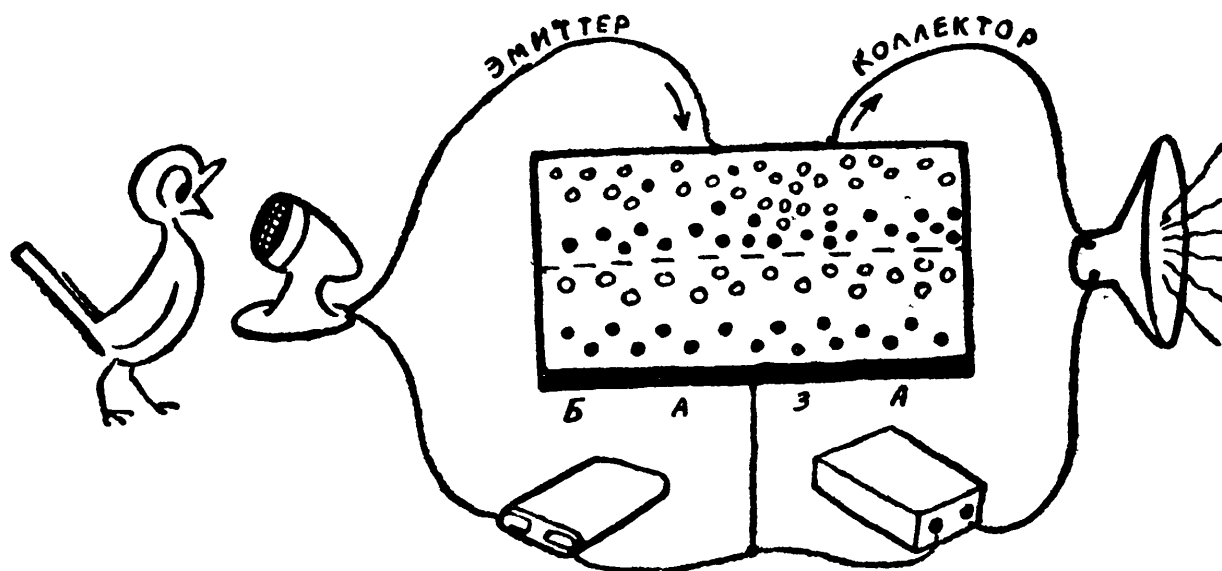


Схема полупроводникового триода.

Схема готова. Подадим управляющий сигнал.

Через проволочку эмиттера в дырочную область кристаллика входит импульс электрического поля. Он прорывает брешь в запирающем слое и увлекает туда дырки. Таким образом, дырки как бы впрыскиваются эмиттером в электронную область кристаллика. Недолго блуждая в кристалле, они успевают попасть под проволочку коллектора. А когда запирающий слой на мгновение обогащается здесь дырками, он делается электропроводным и для тока высокого напряжения, включенного между базой и коллектором. Толчок этого тока пролетает через запирающий слой в «запретном» направлении. Это немедленно сказывается на состоянии внешней цепи прибора. Там возникает усиленный сигнал. Он тем значительнее, чем ближе расположены на кристалле концы проволочек эмиттера и коллектора.

### ДОРОГУ КРИСТАЛЛАМ

Итак, мы усилили слабый электрический сигнал при помощи кристалла, обошлись без радиолампы. Кристалл надежен. Он тверд и прочен. Он не лопнет, не разобьется, как стеклянный баллон.

Специальная обработка германиевых кристаллов позволяет создать так называемые плоскостные полупроводниковые триоды. В них кристалл разделен на три сравнительно крупные области электронной и дырочной проводимости.

Плоскостные триоды не нуждаются в тончайших проводочных вводах, поэтому они еще прочнее и долговечнее. Кроме того, они способны пропускать через себя более значительные токи, устойчивее работают.

Полупроводниковые усилители отличаются и еще одним замечательным свойством — экономичностью. Ведь в них не нужно тратить энергию на разогрев катода, на создание сильного электрического поля. Если коэффициент полезного действия радиолампы составляет доли процента, то в кристаллических триодах он достигает до 50—60 процентов.

Во всем этом огромный выигрыш. Однако есть у полупроводниковых приборов и недостатки.

Тончайшие вводы и слои, ничтожные расстояния между электродами — все это, казалось бы, должно делать кристаллический триод исключительно быстродействующим, способным усиливать чрезвычайно частые электрические колебания. На самом деле как раз наоборот. В твердом теле, в кристалле электроны не столь свободны, как в пустоте радиолампы. Они как бы стеснены в возможностях изменять свое движение, и поэтому сверхвысокие частоты электрических колебаний, столь важные в современной радиотехнике, кристаллическим приборам пока недоступны.

Во многих странах физики стремятся сделать полупроводниковые устройства более «поворотливыми», быстродействующими. На этом пути достигнуты некоторые успехи. Довольно «расторопны», например, триоды, в которых наружная поверхность электронная, а сам кристалл дырочный. Тогда в запирающий слой эмиттер впрыскивает электроны, а они почти вдвое подвижнее дырок. В резуль-

тате процессы, о которых мы говорили, совершаются гораздо быстрее. Современные кристаллические триоды такого типа успевают усиливать каждую секунду до десяти миллионов электрических колебаний.

Появились и еще более совершенные кристаллические усилители — *тетроды* — с четырьмя областями полупроводников разной проводимости. Среди кристаллов — это рекордсмены по скорости действия. Они возбуждают или усиливают десятки, сотни, даже тысячи миллионов электрических колебаний в секунду. Более же частые колебания остаются и, очевидно, останутся областью вакуумной электроники.

Есть и другие недостатки у новых приборов. На кристаллах пока не удается делать аппаратуру большой мощности. Германий сильно меняет свойства при нагревании. Повышение температуры германиевые усилители переносят с трудом. Вот почему в последнее время все чаще предпочитают делать кристаллические приборы из кремния. Они менее капризны.

Правда, здесь возможен любопытный выход: заключать крошечные кристаллические усилители в столь же миниатюрные полупроводниковые электрохолодильники (о них вы читали выше — в главе «Погоня за теплом»). Такие опыты ставятся и дают хорошие результаты.

Все же иногда случается, что кристаллический усилитель, несмотря на всяческие меры предосторожности, без видимых причин вдруг меняет свойства. Не всегда приборы одного типа работают одинаково. Причина здесь одна: недостаточно изучены особенности полупроводниковых устройств, не разработана до конца технология их производства. Поэтому совсем неверно думать, что всюду радиолампы сразу сменятся полупроводниками.

Полупроводники оказываются весьма полезны и в развитии вакуумной электроники. Из них вырабатывают новые высоко эффективные источники электронов для радиоламп, устройства, поджигающие разряд в ртутных

выпрямителях, и многое другое. Не вражда, а дружеское соревнование разворачивается между полупроводниками и вакуумными приборами.

В обеих областях впереди большой исследовательский труд, поиски новых систем, новых конструктивных решений. Замечательными изобретениями обогащается вакуумная электроника. Вместе с тем с каждым годом совершенствуются полупроводниковые радиоприборы. Огромная армия ученых, инженеров, радиолюбителей неустанно работает, своим трудом прокладывая дорогу кристаллам.

### **ПРОИЗВОДСТВО ПОД МИКРОСКОПОМ**

В кристаллическом приборе все компактно и просто. Но нелегко дается эта простота. Филигранный труд вложен в миниатюрный полупроводниковый усилитель.

Сначала германиевую болванку на специальном станке распиливали алмазной пилой на тончайшие пластинки. Их и в руку не возьмешь — так они малы. Тем не менее их сортировали, очищали химическими растворами. Глядя в микроскоп, к кристаллику присоединили почти невидимые усики проводов, а противоположные концы припаяли к проволочкам потолще. Потом покрыли прибор защитным лаком, заключили в корпус, все пустоты заполнили особой пластмассой. Некоторые операции приходилось вести в безвоздушной среде, а правильность сборки то и дело контролировать электрическими измерениями. Но и этим дело далеко не завершается. Много еще придется повозиться с полупроводниковым усилителем, прежде чем он будет окончательно готов.

Такая ювелирная работа почти вся выполняется вручную. И легко представить себе, каким огромным опытом, каким тонким мастерством должны обладать сборщики полупроводниковых радиоприборов.

Инженеры и ученые добиваются сейчас механизации и

даже автоматизации производства кристаллических диодов и триодов.

Вместо алмазной пилы для резки германия и кремния стали применять ультразвук. Лезвие безопасной бритвы, приделанное к часто вибрирующему стержню ультразвукового генератора, входит в хрупкий кристалл, как столовый нож в масло. А обычным способом обработать иной кристаллический полупроводник так же трудно, как, скажем, выпилить узорную звездочку из чайного сухаря. Ультразвук здесь экономит материалы (получается несравненно меньше опилок, не нужен драгоценный алмаз), ускоряет работу, а главное — открывает возможность ее механизации.

Применяется и оригинальный способ электрохимической обработки кристаллов. Для некоторых видов плоскостных полупроводниковых триодов нужно получать необычайно тонкие (0,005 миллиметра) пластинки германия. Никакой механической отделкой их не получишь. Но выход все же был найден.

На кристаллическую пластинку германия направляют с двух сторон тонкие струи травящего раствора. Они одновременно играют роль проводов: через них сквозь слой полупроводника пропускается электрический ток от батареи. Полторы — две минуты кристалл разъедается этим электрохимическим способом. С двух сторон в пластинке германия образуются лунки, между которыми остается тончайшая пленка полупроводника.

Затем поверхность пленки таким же электрохимическим способом покрывают слоями металла.

Во время обработки нужно постоянно и исключительно тонко регулировать силу тока в струях раствора и в полупроводнике. Регулировку ведут световым лучом, направленным на пластинку германия. Ведь этот полупроводник значительно повышает свою проводимость при освещении. Сильнее направленный на него свет — и больше электропроводность пластинки; следовательно, и ток,



текущий через него и струи травящего раствора увеличиваются.

При производстве плоскостных триодов применяют также явление диффузии — медленное проникновение атомов одного вещества в толщу другого.

Предлагаются также и другие удивительные приемы изготовления кристаллических радиоприборов.

Некоторые ученые считают, что, вероятно, можно будет наращивать кристаллы с различными слоями. По мнению ряда специалистов, в одном крошечном кристаллике удастся создавать целые радиоэлектронные системы — подобно тому, как давно уже химики получают из растворов обычные кристаллы. Радиоприемник, построенный в колбе или в тигле химическим путем! Что может быть поразительнее!

Появляются и своеобразные машины-ювелиры для сборки кристаллических усилителей. Техника идет к тому, чтобы производство полупроводниковых приборов стало по-настоящему массовым, чтобы они были еще миниатюрнее. Инженеры сейчас всерьез говорят о создании матрицы объемом в детский кубик с *тысячью* кристаллическими триодами. И не только говорят, но и упорно работают над этой проблемой.

### НОВЫЕ ЗАДАЧИ

Большое открытие никогда не остается изолированным. Оно выдвигает новые задачи, питает изобретательскую мысль в смежных областях. Это особенно хорошо видно на примере внедрения в радиотехнику полупроводников.

Как только были созданы первые образцы кристаллических усилителей, стало ясно, что размеры радиоаппаратов могут быть резко уменьшены. Но тут же возник вопрос: а антенна? Неужели она останется такой же длинной, как и раньше? Или, скажем, индукционные катушки, конденсаторы? Ведь если их не уменьшить, получится диспро-

порция — и не только в размерах деталей, но и в их техническом уровне. В самом деле, ставить громоздкую проволочную катушку рядом с крошечным, идеальным по простоте и совершенству полупроводниковым усилителем — это, пожалуй, все равно, что освещать свечами поезд метрополитена. Так назрела задача: преобразовать буквально все радиодетали, перевооружить всю практическую радиотехнику.

И снова здесь пришли на помощь полупроводники, в первую очередь — материалы, называемые *ферритами*.

Каждый видел подкову магнита. Вы найдете ее в громкоговорителе, в любом электрогенераторе, в магнето автомобиля. Постоянные магниты имеют серьезный недостаток — они тяжелы. Чтобы облегчить их, металловеды разработали специальные сплавы. Некоторые из них весьма ценны. Но металл все же очень легким не сделаешь.

Отметим и другую особенность металлических магнитных материалов: они отлично проводят электрический ток. Это свойство в ряде случаев применяется с пользой — например, при высокочастотной закалке. Переменное поле разгоняет в металле электроны. Там возникают вихри электрических токов, которые быстро повышают температуру. Здесь это и требуется. Зато в других случаях нагрев вреден.

Возьмем, к примеру, сердечник трансформатора. Его совсем не нужно греть. Ведь на это уходит лишняя энергия. К тому же вихревые токи не дают магнитному металлу быстро размагничиваться и намагничиваться, тормозят такие процессы. А в современных радиоаппаратах часто необходимы весьма «поворотливые» магнитные вещества.

Много труда положили электрики и радиотехники, чтобы избавиться от вихревых токов. Сердечники трансформаторов, дросселей, катушек решили набирать из тонких железных пластинок, покрытых изоляционным лаком. Делали такие сердечники из изоляционной массы со вкрапленными в нее железными опилками. Пользу это кое-ка-

кую приносило, но хотелось большего. Идеально было бы найти легкие магнитные вещества, почти совсем не проводящие электрический ток.

Именно такими оказались ферриты.

## КЕРАМИЧЕСКИЕ МАГНИТЫ

Вид у ферритов совсем будничной. Серо-черные невзрачные пластинки, колечки, стерженьки. Сделаны они из самых обычных, широко распространенных в природе веществ — из окислов железа и некоторых других металлов. Обыкновенная руда магнетит тоже относится к ним.

Еще в прошлом столетии химики знали состав подобных соединений, их внутреннюю структуру, основные свойства. Казалось, наука давно взяла от них все, что они могут дать человеку.

Но в действительности вышло иначе. Несколько лет назад за исследование ферритов взялись физики. Они стали их размалывать в порошок, смешивать в разных пропорциях, прессовать, обжигать, спекать. И выяснилось, что, если такие материалы специальным образом обработать, они приобретают разнообразные и очень ценные сочетания электрических свойств с магнитными.

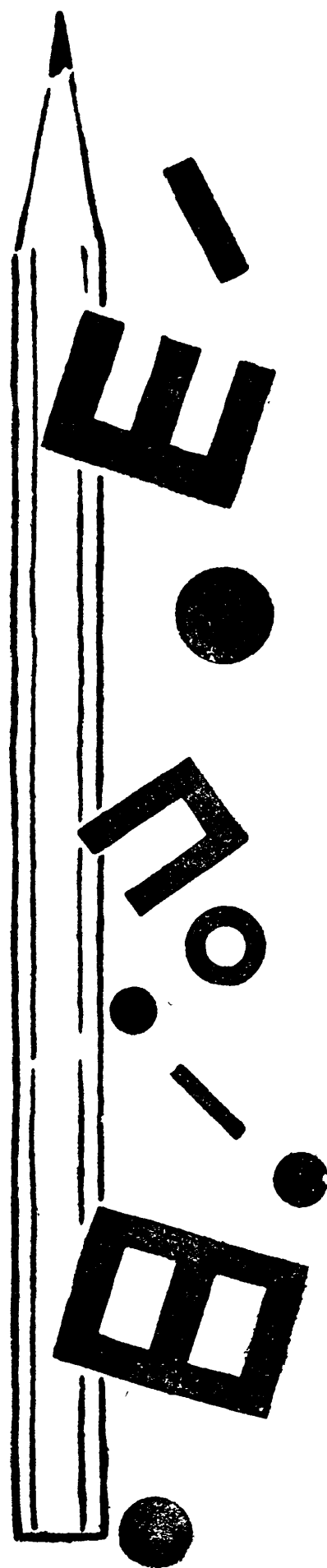
Есть среди ферритов материалы, которые молниеносно намагничиваются даже в слабом магнитном поле и также быстро меняют намагниченность в такт с переменами магнитного поля. Обмотанный проволокой стерженок из такого материала может служить отличной антенной.

Такие стерженьки можно увидеть сейчас во многих новых радиоприемниках и телевизорах. Антенны настолько невелики, что их монтируют прямо в корпусе. Например, приемник «Дорожный» оснащен антенной длиной в карандаш. Она заменяет много метров металлической проволоки. Магнитная ферритовая антенна может быть даже величиной со спичку!

Ферритовые сердечники для катушек, трансформаторов, дросселей—чудесный подарок радиотехнике. Имея такой сердечник, уже не нужно ухищряться в борьбе с вихревыми токами, заботиться о скорости перемагничивания. Трудно поверить, что крошечная спиралька из электропроводящего вещества, нанесенная кисточкой на ферритовую пластинку (иначе говоря, нарисованная), будет играть в приемнике ту же роль, какую обычно играет громоздкая индукционная катушка из проволоки.

Конечно, спиральку можно не только нарисовать, но и напечатать. Нетрудно напечатать и соединительные проводники и такие детали, как сопротивления (их, кстати, теперь удается делать размером в точку, которую оставляет на бумаге остро отточенный карандаш). Наконец, даже конденсаторы удается печатать, только не на феррите, а на пластинках из других веществ — сегнетоэлектриков, например из так называемых *титанатов бария*.

Титанаты бария и другие подобные вещества — это тоже замечательные материалы современной радиотехники. Несколько лет назад их ценные свойства раскрыл советский физик член-корреспондент Академии наук СССР Б. М. Вул. Применяя их, удается делать крошечные кон-



денсаторы — вариконды — с необычайными свойствами, создавать миниатюрные антенны и другие устройства, которые значительно упрощают радиоаппаратуру.

Внедрение кристаллических диодов и триодов, ферритовых деталей, варикондов, показывает, что даже сложные радиосистемы — целые радиопередатчики или радиоприемники — можно довести до ничтожных размеров. Открывается возможность создавать их целиком своеобразным типографским способом, подобно тому, как выпускаются открытки или почтовые марки.

### ПИТАНИЕ КРИСТАЛЛОВ

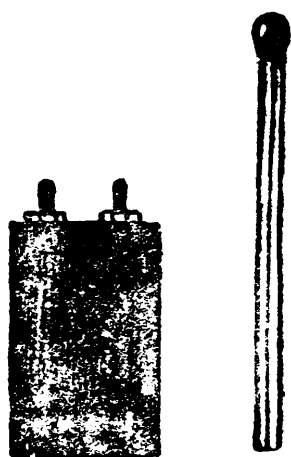
Любой радиоаппарат надо питать энергией. На работу домашнего приемника уходят десятки ватт. Их берут из осветительной сети, от батарей, в последнее время от знакомых уже нам термоэлектрогенераторов.

А если радиоприемники получат размер почтовой марки и будут попросту пришиваться к лацкану пиджака? Неужели их тоже придется включать в сеть или присоединять к тяжеловесным громоздким батареям?

Нет, такие источники питания для миниатюрного полупроводникового радиоаппарата не нужны. Энергии ему потребуется в десятки, сотни, даже во многие тысячи раз меньше, чем обычным современным радиоустройствам. Поэтому ему хватит маленькой батарейки, которые, кстати, теперь научились делать емкими и долговечными.

Вот одна из них — она вдвое меньше спички. Вес ее — 5 граммов, срок службы — больше года. Есть батарейки двухгодичного срока службы величиной с пуговицу. Существуют также крошечные аккумуляторы.

Пожалуй, еще интереснее так называемая атомная батарея. Срок ее непрерывного действия — более двадцати лет.



Устройством атомная батарея напоминает полупроводниковый вентильный фотоэлемент, только источником энергии в ней служит не свет, а радиоактивное излучение. На кристалл кремния, в котором особой обработкой созданы электронная и дырочная области, нанесен слой радиоактивного стронция — вещества, которое нетрудно получить в атомном котле. Претерпевая распад, атомы стронция испускают так называемые бета-лучи, то есть попросту поток электронов.

Каждый из них, попадая в полупроводник, освобождает в нем около двухсот тысяч электронов проводимости.

Такую батарею можно вмонтировать в радиоприемник прямо при его изготовлении, и она будет служить, пока приемник не устареет (можно ручаться, что за двадцать лет это произойдет наверняка).

Впрочем, полупроводниковые радиоаппараты иногда обходятся и вовсе без батарей. Энергию им могут давать, например, вентильные фотоэлементы — ловушки света. Недавно карманный «солнечный» радиоприемник с четырьмя кристаллическими усилителями построен инженерами одной из американских фирм. Стоит некоторое время подержать его на свету, и он потом может пятьсот часов работать в полной темноте. Вес этого приемника — 280 граммов.

Наконец, радиолюбители придумали и другой удивительный способ безбатарейного питания радиоаппарата. Крошечной полупроводниковой радиостанции дает электроэнергию... голос человека — тот самый звук, который передается по радио.

Вы говорите в микрофон. Там звуки голоса преобразуются в импульсы электрического тока. Некоторая доля энергии полученного пульсирующего тока поступает в радиопередатчик для усиления и преобразования в радиоволны. А другая доля микрофонного тока сглаживается в специальном устройстве и идет на питание этого же пере-

датчика, а заодно и приемника, воспринимающего ответные радиосигналы. Звук с помощью полупроводниковых кристалликов словно сам себя переделывает в радиоволны. Вся эта система необычайно компактна: радиостанция умещается в корпусе микрофона.

### МИКРОРАДИОТЕХНИКА

Спросим радиоинженера — энтузиаста полупроводников:

— Каких же наименьших размеров могут достичь радиоаппараты на кристаллах?

Инженер пожмет плечами:

— В наши дни специалисты не удивятся, прочитав сообщение о радиоприемнике величиной с пшеничное зернышко!

Восхищаясь этим чудом, этим поразительным достижением науки, мы вместе с тем невольно задумаемся о возможностях его практической службы. И если уж заходит речь о приемнике с пшеничное зерно, возникает вопрос: зачем все-таки такой микроскопический радиоаппарат? Он годится разве для радиофикации муравейников, похож на безделушку, вроде стальной блохи, которую описал Лесков в рассказе «Левша». Помните, крохотная «сориночка», которую надо было завести ключиком, и тогда она принималась танцевать. Если радиоаппарат-малютка под стать лесковской блохе, то какая от него польза? Ровно никакой.

Конечно, вовсе не к предельному уменьшению радиоустройств стремится радиотехника на полупроводниках. Задача не в том, чтобы ставить рекорды миниатюрности, а в том, чтобы в удобные объемы вмещать самое совершенное оборудование.

Каково оно?

Не такой уж редкостью стал сложный радиоприемник

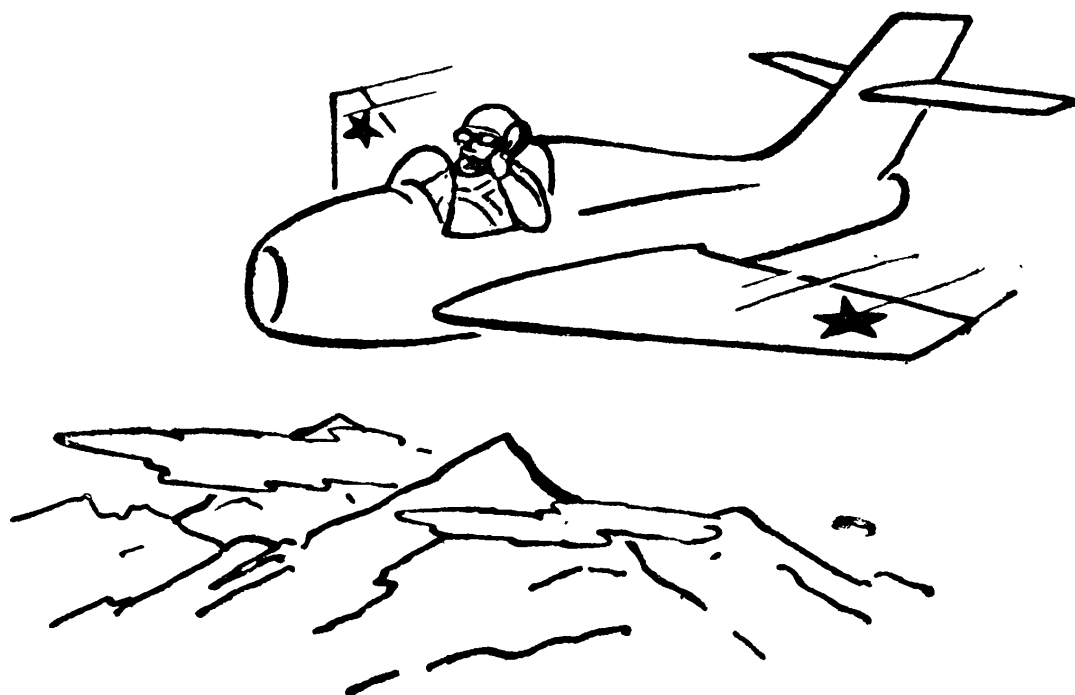
величиной с портсигар. Вы кладете его в карман и слушаете радио по пути на работу в троллейбусе.

Приемно-передающую радиоустановку на кристаллах удастся уместить в спичечной коробке. Это отличное подспорье, например, в спорте. Парашютист, впервые бросившийся с самолета в воздушную бездну, разговаривает со своим опытным товарищем, находящимся на земле, выслушивает его спокойные советы. Тренер дает по радио указания лыжнику-слаломисту, пловцу, бегуну.

А как полезны такие миниатюрные радиостанции в строительном деле! Бригадир каменщиков сможет постоянно поддерживать связь с машинистом подъемного крана. Не нужно будет надирать голос криком, уйдут в прошлое возгласы «майна», «вира», отпадет необходимость в рупорах.

Дальше — новые возможности. Представьте себе телефонный аппарат будущего. Это либо маленькая пластинка в кармане пиджака, либо, скажем, специально оборудованная авторучка: с одной стороны микрофон, с другой — наушник вроде желудя.

Вечером вы прогуливаетесь по берегу реки. Вдруг из кармана раздается резкий писк. Это вызов. Оказывается, брат, который летит над Кавказским хребтом, решил по-





делиться с вами своими впечатлениями от красот пейзажа, проходящего под крылом самолета. По дороге домой еще вызов. Бабушка приглашает вас к чаю.

Для телефона станут лишними провода. Ультракороткие радиоволны свяжут наши квартиры, заводы и учреждения с автомобилями и самолетами, с железнодорожными поездами и пешеходами. Человек сможет вести телефонные переговоры в любом месте, в любое время, с любым пунктом. Эта проблема в наши дни всерьез обсуждается на страницах специальных журналов. Есть уже и общепринятый термин для такой связи — «всеобщая».

### РАДИОСТАНЦИЯ В МЯЧЕ

Как вы думаете, можно ли радиопередатчиком играть в футбол?

— Вопрос человека, который выжил из ума, — скажете вы.

Оказывается, ответ этот слишком поспешный.

Полупроводниковые радиоаппараты делают теперь настолько прочными и надежными, что их можно приделать к крышке мяча, не рискуя, что от ударов футболистов аппараты выйдут из строя. А какая польза от этого? Зачем нужна радиостанция в мяче?

В Америке распространена спортивная игра гольф. По маленькому твердому мячу бьют палкой — он подскакивает, катится, попадает в лунки, но иногда теряется в траве, в кустах. Игрокам подчас приходится подолгу искать его. И вот, чтобы ускорить поиски, чтобы мячи не пропадали, в них предложили ставить радиопередатчики на полупроводниках. Как туго ни приходится мячу, радиопередатчик в нем действует не переставая. Он излучает радиосигнал, который можно уловить приемником с направленной антенной, вделанными в палку игрока. Если

мяч потерялся, игрок прикладывает к уху радиопалку и без труда находит направление, откуда слышится «голос» пропавшего мяча. Теперь найти его совсем легко.

Правда, это применение полупроводниковых усилителей носит скорее рекламный, чем практический характер. С той же целью радиопередатчики на кристаллах монтируют в обыкновенном слесарном молотке. Можно как угодно стучать молотком, аппарат не перестанет работать.

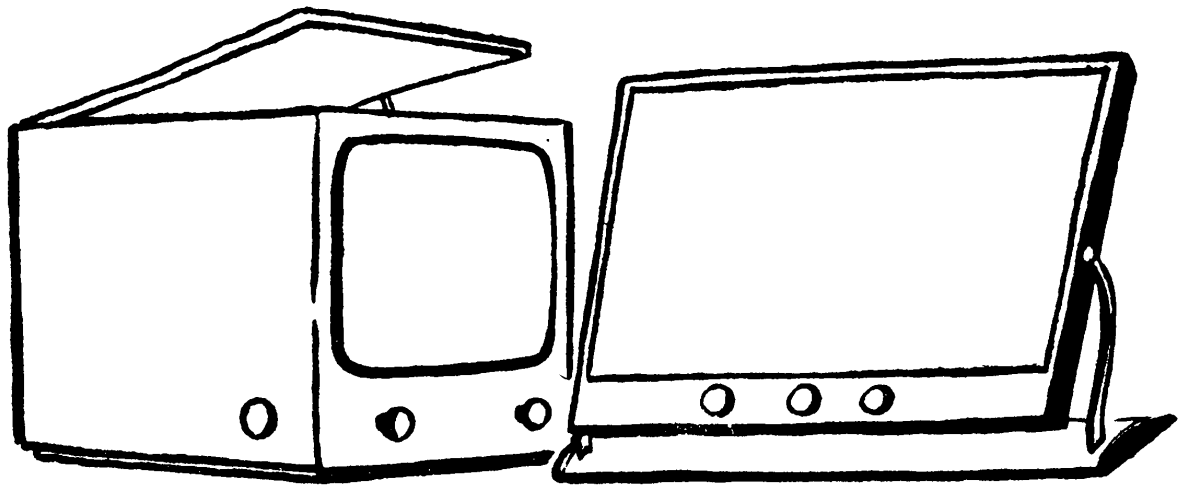
Подобных радиотехнических курьезов, игрушек на полупроводниках, делают сейчас немало. Они дают особенно наглядное представление о величайшей практической ценности кристаллических диодов и триодов. Аппаратура, которую мы привыкли считать нежной и хрупкой, приобретает прочность камня. Ее можно устанавливать в высотной ракете, даже в артиллерийском снаряде — для изучения его полета. В самой беспокойной обстановке она будет служить безотказно.

Каким незыблемо прочным становится с приходом полупроводников радиооборудование самолетов, вертолетов, кораблей. Не страшны уже самые резкие удары, самая сильная тряска!

Мы привели лишь несколько примеров замечательной службы полупроводниковой радиотехники. Может быть, они и не самые показательные.

Но сейчас еще очень трудно предвидеть все богатейшее многообразие возможностей применения полупроводников в этой области. Чуть ли не каждый день приносит вести о новых находках, новых решениях.





На рисунке справа — возможный облик телевизора, собранного целиком на полупроводниках. Вместо электронно-лучевой трубки в нем будет применен своеобразный плоский светящийся экран с металлической сеткой.

Строят звукозаписывающие аппараты величиной с чернильницу. Создается телевизор без вакуумной трубки, с плоским экраном. Его можно будет повесить на стену, как картину, или положить на стол, словно перекидной календарь. Когда-нибудь появятся и карманные телевизоры — видеотелефоны на манер записной книжки.

### МУЗЫКА ЗАВТРА

Рояль изобретен около двухсот пятидесяти лет назад. Скрипка, виолончель, разнообразные медные и деревянные трубы созданы еще раньше.

За века все они достигли высшего совершенства. Можно с уверенностью сказать: красивее звука, чем в современных музыкальных инструментах, из струн, язычков и вибрирующих воздушных столбов не извлечешь. Но значит ли это, что невозможно создать более красивые звучания? Конечно, нет. За последние десятилетия появились энтузиасты новой музыки — электрической. Они построили немало инструментов, обладающих чудесными, неизвестными прежде голосами. Электрические колебания там рож-

даются, преобразуются, усиливаются в радиолампах. Поэтому всем электромузыкальным инструментам присущ недостаток ламповых радиоприемников: они недолговечны, тяжелы, громоздки. Например, одноголосый инструмент эмиртон весит около 90 килограммов. Слишком много!

Сейчас энтузиасты электрической музыки горячо взялись за освоение полупроводников. Первые электроорганы с кристаллическими генераторами и усилителями уже построены. Пройдет несколько лет — и в наших домах, в парках, на улицах зазвонят чудесные электрические трубы, колокола, струны. Композиторы станут создавать не только партитуры, но и новые тембры. Появятся легкие и надежные электромузыкальные инструменты, доступные каждому, не требующие для освоения многих лет ученья.

Обогащенная наукой, музыкальная культура станет еще ближе народу.

### **КРИСТАЛЛЫ-ВЫЧИСЛИТЕЛИ**

Вершина современной электроники — это, бесспорно, вычислительные устройства. Они производят сложнейшие математические расчеты, управляют машинами, переводят тексты с одного языка на другой, решают шахматные задачи. Человек дает машине «поручение», а она потом сама за несколько часов или даже минут выполняет титанический вычислительный труд — труд, на который ушли бы долгие годы работы многих сотен людей.

Электронные вычислительные машины необычайно сложны и громоздки. Они занимают огромные залы, иногда целые здания. И каждая насчитывает тысячи радиоламп. Нетрудно понять, какой замечательный эффект дает здесь применение полупроводников. Счетные машины на кристаллах требуют в несколько раз меньше места, значительно легче, несравненно экономнее в потреблении

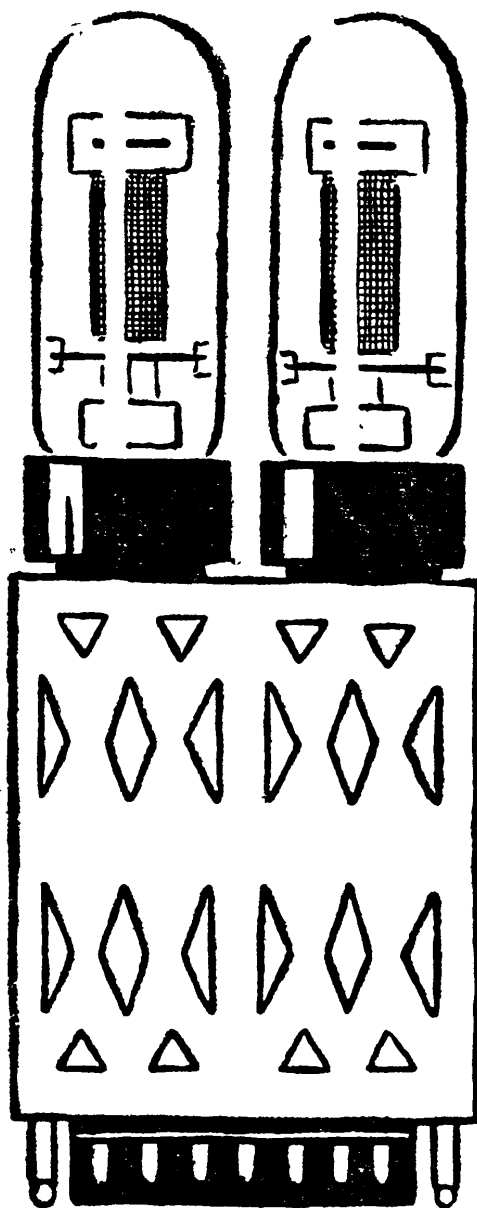
энергии, а главное — надежнее. Трехмиллиметровое ферритовое колечко, пересеченное несколькими тонкими проволочками, может заменить в счетной машине сразу пару радиоламп и несколько других деталей. Ферриты иных типов играют роль своеобразных ячеек памяти электронного счетного устройства.

В будущем, несомненно, появятся настольные, а может быть, и карманные вычислительные машины на полупроводниках. То будут средства подлинно всесторонней механизации уже не только физического, но и умственного труда человека.

Электронная вычислительная техника придет на помощь метеорологам, и мы получим астрономически точные прогнозы погоды. Бухгалтеры, библиотекари, диспетчеры поручат машинам составление различных каталогов, информационных сводок, расписаний, статистических отчетов.

Соединенные со светофорами, вычислительные машины будут регулировать уличное движение.

Сделаны первые опыты автоматического управления с земли движением самолетов. По командам электронной вычислительной машины самолет самостоятельно стартует, поднимается в воздух, выполняет маневры, приземляется в нужном



Один из узлов электронно-счетной машины на вакуумных лампах. Слева — такой же узел на ферритовых деталях.

месте. Как далеко оставила позади эта чудесная автоматика «зрячий» автомобиль научно-фантастического рассказа!

В промышленности электронные устройства станут управлять цехами и целыми заводами. Человек заставит их выдавать сырье, контролировать и изменять технологию, сортировать, подсчитывать продукцию. И всюду здесь будут нести безотказную службу полупроводники.

### НАВСТРЕЧУ БУДУЩЕМУ

Наше время называют началом атомного века. Оправданное имя, только неполное. Переделка планеты на благо человечества связана со множеством великих побед науки. Здесь и достижения ядерной физики, и бурное развитие электроники, и прогресс физики полупроводников, и поразительные успехи химии. Здесь могучая и умная техника энергетике, металлургии, машиностроения, строительства, сельского хозяйства.

Учение о полупроводниках идет вперед в едином строю со всеми важнейшими отраслями точного знания и индустрии, опираясь на их многолетний опыт.

В свою очередь, физика полупроводников обогащает смежные области науки и техники.

Выяснилось, например, что полупроводниковые материалы являются великолепными катализаторами — ускорителями химических процессов. Член-корреспондент Академии наук СССР С. З. Рогинский на одной научной конференции заметил, что химики до недавних пор были на положении «мещанина во дворянстве». Герой Мольера не подозревал, что всю жизнь говорит прозой, а химики не знали, что во многих химических процессах они имеют дело с полупроводниками, с электронными процессами в полупроводниках.

Приборостроению предстоит освоить еще одну особен-

ность полупроводников — смещение в них электрического тока под действием внешнего магнитного поля. На этой основе можно создать небывало чувствительные и точные компасы, постронть аппараты, которые способны уловить перемещение предметов на десятиллионную долю миллиметра!

Физике полупроводников пришлось встретиться и с такой неожиданной для этой науки областью знания, как физиология. Оказывается, и здесь электронные явления играют немалую роль. Венгерский физиолог Э. Эрнст не так давно заметил, что ряд характерных особенностей нервных процессов находит простое объяснение, если допустить, что некоторые структурные образования нервов являются своеобразными полупроводниковыми выпрямителями. Кто знает, может быть, хирурги, применяя какие-то неведомые пока полупроводники, научатся делать искусственные нервы!

Еще мало изучены механические свойства полупроводниковых веществ. Между тем поле подобных исследований широко и благодарно. Некоторые полупроводники исключительно прочны и жаростойки — выдерживают нагрев до температуры более 4000 градусов! Быть может, из таких материалов когда-нибудь будут строиться камеры сгорания двигателей межпланетных кораблей, оборудование атомных двигателей.

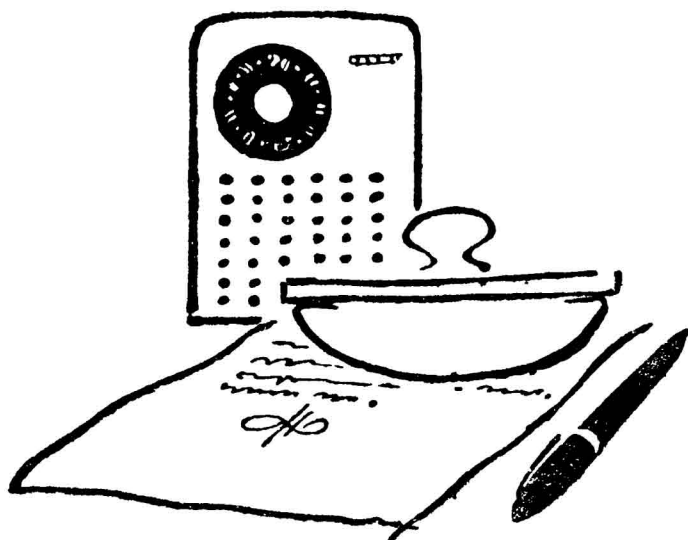
Сегодняшний день учения о полупроводниках приподнял перед нами лишь уголок завесы времени, скрывающей завтра. Но и через эту шелку мы разглядели немало. В городе завтрашнего дня мы встретили здания, отапливающиеся морозом, в пустынях — удивительные ловушки лучистой энергии. Мы предугадали рождение солнечной энергетики. Мы увидели всеобщее распространение новой радиотехники, победное шествие миниатюрных машин со зрением и памятью, уловили звуки неслыханных музыкальных инструментов.

Это крупницы нашего будущего. Но добыть их нелегко.

Предстоит преодолеть тысячи больших и малых препятствий, еще дальше развить теорию полупроводников — не только кристаллических, но и стекловидных и жидких, найти лучшие способы их очистки, обработки.

Герой Социалистического Труда академик А. Ф. Иоффе — старейший советский ученый, отдавший более четверти века работе в области физики полупроводников, говорит: «Мы вступаем в новую эру технического прогресса. У нас достаточно сил и возможностей, и моральных и материальных, чтобы решать задачи любого масштаба в ближайшие годы, в ближайшие десятилетия».

Ученые и инженеры Советской страны уверенно смотрят вперед. Люди смелой мечты, ясного разума, неутомимые энтузиасты науки, они сегодня готовят то, что завтра станет достоянием народа, что войдет в грядущие бесчисленные века коммунизма.





## ОГЛАВЛЕНИЕ

Вместо введения . . . . . 5	Чудесный болометр . . . . . 37
СЕКРЕТЫ	Сила дуновения . . . . . 39
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ	Очередь двигателей . . . . . 40
Атомы . . . . . 9	Дыхание домны . . . . . 41
Электроны в металле и	ПОГОНЯ ЗА ТЕПЛОМ
изоляторе . . . . . 10	В лесной избушке . . . . . 45
Первое знакомство . . . . . 13	Новое свойство . . . . . 46
Пустой стул . . . . . 14	Секрет «воротника» . . . . . 48
Как в театре . . . . . 15	Мечта сбывается . . . . . 51
Два тока . . . . . 16	Берегите тепло . . . . . 52
Фальшивая частица . . . . . 19	Энергия из недр . . . . . 55
Атомы-гости . . . . . 20	Электронный мороз . . . . . 56
Ловцы электронов . . . . . 21	Холодильник без мотора . . . . . 57
О подлинной теории . . . . . 22	Холодильник вывернут на-
Получение полупроводни-	изнанку . . . . . 58
ков . . . . . 23	Искусственный климат . . . . . 60
НА СМЕНУ ТЕРМОМЕТРУ	МАШИНЫ, КОТОРЫЕ ВИДЯТ
Градусник устарел . . . . . 29	Глаза автомобилю . . . . . 65
Тысяча измерений . . . . . 30	Обстрел светом . . . . . 66
Чуткая игла . . . . . 32	«Стеклянный глаз» . . . . . 67
К тысячеградусной жаре . . . . . 34	Забывтое открытие . . . . . 68
Температура издалека . . . . . 36	«Зрячье» материалы . . . . . 69

В заводских цехах . . . . .	70
Заботливый пресс . . . . .	72
Световая эстафета . . . . .	73
Машины-чтецы . . . . .	74

#### ЗРЯЧИЕ ПРИБОРЫ

Чудесное зеркальце . . . . .	79
Электроны-«пограничники»	80
Автомат-лаборант . . . . .	82
Помощник хирурга . . . . .	83
Спичка, зажженная на Луне . . . . .	84
Луч вместо провода . . . . .	86

#### ПОЙМАННЫЕ ЛУЧИ

Ранним утром . . . . .	91
Солнечная батарея . . . . .	92
К солнечной энергетике . . . . .	93
Луч за работой . . . . .	95
Луч и лист . . . . .	99
Новые дары солнца . . . . .	100
Свет «про запас» . . . . .	102

#### ЭЛЕКТРОНИКА В КРИСТАЛЛАХ

Неудачливый покупатель	107
Первый шаг . . . . .	108
Детектор работает . . . . .	110
Изобретение Олега Лосева	112
Радиолампа работает . . . . .	114
Триумф и кризис . . . . .	116
Зачем нужна пустота? . . . . .	117
Предсказанное вещество . . . . .	118
Полупроводник-усилитель	119
Дорогу кристаллам . . . . .	121
Производство под микро- скопом . . . . .	124
Новые задачи . . . . .	126
Керамические магниты . . . . .	128
Питание кристаллов . . . . .	130
Микрорадиотехника . . . . .	132
Радиостанция в мяче . . . . .	134
Музыка завтра . . . . .	136
Кристаллы-вычислители . . . . .	137
Навстречу будущему . . . . .	139

Для средней школы

*Анфилов Глеб Борисович*  
**ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИК**

Ответственные редакторы

Г. В. Левенштейн и Б. И. Смагин.  
Художественный редактор О. В. Демидова.  
Технический редактор Н. З. Левинская.

Корректоры

В. Л. Данилова и А. Б. Стрельник.

Подписано к печати с матриц 9/XII 1957 г. Формат  
84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>—9 печ. л.=7,39 усл. печ. л.  
(5,79 уч.-изд. л.) Тираж 100 000 экз. А 02519.

Заказ № 1917.

Цена 2 р. 75 к.

Детгиз. Москва, М. Черкасский пер., 1.

---

Отпечатано с матриц фабрики № 1 Детской книги  
Детгиза, Москва, на Книжной фабрике им. Фрунзе  
Главиздата Министерства культуры УССР,  
Харьков, Донец-Захаржевская, 6/8.