



J. SEDOVS

# AIZRAUJOŠI PAR ELEKTRONIKU

Cu



**APVĀRSNIS**



**APVĀRSNIS**



**APVĀRSNIS**



**J. SEDOVS**

# **AIZRAUJOŠI PAR ELEKTRONIKU**

Noskannējis grāmatu un failu izveidojīs  
**Imants Ločmelis**



**RĪGA «ZINĀTNE» 1985**

32.85  
Se 092

Е. Седов  
ЗАНИМАТЕЛЬНО ОБ ЭЛЕКТРОНИКЕ  
Издание второе  
Издательство «Молодая гвардия»  
Москва 1970

### Sedovs J.

Se 092 Aizraujoši par elektroniku /, No kr. val. tulkojis J. Birzvalks. — R.: Zinātne, 1985. — 367 lpp., il. — (Apvārsnis).

Pazīstamā kibernetiķa un zinātnes popularizētāja Jevgēņija Sedova (1929) grāmata ir viens no labākajiem plašām lasītāju aprindām domātajiem darbiem par šo svarīgo nozari, kura būtiski ietekmē cilvēku dzīves un darba saturu un stilu. Grāmata izdota arī angļu, spāņu, poļu, bulgāru un serbu valodā. Interesantā formā, bez īpašām priekšzināšanām saprotami tā iepazīstina ar elektroniskās tehnikas (radio, televīzijas, ESM utt.) dabzinātniskajiem pamatiem un to izpētes vēsturi. Skaidrojumus ilustrē zīmējumi, «teorētiskā ābece» mijas ar saistošām «novēlītēm».

Plašam lasītāju lokam.

S 2403000000—141 96—85  
M811(11)—85

32.85

No krievu valodas tulkojis JURIS BIRZVALKS

Izdota saskaņā ar Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Redakciju un izdevumu padomes 1983. gada 25. septembra lēmumu

© Tulkojums latviešu valodā ar labojumiem un papildinājumiem  
Izdevniecība «Zinātne», 1985

## **TULKOTĀJA PRIEKŠVārDS LATVIEŠU IZDEVUMAM**

*Ja izdevniecība «Zinātne» ir pievērsusies grāmatal, kas pirmizdevumu piedzīvojusi pirms divdesmit gadiem (elektronika taču strauji attīstās!), un ja man tās tulkošana ir sagādājusi lielu, radošu gandarījumu, tad acīmredzot tam ir nopietni cēloņi.*

*Tagad par to var spriest lasītājs. Grāmatas autoram Jevgēņijam Sedovam ir izdevies vienkārši, neuzmācīgi un pat humoristiski pastāstīt par vienu no nozīmīgākajām mūsdienu zinātnes un tehnikas nozarēm, tās atklājumus un izgudrojumus izskaidrojot visiem saprotamā valodā un tomēr neko nevulgarizējot. Tikpat kā neizmantojot matemātiskās formulas, kas nespeciālistu, kā labi zināms, var tikai atbaidīt, visu ierīču darbības principi ir attēloti pilnīgi pareizi.*

*Šo ierīču čaklais rūķītis ir elektrons — visu elektronikas darbināto fizikālo procesu galvenais dalībnieks. Ar daudzajiem «nenopietnajiem» zīmējumiem autors izskaidro šo čaklo rūķīšu izturēšanos dažādos apstākļos — dziļā vakuumā, supertiros pusvadītājkristālos utt. Par komplicētajām ierīcēm, kurās šos apstākļus rada, parasti stāsta tikai speciālā literatūra, kas lieto specifisku terminoloģiju un daudz ko pieņem par «jau zināmu». J. Sedova darbu var lasīt gan tie, kas fizikas mācību grāmatu aizvēruši pirms gadu desmitiem, gan arī tie, kas patlaban skolā apgūst fizikas pamatus. Viņiem ceļojums pa elektronikas pasauli var kļūt par patīkamu pārsteigumu un varbūt pat ietekmēt dzīves ceļa izvēli.*

Modernās elektronikas pamats ir pusvadītājiērices, tomēr autors lielu uzmanību veltījis lampām, kas vēsturiski attīstījās pirmās. Protams, ja grāmata būtu sarakstīta vēlāk, t. i., tuvāk mūsdienām, pusvadītājiēricēm droši vien būtu ierādīts vairāk lappušu. Tomēr nesamēriba ir tikai šķietama. Autora mērķis taču ir izklāstīt elektronikas pamatus. Un lampas darbojas saprotamāk nekā pusvadītājiērices: elektronu plūsma lampās tiek stūrēta «tīrā» veidā, izmantojot tiklīņu un tā elektrisko lauku, turpreti tranzistoros sadarbojas divas p-n pārejas, kas nepieradušu lasītāju arī katra atsevišķi var galīgi samulsināt.

Sis grāmatas lasītājs var izsekot ne vien elektronikas struktūrai, bet arī tās tapšanas gaitai, ideju vēsturei, dramatiskiem konfliktiem, kas bijuši saistīti gan ar elektronikas un radiosakaru izmantošanu abos pasaules karos, gan arī ar to, ka nereti būtiska loma zinātnes un tehnikas attīstībā ir bijusi nejaušībai, nespēcālistu šķietami naivajai pieejai u. tml.

Saskaņodamies ar autoru, tekstu esmu papildinājis ar dažām norādēm uz jaunākajiem sasniegumiem elektronikā un ar to saistītajās nozarēs, kā arī ar dažām atrunām un precizējumiem. Šie precizējumi nav un nevar būt pilnīgi, jo zinātnes progress nemitīgi turpinās un turklāt elektronikas aptvērto jautājumu loks ir ārkārtīgi plašs. Pat spēcālistiem ir kļuvis grūti orientēties savā zinātnē.

Gribas cerēt, ka lasītājiem šī grāmata sagādās tādu pašu prieku, kādu es izjutu, to tulkodams, un daudzus no viņiem rosinās uz atbildīgu sarunu pašam ar sevi: bet kā būtu, ja par profesiju izvēlētos... elektroniku?

J. Birzvalks

## AUTORA PRIEKŠVārds

*Kāds ir šis grāmatas temats? Radio? Lokācija? Televīzija? Lāzeri? Elektroniskie skaitļotāji?*

*Par katru šo tēmu var sarakstīt atsevišķu grāmatu. Vēl vairāk — šādas grāmatas jau ir sarakstītas. To vidū ir speciālas un populāras, apjomīgas un plānas, iesācējiem un studentiem, zinātniekiem un inženieriem — jebkuram priekšzināšanu līmenim, jebkural gaumei. Un turklāt elektronikas radītās ierīces tiek izmantotas ne vien lokācijā, televīzijā, radiosakaros un skaitļošanas tehnikā, bet arī daudzās citās nozarēs. Minēsim tikai tālvadību un tālmērīšanu, molekulu, atomu un to kodolu pētīšanu, radioastronomiju, modernās bioloģiskās un medicīniskās pētniecības metodes, elektronisko metālapstrādes tehnoloģiju, siltumenerģijas pārvēršanu elektriskajā ar pusvadītāju starpniecību.*

*Visās tehnikas nozarēs un vēl daudz kur citur ir nepieciešamas elektroniskās ierīces, kurās strādā žiglais, nenogurdināmais un allaž nomodā esošais nemirstīgais rūķītis — elektrons.*

*Bet vai to visu var izstāstīt vienā nelielā grāmatā par elektroniku? Turklāt izstāstīt tā, lai lasītājs ne vien pārlicinātos, ka visas šīs ierīces tiešām eksistē (to viņš laikam tik un tā sen zina bez mūsu grāmatas), bet arī varētu saprast dažādo elektronisko ierīču uzbūves un darbības principus, metožu un ideju būtību?*



Jāatzīstas, ka sarakstīt grāmatu par elektroniku, turklāt aptverot visas tehnikas nozares, kurās tā jau ir paguvusi dziļi iesakņoties, nebūt nebija viegli.

Nācās izvēlēties tikai tās izmantošanas jomas, parādības un procesus, bez kuriem izklāstā nebija iespējams virzīties uz priekšu. Elektronu uzvedības kārtulas vajadzēja no vienādojumu un grafiku valodas pārtulkot vispārsaprotamā valodā. Par spīti autora un redaktora izmisīgajai pretestībai, dažas formulas un liknes no monogrāfiju un speciālo rakstu lappusēm mūsu grāmatā tomēr ir ielavījušās. Šādos gadījumos, protams, tika darīts viss iespējamais, lai šīs formulas un liknes kļūtu vairāk vai mazāk saprotamas. Nācās izdomāt garus pārspriedumus vai meklēt līdzības un piemērus no dzīves. Tomēr tas viss ir slikts attaisnojums to lasītāju acīs, kuriem elektroniku labāk patiktu apgūt bez vienādojumiem un bez liknēm.

Bet vai šāds izklāsts jau nebūtu pārāk aptuvenus? Liknes un vienādojumi taču ir elektronikas specifiskā valoda, un diez vai to driekst ignorēt. Piemēram, jau sen ir zināms, ka nav iespējams studēt kādas nācīgas sadzīvi, tikumus un kultūru, nezinot tās valodu.

Grāmatas forma ir mazliet neparasta. Jēdzienu, kuri ir absolūti nepieciešami elektronikas būtības izpratnei, tiek iztirzāti īpašās apakšnodaļās «Pamats ir šāds», skaidrošanai izmantojot zīmējumus un vienkāršu tekstu. Šīs apakšnodaļas mijas ar mazām novelītēm, kurās stāstīts par jēdzienu izcelsmi, elementu un ierīču rašanos, par to, kas no kā ir izrietējis, un kas pie kā novedis. Mums šķiet, ka lasītājam, kurš pirmo reizi ieiet elektronikas pasaulē, šī forma ļaus, no vienas puses, bez īpašām pūlēm apgūt pamatus, bet, no otras, — izveidot apkopotu priekšstatu par elektroniku kā patstāvīgu modernās zinātnes un tehnikas nozari, kurai piemīt sava iekšēja loģika, centrālā ass, ap ko grupējas daudzveidīgi praktiskie izmantojumi, metodes un idejas.

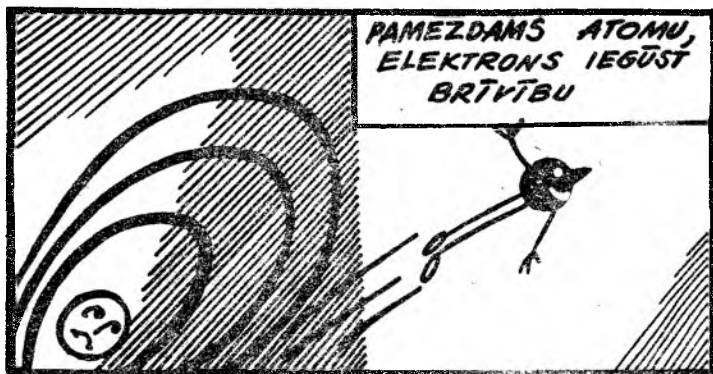
Jau pats nosaukums «elektronika» vēsti daudz ko: bez elektroniem neiztiek neviena elektroniskā ierīce. Ar stāstu par tiem arī sāksim savu grāmatu.

J. Sedovs

I. NODAĻA

# ELEKTRONI UN ELEKTRONIKA

Lasītājs iepazīstas  
ar elektrona  
atklāšanas vēsturi  
un arī uzzina, kāpēc  
tieši šai daļiņai bija  
lemts kļūt par galveno  
«detaju» dažās  
elektroniskajās  
ierīcēs, kuras radās  
elektronikas  
attīstības rītausmā.



PAMATS IR ŠĀDS

### 1.1.

Modernā zinātne un tehnika ir uzcēlusi grandiozu elektronikas ēku. Tās pamats ir sīka daļiņa, ko sauc par *elektronu*.

Lasītājs acīmredzot zina, ka visu vielu atomi satur elektronus, kas pa noteiktām orbitām riņķo ap kodolu.

Elektroni ir tik žigli, ka sekundē kodolu apriņķo ap 10 000 000 000 000 000 reizi.

### 1.2.

Elektronu neviens nekad nav redzējis. Tā «klasiskais» rādiuss ir ap 400 000 000 000 reizi mazāks par milimetru. Vislabākajā mūsu rīcībā esošajā mikroskopā tādas daļiņas nav saskatāmas. Masa elektronam ir 1 100 000 000 000 000 000 000 000 reizi mazāka nekā viena grama atsvaram. Protams, nosvērt šādu daļiņu nevar ne uz kādiem svariem.

## 1.3.



Elektrona klātbūtni konstatē pavisam citādi. Elektronam ir īpaša «vizītkarte» — maza elektrības porcija, ko tas visur nes sev līdzi un uzrāda «pēc pirmā pieprasījuma» (un arī bez tā). Tas ir negatīvais lādiņš, kas vienāds ar  $1,6 \cdot 10^{-19}$  kuloniem (C).

## 1.4.



Ikkatrā atomā ir ne vien elektroni, bet arī *protoni* un *neitroni*.

Šīs daļiņas savā starpā saista, «salīmē», «sacementē» varenie kodolspēki, tādējādi no tām izveidojami monolīto *atoma kodolu*.

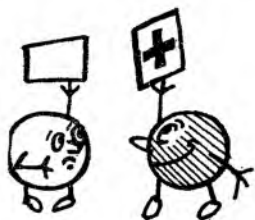


## 1.5.



Līdzās elektronam protons un neitrons izskatās pēc milžiem: masa tiem ir gandrīz 1840 reīzu lielāka nekā elektronam...

## 1.6.



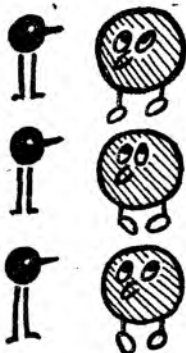
Neitronam nav «vizītkartes», nav lādiņa: elektriski tas ir neitrāls. Tāpēc jau tas ir nosaukts par neitronu. Protonam lādiņa skaitliskā vērtība ir tāda pati kā elektronam ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C), bet pats lādiņš ir pozitīvs (tam ir «plusa zīme»).

## 1.7.



*Atoms kopumā arī ir neitrāls, jo pa orbitām riņķojošo elektronu skaits ir vienāds ar kodolā «iecementēto» protonu skaitsu.*

*Elektrons, kas pa vienu no iespējamām orbitām riņķo ap kodolu, ir saistīts elektrons.*



*Cik atomā ir protonu un elektronu, ir atkarīgs no tā, kāda elementa atomu aplūkojam. Labāk būtu pat teikt otrādi: to, kāds ir elements, nosaka protonu (un elektronu) skaits. Piemēram, ūdeņraža atomā ir viens protons (un viens elektrons), hēlija — divi, litija — trīs un tā tālāk. So skaitli sauc par attiecīgā ķīmiskā elementa **atomskaitli** (atomnumuru).*

*Neitronu skaits parasti ir nedaudz lielāks par protonu skaitsu. Viena un tā paša elementa **izotopi** viens no otra atšķiras tikai pēc neitronu skaita. Protonu un neitronu skaita summu sauc par **masas skaitli**.*

$$3 = 3$$

## 1.8.

ATOMS

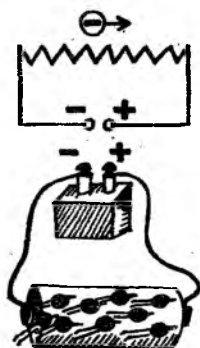


JONS

*Bieži vien ārējo spēku iedarbības rezultātā elektroni iegūst brīvību — pamet savus atomus, resp., to ārējās orbītas. Atoms, kas pazaudējis elektronu, vairs nav neitrāls: tas pārvērties par pozitīvi lādētu jonu (pozitīvo jonu).*

*Daudzu elementu, it īpaši nemetālu, atomi var iegūt «liekus» elektronus, ārējā čaulā izveidodami to «pilnu komplektu» un kļūdami par negatīvajiem joniem (sk. arī 27. lpp.).*





Elektronu negatīvais lādiņš tiem liek pa vadu (vadītāju) pārvietoties virzienā uz strāvas (sprieguma) avota pozitīvo spaili (pieslēgu).

Vēsturiski ir pieņemts par strāvas virzienu — tehnisko virzienu — uzskatīt pozitīvo lādiņnesēju pārvietošanās virzienu (no «plusa» uz «mīnusu»).

## KĀPĒC ELEKTRONS!

Kā varēja notikt, ka matērijas daļiņa, kuras masa ir 1 100 000 000 000 000 000 000 000 000 000. daļa grama, kļuvusi tik svarīga?

Relatīvi pavisam nesen, tikai pirms simt gadiem, par elektronu neviens neko nezināja. Bet mūsdienās diez vai var atrast cilvēku, kurš kaut vai pa ausu galam nebūtu par to dzirdējis. Par elektronu visi runā ar lielu cieņu. Tiek sarakstītas grāmatas, kurās elektrons ir galvenais varonis. Turklāt allaž pozitīvais varonis — kaut arī tā lādiņš ir negatīvs.

Tā tas ir tāpēc, ka elektrons ir galvenā «detaļa» elektroniskajās ierīcēs, kuru loma dzīvē, zinātnē un tehnikā ir ārkārtīgi nozīmīga. Šī «detaļa» ir ļoti ērta.

Pirmkārt, tā ir viegla un žigla: līdz «kosmiskajai ērai» vēl bija tālu, kad fiziķi, pētīdami elektronu izturēšanos vakuuma ierīcēs, iemācījās tai piešķirt kosmisku ātrumu.

Otrkārt, šī «detaļa» nedilst: elektronu «salauzt», «sadržāt» pagaidām nevienam nav izdevies.



Treškārt, pēc šīs «detaļas» nav «deficīta»: kamēr strāvas avota enerģija nebūs izsīkususi, tas pa «konveijeru» (vadu) liks tecēt veselai šo «detaļu» plūsmai. To būs tik daudz, cik pieprasīs visi «ražotnes» «cehi» un «iecirkņi», t. i., elektroniskās ierīces elementi un mezgli.



«Detaļa» nevainojami strādā visdažādākajos apstākļos: vakuumā (elektronu lampās), gāzēs (gāzislādes ierīcēs) un pat cietvielā (pusvadītājos, metālos utt.).

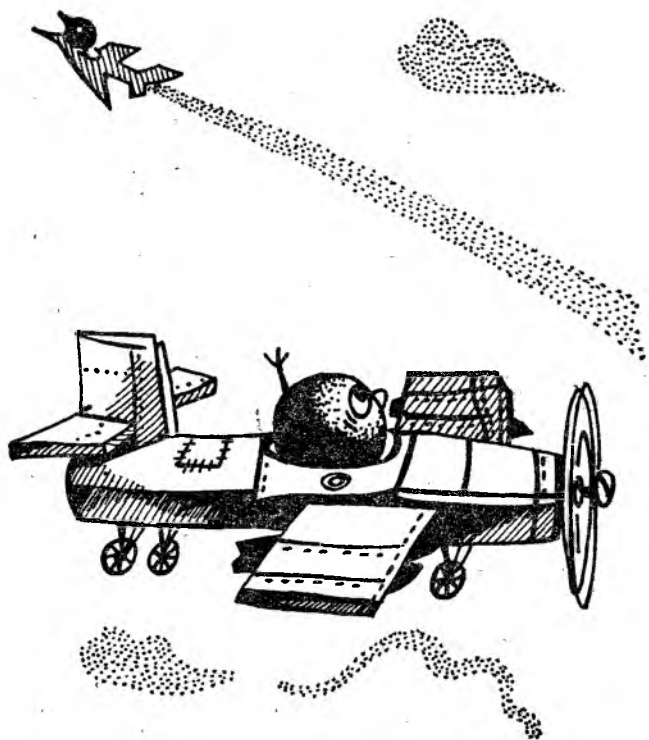
Nav ko teikt — elektrons patiešām ir ļoti ērts. Bet kāpēc tieši elektrons? Kāpēc tieši tam ir tik liela loma modernajā tehnikā? Tas taču nepalika viens. Drīz tika atklāti arī protoni, neitroni, fotoni, mezonī un hiperoni, t. i., tā saukto elementārdaļiņu kuplā saime.

Tātad — kāpēc pastāv elektronika, turpretī līdz pat šai dienai nav ne protonikas, ne neitronikas, ne mezonikas? Vai tiešām tikai tāpēc, ka elektronu atklāja pašu pirmo? Vai varbūt tāpēc, ka tam piemīt īpašas, izcilas spējas, kādu nav citām daļiņām?

## KĀPĒC NAV PROTONIKASI

Vispirms aplūkosim neitronu. Kas tas ir? Pirmkārt, šai daļiņai nav lādiņa. Otrkārt, tai ir gandrīz 1840 reižu lielāka masa nekā elektronam. Taču svarīgākais ir pirmais apstāklis: tā kā neitronam nav lādiņa, tad, piemēram, uz ārējā elektriskā lauka iedarbību tas nereaģē — paliek vienaldzīgs, indiferents. Tātad ar lauku tam neko nevar padarīt. Elektrons ir pavisam citāds — jutīgs. Nesdams sevī negatīvo lādiņu, tas vienmēr tiecas uz pozitīvās spaiļes pusi (sk. 1.9. paragrāfu). Mainot potenciālu, elektronus var «komandēt», t. i., to kustību vadīt jeb stūrēt: palielināt vai samazināt tās ātrumu, mainīt elektronu plūsmas virzienu un (vai) intensitāti.

Bet ir arī citas daļiņas, kas nav vienaldzīgas pret lauka iedarbību. Tādi ir, piemēram, protoni, kuru lādiņš ir pozitīvs. Kāpēc gan elektronisko ierīču vietā nevarētu būt protoniskās?



Arī protonam masa ir gandrīz 1840 reižu lielāka nekā elektronam. Salīdziniet parastu lielgabala šāviņu ar tādu, kurš ir 1840 reižu smagāks. Ja, piemēram, pieņemtu, ka pirmais sver 30 kilogramus, tad otrs būtu smagāks nekā desmit kosmiskie kuģi!

Smagie un tūlīgie protoni nekad nevarēs sacensties ar ātrajiem elektroniem, tāpat kā smagais bumbvedējs nekad nespēs manevrēt tik veikli kā gracioss iznīcinātājs. Visi lidotāji zina: jo mazāka ir mašīnas masa, jo mazāka arī tās inerce. Viegla stūres kustība, un iznīcinātāja kurss straujā mainās. Tomēr nedrīkst aizmirst, ka inerce ir pat vismanevrētspējīgākajai mašīnai: jebkurš iznīcinātājs inerces dēļ var aizlidot garām mērķim.

Atgriezdamies pie mūsu tēmas, vēlreiz uzsvērsim, ka elektronam salīdzinājumā ar protonu un neitronu piemīt ļoti maza masa un līdz ar to arī maza inerce. Tāpēc ārējie spēki elektronu var momentāni paātrināt un likt tam izdarīt visneticamāko «virāžu». Tiklīdz ieslēdzam spriegumu,



elektrons acumirkli iegūst lielu ātrumu. Ja sprieguma polaritāte mainās, elektrons nekavējoties lido pretējā virzienā.

Šī īpašība acīmredzot ir vissvarīgākā. Tā ļauj zīmēt 25 kadrus sekundē uz televizoru ekrāniem, ģenerēt svārstības, kurām atbilstošās strāvas virziens un skaitliskā vērtība mainās līdz desmit miljardiem reižu sekundē, vadīt ātri lidojošu raķeti un vienā stundā ar skaitļotāju izdarīt tādus aprēķinus, pie kuriem cilvēks nospēdētu vairākus gadus.

## MAZLIET PAR FOTONIKU

Modernā fizika pazīst ne vien elektronu, protonu un neitronu, bet arī citas elementārdaļiņas, kopskaitā jau ap 400. Vai tiešām to vidū nav vēl kāda tikpat viegla, žigla un paklausīga kā elektrons? Protams, ir. Piemēram, fotons.

Ja runājam par žiglumu, tad jāuzsver, ka šī daļiņa vispār nepazīst miera — tā pastāv tikai kustībā. Miera stāvoklī tā izzūd: zinātnieki saka — *fotona miera masa ir vienlīdzīga nullei*.

Fotonu iegūt tīrā veidā ir vēl vieglāk nekā elektronu. Fizikā ir noskaidrojuši, ka no fotoniem sastāv visa redzamā gaisma. Ne velti pēdējā laikā tieši šī daļiņa vairākās jomās ir sākusi veiksmīgi izkonkurēt elektronus.

Vēl nesen tādas tehnikas nozares kā radiosakari vai lokācija bija elektronikas monopols, turpretī pašreiz jau ir radusies jauna nozare, kuru ar tikpat lielām tiesībām var saukt par fotoniku. Runa ir par optiskajiem kvantu ģeneratoriem, tā sauktajiem *lāzeriem*, kas pēdējā laikā strauji attīstās.

Protams, pavērt lāzeriem ceļu uz sakaru tehniku nav viegli. Piemēram, «uzspiest» lāzera starojumam kādu noteiktu, pēc patikas maināmu frekvenci ir grūtāk nekā veikt atbilstošu operāciju ar elektrisko strāvu, t. i., elektronu plūsmu. Tomēr visas galvenās grūtības jau ir sekmīgi pārvarētas. Optisko signālu raida pa īpašu «gaismas vadu», kabeli, kas sastāv nevis no atsevišķiem izolētiem vadiem, bet gan no īpaša stikla šķiedrām. Ir uzsākta šāda kabeļa ieguldīšana Atlantijas okeānā.

Bet varbūt elektronika pēc lāzeru ieviešanās vairs nebūs vajadzīga? Nē, fotoniskā tehnika elektroniku nenomāks. Pirmkārt, elektronikai ir arī citi uzdevumi, ne jau radiosakari vien. Un, otrkārt, bez elektronikas nav iespējams radīt nekādas fotoniskās ierīces. Arī pašus fotonus rada

elektroni: kad mainās elektrona stāvoklis atomā, piemēram, kad tas no tālākas orbītas pārlec uz tuvāku, atoms izstaro fotonu.

Tomēr par to visu būs jārunā īpaši. Pagaidām piebildīsim: elektrons necinās par absolūtu varu un, ja izvirzās tam neizpildāms uzdevums, ar prieku dāvā cilvēkiem fotonu.

Vai līdztekus fotonikai un elektronikai attīstīsies tehnikas nozares, kurās tiks izmantotas vēl kādas citas daļiņas un to īpašības? Kas to lai zina! Ir izteiktas hipotēzes, ka iespējams realizēt arī sakarus ar neitrīno viļņu vai gravitācijas viļņu starpniecību. Taču pagaidām šos viļņus zinātne nav izpētījusi. Tāpēc visu moderno radiosakaru pamatā ir elektronu un elektromagnētisko viļņu mijiedarbības izmantošana.

## **BET KURŠ TŌ IR REDZĒJIS!**

Neizskaidrojamo mēdzam dēvēt par brīnumu. Brīnumus rada gari, burvji, dievi. Elektroniku ir radījis cilvēks. Viņš ir pieradinājis elektronu, izpētījis tā īpašības, licis tam darboties un veikt sarežģītus uzdevumus. Inženieris, konstruēdams elektronisku ierīci, par elektronu spriež apmēram šādi: uzvedīsies tā un tā, izdarīs to un to, aizlidos tur un tur.

Bet kurš ir redzējis, kā tas viss notiek? Nevienš. Labākajā gadījumā var ieraudzīt kūļa pēdas uz ekrāna vai arī izmērīt sekundē pa vadu izplūstošo elektronu lādiņu summu; t. i., elektrisko strāvu. Strāva un kūlis ir elektronu plūsma, kas satur ļoti, ļoti daudz daļiņu. Turpretī viens elektrons ir pārāk maza daļiņa, kuru, kā jau minējām, nevar saskatīt nekādā mikroskopā.

Televizoru no ārpuses ir redzējis katrs. Zīnkārīgu cilvēku noteikti būs interesējusi arī tā iekšiene. Un ko viņš tur būs ieraudzījis? Neko īpaši interesantu. Tur ir daudz visādu detaļu, sarežģīts vadu tīkls. Nekādas kustības. Nedzīva valstība, Dzīvo tikai ekrāns.

Kā gan nekustīgajās detaļās un savienotāјvados var rasties kustīgs attēls? Kas aizstāj aktierus teātra izrādēs un filmās, hokejistus un futbolistus aizraujošajos mačos? Galveno lomu šeit spēlē elektrons.

Kamēr uz ekrāna risinās darbība, visās televizora detaļās rit neredzama, bet tāpēc jo spraigāka «aizkulišu dzīve». Inženieri, kas televizoru konstruējuši, šo dzīvi pa-

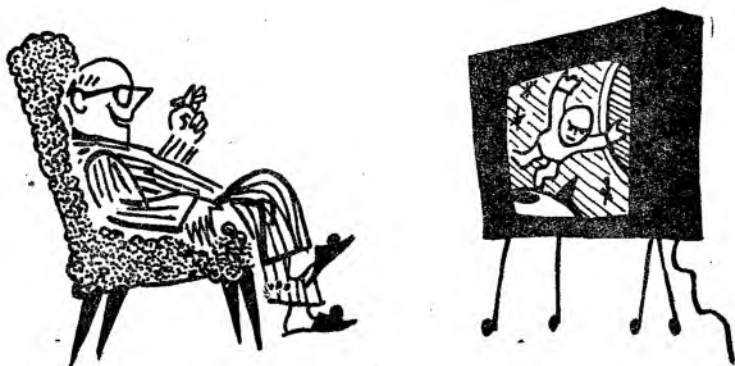
zīst ļoti labi. Viņi jums labprāt paskaidros, cik elektronu vienā sekundē izplūst caur katra vada šķērsgriezumu un kā tie uzvedas jebkurā detaļā (elementā), kaut arī vaigu vaigā elektronu neviens no viņiem nekad nav skatījis.

Pirmajā brīdī var likties, ka tas viss ir gandrīz vai brīnums. Elektrons tiek galā pat ar vissarežģītākajām lomām. Tas aizstāj aktierus televīzijas uzvedumos un uzstājas par «dziedoni no aizkulisēm», likdams skanēt uztvērēja elektrodinamiskajam skaļrunim. Tas vada raķeti, darbgaldu, lidmašīnu, veic sarežģītus aprēķinus, tulko, apstrādā metālus, dod iespēju izpētīt vielu mikrostruktūru.

Kā tas strādā, neviens nav redzējis: savus brīnumus tas rada līdzīgi neredzamam pasaku rūķītim. Tomēr zinātnieku un inženieru zināšanas un radošā fantāzija ļauj izveidot precīzus un detalizētus priekšstatus par elektronu pārvietošanos, «lidojumiem», izturēšanos jebkurā cilvēku radītā iekārtā un arī dabā — kosmiskajā telpā utt.

Pazīstamais angļu fantasts Artūrs Klārks, cenzdames uzsvērt šo elektronikas īpatnību, ir sacerējis šādu epizodi.

Iedomāsimies, ka izciliem pagātnes domātājiem, piemēram, Izakam Ņūtonam un Leonardo da Vinči, iedod izpētīt elektronu lampu un modernu automašīnu. Pēc mašīnas izskata viņi, bez šaubām, kaut ko varētu secināt — kam tā domāta, kā būvēta u. tml. Turpretī par diodi un triodi viņi nevarētu pateikt neko. Itin neko! Elektronu lampas (un tās detaļu) izskats taču neļauj pat nojaust, kādi procesi tajā noris ar elektroniem. Ar visu savu bagāto fantāziju ne Ņūtons, ne Leonardo da Vinči nevarētu pat aptuveni





iedomāties, kāds ir elektrons un kas ar to notiek šajās viņiem galīgi nepazīstamajās ierīcēs.

Bija nepieciešams simtiem ģeniālu minējumu un tūkstošiem eksperimentu, kurus zinātnieki veica vēlākajos gadsimtos, kamēr zinātnei beidzot izdevās radīt skaidrus priekšstatus par neredzamajiem procesiem, kas norisinās ar elektronu.

Bet kāds ir pats elektrons? Kā tas veidots? Vai tam ir vienlaidu struktūra vai varbūt tukšs vidus? Vai tas ir nedalāms vai no kaut kādām daļām salikts?

Pagaidām par to nekas nav zināms. Elektrons joprojām ir savdabīgs sliekšnis, kam pāri zinātne vēl nav tikusi. Bet vai kādreiz tiks?

Tiks! Tiks tāpat, kā no molekulas tā ir nokļuvusi līdz atomam, bet no atoma savukārt pārgājusi pie vēl sīkāku daļiņu pētniecības. Zinātne ar matēriju apietas tāpat kā zinātkārs puīselis ar maružiņu: gribas vērt vaļā lellīti pēc lellītes, lai uzzinātu, kas tur ir iekšā...

Molekula. Atoms. Kodols. Protons. Neitrons. Elektrons... Izziņas process ir bezgalīgs, jo tāda ir pati matērija: arī tā ir bezgalīga, turklāt ne vien plašumā, bet arī dziļumā. Visticamākais pašreiz šķiet pieņēmums, ka elektroni dabā pastāv nevis kā nošķirtas, «tvirtas» daļiņas, bet gan kā viļņu sablīvējums vai arī kādu vēl sīkāku (t. i., par elektronu sīkāku) daļiņu sistēma. Un, ja nu pēkšņi elektrons no zinātnes apvāršņiem izzustu, — ko tad? Tas tik būtu notikums!

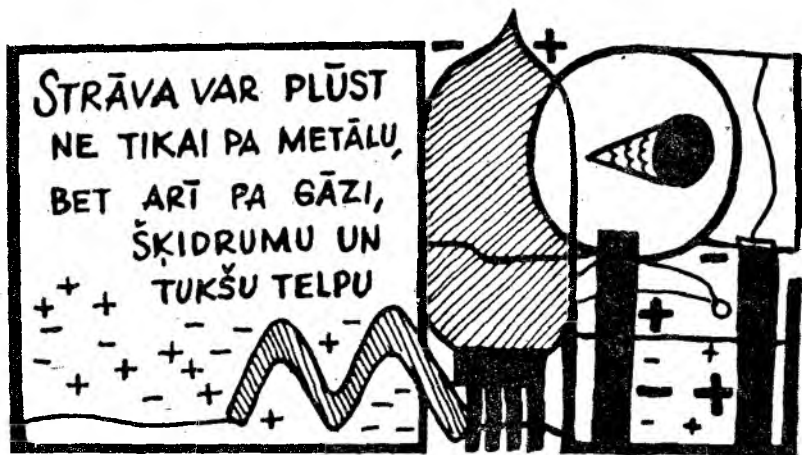
Kas tad notiktu ar elektroniku? Nekas. Uz nozari tas neattiektos! Tas būtu brīnumu brīnums: elektronu nav, bet elektronika ir! Patiesībā gan nekā divaina te nebūtu. Elektronikas radītās ierīces joprojām kalpotu cilvēkam, jo galu galā jau nav svarīgi, kas ir to galvenā detaļa — vilņu sablīvējums, homogēna daļiņa vai arī kopā saistītu daļiņu sistēma. Galvenais ir tas, ka mūsu priekšstati nedrīkst būt pretrunā ar eksperimentu datiem, un to, ka šādu pretrunu nav, apliecina katrs jauns elektronikas sasniegums, kas būtībā ir tās pamatideju pareizības apstiprinājums. Tāpēc viennozīmības labad pagaidām runāsim par daļiņu, jo tik un tā neviens to nav redzējis.

Visa grandiozā elektronikas ēka sastāv no priekšstatiem, kurus ir radījuši daudzi zinātnieki un ar bagātu, radošu iztēli apveltīti prāti. Tā tas ir bijis jau kopš elektrona atklāšanas brīža, kad fiziķis Helmholtcs nevis sataustīja, sadzirdēja vai ieraudzīja, bet gan *uzminēja*, ka elektrolīzes procesā jāpiedalās elektronam.

---

**ZĪMĒJUMĀ UZ VĀKA** shematiski atainots vara atoms. Tā ārējais, divdesmit devītais elektrons atrodas vadītspējas zonā, un «puisītis ar kaķeni», kas to «atbrīvo» (sk. 12. lpp.), patiesībā nemaz nav vajadzīgs: elektrons metālā jau ir atbrīvots. Parādīt elektronu čaulu struktūru — elektronu biežības sadalījuma simetriju utt. — šādā zīmējumā nav iespējams.

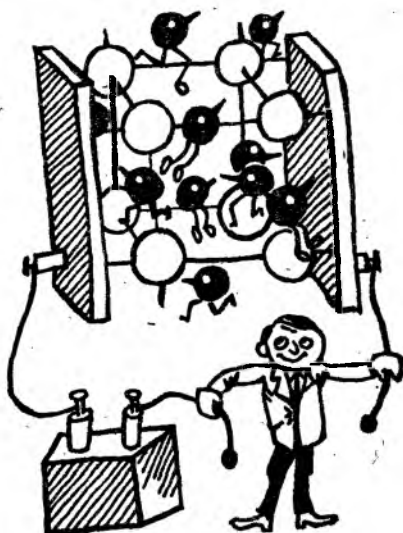
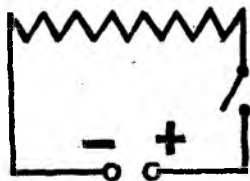
---



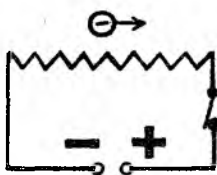
PAMATS IR SĀDS

### 1.10.

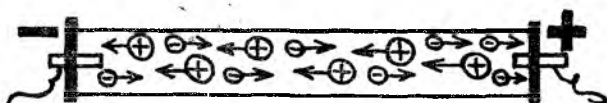
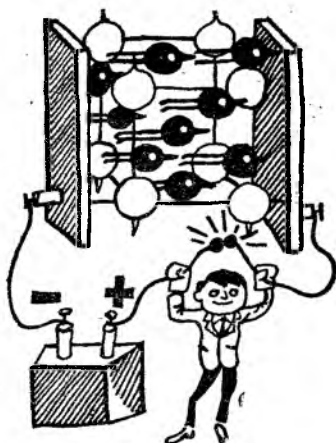
Metāla atomi veido *kristālrežģi*, bet pa brīvo telpu starp tā mezgliem haotiski pārvietojas brīvie elektroni: tie bezmērķīgi klaiņo no vietas uz vietu.



1.11.



Tiklīdz metāla plāksnīti (vai stiepli utt.) pievienojam pie sprieguma avota spailēm, elektroniem rodas mērķis. Tie dodas uz avota pozitīvās spaiļes pusi. Pa metālu plūst *elektriskā strāva*.



1.12.

Strāva var rasties arī retinātā gāzē. Šāda gāze, kas atrodas īpašā caurulē, sprieguma iedarbībā jonizējas: brīvie elektroni skrien uz plāksnīti (elektrodu), kuras potenciāls ir pozitīvs, un pa ceļam, sadurdamies ar atomiem, atrauj tiem elektro-

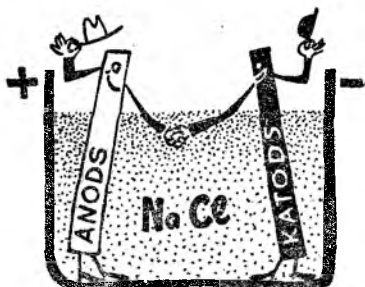
nus. Pozitīvie joni, t. i., atomi, kas pazaudējuši savus elektronus, virzās uz caurules pretējo galu. Gāzes raksturīgā spīdēšana liecina, ka pa cauruli vieni otriem pretējā virzienā pārvietojas joni un elektroni — plūst elektriskā strāva.



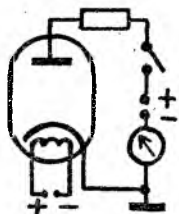
### 1.13.

Lai *elektriskā strāva* plūstu pa šķidrumu (piemēram, pa vārāmās sāls šķīdumu), tajā jāiegremdē un pie sprieguma avota jāpievieno divi metāla stienīši

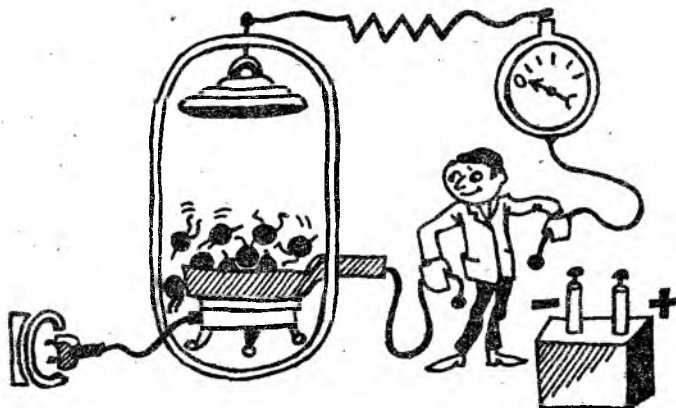
(plāksnītes u. tml.). Līdz ar to stienīši (plāksnītes) kļūst par *elektrodiem*: pozitīvajai spālei pieslēgtais — par *anodu*, bet negatīvajai — par *katodu*.



### 1.14.



Elektronu lampās elektroni pārvietojas pa *va-kuumu* jeb, izsakoties vienkāršāk, tukšumu. Šāda lampa, piemēram, ir *diode* (vakuumdiodē atšķirībā no pusvadītājdiodēs). Diodēs





balonā atrodas divas tās galvenās detaļas — anods un katods.

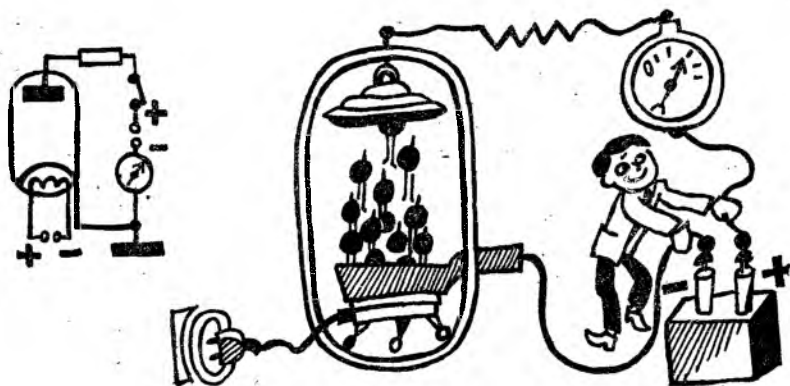
Cieši blakus katodam (parasti — tā iekšienē) novietots kvēldiegs — miniaturizēta elektriskā plītiņa, kas katodu sakarsē. Līdz ar to «elektronu šķidrums», ko

veido katoda materiālā haotiski šurpu turpu klistošie elektroni, sāk «vārities». Šo parādību sauc par *elektronu emisiju*. Tās rezultātā ap katodu izveidojas «elektronu gāzes» mākonītis (tel-pas lādiņš).

### 1.15.

Ja katodu pievienojam pie sprieguma avota negatīvās, bet anodu — pozitīvās spai-les, anods sāk pievilkt elek-tronus, raut tos ārā no «mā-koniša» — pa diodi plūst strāva.

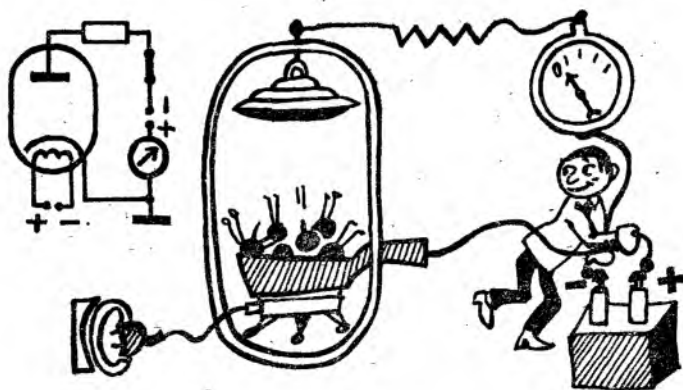
Tā tad brīvībā elektrons ir bijis visai īsu britiņu: tikko tas bija izrāvis no katoda, to tūlīt pievilka anods.



### 1.16.

Diodi bieži izmanto par ventili: tulkojumā «venti-lis» nozīmē «aizgrieznis» («krāns»). Iepriekšējā para-

grāfa attēlos «aizgrieznis» bija «vaļā». Tas aizverams, avota spaiļes samainot vietām — anodu pieslēdzot



«mīnusam», bet katodu — «plusam».

Sādā gadījumā elektroniem ir grūtāk tikt ārā no katoda, jo tas tos pievelk. Savukārt tiem, kuri no katoda ir «izlauzušies» (un veido «mākonīti»), nav kurp

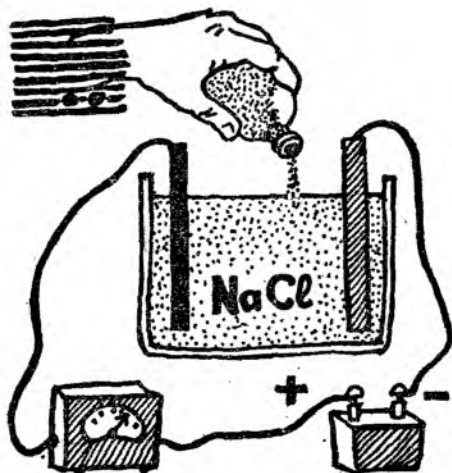
lidot: anods, kas agrāk tos pievilka, tagad tos virza atpakaļ uz katoda pusi. Tāpēc strāva pa diodi neplūst: elektrisko ķēdi, kurā ieslēgta šī lampa, «aizgrieznis» ir pārtraucis.

## CEĻOJUMS PA VANNU

Katrs skolēns zina, kas ir elektrolīze. Ja vannā, kurā ieliets vārāmās sāls šķīdums, iegremdējam divus metāla stieņus un tos pieslēdzam pie elektriskās baterijas spaiļēm, tad pa šķīdumu un pa ārējo vadu (savienotājvadu) sāk plūst elektriskā strāva (sk. «Pamats ir šāds», 1.13.).

Ap vienu no elektrodiem — katodu — koncentrēsies nātrijs, ap otru — anodu — hlors. Tīrā veidā nātrijs izdalītos, ja mēs nebūtu lietojuši ūdensšķīdumu. Tajā nātrijs var pastāvēt tikai nātrija sārma («ziepjuzāļu») šķīduma sastāvā. Nesarežģīsim savu stāstījumu ar šīm elektroķīmijas detaļām un pieņemsim, ka uz katoda izdalās tīrs nātrijs, bet ap anodu — gāzveidīgā hlora burbulīši.

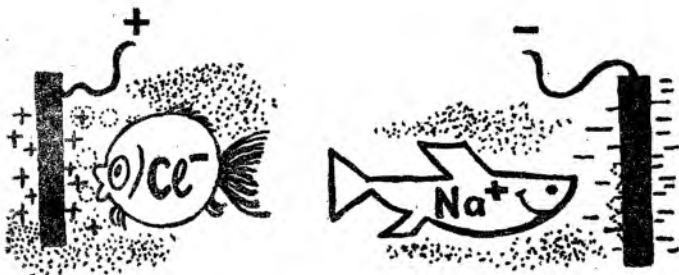
Pagaidām runa ir par ko redzamu un taustāmu. Elektroodus var aizskart ar roku. Sāls šķīdumu var ķīmiski analizēt. Var (patiesībā: «varētu») saskatīt, ka uz katoda ir tīra nātrija pēdas, bet anoda apkaimē burbuļo hlors. Bet kāds ir elektrolīzes procesa cēlonis? Kāpēc strāvas iedar-



bībā šķidrums pēkšņi pārvēršas gāzē un cietā vielā? Hlors dodas uz anodu, bet nātrijs koncentrējas ap katodu. Kāpēc ne otrādi?

Lai atbildētu uz šiem jautājumiem, mums nāksies pamest redzamo un taustāmo pasauli un kopā ar zinātniekiem veikt fantastisku ceļojumu pa citu, neredzamu pasauli. Kāds transportlīdzeklis mūs tur nogādās? Protams, neparasts. Izsakoties dzejiski, mēs tur aizlidosim ar fantāzijas spārnēm, jo elektronus nevar saskatīt, tos iespējams tikai iztēloties. Bet, ja šādu tēlainu priekšstatu būsīm radījuši, t. i., būsīm izpratuši, kāda elektrolīzes procesā ir elektronu loma, tad sapratīsim arī visu procesa iekšējo mehānismu.

Kas gan tur notiek?



Tam, kurš zina atoma uzbūvi, viegli saprast arī elektrolīzes procesu. Proti, nātrija atomi visai labprāt šķiras no vienīgā elektrona, kas tajos riņķo pa ārējo orbitu. (Pavisam tiem ir vienpadsmit elektronu: iekšējā čaulā divi, vidējā — astoņi, ārējā — jau minētais viens.)

Ticis vaļā no elektrona, nātrija atoms vairs nav neitrāls: tagad elektronu tam ir mazāk nekā kodolā protonu. Tam ir pozitīvs lādiņš, tāpēc tas nav vienkāršs atoms, bet gan atoms ceļinieks. Grieķiski ceļinieks ir «jons». Ceļiniekam netik ilgi palikt vienā vietā. Ja tuvumā ir «mīnusam» pievienots elektrods (stienis, plāksnīte utt.), tas dodas turp.

Turpretī hlora atomi elektronus labprāt «pievāc». Tiem pa ārējo čaulu riņķo tikai septiņi elektroni. «Pilns komplekts» ir astoņi.

Pastāv dabas likums: ja atoma ārējā čaulā trūkst viena vai vairāku elektronu, tad atoms tos cenšas kaut kur «iegūt», lai atkal būtu «pilns komplekts». Un otrādi: ja ārējā čaulā ir tikai viens vai daži (parasti 2—3) elektroni, tad atoms visai labprāt taisās no tiem vaļā, lai varētu «dzīvot» ar «pilnu komplektu».

Tāpat hlora atoms sev vajadzīgo astoto ārējo elektronu atņem nātrija atomam, kam tas ir «lieks» (ļoti gribas teikt «devītais», lai gan tas nebūtu pareizi).

Elektronu izmantodams par tūrisma ceļazīmi, hlora atoms kļūst negatīvi lādēts — tāpat arī pārvēršas jonā — un dodas uz pozitīvo elektrodu (anodu). Savas turnejas mērķi sasniedzis, jons savu ceļazīmi, ārējās čaulas astoto elektronu, nodod «muitas iestādēm» — anoda materiāla atomiem — un kļūst par vienu no tiem atomiem, kuri veido hlora burbuli. Elektrons pa ārējo ķēdi dodas uz katodu, bet pie anoda piepeld aizvien jauni un jauni «tūristi ar ceļazīmēm», tāpēc strāva — elektronu plūsma — ārējā ķēdē ir nepārtraukta. Vannā strāvas plūšanas mehānisms ir citāds. Šeit viens otram pretī nepārtraukti peld «ceļinieki»: negatīvie hlora joni tiecas uz anodu, pozitīvie nātrija joni — uz katodu.

Katodu sasnieguši, nātrija joni tam atņem elektronu, kura tiem trūkst, un kļūtu par neitrāliem nātrija atomiem, kas pārklātu katodu, ja vien tie tik ļoti «nemīlētu» ūdeni: tiem, nepagūstot izveidot metālu, nekavējoties jāpārvēršas «ziepjuzālēs».

## ELEKTRĪBAS PORCIJA

Kas gan mums nekait prātot par elektroniem, kuri riņķo pa atoma čaulām! Bet ja šādi riņķotāji nebūtu zināmi? Kā jutās Helmholcs? Viņam elektrolīzi nācās pētīt tais laikos, kad atomu patiesi uzskatīja par atomu — vielas vissīkāko, nedalāmo daļiņu. (Grieķu valodā vārds «atoms» nozīmē «nedalāmais».)

Par elektroniem tolaik nevienam nebija ne jausmas. Tomēr, nosverot elektrolīzes produktus, bija iespējams uz zināt, cik nātrija atomu ir atceļojis uz katodu. Izmērot pa ārējo ķēdi plūstošo strāvu, varēja noteikt, cik lielu lādiņu ir pārnesuši šie atomi, un tādējādi tika konstatēts, ka vienam un tam pašam nātrija atomu skaitam vienmēr atbilst viens un tas pats lādiņš (elektrības daudzums). Bet, ja vannas ūdenī izšķīdināja kalcija hlorīdu, nevis vārāmo sāli, to pašu lādiņu pārnesa divreiz mazāk kalcija atomu jeb, citiem vārdiem sakot, katrs kalcija atoms pārnesa divreiz lielāku lādiņu nekā nātrija atoms.

Tas būtībā arī ir viss, kas bija zināms Helmholcam. Tomēr ar šiem skopajiem datiem pietika, lai rastos ģeniāls minējums: dabā pastāv vissīkāka elektrības porcija, sava veida elektriskais atoms. Katrs nātrija jons sev līdzī nes vienu elektrības porciju, katrs kalcija jons — divas. Ne pusotras, ne 1,75 un ne 1,66666..., bet precīzi divas porcijas — divus «elektriskos atomus».



Protams, Helmholtcam neienāca prātā, ka būtībā viņam ir pirmajam izdevies ielūkoties tajā pašā atomā, kurš uzskatīts par nedalāmu. Elektribas porcija taču ir tas pats elektrons. Kalcija atomā pa ārējo orbītu riņķo nevis viens elektrons kā nātrija atomā, bet divi. Tos atdodams diviem hlora atomiem, kalcija atoms kļūst par jonu, kas nes elektribas «dubultporciju». (Modernajā terminoloģijā sakām: kalcija jons ir divvērtīgs.) No tā arī izriet, ka kalcija atomi tādā pašā skaitā spēj pārnest divreiz lielāku lādiņu.

Tas viss kļuva zināms daudz vēlāk, kad Rezerfords bija radījis planetāro atoma modeli, kurā kodols aizstāj Sauli, bet elektroni riņķo pa orbītām līdzīgi planētām (sk. 1.1.).

Tomēr veikt šos atklājumus zinātnei ļāva tieši Helmholtca atklātā elektribas porcija. Tas bija pirmais un laikam gan pats svarīgākais solis šajā garajā ceļā.

## KOSMOSS BALONĀ

Helmholtca ideja izraisīja daudz jautājumu. Kas ir elektribas porcija? Kas to pārnes? Kāda ir tās būtība? No kā tā sastāv?

Eksperimenti, kuri tika izdarīti drīz pēc tam, kad Helmholtcs bija veicis savu atklājumu, apstiprināja, ka visās ar elektrību saistītajās parādībās tiešām piedalās sīki negatīvi lādiņi. Tos sāka saukt par *elektroniem*. Bet kas tad būtībā ir šāds elektrons? Elektribas porcija, kas pastāv neatkarīgi no vielas, vai arī kaut kādas vielas gabaliņš?

Izrādījās, ka ne viens, ne otrs. Kaut arī elektronam ir masa, viela tas tomēr nav. Tā ir matērijas daļiņa, kas ietilpst visu dabā esošo vielu sastāvā.

Fizikas vēsturē elektrons ticis pacelts uz pjedestāla: tā bija pirmā elementārdaļiņa, kam sekojis daudz citu. Tās, tāpat kā elektrons, ir sīki izpētītas.

Tīklīdz elektrons bija atklāts, fiziķi sāka par to interesēties ārkārtīgi dedzīgi. Starp citu, viņi konstatēja, ka visos metālos mīt brīvie elektroni, kuri it kā izveido īpašu šķidrumu (pareizāk sakot — gāzi), kas piepilda tukšo telpu starp metāla atomiem (sk. 1.10.).

Kā gan zinātniekiem izdevās ielūkoties metāla iekšienē un tur saskatīt elektronus, kas nav ieraugāmi?

Protams, tikai ar eksperimentiem. Eksperiments ir visas elektronikas pamats, tās sasniegumu avots, tās ideju vērtētājs un augstākais tiesnesis. Tāpēc elektronikas pasaulē iesim tā, kā turp devušies zinātnieki: nevis ar tukšām ro-



kām, bet gan ņemot sev līdzī elektrisko bateriju un metāla gabalu — plāksnīti.

Plāksnīti pieslēdzam baterijas «plusam» un «mīnusam», un visiem elektroniem, kas līdz tam pa plāksnīti kļūduši bezmērķīgi, uzreiz rodas mērķis — «plusa» spaile (sk. 1.11.). Pēc tam plāksnīti no baterijas atslēdzam un sākam karšēt. Notiek elektronu emisija, un ap plāksnīti izveidojas elektronu «mākonītis» (sk. 1.14.).

Šo «mākonīti», tāpat kā pašus elektro-

nus, neviens nav redzējis. Un tomēr modernā fizika ar elektroniem rīkojas tikpat droši kā pavārs ar kartupeļiem: katram «elektronu ēdienam» jau sen ir gatava recepte.

Varbūt jūs vēlaties, lai «elektronu šķidrums» uzvārās drīzāk? Nēmet niķeli vai volframu. No tiem elektroni «iztvaiko» visbagātīgāk: turklāt šie metāli grūti kūst, tāpēc ir sakarsējami līdz ļoti augstām temperatūrām. Bet vēl labāk niķeļa vai volframa plāksnīti pārklāt ar sārmmemju metālu oksīdu kārtiņu. «Iztvaikošana» kļūst vēl efektīvāka: speciālists teiktu, ka ir palielinājusies emisijas intensitāte.

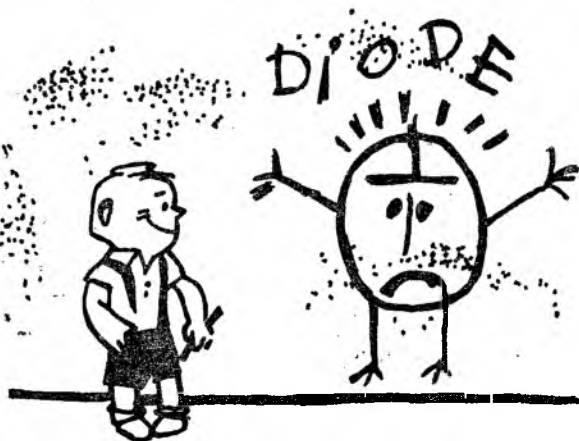
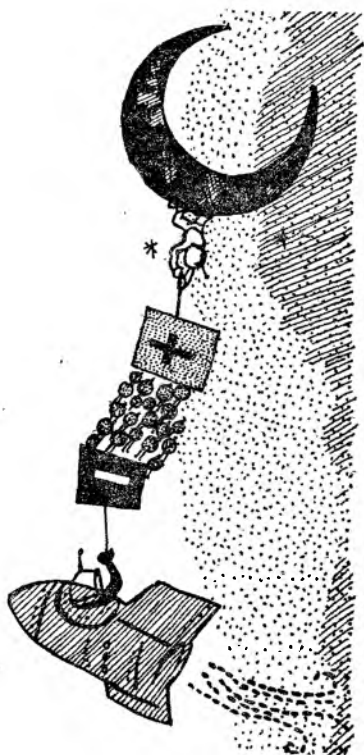
Katrs zina, ka lampu radiouztvērējiem apmēram minūti jāiesilst. (Tranzistoru uztvērējiem, kuri mūsdienās ir pārsvārā, šāda trūkuma nav.) Bet laikam ne visi zina, ka tieši iesilšanas laikā rodas neredzami elektronu «mākonīši», kas ieskauj visu lampu katodus.

Elektroni «mākonīti» haotiski šaudās šurpu turpu. Vienīgais paņēmieni, kā šo kustību padarīt mērķtiecīgu, ir šāds: netālu no katoda jānovieto plāksnīte, kuras potenciāls (attiecībā pret katodu) ir pozitīvs. Tas nav grūti: mums ir gan plāksnīte, gan arī baterija, kam ir «mīnusa» un «plusa» spaile. Plāksnīti, ko ieskauj elektronu «mākonītis», pievienosim «mīnusam», bet otru, tai tuvumā novietotu plāksnīti — «plusam». Vai strāva plūdis?

Jā, bet tikai ar nosacījumu, ka eksperimentu izdarām... kosmosā. Zemes virsū strāvas ceļu aizšķērsos gaiss: tas neļaus no katoda izkļuvušajiem elektroniem lidot uz anodu. Edisons gaisa ietekmi novērsa, izgudrodams ko ļoti vienkāršu — «kosmosu miniatūrā». Proti, abas plāksnītes viņš ievietoja stikla balonā, bet gaisu no tā izsūkņēja. Un viņam pasaulē pirmajam izdevās novērot, kā starp šādām plāksnītēm, kuras nesavieno nekāds vadītājs, plūst elektriskā strāva.

Ja šo eksperimentu vēlaties atkārtot, pašiem radīt «kosmosu balonā» jums nevajadzēs. Jebkurā radiodetaļu veikalā varat nopirkt gatavu divelektrodu lampu — diodi (sk. 1.14.).

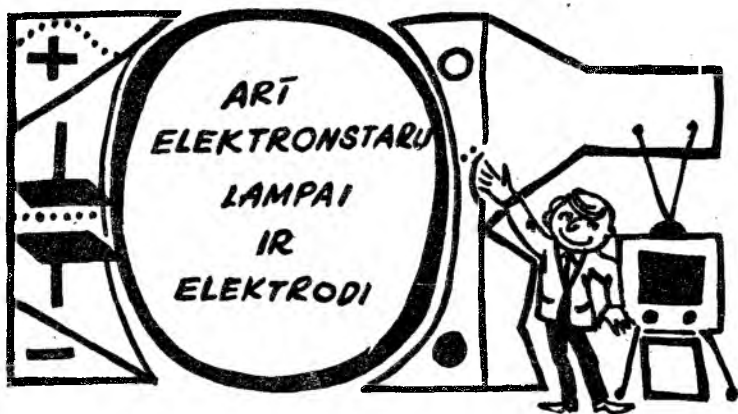
Diodi 1904. gadā izgudroja angļis Džons Ambrozs Flemings. Pa šo laiku tās dar-





bības principi nav mainījušies: uzlabota ir vienīgi konstrukcija. Fleminga radītajā un arī citās agrīnajās diodēs kvēlstrāvu pievadīja tieši katodam; tās bija «tiešās kvēles» lampas. Būtisks uzlabojums bija krievu zinātnieka A. Černišova ieteiktais «netiešās kvēles» princips (kvēldiegs ir elektriski neatkarīgs no katoda un ievietots tajā; katods ir tieva caurulīte).

Ja diodi ieslēgsit elektriskajā ķēdē, kurā ir miliampērmētrs (instruments, kas mēri elektrisko strāvu), varēsīt pārlicināties, ka strāva tiešām plūst. Aparāta rādītāja nostāšanās pret noteiktu skalas iedaļu ir vienīgais redzamais visu nupat iztīrāto procesu rezultāts. Viss pārējais ir neredzams. Tomēr balonā notiek tieši tas, par ko bija runa: katods emitē elektronus, un ap to izveidojas elektronu «mākonītis»; anods «mākonīša» elektronus pievelk; pa balonu plūst strāva.



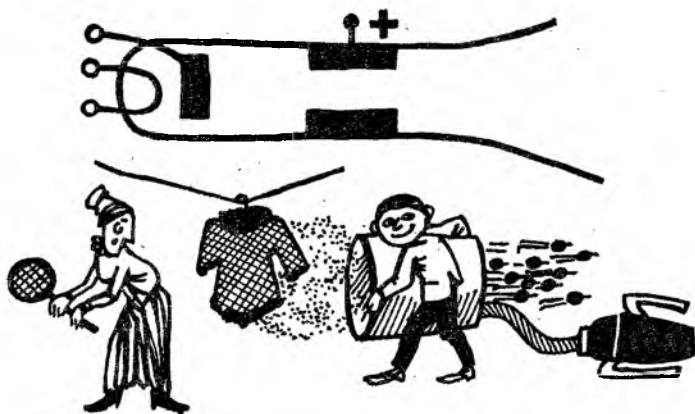
PAMATS IR ŠĀDS

### 1.17.

Elektronstaru lampai (katodstaru lampai, kineskopam) ir daudz detaļu, un to vidū Jūs atradīsiet arī kvēldiegu, katodu un anodu.

Elektronstaru lampai anods ir citāds nekā diodei — cilindrvēidīgs.

Tāpēc elektroni, no katoda lidodami uz anodu, izskrien tam cauri un iedrāžas ekrānā. Ekrāns no iekšpuses ir pārklāts ar speciālu sastāvu, kas tajā vietā, kur trāpījis elektrons, sāk spīdēt.

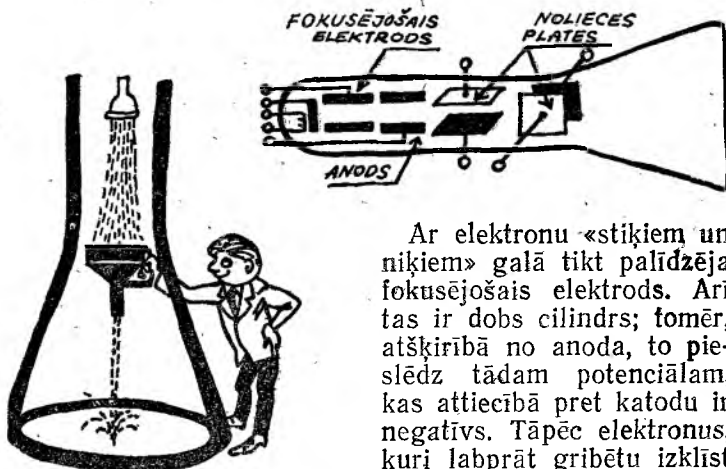


### 1.18.

Lai visi no katóda izlidojušie elektroni trāpītu vienā ekrāna punktā, tie jākoncentrē tievā kūlī, kas būtu ass kā adata, kā šautra. Elektroni tam pretojas, jo cits no cita atgrūžas: tiem visiem taču ir vienas un tās pašas zīmes lādiņš (negatīvs). Ja elektroniem ļautu vaļū, to kūlis izplestos (kā sliktas dušas strūkļa) un uz ekrāna izveidotos liels, izplūdis plankums.



### 1.19.

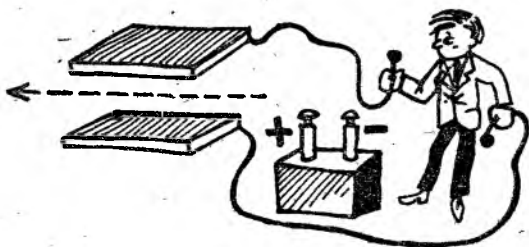
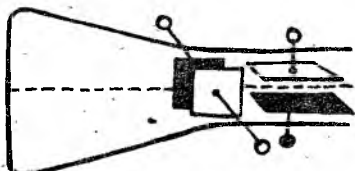


Ar elektronu «stīkiem un niķiem» galā tikt palīdzēja fokusējošais elektrods. Arī tas ir dabs cilindrs; tomēr, atšķirībā no anoda, to pieslēdz tādām potenciālam, kas attiecībā pret katodu ir negatīvs. Tāpēc elektronus, kuri labprāt gribētu izkļīst uz visām pusēm, šis elektrods atgrūž un koncentrē tievā kūlī, kas vērsts cilindra garenass virzienā.

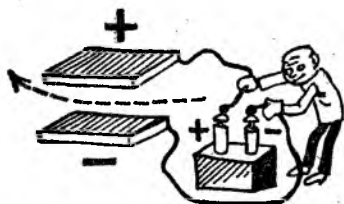
## 1.20.

Joņodams no katoda uz ekrānu, elektrons izskrien caurī diviem savstarpēji perpendikulāriem tā saukto nolieces plašu pāriem. Ja spriegums platēm nav pievadīts, elektrons tās nepamana un nokļūst ekrāna centrā. Līdz ar šo elektronu turp aizlido arī tā «brālīši», citi elektroni: visi kopā tie

ekrāna centrā rada spožu punktu (protams, precīzi runājot, tas būtu jāsauc par plankumu vai plankumiņu).



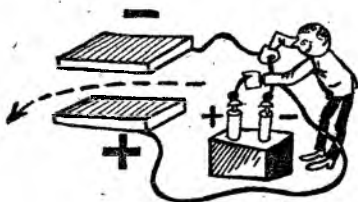
## 1.21.



Bet kas notiks, ja vienam plašu pārim pievadīsim spriegumu? Visi elektroni tieksies uz pozitīvo plati, un spožais punkts no ekrāna centra pārvietosies augšup.

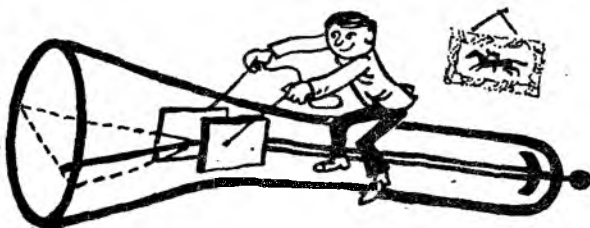
## 1.22.

Ja pievadītā sprieguma polaritāti mainīsim, punkts pārvietosies lejup.



## 1.23

Otrs plašu pāris kūli un punktu ļauj virzīt pa kreisi un pa labi.



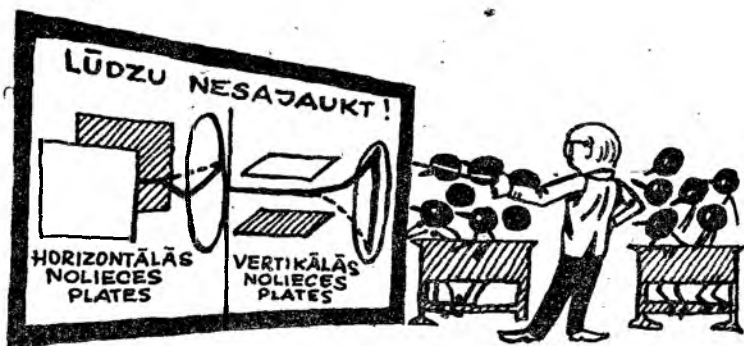
## 1.24.

Lai šīs plates nekad vairs nesajauktu, uz visu mūžu jāiegaumē «krusta likums»: plakāta kreisajā pusē plates stāv vertikāli, turpretī kūli virza pa kreisi un pa labi, tāpēc tās sauc par horizontālās nolieces platēm.

Plates, kas atrodas horizontāli, sauc par vertikālās

nolieces platēm, jo kūli tās virza augšup vai lejup.

Abi plašu pāri kopā ir savdabīgs tēmēklis, kas ļauj apšaudīt jebkuru ekrāna punktu: ja vien būs pareizi izraudzīti plašu spriegumi, kūlis trāpīs tieši šajā punktā.



## AR «LIELGABALU» BRUŅOTĀS

Diode jau ir elektronika. Tā tika izgudrota konkrētu tehnisku uzdevumu risināšanai. Bet sākumā nekādu tehnisko uzdevumu vēl nebija. Nebija arī elektronikas, bija tikai fiziķu dabiskā vēlēšanās izpētīt elektronu. Tāpēc jau veselus četrdesmit gadus pirms divelektrodu lampas — diodes — parādījās katodstaru lampa — tagadējo elektronstaru lampu priekštece, kuru tikai eksperimentēšanai bija radījuši fiziķi.

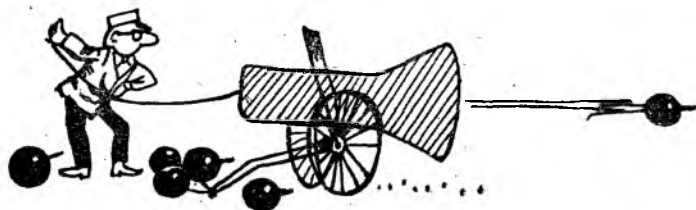
Tai laikā neviens nevarēja iedomāties, cik plaši un daudzpusīgi šī lampa tiks izmantota nākotnē, un, protams, nenojauta, ka radīsies neskaitāmi tās paveidi un vienu paveidu, ko izmantos televizoros, sauks par kineoskopu, t. i., tai kā īpaši mīlam «bērniņam» būs daudz «vārdiņu». Daudzās valodās šo lampu sauc par elektronu cauruli.

Bez elektronstaru lampas nevar iztikt ne vien televīzijā, bet arī radiolokācijā, kosmisko sakaru tehnikā un modernajās skaitļotājsistēmās, kurās to izmanto par vizuālpulti (displeju); tā ir dažādu mēriekārtu (osciloskopu, oscilogrāfu utt.) galvenais mezgls. (Tiesa, jau tiek sekmīgi mēģināts šo lampu aizstāt ar pusvadītājekrānu, kas būtu plāns kā glezna.)

Bet fiziķiem Plikeram, Kirhneram, Hitorfam, Krūksam, Perēnam un Vilāram, kuri izdarīja pirmos eksperimentus ar šo lampu, bija daudz pieticīgāki mērķi: viņi gluži vienkārši gribēja izprast, kā uzvedas elektrons.

Ierīces, kas šajā lampā rada stūrējamu elektronu kūli («staru»), kāds asprātis trāpīgi nosaucis par elektronu lielgabaliem.

Elektroni tiešām līdzinās šāviņiem, bet pozitīvais anoda potenciāls aizstāj gāzu spiedienu, kas šāviņu izgrūž no stobra. Bet stobra vietā lampā ir fokusējošais elektrods, kas nodrošina šaušanas trāpīgumu un kūļa asumu (sk.



arī I.19.). Nolieces plātes ir līdzīgas lielgabala tēmēšanas ierīcēm (sk. 1.20.—1.24.).

Kas gan tolaik varēja zināt, ka vēlāk šī ierīce attaisnos kareivīgo nosaukumu «lielgabals» un palīdzēs īstajai artilērijai precīzi trāpīt ienaidnieka lidmašīnām un kuģiem?

Bet brīdī, kad «elektronu lielgabalu» sāka izmantot radiolokatoru (radaru) indikatormezglos, tam jau bija daudz mierlaika nopelnu.

«Elektronu lielgabalu» izšautos starus (kūļus) fiziķi sāka pētīt jau pirms 120 gadiem; toreiz tos sauca par katodstariem.

Vispirms konstatēja, ka stari vienmēr noliecas pret to plati, kuras potenciāls ir pozitīvs. No tā secināja, ka stars ir negatīvi elektrizētu (lādētu) daļiņu plūsma.

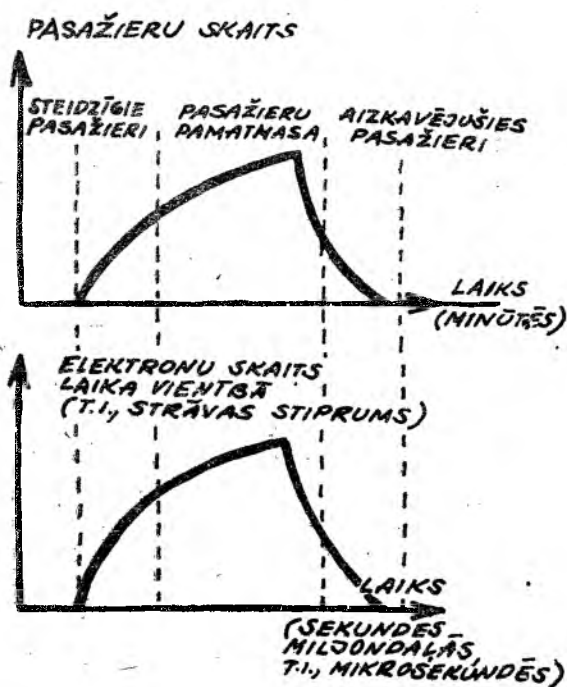
Pēc tam izdevās izmērīt šo daļiņu ātrumu un aprēķināt, cik liela ir to masa. Tādējādi «elektronu lielgabals» palīdzēja noskaidrot neredzamo elektronu īpašības, no abstraktas «elektrības porcijas» tos pārvērdams par daļiņām ar «miesu un dvēseli».

Vēlāk inženieri, izmantodami tādus pašus «lielgabalus», iemācījās iegūt precīzus attēlus uz televizora ekrāna. Bet jau daudz gadu pirms televīzijas radīšanas tika izstrādāts oscilogrāfs — mēriekārta, kas deva iespēju tieši novērot daudzu elektrisku procesu atkarību no laika — atkarību, ko līdz tam pētnieki bija varējuši tikai iztēloties.

Piemēram, aplūkosim elektrisko impulsu. Kas tas tāds? Tas ir «trieciens», ko rada daudz elektronu, visi vienlaikus pārvietodamies pa ķēdes elementiem un savienotājvadiem.

Ja iznāk, pavērojiet metro stacijas eskalatoru. Tas tiek noslogots nevienmērīgi. Kad ir pienācis kārtējais vilciens, visi izkāpušie pasažieri metas uz eskalatora pusi. Īpaši steidzīgie turp dodas skriešus. Viņiem seko «pamatmasa», un cilvēku biezība uz slīdošajām kāpnēm kļūst vislielākā. Gājienu noslēdz daži aizkavējušies; pēc tam eskalators ir tukšs. Impulss ir beidzies. Pienākot nākamajam vilcienam, cikls atkārtojas.





Impulsshēmāš notiek kaut kas līdzīgs. Impulsu ģeneratoru var pielīdzināt metro vilcienam, vada posmu — eskalatoram, bet elektroni uzvedas tāpat kā pasažieri.

Un grafiks, kurā attēlota strāvas atkarība no laika, ir visai līdzīgs grafikam, kurā redzams, kā mainās eskalatora pacelto pasažieru skaits-laika vienībā.

Tomēr atšķirībā no notikumiem metro stacijā, kuri ilgst minūti un vairāk, elektriskais impulss parasti parādās un izzūd sekundes miljonādaļās — mikrosekundēs. Vai tik īsā laikā var pagūt ko saskatīt? Kurš pamanīs impulsu, kas piedzimst — un nomirst — dažās mikrosekundēs?

Izrādās, ka īpaši steigties nemaz nevajag. Momentānie impulsi spēj atstāt pēdas uz ekrāna, un šīs pēdas saglabājas tik ilgi, ka pētnieks pagūst noteikt, kāda ir to forma, un izsekot, kā īsajā, ļoti īsajā laika sprīdī pieaug, turas aptuveni pastāvīga un pēc tam izzūd elektriskā strāva.

Visu to ļauj izdarīt elektronstaru lampa.



## NEREDZAMO DAĻIŅU PĒDAS

Sekundes miljondaļa... Šis laiks ir tik īss, ka to pat grūti ir iedomāties.

Pasaules klases sprinteris, kas simt metrus noskrien 10 sekundēs, vienā mikrosekundē veic... milimetra simtdaļu.

Visātrākās reaktīvās lidmašīnas, kas lido aptuveni trīsreiz ātrāk par skaņu, šai laikā pavirzās uz priekšu apmēram vienu milimetru, bet Zemes mākslīgais pavadoņš, kas joņo ar pirmo kosmisko ātrumu, — astoņus milimetrus.

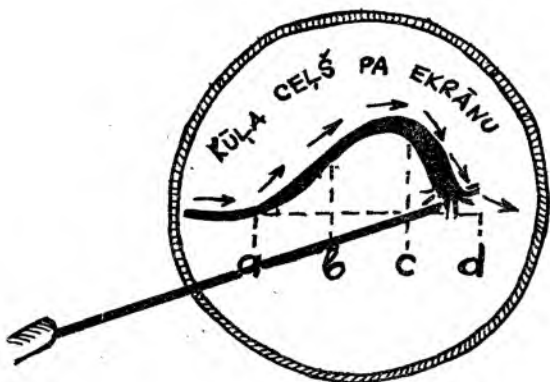
Bet elektroniskajā shēmā vienā mikrosekundē var notikt tik daudz visa kā, ka stāstīt par to var stundām ilgi.

Elektroni «dzīvo» citādā laika mērogā. Tie ir tik žigli un apsviedīgi, ka vienā mikrosekundē pagūst izdarīt nezin ko.

... Impulss ir ildzis vienu mikrosekundi. Elektronstaru lampas kūlis, virzīdamies no kreisās puses uz labo, pa šo laiku ir pārskrējis pāri lampas ekrānam. Brīdī, kad kūlis uzsāka savu gaitu, vertikālās nolieces platēm tika pievadīts impulss, un kūlis novirzījās augšup. Bet, arī šādi novirzīts, kūlis skrēja no kreisās puses uz labo; kad impulss bija beidzies, kūlis atgriezās ekrāna vidū un tur arī beidza savu skrējieni. Rezultātā uz ekrāna ir palikušas pēdas — impulsa grafiks: to vērojot, var redzēt, kā mikrosekundes laikā strāva vispirms ir pieaugusi (posms a—b),

REKORDS VIENĀ MIKROSEKUNDĒ	
BORZOVŠ (100 m SKRĒJIENS)	— 0,01 mm
REAKTĪVĀ LIDMAŠĪNA	— 0,3 mm
ZEMES MĀKSLĪGAIS PAVADOŅIS	— 8 mm





tad saglabājusies daudz maz pastāvīga ( $b-c$ ) un pēc tam atkal kļuvusi vienāda ar nulli ( $c-d$ ).

Elektronstaru lampas ekrāns ir īsts brīnumekrāns: tajā var vērot neredzamu pasažieru pārvietošanos pa neredzamiem eskalatoriem, proti, strāvas gaitu pa vadiem un citiem shēmas (ķēdes) elementiem.

Attēls uz ekrāna saglabājas neilgi. Ekrāns, kā jau teikts, no iekšpuses ir pārklāts ar speciālu sastāvu, kas pēc tam, kad pārskrējis elektronu kūlis, spīd kādu sekundes daļu vai, augstākais, dažas sekundes. Bet ar atsevišķiem impulsiem nākas nodarboties reti. Parasti tie — pēc formas visi vienādi — seko cits citam, un jebkurš no tiem liek noliekties elektronu kūlim, kas līdz ar to atjauno pēdas uz ekrāna. Kamēr impulss turpinās, kūlis skrien pa ekrānu no kreisās uz labo pusi. Pēc tam tas ļoti ātri atgriežas ekrāna kreisajā malā un sāk savu ceļu no jauna.

Bet ko nozīmē «ļoti ātri»? Mēs pieņemām, ka ceļā no ekrāna kreisās malas uz labo kūlis patērē tikai vienu mikrosekundi. Tātad tiešā gaita (t. i., skrējiens no kreisās uz labo pusi) noris ar ātrumu apmēram 100 km sekundē jeb 360 000 km stundā. Ja kūlis slīdētu nevis pa ekrānu, bet pa Zemes virsu, stundā tas paspētu deviņas reizes apriņķot zemeslodi!

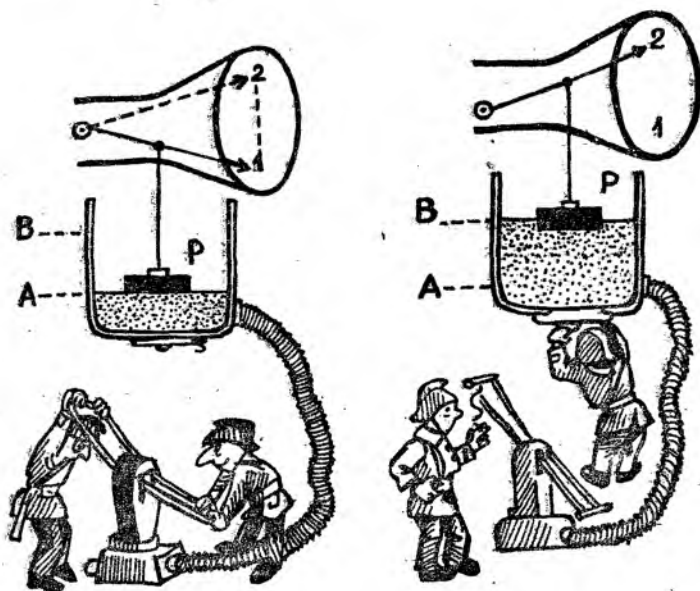
Vai tad tas nav ātri? Ir. Bet elektronikā pat tāds ātrums tālu atpaliek no rekorda. No kreisās uz labo pusi kūlis skrien ātri, bet no labās uz kreiso (t. i., atpakaļgaitā) vēl daudzkārt ātrāk.

Bet no kā ir atkarīgs kūļa skrējiena ātrums? Kā kūlim liek, sasniedzot ekrāna labo malu, griezties atpakaļ? Nāksies mazliet iedziļināties elektronu kūļa stūrēšanas principos.

## GANDRĪZ KĀ SKOLAS UZDEVUMU KRĀJUMĀ

Kūli, kas pats sastāv no elektroniem, arī stūrē... elektroni. Par elektronu trūkumu šajā procesā nav jāšūdzas: vieni rada elektrisko impulsu, otri, izlidojuši no «elektronu lielgabala», joņo uz ekrāna pusi, trešie tai pašā laikā stūrē kūli. Tieši tāpēc elektroniskajā shēmā vienā mikrosekundē var norisināties tik daudz notikumu, ka būtu ko stāstīt vairākas stundas. Visas detaļas šeit neiztirzāsim. Tomēr elektronu kūļa stūrēšanas principu ir vērts aplūkot sīkāk, jo patlaban mēs iepazīstamies ar pirmo elektronisko ierīci, kurā vienotu un sarežģītu procesu rada neskaitāmu elektronu sadarbība un mijiedarbība. Un, tā kā elektroniskais process nav ne sataustāms, ne redzams, vispirms pievērsīsimies ilustrējošam modelim. Viss tajā būs «smags, neveikls un saskatāms», tomēr elektronu kūļa stūrēšanas procesu tas atainos samērā precīzi.

Iedomāsimies, ka mūsu rīcībā ir rezervuārs, kura tilpums ir, teiksim,  $C$  litru un kuru pa tievu cauruli var piepildīt ar ūdeni. Laikā  $T_1$  ūdens līmenis rezervuārā paceļas no  $A$  līdz  $B$ . Līdz ar to augšup ceļas arī pludiņš  $P$  un pagriež rādītāju, kas modeli ir kūļa lomā. Laikā  $T_1$  rādītāja smaile pavirzās pa ekrānu augšup no punkta  $1$  līdz punktam  $2$ .



Sai brīdī atveras aizvars rezervuāra apakšā un ūdens līmenis strauji pazeminās no  $B$  līdz  $A$ . Svarīgi ir tas, ka aizvaram ir lielāks laukums nekā caurules šķērsgrīzumam un tāpēc rezervuāra iztukšošanās laiks, ko apzīmēsim ar  $T_2$ , ir daudz īsāks nekā tā piepildīšanās laiks ( $T_1$ ). Rādītājs — kūlis — līdz ar to no punkta 2 atgriežas punktā 1. Mūsu sistēma atgādina tos daudzos baseinus matemātikas uzdevumu krājumos, kuros pa cauruli  $A$  ik minūti iepildās  $x$  litru ūdens, turpretī pa cauruli  $B$  tai pašā laikā  $y$  litru aizplūst prom, vai ne? Tomēr ir arī atšķirība. Ūdens šajos baseinos ieplūst un no tiem aizplūst pa abām caurulēm vienlaikus, turpretī mūsu sistēmā tās darbojas viena pēc otras. Tāpēc laikā  $T_1$  rādītājs lēnām paceļas, bet pēc tam laikā  $T_2$  strauji krīt lejup.

Šis process ir attēlots grafikā, no kura redzams, ka laikā  $T_1$  ūdens līmenis lēnām paceļas no  $A$  līdz  $B$ , bet laikā  $T_2$  — strauji nokrītas no  $B$  uz  $A$ .

Tagad, jādomā, ir vieglāk saprast, kas notiek elektroniskajā shēmā. Šeit «rezervuārs» ir kondensators  $C$ , «sūkņi» — sprieguma avots  $E$ , bet «caurule» — lielas pretestības rezistors  $R_1$ .

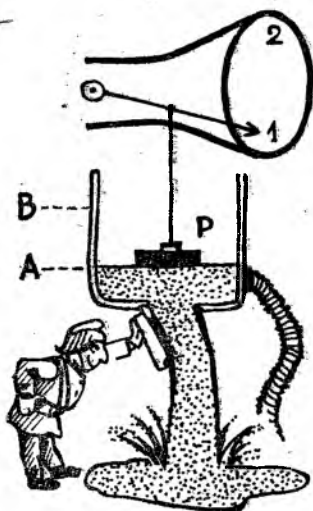
Kondensatora uzlādēšanās laikā reizē ar tā lādiņu palielinās arī līmeņa augstums «rezervuārā», t. i., spriegums (potenciālu starpība) starp kondensatora klājumiem. To parasti apzīmē ar  $U_C$ .

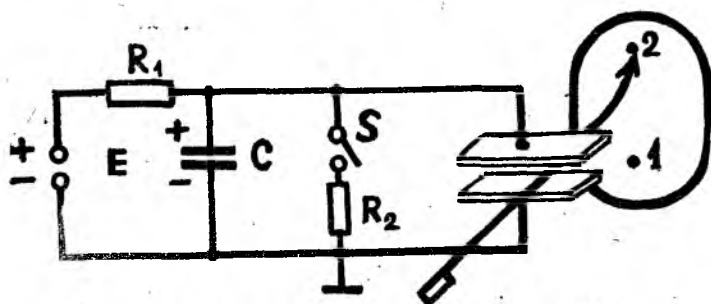
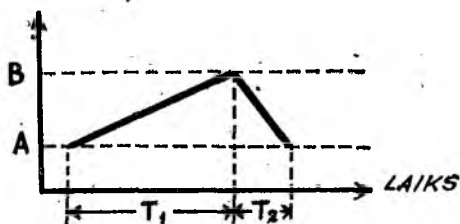
Slēdzis  $S$  ir savdabīgs «aizvars»: tas paver strāvai ceļu pa mazas pretestības rezistoru  $R_2$ , tādējādi ļaudams «rezervuāram» «iztukšoties». Tā kā «iztukšošanās» rezistora  $R_2$  pretestība ir daudz mazāka par «caurules»  $R_1$  pretestību, kondensatora spriegums no savas maksimālās vērtības  $U_{C \max}$  ļoti ātri samazinās līdz nullei.

Procesa grafiks mums jau ir pazīstams.

Uz vertikālās ass tagad atliksim nevis ūdens līmeņa augstuma, bet gan kondensatora sprieguma  $U_C$  vērtības.

Nav grūti konstatēt, ka grafiks pēc formas atgādina



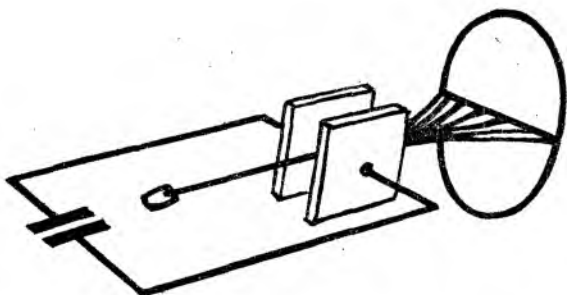


- $R_1$  — *LIELA PRETESTĪBA („CAURULE“)*  
 $S$  — *SLĒDZIS („AIZVARS“)*  
 $R_2$  — *MAZA PRETESTĪBA („IZTUKŠOŠANĀS“  
 PRETESTĪBA)*

zobu. Ja process atkārtojas, rodas vairāki zobi, kas visi kopā izveido *zāģi*. Kūli stūrē šāds zāģveida spriegums. Ja kondensatoru pieslēdzam pie vertikāli izvietotajām platēm, kūlis pārvietojas horizontālajā plaknē («krusta likums»). Laikā  $T_1$  (zoba garākā mala) kūlis pārvietojas uz labo pusi, bet laikā  $T_2$  (zoba īsākā mala) veic savu ļoti ātro atpakaļgājieni.

Jāpiebilst, ka kūļa ātrums ir atkarīgs no «rezervuāra piepildīšanās» ātruma, t. i., no sprieguma  $U_C$  pieaugšanas ātruma. Kamēr kondensatora lādiņš ir mazs, šis ātrums ir gandrīz pastāvīgs: kūlis pa ekrānu pārvietojas ar tikpat kā nemainīgu ātrumu. Lai tas tāds paliktu visu «tiešā gājiena» laiku, «rezervuāra» ietilpību (kapacitāti) vienmēr izraugās pietiekami lielu — tādu, ka tas nekad nepiepildās «līdz malām».

Lai kūļa stūrēšanas princips būtu saprotams līdz galam, ir atlicis noskaidrot tikai vienu jautājumu.



Savā ilustrējošajā modeli mēs paši vajadzīgajā brīdī at-  
taisijām vaļā aizvaru, lai rezervuārs iztukšotos. Bet kas  
shēmā, kura redzama iepriekšējā lappusē, vajadzīgajā  
brīdī saslēdz slēdža S kontaktus?

Šo uzdevumu ļauj atrisināt trielektrodu lampa —  
triode. Turpmākais mūsu stāstījums ir veltīts tai.



PAMATS IR ŠĀDS

### 1.25.

Atrisinājums bija trešais elektrod — stūrējošais tīkliņš. Ievietots starp nupat aplūkotās lampas — diodes — katodu un anodu, tas deva iespēju, mainot tīkliņa spriegumu, stūrēt lampas strāvu, t. i., noteiktās robe-

žās mainīt tās skaitlisko vērtību.

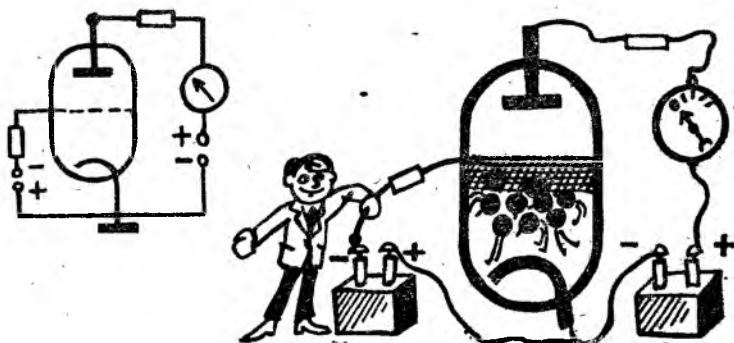
Triselektrodu lampas, kuras sāka saukt par triodēm, būtiski paplašināja elektronu lampu izmantošanas iespējas.



## 1.26.

Triodes strāvu stūrē spriegums, kas pievadīts starp tīkliņu un katodu. Ja tīkliņam attiecībā pret katodu ir liels negatīvs potenciāls, tīkliņš kļūst par barjeru, kura elektroniem nav pārvarama. Tie drūzmēsies

telpā starp tīkliņu un katodu, un lampa būs aizvērta, anodstrāva (strāva no katoda uz anodu) neplūdis, kaut arī, tāpat kā diodē, anodam attiecībā pret katodu ir pievadīts «pluss».



*Piezīme.* Šeit mēs, un ne jau pirmo reizi, saskaramies ar neērtību, kuras cēlonis ir vēsturiski iesakņojušies nosaukumi «pluss» un «minuss». Tad, kad tie tika piešķirti noteikta veida lādiņiem, kurus ieguva, berzējot ķermeņus, par atoma uzbūvi un elektrona eksistenci neviens, protams, neko nezināja. Tikai vēlāk atklājās, ka lielākoties, it īpaši Zemes zinātnē un tehnikā, strāvas materiālais nesējs ir *negatīvi* lādēta daļiņa — elektrons (sk. arī iepriekšējos paragrāfus). Tomēr jau bija ieviesies uzskats, ka strāva

ir *pozitīvu* daļiņu plūsma, un daudzu apsvērumu dēļ šo priekšstatu nācās saglabāt. Vēl joprojām speciālajā literatūrā, piemēram, raksta, ka diodē un triodē «strāva» plūst no anoda uz katodu, lai gan elektronu lidojuma virziens ir pretējs. Grūtības, ko rada šis «juceklis», nav tik lielas, kā varētu likties iesācējam. Mēs savā grāmatā šīs grūtības mēģināsim... apiet; šeit tās pieminējam, lai lasītājs nedomātu, ka tās esam aizmirsuši.



## 1.27.

Lai šī «drūzma» izzustu, vajag tikai tīkliņa «mīnusu» samazināt (pēc absolūtās vērtības), t. i., tīkliņu padarīt *pozitīvāku*. Jo vairāk tīkliņa potenciāls tuvosies nullei, jo stiprāka kļūs anodstrāva.

Vienkāršoti tas pasakāms šādi: «drūzmu» var likvidēt, tīkliņam «mīnusa» vietā pievadot «plusu». Tad tīkliņš anodam palīdzēs, jo abu šo elektrodu pozitīvo potenciālu iedarbība uz elektronu plūsmu summēsies. Lampā plūdīs (sk. arī turpmāk, 1.31.—1.34.) samērā stipra strāva.

Tomēr daudzu iemeslu dēļ triode parasti nedarbojas režīmā ar pozitīvu tīkliņspriegumu (izņēmumi šobrīd mūs nevar interesēt). Galvenais iemesls ir šāds: ja tīkliņš attiecībā pret katodu ir pozitīvs, plūst *tīkliņstrāva*. Tiesām, var uzskatīt, ka posms «tīkliņš — katods» ir maza, no pārējās lampas neatkarīga diode, kurā, kā mēs jau zinām,

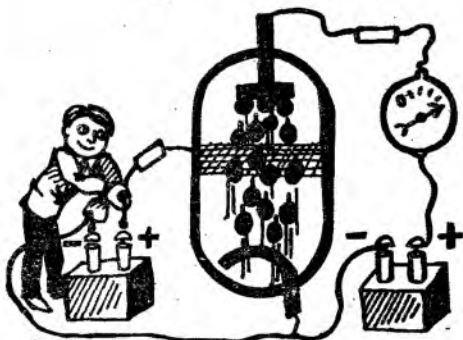
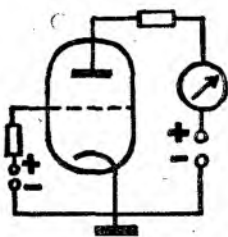
plūst strāva, ja anods ir pozitīvs attiecībā pret katodu. Un triodes tīkliņš ir šīs «mazās diodes» anods.

Bet tīkliņstrāva ir kaitīga: tās dēļ triodes anodstrāvas stūrēšanai jāpatērē ne vien spriegums, bet arī jūtama jauda; tās dēļ nevēlamā veidā mainās anodstrāvas atkarība no tīkliņsprieguma utt.

Izrādās, ka notiek kas vēl interesantāks: tīkliņstrāva plūst arī tad, ja tīkliņa potenciāls attiecībā pret katodu ir nulle vai pat mazliet (volta daļu) negatīvs. Šīs strāvas cēlonis ir tas, ka no katoda izlidojušajiem elektroniem ir noteikts sākumātrums un līdz ar to arī noteikta kinētiskā enerģija, kas tiem palīdz pārvarēt ne visai stipru *bremzējošu* elektrisko lauku, ko telpā starp tīkliņu un katodu rada tīkliņa *negatīvais* potenciāls. Tas pats notiek diodes.

So parādību var izmantot tiešai siltumenerģijas pārvēršanai elektriskajā enerģijā. Katoda materiālam ir jābūt īpaši izraudzītam; pārveidotāja izmēriem jābūt pietiekami lieliem, un anods ir jādzesē.

Turpmākie grafiki ir ilustratīvi: tajos parādītas arī pozitīvā tīkliņsprieguma izraisītās strāvu izmaiņas:



## 1.28.

Visu, kas izstāstīts par procesiem triodē (un vēl daudz ko pagaidām nepieņemtu), grafiski var attēlot ar tā saukto lampas — triodes — raksturlikni. Tātad līdz šim esam runājuši par anodstrāvas  $i_a$  atkarību no tīkliņsprieguma  $u_g^*$ .



Parasti šādu atkarību aprēķina, mēra, zīmē un izmanto kādai vienai noteiktai anodsprieguma vērtībai, ko pieņem par nemainīgu ( $u_a = \text{const}$ ). Ja mūs interesē, kā triodes īpašības mainās, mainoties ne vien tīkliņspriegumam, bet arī anodspriegumam, varam rīkoties dažādi. Plaši izplatīts ir šāds paņēmieni: zīmējam *vairākas* līknes, vairā-

kas anodstrāvas atkarības no tīkliņsprieguma, katru savai anodsprieguma vērtībai. Ir pieņemts teikt, ka tādējādi iegūstam raksturliņķu *saimi*, kurā anodstrāva  $i_a$  un tīkliņspriegums  $u_g$  ir mainīgie lielumi, bet anodspriegums  $u_a$  — *parametrs*.

Par nosacījumiem, kādus nereti pieņem, zīmējot grafikus, būs runa arī 1.30. paragrafā.

## 1.29.

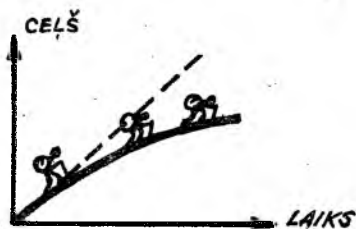
Lampas raksturlikne ir *grafiks*.

Bet kālab vispār ir vajadzīgi grafiki? Lai varētu uzskatāmi attēlot jebkādu divu lielumu sakarību. Kaut vai, piemēram, šādu.

Jo ilgāk iet gājējs, jo garāku ceļu viņš veic. Ja iešanas ātrums ir nemainīgs, gājēja grafiks ir tāds, kādu redzam attēlā.



\* Indeks *g* ir angļu *grid* (tīkliņš) pirmais burts.



Bet, ja uz beigām gājējs sāk aizvien vairāk nogurt, viņa ceļa grafiks ir šāds.

Par šādu gadījumu ir pieņemts teikt, ka ceļš ir *nelineāri* atkarīgs no laika: sakarību attēlo nevis taisne, bet gan likne.

### 1.30.

Atkarību no laika, kas izteikts gados un varbūt pat piecgadēs, attēlo arī tādi visiem ļabi pazīstami grafiki, kuros parādīts kāda tautsaimniecības produkcijas veida ražošanas līmeņa pieaugums.

Grafiki var ilustrēt ne vien atkarību no laika, bet arī jebkuru citu sakarību: starp lidmašīnas lidojuma tālumu un degvielas daudzumu, starp lidmašīnas ātrumu un tās motoru attīs-

tīto jaudu utt. Turklāt, zīmējot grafiku, var pieņemt, ka ir izpildīti vieni vai otri *nosacījumi*. Piemēram, ja grafiski attēlojam lidmašīnas ātruma atkarību no motora jaudas, acīmredzot jāpieņem (vismaz!) nosacījums, ka gaisa pretestība nemainās, jo citādi grafiks zaudēs viennozīmību un neko vairs neilustrēs.

Ik uz soļa ar šādiem nosacījumiem jāstopas, arī zīmējot un izmantojot lampu un citu elektronisko ierīču raksturlieknes.

### 1.31.

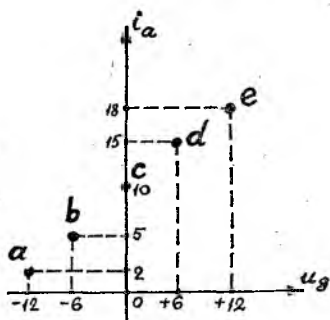
Atgriezīsimies pie lampas raksturlieknes. Anodstrāvas  $i_a$  atkarību no tīkliņsprieguma  $u_g$  (t. i., sprieguma starp tīkliņu un katodu jeb tīkliņa un katoda potenciālu starpības) sauc par lampas anoda-tīkliņa raksturliekni (tiek pieņemts, ka spriegums starp anodu un katodu — anodspriegums — ir nemainīgs). Anodstrāvas



atkarību no anodsprieguma  $u_a$  (nemainoties tīkļspriegumam) sauc par lampas anoda raksturlīkni.

Anoda-tīkļa raksturlīkni noteic šādi. Pieņemsim, ka spriegumam  $u_g = -12$  V (voltage) atbilst anodstrāva  $i_a = 2$  miliampēri, mA (t. i., divas tūkstošdaļas ampēra).

Uz grafika horizontālās ass atliekam  $-12$  V, uz vertikālās — 2 mA. Abu grafiku asīm paralēlo taisņu krustpunkts ir *a*.

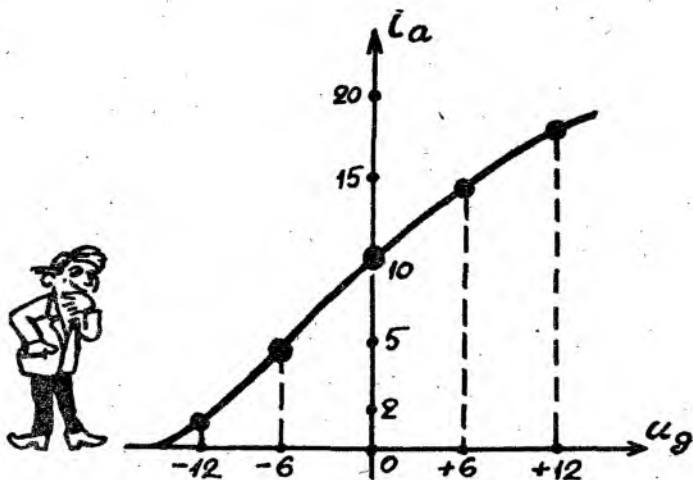


### 1.32.

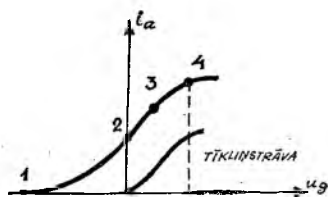
Mainīdami  $u_g$  un neļaudami mainīties  $u_a$ , izmērām, kā mainās  $i_a$ , un pēc tās pašas metodikas iegūstam grafika punktus *b*, *c*, *d* un *e*.

Grafiku varam precizēt, vēl izmērot, kādas  $i_a$  vērtī-

bas atbilst tīkļspriegumiem robežās, piemēram, no  $-15$  līdz  $+15$  voltiem. Caur visiem šiem punktiem novelkam lampas anoda-tīkļa raksturlīkni. Tā atkal ir nelineāra.



### 1.33.



Par cilvēku nevaram iegūt pilnīgu priekšstatu pat tad, ja mūsu rīcībā ir ļoti, ļoti sīks viņa raksturojums.\*

Turpretī lampas raksturlikne sniedz izsmelšu informāciju par lampas īpašībām. Raksturlikni aplūkojot, varam izsekot visiem

procesiem, par kuriem bijusi runa (sk. 1.26.—1.27.).

1. punkts. Negatīvā tīkliņsprieguma skaitliskā vērtība ir liela. Tīkliņš ir elektroniem nepārvarama barjera. Anodstrāva ir vienāda ar nulli (sk. 1.26.).

2. punkts. Tīkliņsprieguma baterija atvienota; anodstrāva ir samērā stipra.

3. punkts. Tīkliņspriegums ir kļuvis pozitīvs; anodstrāva pieaug (sk. 1.27.).

4. punkts. Tīkliņš ir kļuvis par anoda konkurentu — plūst nepieļaujami liela tīkliņstrāva (sk. 1.27.).

### 1.34.

Lampas raksturlikne ļauj piemēram, konstatēt, ka, tīkliņspriegumam  $u_g$  mainoties no  $-6$  līdz  $+6$  V, t. i., par 12 voltiem, anodstrāva mainās no 5 līdz 15 mA, t. i., par 10 miliampēriem.

Parasti tīkliņam pievadītais signāls ir daudz vājāks. Pieņemsim, ka spriegums starp tīkliņu un katodu izmainās no  $-0,6$  uz  $+0,6$  voltiem, t. i., par 1,2 V. Šāda pārmaiņa anodstrāvu

izmaina par 1 mA. (Piebīdīsim, ka raksturliknes lineārajā posmā — kā jau lineārā — strāvas pieaugums ir proporcionāls sprieguma pieaugumam.)

Ja triodes anodķēdē ir ieslēgts rezistors, kura pretestība ir 24 kiloomi (t. i., 24 tūkstoši omu), tad, pēc Oma likuma, strāvas svārstības šajā ķēdē izraisīs sprieguma svārstības, kuru dubultamplitūda (vēziens)

\* Šeit autors izmanto to, ka krievu valodā *характеристика* ir gan «raksturojums», gan arī «raksturlikne». Pārtulkot šo vārdspeļi nav iespējams. *Tulk. piez.*



ir  $1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \times 24 \cdot 10^3 \Omega = 24 \text{ V}$ .

Tātad, tīkliņam pievadot 1,2 voltus lielas sprieguma svārstības, anodķēdē notiek svārstības par divdesmit četriem voltiem: lampa svārstības pastiprina divdesmit reizi. Pastiprinājums ir izskaidrojams ar to, ka triodē tīkliņš ir novietots ļoti tuvu katodam un, tīkliņspriegumam mainoties pat tikai nedaudz, anodstrāva mainās visai jūtami un attiecīgi mainās arī sprieguma kritums uz anodķēdē ieslēgtā slodzes rezistora. Ja citu pēc citas

ieslēdz vairākas pastiprinātājlampas (kopā ar palīg-elementiem tās sauc par pastiprinātājpakāpēm), vāju signālu var pastiprināt simtiem tūkstošu un miljoniem reizi.

Spēja pastiprināt signālu ir galvenā triodes īpašība. Tā ir ārkārtīgi vērtīga. Elektronikā šī spēja tiek izmantota ļoti plaši.

Protams, enerģijas nezūdamības likums pastiprinātājā netiek pārkāpts: pastiprināto svārstību jauda nāk no anodķēdes barošanas avota, nevis no vātajām svārstībām, ko pievadām pastiprinātāja ieejai.

## TALKĀ NĀK TĪKLIŅŠ

1956. gada 5. oktobrī ASV izgudrotājam Lī de Forestam tika pasniegts augsts apbalvojums — Francijas Goda leģiona ordenis. Ievērojamais mūsdienu fiziķis Luijs de Brojī, kas piedalījās svinīgajā ordeņa pasniegšanas ceremonijā, savā apsveikuma runā teica, ka sakarā ar atklājumu, kuru Lī de Forests izdarīja pirms pusgadsimta, viņa vārds ir kļuvis par vienu no modernās zinātnes un tehnikas dižvārdiem.

«Visu zinātņu speciālisti Lī de Forestam ir parādā daudz cieņas, pateicības un apbrīnas,» nobeigumā Luijs de Brojī uzsvēra.

Kāds ir tas dižais atklājums, kas pat pēc piecdesmit gadiem var izraisīt sajūsmu un pateicību?

Pirmajā brīdī tas tik grandiozs nemaz neizliekas. Jau minētais angļu zinātnieks Flemings trīs gadus pirms Lī de Foresta atklājuma bija radījis mums pazīstamo div-elektrodu lampu — diodi (sk. 1.14. un 1.15.). Lī de Forests izdarīja ko šķietami maznozīmīgu — ieteica starp diodes anodu un katodu ievietot vēl vienu elektrodu.

Varētu likties — kas tur dižs! Lampā bija divi elektrodi un ieradās trešais.

Bet kādas neierobežotas iespējas tas pavēra tehnikai!

Lī de Forests savu lampu nosauca par audionu, jo to varēja izmantot par detektoru, ar ko «dzirdamas» padarīt ļoti augstās frekvences dēļ nedzirdamās svārstības, kuras sev līdzī atnesis ar tām modulēts radiovilnis. Vēlāk šo nosaukumu tikpat kā aizmirsā: tagad trieselektrodu lampu sauc par triodi.\*

Turpmākajos pārdesmit gados parādījās lampas ar diviem, trim, četriem un pieciem tikliņiem. Tomēr, ja vārdu atkal dodam Luijam de Brojī, «lai arī cik svarīgi būtu grozījumi, kas ar laiku izdarīti Lī de Foresta izgudrotās triodes sākotnējā konstrukcijā, visu moderno šā veida lampu pamatā ir un paliek Lī de Foresta iedibināts būtisks princips: starp vakuumlampas anodu un katodu plūstošās strāvas stiprumu regulē citi elektrodi — palīg-elektrodi».

Viss ģeniālais šķiet esam ļoti vienkāršs. To laikam vislabāk apliecina pirmais tikliņš — detaļa, kas tehnikā izdarījusi veselu revolūciju: bez elektronu lampām vairs nevar iztikt neviena tās nozare.

Un diez vai mūsdienās eksistē kāda elektroniskā ierīce, kurā nebūtu triožu. Tiesa, vakuumtriodes vietā pašreiz jau gandrīz visur izmanto dažāda veida pusvadītājtriodes — *tranzistorus*. Tomēr visas triodes dara vienu un to pašu: vai nu pastiprina un pārveido signālus, vai arī ieslēdz un izslēdz strāvu, darbodamās kā slēdzis.

Ne velti pirmās triodes tika nosauktas par vakuumrelejiem. Elektrotehnikā par relejiem sauc ierīces, kas ļauj ar sāmērā vāju strāvu ieslēgt, atslēgt un pārslēgt ķēdes, kurās plūst daudz stiprāka strāva. Kamēr triode nebija iz-

---

\* Vispār visi lampu nosaukumi ir atvasināti no vārdiem, kas izsaka elektrodu skaitu: diodei ir divi elektrodi (*dia* — divi), triodei — trīs, tetrodei — četri (*tetra*), pentodei — pieci (*pentia*) utt.

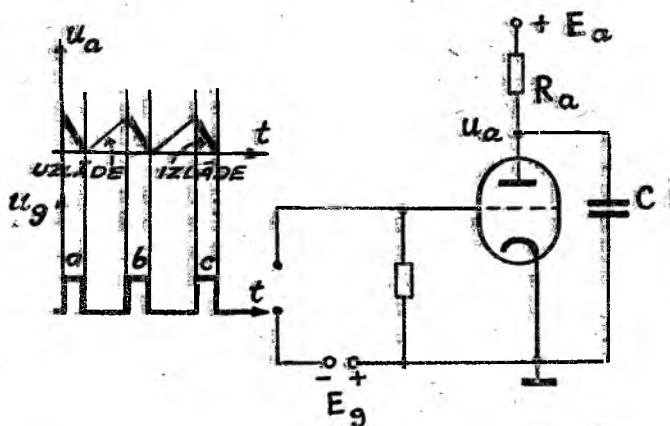
gudrota, to varēja paveikt tikai elektromagnēts. Pievilkdams serdi (enkuru), magnēts saslēdz vienu kontaktu un pārtrauc otru. Triode deva iespēju to pašu izdarīt bez magnēta un kontaktiem un turklāt vēl tūkstošiem un miljoniem reižu īsākā laikā.

Mūsu zemē M. Bonča-Brujeviča vadībā radītā pirmā triode bija paredzēta tieši šī uzdevumā veikšanai. Tāpēc to nokristīja par ПП-I, t. i., vakuumreleju. Nr. 1.\*

Tomēr visvairāk slavas triodei sagādājusi otra tās «specialitāte»: mūsdienās vairs nav nevienas elektronikas nozares, kurā nebūtu vajadzīgs pastiprināt tādu vai citādu signālu.

## PAR ZĀĢI, KŪLI UN SLĒDZI

Tikai tagad, kad esam iepazinušies ar triodes svarīgākajām īpašībām, varam atgriezties pie paragrāfā «Gandrīz kā skolas uzdevumu krājumā» iztirzātajiem procesiem un līdz galam uzzīmēt elektronu kūļa stūrēšanas shēmu. Ja Jūs atceraties, tad shēmā, kurā kondensators strādā par «rezervuāru», triode darbojas par slēdzi S (sk. 44. lpp.).



\* Burti ПП ir krievu valodas vārdu *пустотное реле* (vakuumrelejs) pirmie burti.





Tagad kondensatoru pieslēdzam triodes anodam. Kamēr triode ir aizvērtā («ciet»), kondensators uzlādējas: strāva no avota  $E_a$  tam pieplūst caur lielas pretestības rezistoru  $R_a$ . Kondensatora spriegums lēnām pieaug, veidojams zāga zoba garāko, lēzeno malu. Bet tad tīkliņam tiek pievadīts impulss (attiecībā pret katodu pozitīvs), un

triode sāk plūst strāva (tā «atveras»). Atvērtā triode ir līdzīga rezervuāram, kura aizvars (ar lielu šķērsriezuma laukumu) ir vaļā: viss lādiņš, ko paspējis uzkrāt kondensators rezervuārs, pa triodi ātri (relatīvi ātri!) aizplūst uz zemi. Izlādes laiks  $T_2$  atbilst zoba īsajai, stāvajai malai. Šai laikā elektronu kūlis veic atpakaļgājieni.

Lūk, pēc šāda principa darbojas ierīce, kas ļauj saskatīt neredzamo. Varbūt ir vērts vēlreiz pārlasīt paragrāfus «Neredzamo daļiņu pēdas» un «Gandrīz kā skolas uzdevumu krājumā», lai priekšstats par zāga, kūļa un slēdža mijiedarbību un sadarbību kļūtu pilnīgi skaidrs.

Ir atlicis noskaidrot vēl vienu apstākli. Lai impulsa atēls uz ekrāna būtu ass un nekustīgs, kūlim, atkārtoti skrienot pa ekrānu, vienmēr jādodas pa vienu un to pašu maršrutu. Vislabāk tas panākams, liekot lietā «pašapkalpošanos»: zāglī vajadzīgā brīdī palaiž («iedarbina») impulss, kuram jāklūst redzamam, šai nolūkā izmantojot papildu slēdztriodi. Vispirms impulss tiek pievadīts šīs triodes tīkliņam, atver triodi un liek kūlim skriet pāri ekrānam. Ekrānam (precīzāk sakot, vertikālās nolieces plātēm) impulss tiek pievadīts mazliet vēlāk (to panāk ar īpašām impulsu aiztures shēmām), kad kūlis jau ir paguvis nedaudz attālināties no ekrāna malas. Sakarā ar aizturi impulss nokļūst ekrāna vidusdaļā un ir redzams visā pilnībā.

Ar nākamo impulsu notiek tas pats: arī tas skatienam parādās ekrāna vidusdaļā. Un arī katrs sekojošais impulss liek kūlim skriet pa ekrānu, atkārtojot to pašu maršrutu un atsvaidzinot pašam savas pēdas.

## LAIKS, KO «PALIELINĀJIS» MIKROSKOPS

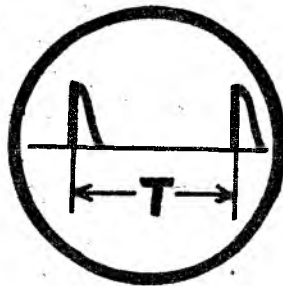
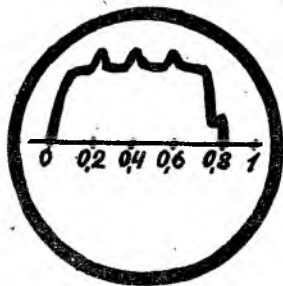
Princips, ar kuru nule kā iepazīnāties, der ne tikai impulsu vai citu elektronisko procesu novērošanai. Tas ļauj tikt galā vēl ar kādu ļoti svarīgu uzdevumu: dažādus laika intervālus izmērit ar precizitāti līdz sekundes miljondaļām un pat tās simtmiljondaļām. Ir pilnīgi skaidrs, cik tas svarīgi, piemēram, pašai elektronikai: elektroni ir tik žigli, ka gandrīz visus uzdevumus izpilda sekundes miljondaļās.

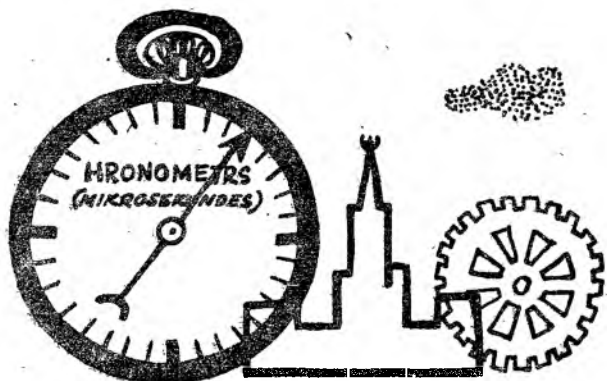
Lai varētu izmērit impulsa ilgumu, jāzina, cik plats ir tā attēls uz ekrāna un kāds ir kūļa skrējiena ātrums. Ja visu ekrānu kūlis pārskrien vienā mikrosekundē, tad attēlā redzamā impulsa ilgums ir  $0,8 \mu\text{s}$ . Lai varētu labāk orientēties mikrosekunžu daļās, kūlim var likt, teiksim, ik pēc mikrosekundes desmitdaļas mazliet pavirzīties augšup un tādējādi uz ekrāna veidot iezīmes — «pikīšus», pēc kuriem nolasāmas mikrosekundes desmitdaļas.

Var izmērit, cik ilgs laiks paiet no viena impulsa līdz otram. Tā rīkojas, piemēram, radiolokācijā: zinot laiku starp diviem impulsiem, noteic attālumu līdz mērķim.

Pieņemsim, ka 1. impulss uz ekrāna ir nokļuvis taj pašā brīdī, kad kārtējo impulsu izstarojusi lokatora antena. Laikā  $T$  šis lokatora impulss ir paguvis sasniegt mērķi, atstaroties no tā un atgriezties atpakaļ. Uztvērēja pastiprināts, tas kūlim ir licis atkal novirzīties, tā ka uz ekrāna redzams jauns impulss, ko sauksim par 2. impulsu:

Impulss skrien gaismas ātrumā, t. i., 300 000 kilometru sekundē. Pieņemsim, ka līdz mērķim ir 150 metru. Impulss šos 150 metrus turp un 150 metrus atpakaļ veiks vienā mikrosekundē, t. i., tieši tikpat ilgā laikā, kā kūlis šķērso ekrānu. Tātad starp laiku  $T$  un attālumu līdz mērķim pastāv noteikta un turklāt ļoti vienkārša sakarība. Lai attā-





lums būtu noteicams ar precizitāti līdz 10 metriem, laiks jāmēra ar precizitāti līdz mikrosekundes desmitdaļai. Tas izdarāms, tikai izmantojot elektroniskās ierīces, kas mikrosekundes ļauj «izstiept» pa ekrāna platumu, tāpat kā mikroskopī «izstiepj» mikroskopiskos objektus, tos palielinādami simtiem un tūkstošiem reižu.

Tagad iedomāsimies, ka laika intervālus, kas ilgst dažas mikrosekundes, mēs gribētu mērīt bez elektronikas. Vai ar mehānisko hronometru tas ir izdarāms?

Kā būtu, ja mūsu hronometra rādītājs sekundē veiktu vienu apgrieziena (standartinstrumenti ir 60 reižu gausāki)? Ja ciparnīcas perifērijas milimetrs atbilstu vienai mikrosekundei, tad tās apkārtmērs būtu miljons milimetru jeb 1 kilometrs, bet diametrs — ap 300 metru: šāda ciparnīca būs augstāka par Maskavas Valsts universitātes augstceltni!

Bet varbūt ir cita izeja: līkt, lai rādītājs vienu apgrieziena veic mikrosekundē? Tad sekundē tam būs jāapgriežas miljons reižu. Ja par dzinēju izvēlēsimies motoru, kura rotācijas ātrums ir 100 apgrieziena sekundē, būs nepieciešams zobratu pārvads. «Mikrohronometra» rādītāju mēģināsim piestiprināt pie ass, uz kuras atrodas zobrats ar viena centimetra diametru. Lielā zobrata diametram tad jābūt simt metru. Kāda būtu vajadzīga jauda, lai šāds zobrats rotētu ar 100 apgriezieniem sekundē?

Rezultāts ir paradokssāls:niecīgo mikrosekundi var izmērīt tikai ar neiespējami grandiozu pulksteni. Mehānika ir pārāk smagnēja, lai tiktu galā ar mikrosekundēm. Tām vajadzīgas citādas «daļas» — vieglas, kustīgas un vispār tādas kā elektroni.

## MILZU CELTNES PAMATI

Nodaļa tuvojas beigām. Protams, ar tajā izstāstīto ir par maz, lai rastos priekšstats par visu elektroniku, tomēr pilnīgi pietiek, lai tai jau varētu tuvoties.

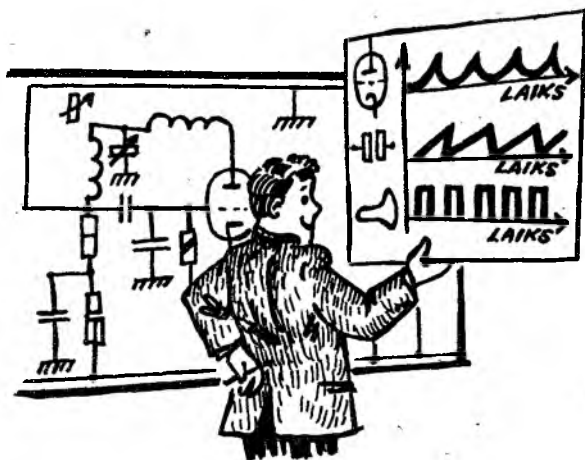
Elektronikai ir divas puses, un tam, kurš nolēmis kaut ko par to uzzināt, abas ir viēnlīdz nepieciešamas. Viena puse ir pamatjēdzieni un pamatlikumi, elektronisko ierīču konstruktīvās detaļas un shēmu elementi. Otrā — neskaitāmu vienlaicīgu procesu sarežģītā mijiedarbība un to koprezultāts. Nezinot likumus un ierīču konstrukciju, šos procesus nav iespējams saprast. Taču pat gadījumā, ja visi elementi ir pazīstami, ne vienmēr izdodas panākt, lai to kopdarbība dotu vajadzīgo rezultātu.

Ar vienu tādu procesu, ko veido vairāku elementārprocesu sadarbība, jau esam iepazinušies. Tas ir process, kura norise elektronu kūlim uz oscilogrāfa ekrāna ļauj uzzīmēt neredzamo elektrisko impulsu. Procesa gaitā vienlaikus mainās lampas strāva, strāva caur kondensatoru, spriegums uz nolieces platēm un kūli veidojošo elektronu trajektorijas.

Elektronikā šādu procesu ir daudz. Lai tie būtu saprotami, jāatceras daudz vienlaicīgi norisošu procesu un parādību, kā arī jāprot tos sasaistīt vienā kopumā.

Arhitekts, radīdams jaunas celtnes projektu, iztēlē to skata telpā. Elektronikas speciālistiem, kad viņi jebko projektē, precīzi jādomā ne tikai telpā, bet arī laikā: viņiem nepieciešams skaidrs priekšstats par to, kā plūst elektroni, kā, izplatīdamies gaismas ātrumā, telpu piepilda šīs plūsmas radītie pulsējošie elektromagnētiskie viļņi, kā jebkurā momentā un jebkurā sarežģītu ierīču telpas punktā elektroni un viļņi vieni ar otriem sadarbojas.





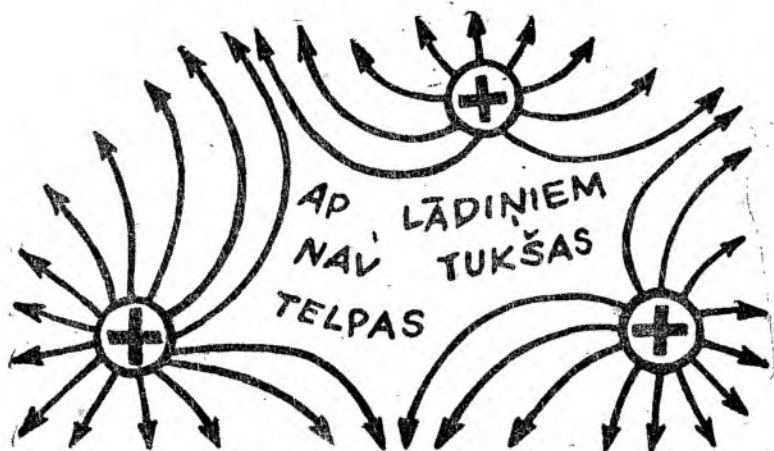
Mēs kopā ar elektronikas speciālistiem veiksīm ceļu, kas sāksies ar pirmajām vienkāršajām ierīcēm un beigsies ar sarežģītajām modernajām lampām, piemēram, ar skrejviļņa lampu, klistronu un magnetronu.

Līdz šim mēs runājām tikai par elektroniem. Tagad mums jāiepazīstas ar viļņiem, jo viens no elektronikas pamatiem ir elektronu un viļņu mijiedarbība.

# KĀ ATKLĀJA VIĻŅUS?

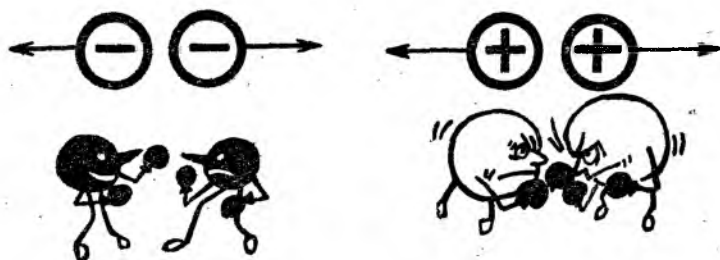
Šai nodaļā lasītājs  
pats pārliecināsies,  
ka elektromagnētiskais  
lauks elektronikā nav  
mazāk svarīgs par  
elektronu.

Viņš iepazīsies ar  
viļņiem, kurus atklāja  
agrāk, nekā iemācījās  
konstatēt, un uzzinās,  
kā radio iztika bez  
elektronikas un ko  
šāds radio spēja.



PAMATS IR ŠĀDS

## 2.1.



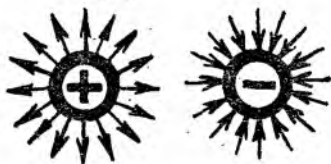
Elektriskos lādiņus ieskauj elektrisko spēku lauki. Pretējas zīmes lādiņu savstarpējā pievilkšanās un vienādas zīmes lādiņu atgrūšanās ir šo lauku mijiedarbības rezultāts.

Spēkus, kas darbojas tel-

pā ap lādiņiem, pieņemts attēlot ar bultiņām. Tāpat ir pieņemts, ka bultiņas iziet no ķermeņa, kuram ir pozitīvs lādiņš, un ieiet ķermenī, kuram tas ir negatīvs.

Bieži lauka darbību interpretē arī šādi: viens no lā-

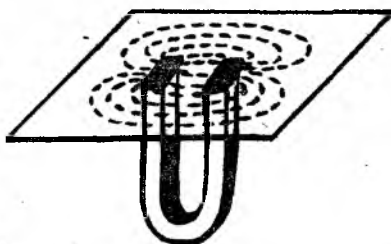
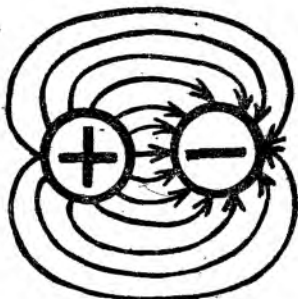
diņiem (parasti — lielākais) rada lauku, kurā atrodas otrs, «sajuzdams» šī lauka iedarbību.



## 2.2.

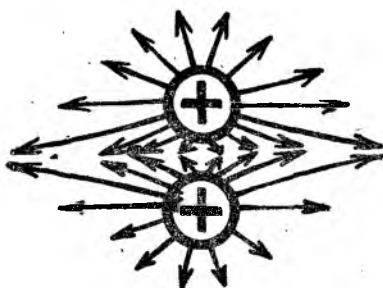
Tāds izskatās pretējas zīmes lādiņu elektriskais lauks. Bet līdzās redzams lauks, kas pastāv ap magnēta poliem. Nav grūti pamānīt, ka abi lauki ir

līdzīgi. (Rūpīgāka analīze gan liecina, ka starp tiem ir arī būtiskas atšķirības: «magnētisma lādiņu» dabā nav utt.)

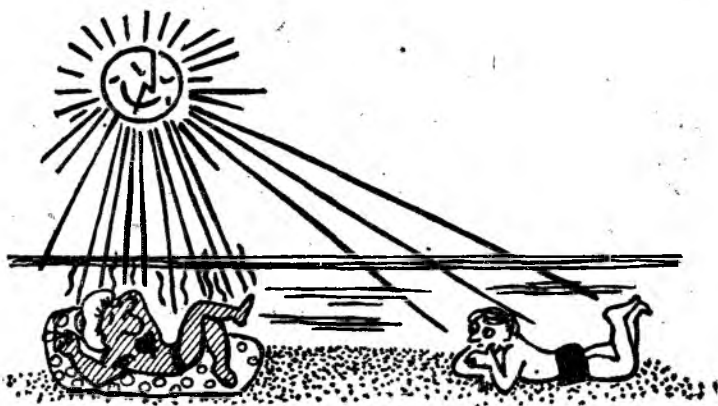


## 2.3.

Beļ, ja divu lādiņu zīme ir vienāda, elektriskā lauka spēka līnijas izskatās šādas. Tās, līdzīgi atsperēm, lādiņus vienu no otra atgrūž,



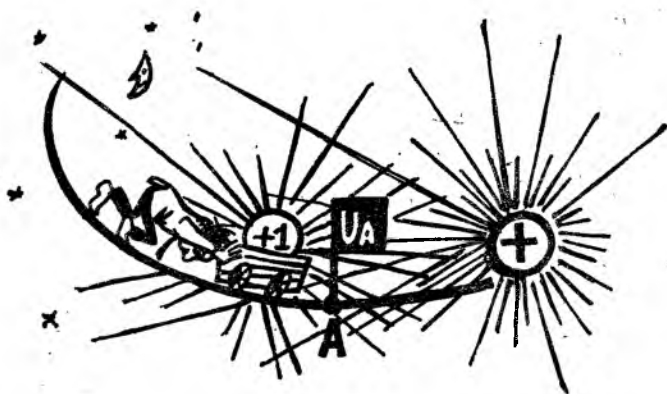




Lādiņš atgādina Sauli, bet spēka līnijas — starus. Jo tālāk prom no Saules, jo mazāk staru tiek katram kvadrātcentimetram; jo tālāk no lādiņa, jo vājāk tas iedarbojas uz mazu punkt-

veida lādiņu («mēģinājuma lādiņu»).

Lai pārvarētu lauka pret-darbību, kas izpaužas, ja gribam satuvināt vienādas zīmes lādiņus, jāpatērē enerģija un līdz ar to jāveic darbs.



## 2.5.

Mēģiniet iztēloties bezgalību. Tas ir grūti, vai ne?

Bet tagad iedomājieties, ka Viens, sev līdzī paņēmis «vienības lādiņu» (vienu vienību lielu lādiņu), nostaiģā ceļu no Bezgalīgi Tāla Punkta līdz punktam

$A$ , kas atrodas cita lādiņa spēka laukā.

Darbs, kuru šis Viens paveicis, vienības lādiņu no Bezgalīgi Tālā Punkta pārvietodams uz punktu  $A$ , nosaka punkta  $A$  potenciālu. To mēs apzīmēsim ar  $U_A$ .\*

## 2.6.

Ceļojumam no Bezgalīgi Tāla Punkta līdz kādam citam punktam  $B$  ir nepieciešams citāds enerģijas daudzums; tāpēc punkta  $B$  potenciāls  $U_B$  atšķiras no  $U_A$ .

Bezgalīgi Tālā Punkta jēdziens nav sevišķi uzskatāms. (Tāpēc šos vārdus rakstām ar lielajiem burtiem; parasti neviens tā ne-

dara.) Bet, ja ceļš no šī Punkta līdz punktiem  $A$  un  $B$  ir sekmīgi veikts, iztīrējums ir kļuvis skaidrāks: enerģija, ko patērē lauks, vienības lādiņam pārvietojoties no punkta  $A$  uz punktu  $B$ , ir vienāda ar šo punktu potenciālu starpību, t. i.,  $U_A - U_B$ .

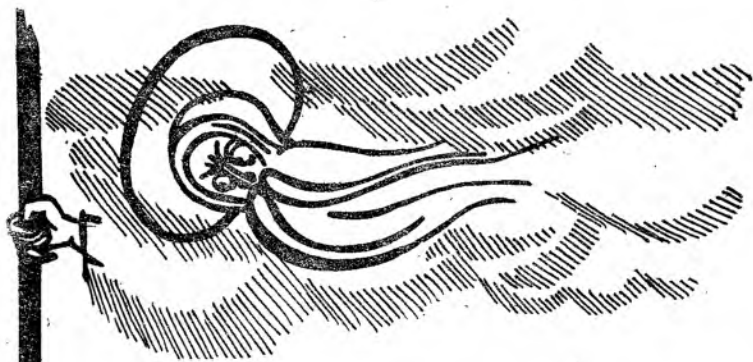
## PAVEDIENI VED PAGĀTNĒ

Diģenā elektronikas ēka aug augumā un plešas plašumā, teorijai ar praksi saistoties nesadalāmā vienībā. Bet ēkas pamatos ir ieguldīts maziņš elektrons.

Tomēr, ja elektrons pamatos būtu viens pats, nevienam šo «diģeno ēku» neizdotos uzbūvēt. Pirms tika radīta elektronika, cilvēkiem pa ķieģelītim vien vajadzēja savākt kopā būvmateriālu: daudz atziņu par lādiņiem, par to kustībām un mijiedarbību ar lauku, par elektriskā un magnētiskā lauka īpašībām, par indukcijas likumiem, par līdz-

---

\* Zinātniskajā un tehniskajā literatūrā potenciālu un spriegumu (t. i., potenciālu starpību; sk. arī 2.11. paragrafu un turpmāk) ir pieņemts apzīmēt dažādi. Šai grāmatā vienkāršības dēļ lietots viens un tas pats burts  $U$  (vai  $u$ , ja runa ir par laikā mainīgu lielumu vai kaut par tādu, kas var laikā mainīties, kā, piemēram,  $u_g$  1.31.—1.34. paragrāfā u. tml.). — *Tulk. piez.*



strāvu un maiņstrāvu, par elektrodzinējspēku, par strāvas iedarbību uz kompasa adatu un par to, kas notiks ar strāvas vadu, ja tuvumā tiks novietots magnēts.

Bet pēc tam Maksvels, visas šīs dabai daudzās laboratorijās atkarotās atziņas ģeniāli vispārinājis, atminēja elektrības un magnētisma nesaraujamā un daudzpusīgā sakara noslēpumu un to izteica precīzu vienādojumu sistēmā, kas viņam deva iespēju arī paredzēt elektromagnētisko viļņu eksistenci.

Eksperimentāli šos viļņus pēc Maksvela nāves konstatēja Hercs.

Popovs tos izmantoja bezvadu sakariem.



Bet turpmākajā radiosakaru attīstībā tika radītas diodes un triodes, kā arī daudzas citas elektroniskās ierīces un lampas.

Tāda ir elektronikas priekšvēsture. Bet ar ko sākās pati elektronika? Varbūt ar elektrona atklāšanu? Nē, Helmholtza izdarītais atklājums nebija elektronikas sākumpunkts: elektronus *stūrēt* tai laikā neviens nepraža.

Šo iespēju, kā jau mēs zinām, pavēra elektronstaru lampa, ko tolaik sauca par katodstaru lampu. Bet elektroniku neradīja arī tā: kamēr nebija izgudrotas radiolampas, katodstaru lampa klusi un noslēgti kā mūķene dzīvoja tīrās zinātnes templī; viņu pazina tikai šaurā fiziķu lōkā un nekur citur.

Bet varbūt elektronikas dzimšana jāsaista ar triodes izgudrošanu? Ja tā, jānoskaidro, ar kādu nolūku Lī de Forests lampā ievietoja savu tīkliņu. Izrādās, ka viņš gribēja ar lauku stūrēt elektronu plūsmu. Tātad, lai radītu triodes, vispirms bija jāizpēti lauku īpašības.

Bet kālab bija vajadzīgas triodes? Radiosakaru pilnveidošanai. Popova raidītājs gandrīz nemaz neatgādināja tagadējos: tas spēja pārraidīt tikai Morzes alfabētu, kura burti sastāvēja no īsākiem un garākiem radioimpulsiem. Par runas, mūzikas vai attēlu raidīšanu tolaik nevarēja ne sapņot. Šīs iespējas pavērās tikai vēlāk, kad jau bija izgudrota triode.

Tātad triode palīdzēja pilnveidot Popova atklāto principu. Popovs izmantoja Herca atklātos viļņus. Hercs apstiprināja ģeniālo Maksvela domu. Maksvels vispārināja Faradeja atklāto indukcijas likumu.

Bet Faradejs ...

Pavediens atkal izgaist pagātnes miglā. Kur gan tas sākas? Tā sākums nav atrodamš — tas ir pazudis kaut kur senajos laikos.

## DZINTARS

Elektrību cilvēki pazīst jau sen. Kopš pašiem cilvēces pirmsākumiem tā viņiem ir rādījusies draudīgā zibens veidā. Nesaprazdami zibens un pērķona dabu, mūsu senči šīs parādības uzskatīja par dievu dusmām. Ka šo dabas spēku varētu savaldīt un likt kalpot cilvēkiem, neienāca prātā pat visdrosmīgākajiem senatnes domātājiem.

Otra sen iepazīta elektrības izpausme bija tik vārga, ka grūti pat bija tajā saskatīt kaut ko kopīgu ar bargo negaisa stihiju.

Ar vilnu saberzēts dzintars pievilka vieglus priekšmetus: pūciņas, papirusa strēmelītes, matus. Sengrieķu filozofs Milētas Taless, kas dzīvoja 6. gadsimtā pirms mūsu ēras, raksta, ka šo parādību atklājušas vilnas audējas. Iespējams, ka cilvēki šo dzintara spēju pazina arī agrāk; tomēr precīzu tās aprakstu mēs atrodam tikai Milētas gudrā rakstos. Pats par sevi saprotams, ka parādības būtību tolaik neprata izskaidrot neviens.

Dziļāk izpētīt elektriskās parādības netika mēģināts līdz pat 18. gadsimta beigām. Toties 19. gadsimtā elektrība kļuva par progresu pamatu, bez tās vairs nebija domājams neviens tehnikas sasniegums, neviena zinātniskā teorija par pasaules uzbūvi. Neviens vairs nebrīnījās, ka vieni un tie paši spēki izpaužas šķietami pavisam atšķirīgās parādībās: atoma sastāvdaļu mijiedarbībā un jaudīgu elektromotoru darbībā, zibens spērienā un vilnas pūciņu tieksmē uz saberzētu dzintaru.

Elektrību sāka konstatēt itin visur. Un ne jau tāpēc, ka tāda bija mode. Dabas parādības patiešām galvenokārt ir elektriskas un magnētiskas: noteicošie, kā mēdz sacīt, tajās ir magnētiskie un elektriskie spēki.

Bez šiem spēkiem zinātne vēl pazīst divus galvenos spēku veidus — vispasaules gravitācijas spēku un spēkus, kas darbojas atoma kodolā.

Kodolspēku darbības rādiuss ir neliels — tikai nedaudz pārsniedz paša kodola rādiusu, kas ir apmēram simttūkstoš reižu mazāks par atoma rādiusu. Gravitācijas spēku iedarbība uz atsevišķu atomu — salīdzinājumā ar pārējiem spēkiem — ir ārkārtīgi maza. Atoms ir pārāk viegls, lai nopietni izjustu, ka Zeme to pievelk. Sekmīgi un daudzpusīgi izpausties atomu un molekulu mijiedarbībā ir lemts vienīgi elektromagnētiskajiem spēkiem. No tiem ir atkarīga atomu un molekulu uzbūve un savstarpējā ietekme, visu ķīmisko reakciju norise, kristālu struktūra, vielu īpašības (stiprība, elektrovadītspēja, siltumvadītspēja un neskaitāmas citas).

Elektrības gadsimts iezīmējās ne vien ar jaudīgiem generatoriem un motoriem vai jutīgiem mērīinstrumentiem, bet arī ar jaunu pasaules uzskatu, ar jaunu viedokli par daudz parādību dabu. Izrādījās, ka šo parādību pamatā ir elektromagnētisko lauku mijiedarbība.

Bet visa sākums bija dzintars. Pat nosaukums «elektrība» ir atvasināts no grieķu *elektron* — «dzintars».

Vai Jūs jūtat, cik šaurs iesākumā bija elektrības jēdziens? It kā tā būtu tikai «dzintarā ieslēpts spēks»... Toties vēlāk šī jēdziena robežas kļuva tik plašas, ka tajās ietilpa visa pasaule. Tā taču sastāv no atomiem un molekulām, bet tie savukārt eksistē elektromagnētisko spēku mijiedarbības rezultātā.



Tāds īsumā ir ceļš, ko veikusi zinātne par elektrību: sākumā dzintara gabaliņš, beigās — grandioza, neizsmeļama pasaule. Īpaši labi šai sakarā ir izteicies franču dzejnieks Pols Valerī: «Vai var notikt vēl neizprotamāk, nekā noticis ar nelielu dzintara gabaliņu, kas tik padevīgi pauž spēku, kurš ieslēpts visā dabā, kurš varbūt arī ir visa daba un kurš visus garos gadsimtus, izņemot pašu pēdējo, sevi nojaust ir ļāvis tikai šai gabaliņā?»

## PIRMAIS LIKUMS

Bet kas galu galā notiek ar dzintaru, kad to berzējam gar vilnu? Tikai 18. gadsimta beigās zinātne uz šo jautājumu spēja atbildēt daudz maz skaidri: dzintars uzlādējas, uz tā parādās elektriskie lādiņi. Bet kas ir šie lādiņi? No kurienes tie radušies?

18. gadsimta zinātnei uz šiem jautājumiem nebija atbilžu. Tā aprobežojās ar faktu konstatēšanu.

1734. gadā franču zinātnieks Šarls Fransuā Difē atklāja, ka lādiņi ir divējādi. Vieni, piemēram, parādās jau minētajā dzintarā, kad to berzējam ar vilnu. Un, tā kā dzintars ir pārakmeņojušies senkoku sveķi, šos lādiņus Difē nosauca par sveķu elektrību. Otra veida lādiņus, kas, piemēram, rodas uz stikla, ko berzē ar ādu, viņš nosauca par stikla elektrību.

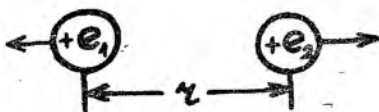
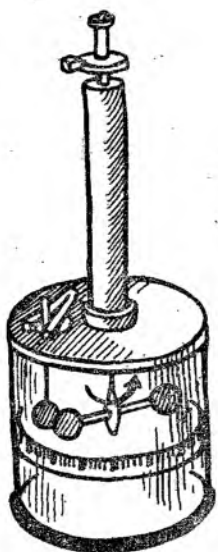
Vēlāk, lai lādiņi būtu ērtāk atšķirami, tos sāka apzīmēt

ar plusu un mīnusu, ko aizņēmās no matemātikas. Šīs zīmes ir saglabājušās līdz mūsu dienām. Stikla elektrībai piešķīra plusu, sveķu elektrībai — mīnusu.

Tika konstatēts, ka ķermeņi, kuru lādiņiem ir vienāda zīme, viens no otra atgrūžas, bet ķermeņi, kuriem zīme ir pretēja, — savstarpēji pievelkas (sk. 2.1.).

1775. gadā franču zinātnieks Šarls Ogistēns Kulons izdarīja pirmo kvantitatīvo eksperimentu ar elektrību. Viņš gribēja noskaidrot, no kā atkarīgs divu punktveida lādiņu savstarpējās pievilkšanās spēks un cik tas liels. (Kulons lādiņus sauca par elektriskajiem fluidiem.) Bet kas ir punktveida lādiņš? Varbūt Kulons jau domāja par elektronu?

Nē, par elektronu Kulonam nebija ne jausmas. Par punktveida lādiņu viņš sauca jebkuru uzlādētu (elektrizētu) ķermeni, kura izmēri bija daudz mazāki nekā attālums līdz citiem uzlādētiem ķermeņiem. Bija jānoskaidro, kā divu punktveida lādiņu savstarpējās pievilkšanās spēks ir atkarīgs no to atstatuma. Vajadzēja ievērot abu ķermeņu lādiņu: jo lielāki ir lādiņi, jo spēcīgāk taču ķermeņi pievelkas. Spēku izmērit tai laikā jau prata pietiekami precīzi. Kulons divu lādiņu mijiedarbības spēku mērīja, izmantodams īpaši konstruētus vērpes svarus. Izmērit attā-



$$F = k \frac{e_1 e_2}{r^2}$$

lumu starp lādiņiem bija pavisam vienkārši. Bet ko lai dara ar pašiem lādiņiem? Pirms Kulona neviens tos mērit nebija pat mēģinājis. Nebija nedz mērvienību, nedz mēr-instrumentu, ar kuriem lādiņus varētu savā starpā sa-līdzināt.

Kulons rīkojās ļoti asprātīgi. Vispirms viņš izmērija, ar kādu spēku savstarpēji pievelkas divas elektrizētas lodītes. Pēc tam ar tādu pašu trešo lodīti, kurai lādiņa nemaz ne-bija, pieskārs vienai no uzlādētajām. Uzlādētā lodīte ne-uzlādētajai pieskaršanās brīdī atdeva precīzi pusi sava lā-diņa, jo abu lodīšu diametrs un materiāls bija vienādi. Elektrizēto lodīšu savstarpējās pievilksnās spēks kļuva precīzi divas reizes vājāks.

Tad Kulons palielināja attālumu starp lodītēm — vis-pirms divas, tad trīs, četras un piecas reizes. Spēks attie-cīgi samazinājās 4, 9, 16 un 25 reizes.

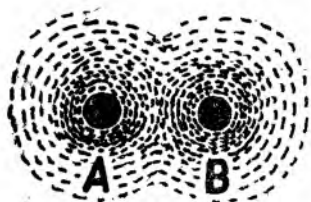
Tā tika atklāts divu punktveida lādiņu mijiedarbības likums: *šādu lādiņu mijiedarbības spēks ir proporcionāls abu lādiņu lietumam* (skaitliskajām vērtībām) *un apgriezti proporcionāls to savstarpējā attāluma kvadrātam.*

Par godu eksperimenta veicējam likumu nosauca par Kulona likumu. Arī lādiņa vienību, kura gan ieviesās tikai krietni vēlāk, nosauca par kulonu. Sālidzinājumā ar viena elektrona lādiņu kulons ir supergigantisks: lai ķermeņa lādiņš būtu vienu kulonu liels, ķermenim jāsaņem 6 290 000 000 000 000 000 «lieku» elektronu, kuru lādiņu ne-kompensē atomu kodolu pozitīvie lādiņi. Šis skaitlis ir ārkārtīgi liels. Ja ik sekundi mēs ķermenim pievadītu vienu miljardu elektronu, viens kulons lādiņa sakrātos tikai 200 gados. (Parastajos laboratorijas eksperimentos lādiņš tik liels nekad nav: ja tas tāds būtu, ķermeņa potenciāls būtu tik augsts, ka sāktos elektronu noplūde, izlādēšanās «caur gaisu» vai citā veidā, dzirksteļošana utt.)

## AR KO PIEPILDĪTS TUKŠUMS!

Tā soli pa solim veidojās zinātne. Vispirms bija zināms vienīgi «kails» fakts — ka pretējas zīmes lādiņi savstar-pēji pievelkas; pēc tam tika formulēts arī stingrs kvanti-tatīvs likums. Parādījās pirmā formula, kas šo likumu iz-teica matemātiski. Pēc šīs formulas var aprēķināt divu pretējas zīmes lādiņu savstarpējās pievilksnās spēku (un, mainot zīmi, protams, arī divu vienādas zīmes lādiņu sav-





starpējās atgrūšanās spēku). Bet kāpēc šādi lādiņi tiecas viens pēc otra? Kā viens ķermenis var iedarboties uz otru, ja starp tiem nav nekā, izņemot tukšu telpu?

It kā būtu jāsecina, ka uzlādēts (elektrizēts) ķermenis attālumā esošu otru lādiņu kaut

kādā veidā «sajūt». Un «noslēpumainais spēks» to velk pie lādiņiem, kuriem ir pretēja zīme.

Apmēram tā šis parādības mēģināja izskaidrot tolaik valdošā tāldarbības teorija. Bet vai tad tas ir izskaidrojums? Gandrīz jādūmā, ka runa ir par divu milētāju pārdzīvojumiem, nevis par fizikālo ķermeņu mijiedarbību...

Un tomēr labāks skaidrojums tālaika zinātnes arsenālā neatradās. Elektribu tā pazina slikti. Mehānika — cita lieta! Tajā viss ir uzskatāms: ķermeņi viens uz otru iedarbojas trieciena, spiediena, vilkmes rezultātā. Spēks sāk izpausties tikai tad, kad ķermeņi jau ir saskārušies. Bet... Vai gan jebkurš ķermenis nejūt Zemes pievilcējspēku, kas uz to iedarbojas no attāluma? Zeme uz visiem ķermeņiem attālumā iedarbojas, neizmantodama ne stieņus, ne troses, ne sviras. Kāpēc un kā?

Uz fizikālu ķermeni iedarbojas smaguma spēks, kas ir proporcionāls ķermeņa masai. Lādiņš otra lādiņa tuvumā arī ir pakļauts spēka iedarbībai. Varbūt šos spēkus ir iespējams iztēloties uzskatāmi?

Tiešām, tas ir izdarāms. Un pirmo reizi to izdarīja Faradejs. Apkārt lādētajam (elektrizētajam) ķermenim viņš sazīmēja bultiņas (sk. 2.1.), kas bija vērstas spēka darbības virzienā.

Katram lādiņam ir sava «ietekmes sfēra». Tāpat kā no Saules uz visām pusēm stiepjas stari, no lādiņa «izplūst» spēki (sk. 2.4.).

Lūk, kāds ir pa telpu plūstošās iedarbības noslēpums! Telpa ap lādiņu vairs nav tukša! Tajā rodas spēku darbības lauks. Nekādas tāldarbības nav: laukā spēki darbojas tikai uz tiešā tuvumā esošu punktu, no tā — uz tālāko utt. Lai arī kur mēs novietotu lādiņu, uz to iedarbosies lauks, kas pastāv katrā telpas punktā.

Tā bija ģeniāla nojausma. Arī Faradejs pats nevarēja iedomāties, kādas būs šis dziļās un tālejošās idejas konsekvences.

## LAUKS UN SPĒKS

No visa teiktā (sk. arī 2.1.—2.4.) izriet, ka starp lauku un spēku ir būtiska atšķirība.

Spēks ir tas, kas iedarbojas uz *kaut ko* laukā ievietotu. Visos gadījumos tas ir viens un tas pats «parastais» mehāniskais spēks, kas ķermenim var piešķirt paātrinājumu, kādu cietu ķermeni deformēt, šķidrumu vai gāzi pārvietot vai savirpuļot utt. Turpretī lauks un tajā ievietotais *kaut kas* ir dažādos gadījumos ir dažādi: elektriskajā laukā *kaut kas* ir elektriskais lādiņš (ja jādefinē vai jāizmēri lauka skaitliskā vērtība, var rīkoties ar «vienības lādiņu»); gravitācijas laukā *kaut kas* ir masa jeb, kā fiziķi dažreiz saka, «gravitējošā masa»; magnētiskajā laukā *kaut kas* ir kāds elektriskās strāvas elements (noteiktā ātrumā lidojošs lādiņš, mazs, taisns strāvas vada elements, kas domās atdalīts no pārējās ķēdes, mazs riņķveida strāvas elements u. tml.) utt.

Turklāt magnētiskajam laukam piemīt īpatnība, ar ko tas atšķiras no citiem: šī lauka un minēto elementu mijiedarbības spēks ir laukam *perpendikulārs* vai arī — riņķveida strāvas elementa gadījumā — šī elementa plakni cenšas pagriezt perpendikulāri laukam utt. Arī par pašu magnētisko lauku var teikt, ka tas ir «perpendikulārs» savam avotam — strāvai. (Patiesībā sakarības ir sarežģītas). Tomēr magnētisko lauku var raksturot arī ar citādu vektoru, tā saukto vektorpotenciālu  $A$ , kas ir «paralēls» savam avotam — strāvai; arī dažas lauka izpausmes formas (piemēram, inducētais elektriskais lauks, kas radies, laukam mainoties laikā) ir «paralēlas» šim vektoram. Lai gan šķiet, ka tas ir neuzskatāms, tomēr samērā daudzos gadījumos aprēķini ar vektoru  $A$  ir ērtāki nekā ar vektoriem  $B$  vai  $H$ . Zinātnē un tehnikā izmanto visus trīs šos vektorus.

Ja ir minētais *kaut kas*, tad ir arī spēks. Ja nekāda *kaut kā* nav, arī spēka nav, tomēr lauks paliek, joprojām eksistē — nevis kā «telpas daļa», «apgabals», bet gan kā noteikta fizikāla realitāte, kā potence, iespēja spēkam izpausties, tiklīdz *kaut kas* parādīsies.

Vēl vairāk: vismaz elektromagnētiskie lauki (bet, domājams, arī gravitācijas lauks utt.) var mijiedarboties paši ar sevi, elektromagnētiskā viļņa veidā pārvietoties ar gaismas ātrumu, turklāt pārnesot enerģiju, utt.

Ja atceramies Lūisa Kerola stāstu par Alisi Brīnumzemē, droši vien prātā ir palikusi arī epizode ar Češīras kaķi. Kā jau īsts pasaku radījums, tas spēja parādīties, pastāvēt un izzust pa daļām, turklāt pat tā, ka smīns varēja būt neatkarīgs no ... mutes. Proti, vienā jaukā brīdī eksistēja tikai smīns, tad ieradās mute, acis, ausis utt., līdz Alises

priekšā bija visa galva. To pēc karalienes pavēles vajadzēja nocirst, bet sacēlās milzu jezga: bende galvu cirst atteicās, jo nebija ķermeņa, no kā to atdalīt...

Ja tagad iedomājamies, ka izzūd arī smīns, bet kaķis paliek kā potence, kā iespēja parādīties visā savā godībā, tiklīdz būs vajadzīgs, tad esam ieguvuši uzskatāmu fizikālā lauka modeli. *Kaut kas*, uz ko lauks iedarbojas, būs pele. Kaķa rīcībā — nest peli uz alu — modelē konkrēto lauka izpausmi, proti, to, kāds ir lauka vektors, kāda šim vektoram ir skaitliskā vērtība, virziens utt.

Katrā telpas punktā un katrā laika momentā lauks var būt citāds. Fiziķi saka tā: lauks ir telpisko koordinātu un laika funkcija. Mūsu uzskatāmajā analogijā tādas pašas īpašības jāpiedēvē Češīras superkaķim.



PAMATS IR ŠĀDS

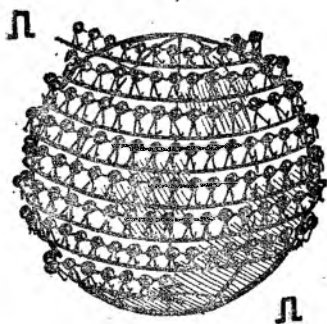
## 2.7.

Viena elektrona lādiņš un masa ir tik niecīgi, ka tā veikto darbu nekādi nevarētu pamanīt. Bet elektrons nekad arī nestrādā viens. Tiklīdz vadam esam pieslē-

guši sprieguma avotu, lai vads būtu cik garš būdams, praktiski tai pašā momentā sāk pārvietoties visi elektroni.

## 2.8.

Pat tad, ja vads būtu 300 000 kilometru garš un tātad septiņas ar pusi reizes varētu apjozt zemeslodi pa ekvatoru, vada vienam galam pievadīts strāvas impulss otru galu sasniegtu visai drīz — tikai nedaudz vairāk kā vienā sekundē. Tas, protams, nenozīmē, ka elektroni šai sekundē ir spējējuši noskriet visu 300 000 km garo ceļu. Tie tikai praktiski vienlaicīgi



sāk savu ceļojumu, tāpat kā kareivju kolonna sāk soļot, saņēmusi komandu «Soļos, marš!».

Sekunde šajā piemērā atbilst laikam, kurā komanda tiek sazirdēta kolonnas otrā galā. Paši

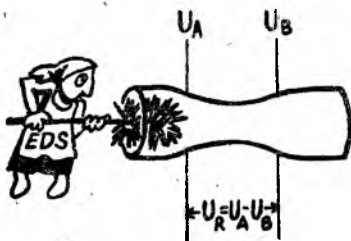
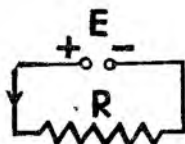
kareivji pārvietojas 200—300 reižu lēnāk par skaņu: «elektriskie kareivji» — elektroni — pārvietojas vismaz miljons miljonu (t. i., ap  $10^{12}$ ) reižu lēnāk, nekā izplatās «komanda» — elektromagnētiskais viļnis, kas, atceraties, ir tikai pavisam nedaudz lēnāks nekā gaisma tukšā telpā.

## 2.9.

Elektriskā ķēde sastāv no trim galvenajiem elementiem: sprieguma avota  $E$ , slodzes rezistora  $R$  un savienotājevadiem. Ārējai ķēdei (rezistoram un vadiem) ir noteikta elektriskā pretestība. Avotam ir pietiekami liela enerģija, lai elektronus tas šai pretestībai varētu «izdzīt cauri». Avota spēju

«dzīt» lādiņus pa ārējo ķēdi sauc par tā *elektrodzinējspēku*  $E$ , saīsināti EDS.

Lieto arī terminu «pirmspriegums», kas darināts pēc analogijas ar «pirmcēlonis», «pirmcilvēks» u. tml. Teorija māca, ka pastāv avoti, kuru spēju «dzīt» elektrību var raksturot ar noteiktu strāvu — pirmstrāvu.



## 2.10.

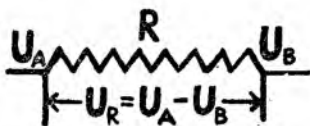
Strāva, kas plūst pa ārējo ķēdi, tajā rada sprieguma kritumu  $U_k$ .

Sprieguma kritums ķēdē vienmēr ir vienāds ar avota EDS, t. i.,  $E = U_k$ .

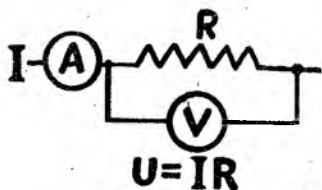


## 2.11.

Vadu pretestība parasti ir maza. Galvenokārt spriegums patērējas rezistorā  $R$ . Elektroni, «spraukdamies» tam cauri, uz tā galiem



(«spailēm») rada\* potenciālu starpību  $U_A - U_B$ , kas ir vienāda ar sprieguma kritumu  $U_R = U_A - U_B$ .



Pa rezistoru plūstošās strāvas stiprumu  $I$  ar sprieguma kritumu  $U_R$  saista pazīstamais Oma likums:

$$I = U_R / R.$$

Strāvas stiprumu mēra ar lādiņu, kas sekundē izplūst

pa rezistoru  $R$ , jeb, citiem vārdiem sakot, ar to, cik daudz elektronu tam sekundē «izspraucas» cauri.

Ja strāva ir 10 mA (t. i., desmit tūkstošdaļas ampēra), tad ik sekundi pavada šķērsgrīzumu «izspraucas» elektronu «pūlis», kurā ir aptuveni 63 triljoni ( $63 \cdot 10^{15}$ ) elektronu. Apmēram tāda ir strāva triodēs un diodēs. Bet pa apgaismošanas spuldzes kvēldiegu plūst strāva, kas mērāma ampēra daļās, t. i., elektronu «pūlis» tur ir vairākus desmitus reižu lielāks.

## 2.12.

«Spraukdamies cauri» rezistora materiālam, elektrons zaudē enerģiju, kas pārvēršas siltumā. Viens

elektrons dod tik maz siltuma, ka to pat nevar pamanīt. Bet elektronu «kollektīvs» rezistoru var sakar-

---

\* Šis iztirzājums ir vienkāršots. Patiesībā strāvas — orientētas elektronu kustības — cēlonis ir elektriskais lauks, kas vadītājā, pa kuru plūst strāva, pastāv viscaur. Lauka paātrinātie elektroni brīvi noskrien pavisam nelielu attālumu, kas ir tikai dažus desmitus reižu lielāks par vidējo attālumu starp atomiem. Tad tie uzdrāžas virsū kādam atomam, zaudē iegūto ātrumu, tiek no jauna paātrināti laukā utt. Laiks, kas vidēji paiet starp divām elektrona sadursmēm ar atomiem, ir neticami īss — isāks par mikrosekundes miljondaļu. Tātad it kā vienkāršais Oma likums izriet no samērā sarežģītām fizikālām likumsakarībām un procesiem, kuri vēlā noris atomu līmenī. Savukārt diodēs un triodēs, kur «mākonīti» ap katodu pametušie elektroni relatīvi brīvi un «ne no kā» neatkarīgi lido uz anodu, var pastāvēt režīms, kurā strāva ir proporcionāla spriegumam pakāpē  $3/2$ . Kā teicis Kozma Prutkovs: «Vērojot pasauli, nevari nebrīnīties!»

Otrā piebilde. Tāpat kā elektriskajai strāvai, arī elektrodzinējīspēkam tiek piedēvēts tā sauktais *tehniskais virziens* — virziens, kurā tas «dzen» pozitīvos lādiņus jeb, respektīvi, liek plūst strāvai, kam jau iepriekš ir piedēvēts tas pats *tehniskais virziens*. *Tulk. piez.*

sēt līdz ļoti augstai temperatūrai (ne velti spuldžu un radiolampu kvēldiegi sakarst līdz balt- vai sarkan-kvēlei). Ir ļoti daudz visiem pazīstamu *elektroenerģijas patērētāju*, kuros elektronu kustības enerģija izdalās siltuma veidā.

Jebkuram patērētājam piemīt noteikta pretestība. Atbilstošais sprieguma kritums

$$U_R = U_A - U_B.$$

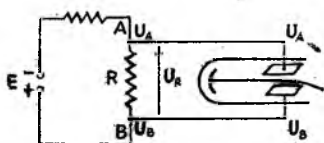
Mēs jau zinām, ka enerģija

ir tieši proporcionāla potenciālu starpībai (sk. 2.6.). Bez tam, pēc Oma likuma, caur pretestību  $R$  «spraucošos» elektronu «kolektīvs» būs jo lielāks, jo lielāks ir  $U_R$  (sk. 2.11.). Tātad, ja pieaug  $U_R$ , tad tam proporcionāli pieaug ne tikai enerģija, ko zaudē katrs elektrons, bet arī pašu elektronu skaits. Tāpēc jauda  $P$ , kas izdalās pretestībā, ir proporcionāla sprieguma kvadrātam:

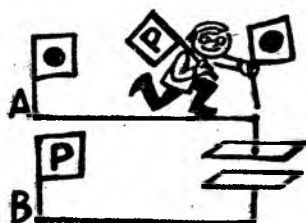
$$P = U_R^2 / R.$$



### 2.13.



Ja rezistora  $R$  spailēm  $A$  un  $B$  pieslēdzam elektronstaru lampas stūrētājplātes, tad, pa rezistoru plūstot strāvai, vienas plātes potenciāls būs  $U_A$ , otras  $U_B$ . (Protams, savienotājvadu pretestībai salīdzinājumā ar plašu ievadu un izolācijas pretestību jābūt ļoti mazai,



kāda tā, bez šaubām, arī vienmēr ir.)

Par šo gadījumu ir pieņemts teikt, ka sprieguma kritums  $U_R = U_A - U_B$  tiek «noņemts» no rezistora  $R$  un «pievadīts» platēm.

Ja spriegumu jeb sprieguma kritumu, kas šai gadījumā ir tas pats, pievadām triodes ieejai (t. i., starp tikliņu un katodu), bet no rezistora, kas ieslēgts

triodes anodķēdē, «noņemam» kādu citu spriegumu, tad šis otrais spriegums ir daudzkārt (sk. 1.34.) pastiprināts salīdzinājumā ar pirmo (t. i., tikliņspriegumu).

(Par to, ka pastiprinātais un pastiprināmais sprieguma kritums ir pretējā fāzē, šeit neinteresējamies.)

## 2.14.

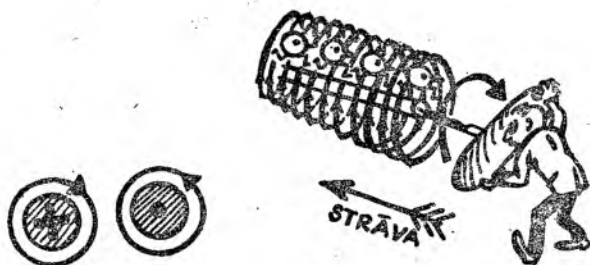
Elektroni, kas «spraucas» pa vadu, rada ne tikai siltumu, bet arī citādu enerģiju — lauka enerģiju.

Ja runājam par lauku, ērti ir iedomāties, ka elektroni «skrien» pa vadu ar «komandas» — elektromagnētiskā lauka — izplatīšanās ātrumu, kas ir tuvs gaismas ātrumam tukšā telpā (sk. 2.8.).

Strāvas vadu vienmēr apjož magnētiskās spēka līnijas. Līnijas iet tādā virzienā, kā rotē korķuviļķis, ja to «skrūvējam» vadā strāvas plūšanas virzienā.

Šeit ir runa par tehnisko strāvas virzienu. Pieņemam, ka pa vadu plūst pozitīvais lādiņš, turklāt tādā virzienā (no «plusa» uz «minusu»), kādā darbojas elektriskais lauks. Patiesībā pa vadu plūst elektroni — un pretējā virzienā. Kā jau teikts, šim «juceklim» ir vēsturiski cēloņi: strāvas un magnētiskā lauka virzieni un to sakarības tika definētas pirms elektrona atklāšanas.

EDS avota iekšienē pozitīvie lādiņi «plūst» no mīnusa uz plusu.

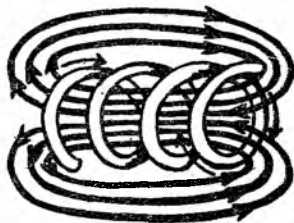




## 2.15.

Ja vadu satinam spirālē (spolē), arī magnētiskās spēka līnijas sāk strādāt «kolēktīvi» — apvienojas kopīgā plūsmā ass virzienā. Esam ieguvuši tā saukto *solenoidu*. Ja pa tā tinumu

liekam plūst stiprai strāvai, bet tā iekšienē ievietojam serdi ar labām magnētiskajām īpašībām, tas pārvēršas par jaudīgu elektromagnētu.



## ZIBENI TRAUKĀ

Faradeja laikos zinātne par elektrību attīstījās strauji. Jebkurš atklājums ierosināja jaunus meklējumus un veicināja jaunu ideju rašanos.

Kulons lādiņu mijiedarbību pētīja dažus gadu desmitus agrāk. Toreiz neviens nezināja, ko lai ar šiem lādiņiem dara: strāvas avoti vēl nebija izgudroti, un neviens pat neiedomājās, ka lādiņus var transportēt pa vadiem. Toties mehāniku tolaik zināja labi. Tāpēc tika nolemts vispirms aicināt talkā mehānikas likumus un ierīces. Kāpēc, piemē-



ram, berzēt dzintaru ar rokām, ja var uztaisīt speciālu riteni? Bez tam lādiņus cilvēki iemācījās sakrāt ne vien uz paša saberzētā ķermeņa (dzintara gabala, stikla pudeles u. tml.), bet arī tā sauktajā Leidenes traukā — stikla puscilindrā, kura apakšdaļu no iekšas un āra aplāja ar plānu svina kārtu. Tā Holandēs pilsētas Leidenes laboratorijās radās pirmie kodensatori. Priekšstati bija šādi: elektriskā



mašīna ražos neredzamo «elektrisko šķidrumu», bet Leidenes trauks to «sakrās», pats piepildīdamies «līdz malām».

Mehānika nepiekrāpa. Sukājot matus ar sausu ķemmi, bija izdevies iegūt dzirksteles, kuras pat tumsā tik tikko varēja pamanīt, turpretī stikla disks kopā ar Leidenes trauku deva iespēju sakrāt lielus lādiņus. Šādi eksperimenti kļuva par «pēdējo modes kļedzienu»; tos izdarīja ne vien laboratorijās, bet arī augstmaņu pilīs un karaļu galmos.

Luijs XV lika kareivjiem sastāties rindā un sadoties rokās un priecājās kā bērns, vērodams, kādās grimasēs saveltas vīru, sejas, kad Leidenes trauks izlādējas pa šo dzīvo elektrisko ķēdi. Pārsteigtās publikas acu priekšā no traukiem izbūra gandrīz vai zibeņiem līdzīgas dzirksteles. Aristokrāti jūsmoja: «Tas tik ir brīnums — zibeņi traukā! Ko gan visu nespēj zinātne!» Bet tas arī bija viss.

Faradeja laikā jau bija citādi. Elektriskajām un magnētiskajām parādībām bija pievērsta progresīvās zinātnes uzmanība. Ampērs un Deivijs, Volta un Oms, Ersteds un



Arago no dažādiem viedokļiem risināja vienas un tās pašas problēmas. Idejas peldēja gaisā kā briestošs zibens pirms negaisa. Tā jau vairs nebija zinātne zinātnes dēļ, nedz arī atsevišķu īpatņu aizraušanās: zinātnes mērķus nosacīja prakse, kas tajā izvirzīja aizvien jaunas un jaunas problēmas.

Bet ja zinātne, risinādama šīs problēmas, saskaras ar kaut ko nezināmu? Jo labāk! Tas nozīmē, ka ideju izaugsmei radusies jauna augsne.

Piemēram, elektrolīze, kas tika radīta, lai varētu iegūt tīrus metālus un gāzes, palīdzēja atklāt elektronu. Tie paši ķīmiskie procesi, kas noris elektrolītiskajās vannās, tika nodarbināti arī pirmajos strāvas avotos, kuri radās Galvani un Voltas atklājumu rezultātā. Šie tā sauktie galvaniskie strāvas avoti ir saglabājušies līdz mūsu dienām; nesenā pagātnē vēl bija plaši pazīstami Voltas stabs un Voltas elements.

Kad bija radušies šie avoti, strauji pieauga arī interese par elektrību vispār. Tika apgūta strāvas pārvade pa vadiem; atklājās, ka vads, pa kuru plūst strāva, sasilst. Elektriskajai strāvai var likt veikt arī darbu.

## LĪDZĪBA VAI RADNIECĪBA!

Faradejam nebija nekāda priekšstata par elektroniku, un jo mazāk tāds varēja būt Kulonam. Un tomēr viņiem abiem tās attīstībā bijusi gandrīz vai vissvarīgākā loma. Kulons pētīja lādiņu. Faradejs zinātnē ieviesa lauka jēdzienu. Bet ar ko īsti nodarbojas elektronika?

Ar daudz ko. Ar Zemes mākslīgajiem pavadoņiem, ar televīziju, ar elektroniskajiem skaitļotājiem un, kas zina, ar ko vēl. Bet, ja iedziļināmies lietas būtībā, kļūst skaidrs, ka visa šī daudzveidība ir reducējama uz dažādiem Kulona pētīto lādiņu un Faradeja atklāto lauku mijiedarbības gadījumiem.

Tiesa, elektronikā nākas pētīt arī citus laukus, ne tikai tos, ar kuriem nodarbojās Faradejs.

Proti, Faradejs pētīja ap nekustīgiem lādiņiem eksistējošos laukus.\* Tie līdzinās sastingušām smilšu kāpām, kā-

---

\* Šis apgalvojums uzskatāmības labad ir mazliet vienkāršots. Patiesībā Faradejs pētīja arī *plūstošu* lādiņu — strāvas — lauku, t. i., magnētisko lauku. Tomēr pamatos viņa pētījumi aprobežojās ar stacionāriem vai kvazistacionāriem laukiem. Kaut cik nopietnāks šo jēdzienu skaidrojums tālu pārsniegtu mūsu grāmatas ietvarus.

das tās mēdz būt bezvēja laikā.

Bet elektroniskajās ierīcēs elektroni ir ārkārtīgi rosīgi. Katoda emitētie elektroni nepārtrauktā straumē plūst uz anodu, bet no tā pa vadiem — uz citiem elementiem, citām elektronierīcēm, citiem vadiem. Lauks tos kā ēna pavada visur un ik brīdi, praktiski nemaz neatpalikdams. Tas vairs nav sastindzis lauks. Tas mainās, ja mainās strāva. Lauks, kas ieskauj vadus, pa kuriem plūst maiņstrāva,\* vairs nav līdzīgs sastingušām kāpām; tas atgādina sabangotu jūru, pa kuras virsmu nepārtraukti pārvietojas viļņi. Tie ir elektromagnētiskie viļņi.



Elektromagnētiskais lauks. Elektromagnētiskie viļņi. Šajās parādībās apvienojas divas dažādas «puses», kas pēc dabas ir cieši saistītas, — elektrība un magnētisms.

To sakars netika atklāts uzreiz. Vispirms pamanīja, ka tās viena otrai ir līdzīgas. Dzintars pievelk pūciņas. Magnēts pievelk dzelzs skaidiņas. Lādiņu ieskauj elektriskais lauks. Ap magnētu ir magnētiskais lauks. Lauks nav Faradeja izdomājums. Ja Jūs vēlaties ieraudzīt magnētisko lauku, uz papīra lapas uzberiet dzelzs skaidiņas un tai apakšā palieciet magnētu. Skaidiņas sakārtosies pa spēka līnijām, kas ir tādas pašas, kādas mēdza zīmēt Maikls Faradejs (sk. 2.2.).

Tika pamanītas arī abu lauku atšķirības, piemēram, tas, ka pozitīvais un negatīvais lādiņš var eksistēt viens no otra neatkarīgi, bet magnēta ziemeļpols un dienvidpols — ne. Ja magnētu pārlaužam uz pusēm, katrai pusītei būs savs ziemeļpols un dienvidpols. Sai ziņā magnēts ir tāds kā leģendārā hidra, kurai katras nocirstās galvas vietā tūlīt ataug jauna.

\* Lai tiktu izstaroti elektromagnētiskie viļņi, process vairs nedrīkst būt kvazistacionārs; frekvencei jābūt augstai — tik augstai (sk. arī 141.—142. lpp.), lai vads pēc garuma būtu samērojams ar starojamo viļni.

Un tā nu zinātnei bija pazīstamas divas parādības, pa daļai līdzīgas, pa daļai atšķirīgas viena no otras. Magnētisms un elektrība. Tās pētīja katru par sevi, neatkarīgi, kamēr beidzot tika konstatēts, ka tās viena ar otru ir saistītas. Kā nereti mēdz būt, talkā nāca nejaušība. 1819. gadā dāņu zinātnieks Ersteds studentiem demonstrēja eksperimentus ar elektrību. Vadam blakus atradās kompass, kam ar demonstrējamo parādību nebija nekādā sakara.

— Bet kāpēc, tiklīdz jūs ieslēdzat strāvu, kompasa adata novirzās sānis? — studenti vaicāja lektoram. Un šis jautājums lika iegrimt dziļās pārdomās ne tikai Erstedam, bet arī visai tālaika zinātnes pasaulei.

Te bija ko padomāt. *Elektriskā* strāva, kas plūst pa vadu, rada *magnētisko* lauku. Visu laiku bija šķitis, ka pastāv divas dažādas parādības, bet nu pēkšņi kļuva skaidrs, ka viena ar otru ir nesaraujami saistītas.

## ERSTEDA PĒDĀS

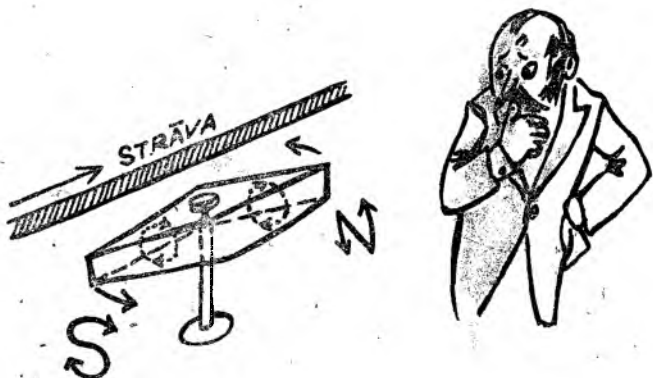
Vēsts par Ersteda eksperimentiem isā laikā aplidoja visu pasauli. Vads, pa kuru plūst strāva, iedarbojās ne vien uz magnētadatu, bet arī uz visu zemju zinātnieku prātiem. Visi nojauta, ka pasaule dzīvo jaunu atklājumu priekšvakarā, kaut arī neviens, kā nākas, neprata izskaidrot pat pašu pirmo, šķietami visai elementāro eksperimentu.

Kāds spēks adatai liek pagriezties šķērsām vadam? Ersteds pats domāja, ka adatu pagriež elektrība, kas tātad plūst ne vien pa vadu, bet arī ap to. Franču fiziķis Ampērs izvirzīja citādu hipotēzi: pa vadu plūstošā strāva mijiedarbojas ar citu, magnētadatas iekšienē plūstošu strāvu, kuras darbības rezultātā adata vispār ir nomagnetizēta.

Kuram no viņiem ir taisnība? Varbūt kļūdās abi? Bija nepieciešami jauni eksperimenti.

Ersteda eksperiments tika neskaitāmas reizes atkārtots gan Parīzē, gan Londonā, Pēterburgā, Florencē un Minhenē, gan Heidelbergā un Ženēvā. Virs magnētadatas novieto vadu, ieslēdz strāvu — un vienmēr un visur adata pagriežas perpendikulāri vadam.

Dižais Ampērs, sajūsminājies par Ersteda atklājumu, ieslēdzās savā laboratorijā, lai izpētītu, kā viens uz otru iedarbojas lādiņi, kas pārvietojas pa vadiem, nevis atrodas miera stāvoklī. Starp citu, tas nemaz nebija Ampēra stilā.



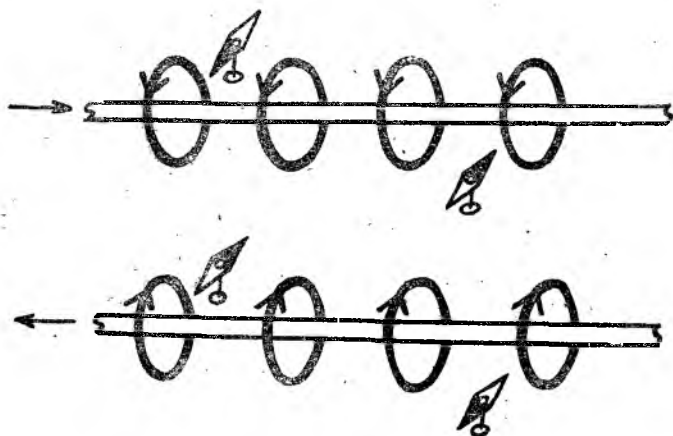
Līdz šim viņš visu bija atklājis uz papīra un kabinetu cieņnījis vairāk nekā laboratoriju. Bet šajā problēmā bez eksperimentiem nevarēja iztikt: katra doma bija rūpīgi jāpārbauda.

Septiņos ziņojumos, kurus Andrē Ampērs spoži nolasīja Francijas Akadēmijas sēdēs, bija atspoguļoti visi viņa darba rezultāti. Septiņi Ampēra ziņojumi it kā bija divu pētniecības jomu robežstabi. Vienā robežas pusē palika viss, kas attiecās uz nekustīgiem lādiņiem, otrā pusē bija kustībā esošie lādiņi — strāva — un to izraisītās parādības.

Pirmo no šīm jomām nosauca par elektrostātiku («stātisks» nozīmē nekustīgs). Par nekustīgu lādiņu īpašībām bija interesējies jau Kulons. Otrā joma ir elektrodinamika, zinātne par kustībā esošiem lādiņiem, kuras pamatus tika likuši Ampēra darbi. Viņa pētījumu blakusrezultāts bija vairāki spoži atklājumi, to vidū arī slavenais Ampēra solenoīds, ko amerikāņu zinātnieks Henrijs drīz vien izmantoja, radīdams elektromagnētus, ar kuriem varēja pacelt līdz divas tonnas lielu smagumu (sk. 2.15.).

## KĀDĀ VIRZIENĀ PAGRIEZĪSIES ADATA!

Parīzē slavenais Ampērs lika pamatus jaunai zinātnei. Bet Londonā tai pašā laikā Maikls Faradejs, jauns un bikls Karaliskā institūta darbinieks, kas tikai nesen bija pametis grāmatniecības darbnīcu un kļuvis par sera Hamfrija Deivija asistentu, arī gāja Ersteda pēdās: līdzās magnētadatai novietoja vadu un lika pa to plūst strāvai.



Daba Faradeju bija apveltījusi ar apbrīnojamu īpašību: visu viņš tiecās saprast un izdarīt pats, ieraudzīt pats savām acīm un veikt pats savām rokām, turklāt nekādiem secinājumiem neticēt, iekams viss nav rūpīgi pārbaudīts.

Jā, strāva adatai tiešām liek pagriezties. Bet kas īsti adatu griež? Vai pati strāva, par kuru apgalvoja, ka tā tekot telpā ap vadu? Vai arī strāva, kas apjožot magnētadatu? Nē, tas vēl bija jāpārbauda.

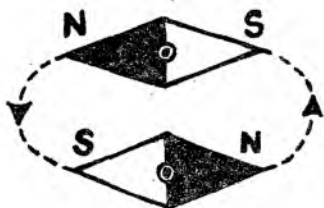
Ja vadu virs magnētadatas novieto tai paralēli un strāvu ieslēdz virzienā no dienvidiem uz ziemeļiem,\* adatas ziemeļpols pagriežas uz rietumiem. Bet, ja vadu paliek adatai apakšā, tas pats pols pagriežas austrumu virzienā. Kāpēc? Un ja nu izmainām strāvas virzienu? Viss apgriežas otrādi. Adata zem vada pavēršas uz austrumiem, bet virs vada — uz rietumiem. Kāds tam visam cēlonis?

Faradejam mostas aizdomas: varbūt strāva rada magnētisko lauku? Pieņemsim, ka, koncentrisku gredzenu veidā noslēgdamies, ap vadu rodas magnētiski spēki (sk. 2.14.). Kāda būs šo gredzenu iedarbība uz adatu?

Divas magnētadatas (ja Zemes magnētiskais lauks uz tām iedarbojas vājāk nekā tās viena uz otru) nostājas tā, ka to pretējie poli «raugās viens uz otru»: abu adatu «iekšējie» lauki — tērauda (vai cita materiāla) paliekošā magnetizācija — šādā situācijā viens otram maksimāli «palīdz», ir viens otram maksimāli *paralēli* (viens caur otru

\* Šeit, tāpat kā visur citur līdzīgos gadījumos, tiek runāts par tehnisko strāvas virzienu — no «plusa» un «minusu». Sk. arī 2.14.

noslēdzas). Tieši tā paša apstākļa dēļ pretēju nosaukumu poli pievelkas, vienāda nosaukuma — atgrūžas. Varbūt arī Ersteda eksperimentā noteicošais ir tāds pats likums?



Atgriezīsimies pie eksperimenta pirmā varianta: vads, pa kuru plūst strāva, atrodas virs adatas, strāva plūst no dienvidiem uz ziemeļiem, magnētiskās līnijas ap vadu «riņķo» pulksteņa rādītāja kustības virzienā. Un tiešām: ja adatas ziemeļpols pagriezīsies uz rietumiem, tās «iekšējais» lauks (kas vērsts no dienvidpola uz ziemeļpolu) maksimumā sakrītīs ar strāvas radīto lauku. Jauki, eksperimentā mēs novērojam tieši to, kas vajadzīgs! Bet kas notiks, ja adatu novietosim virs vada? Lai tās «iekšējais» lauks, cik vien iespējams, sakristu ar strāvas lauka virzienu, ziemeļpolam jāpagriežas... uz austrumiem!

Lūk, kāda izrādījās patiesība! Ersteda atklātā parādība ir izskaidrojama ar divu magnētisko lauku mijiedarbību!

Tā tika atklāts, kādi cēloņi ir pamatā strāvas vada iedarbībai uz magnētadatu. Mūsu dienās katrē skolēns var pateikt, kādā virzienā pagriezīsies magnētadata, jo fizikas mācību grāmatās ir atrodams (un tiek sīki izskaidrots) visai vienkāršais «skrūvgrieža likums»: ja skrūvgriezis vadā skrūvējas strāvas virzienā, tad tas rotē tādā pašā virzienā, kā iet magnētiskās spēka līnijas, kas aptver strāvas vadu. Ja strāvas virziens mainās, jāmaina arī skrūvgrieža pārvietošanās — un tāpat arī rotācijas — virziens. Skrūvgriezis rotē pretējā virzienā, un arī magnētadata pagriežas uz otru pusi. Īsi sakot — viss ir tāpat kā Faradeja eksperimentos.





PAMATS IR ŠĀDS

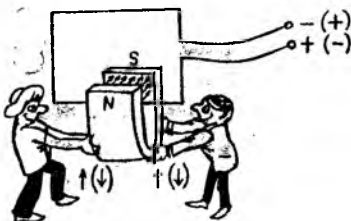
## 2.16.

Ja vads, kas ietilpst noslēgtā ķēdē, pārvietojas pa magnētisko lauku, vadā rodas (speciālisti saka: inducējas) strāva, ko sauc par *inducēto strāvu*.



## 2.17.

Vads var būt arī nekustīgs. Strāvu tajā var inducēt, attiecīgi pārvietojot magnētu. Tātad nav svarīgi, kas pārvietojas — vads vai magnēts; svarīgi, lai vads, kurā jāroda šī strāva, šķeltu magnētiskās spēka līnijas.



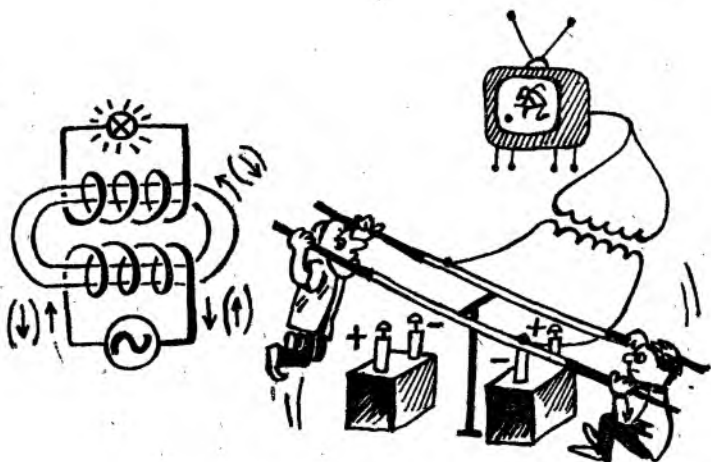
## 2.18.

Bez kustības strāva neinducēsies. Bet kustība ir daudzveidīga. Kā vads, tā

magnēts var būt arī nekustīgs. Strāva inducēsies tāpēc, ka šajā gadījumā no-

ris citāda kustība: mainoties strāvai pirmajā, *primārajā* tinumā, ap tā vijumiem rodas *mainīgs* («pulsējošs») *magnētiskais lauks*. (Var iedomāties, ka arī tā līnijas «šķel» vadus: lauks, laikā mainīdamies, it kā ieiet vijumā un iznāk no tā ārā. Tikai lauks «ieiet» nevis vada materiālā, bet gan vi-

juma aptvertajā laukumā. Mainīgais magnētiskais lauks otrajā, *sekundārajā* tinumā inducē *mainīgu strāvu* — maiņstrāvu, kas laikā mainās (parasti!) gandrīz pēc tāda paša likuma kā primārā tinuma maiņstrāva, kas pievadīta no ārēja avota.)



## 2.19.

Glūži tāpat darbojas *transformators*: primārā tinuma maiņstrāva rada mainīgu magnētisko lauku, kas sekundārajā tinumā savukārt inducē sekundāro maiņstrāvu. Transformatora tinumus parasti uztin uz *serdes*, kas izgatavota no magnētiska materiāla, piemēram, no dzelzs vai spe-



ciāla tērauda. Serde simtiem un tūkstošiem reižu pastiprina transformatora magnētisko lauku.

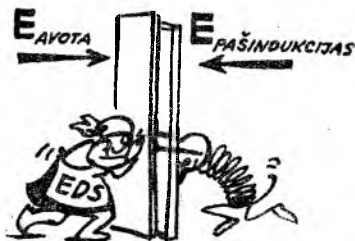
Lai pašā serdes materiālā neinducētos strāvas (t. s. virpuļstrāvas), kas

būtu kaitīgas, jo serde stipri sasiltu, serdi saliek (satin utt.) no samērā plāniem magnētiskā materiāla skārdiem, kas cits no cita izolēti.

## 2.20.

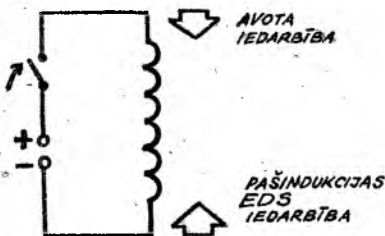
Inducētā strāva rodas pat tad, kad sekundārā tinuma nav. Magnētiskais lauks ir mainīgs arī ieslēgšanas brīdī un neilgu laiku pēc tam, jo strāvas stiprums pieaug; mainīgais lauks *tai pašā tinumā inducē sekundāro strāvu*. Šo parādību sauc par *pašindukciju*.

Sis izklāsts ir vienkāršots. Patiesībā spoles tinumā



darbojas divi EDS — ārējā avota EDS un pašindukcijas EDS, bet strāva ir viena, jo ir viens vads.

Pašindukcijas EDS vienmēr pretojas tam, ka strāva, kas šo EDS radījusi, mainās. Šo likumu ir formulējis *Lencs*.



## 2.21.

Pašindukcija spolei piešķir savdabīgu inerci: spole (tāpēc ka tajā pastāv magnētiskais lauks) pretojas pa

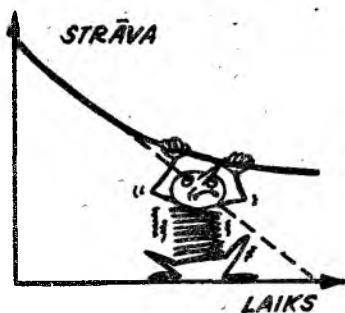
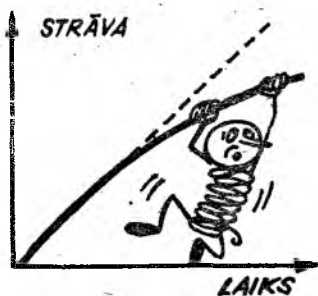
tās tinumu plūstošās strāvas izmaiņām. Ja strāva samazinās, pašindukcijas EDS cenšas to uzturēt. Ja

strāva pieaug, pašindukcijas EDS darbojas tai pretī un tās palielināšanos kavē.

Jo lielāka ir ķermeņa inerce, jo grūtāk to iekustināt vai apturēt. Spoles inerci raksturo ar īpašu parametru — *induktivitāti*, kas ir proporcionāla vijumu skaita kvadrātam un spoles šķērssgriezuma laukumam, bet apgriezti proporcionāla spoles garumam. Bez tam induktivitāte ir jo lielāka, jo lielāka ir spoles serdes materiāla magnētiskā caurlaidība.

Šīs sakarības ir spēkā ideālai spolei. Reālā spolē tās ir daudz sarežģītākas, galvenokārt tāpēc, ka ne visa katra atsevišķā vijuma ierosinātā magnētiskā plūsma ir saķēdēta ar visiem pārējiem spoles tinuma vijumiem.

Jo lielāka ir induktivitāte, jo lielākā ir arī «elektromagnētiskā inerce»; līdz ar to stiprāk darbojas pašindukcijas EDS un lēnāk pie-



aug vai samazinās spoles strāva. Induktivitātei ir sava mērvienība, kas par godu amerikāņu fiziķim Henrijam ir nosaukta par *henriju*.

## FARADEJA INTUĪCIJA

Ar slaveno Ersteda eksperimentu tika noskaidrots, ka elektrība un magnētisms ir viens ar otru saistīti. «Reiz bija» divas dažādas parādības: viena — elektrība, otra — magnētisms. Un pēkšņi «ne no šā, ne no tā» uzradās tiltiņš. Bet, ja pa tiltiņu var nokļūt no kreisā krasta labajā, vai tad otrādi nevar? Strāva rada magnētisko lauku. Varbūt arī magnētiskais lauks ir spējīgs radīt strāvu?

Faradejs sāka meklēt paņēmienus, kā šādu strāvu iegūt. Vadam viņš pieslēdza galvanometru, bet līdzās novietoja magnētu. Strāva neplūda. Vai viņš būtu kļūdījies? Nē, kaut kas gluži vienkārši nav pareizi. Bez šaubām, šīs pa-

rādības ir apgriežamas. Intuīcija Faradejam šo minējumu lika pārbaudīt vēlreiz un vēlreiz.

Desmit gadus viņš nēsāja kabatā vara vada gabalu un nomagnetizētu tērauda stienīti. Pat vismazāk piemērotā brīdī, aizmirsis, kur un kādā sabiedrībā atrodas, Faradejs gandrīz kā maniaks vilka no kabatas savas rotaļlietas, lai izmēģinātu vēl nepārbaudītas vada un magnēta kombinācijas. Laiku pa laikam viņš atkal un atkal pieslēdza vadu pie galvanometra, mēģinādams konstatēt strāvas parādīšanos. Bet tās kā nebija, tā nebija.

Tomēr visus garos desmit gadus zinātnieka sestais prāts (varbūt pat septītais vai vēl «augstāks») viņam nemitīgi «čukstēja ausī», ka nojauta ir pareiza.

Neaptverama neatlaidība — desmit gadus ticēt kam tādā, ko ne ar ko nevar pamatot!

Atrisinājums radās negaidīti. Reiz vadam, kas spoles veidā bija uztīts uz veltņa, Faradejs nejauši pieslēdza bateriju un pamanīja, ka galvanometrs, kas pievienots citam — no pirmā izolētam tinumam, īsu brītiņu uzrāda strāvu. Rādītājs tik tikko iedrebējās, bet ar to pietika: Faradejs uzreiz saprata to, ko nebija varējis saprast desmit gadus.

Strāva neinducējas, ja magnētiskais lauks ir nemainīgs. Lai tā rastos, lauks jāmaina. Brīdī, kad Faradejs tinumam pieslēdza bateriju, radās magnētiskais lauks, un tā pieaugšanas laikā viņš nejauši ievēroja, ka galvanometra rādītājs novirzās. Nejauši? Šī nejaušība taču bija meklēta desmit gadus!

Toties tālāk viss gāja kā pa sviestu. Nu vairs nebija grūti uzminēt, ka strāva inducējas arī tad, kad vads pārvietojas, šķeldams magnētiskās spēka līnijas (sk. 2.16.), un kad magnēts atbilstošā veidā pārvietojas attiecībā pret vadu (sk. 2.17.); neskaitāmi eksperimenti to visu apstiprināja.

Visos šajos gadījumos vads atrodas mainīgā magnētiskajā laukā, kura iedarbība tajā inducē strāvu.\*

«Strāva rodas tikai tad, kad magnēts maina savu stāvokli attiecībā pret vadu, bet ne tāpēc, ka magnētam miera

---

\* Stingra analīze liecina, ka cēloņsakarību ķēde ir garāka. Mainoties magnētiskajam laukam, inducējas elektriskais lauks (arī tukšā telpā). Ja šajā elektriskajā laukā ievieto vadu, lauks «sabrūk» un starp vada galiem rodas inducētais spriegums jeb EDS. Ja vads ir noslēgtas ķēdes daļa, plūst strāva. Ar to visu mums vēl nāksies sastapties.



stāvoklī būtu kādas noteiktas īpašības,» Faradejs ierakstīja savā zinātniskajā dienasgrāmatā. Lūk, tāda ir *elektromagnētiskās indukcijas* likuma būtība: elektriskais lauks ierosinās; mainoties magnētiskajam laukam.

Izmantojot Faradeja atklāto likumu, tika izveidoti jauni lieljaudas elektriskie ģeneratori, kuros strāva radās tāpēc, ka magnētiskajā laukā rotēja īpašas spoles. Vēlāk tika radīti arī transformatori (sk. 2.19.). Modernajos lieljaudas ģeneratoros tehnisku iemeslu dēļ rotē magnēti, bet spoles, kurās inducējas EDS un plūst strāva, ir nekustīgas.

Faradeja atklājums bija dzižs, un pasaule par to jūsmoja. Tomēr indukcijas daba līdz galam vēl nebija izpētīta.\* Diez vai tolaik kāds to saprata labāk par pašu Faradeju. Kā viena spole var ietekmēt otru, ja tās nesaista vadi? Acimredzot mijiedarbības pārnēsējs ir lauks. Bet kāda ir šī lauka būtība?

Ersteds pierādīja, ka strāva rada magnētisko lauku.

Faradejs pierādīja, ka magnētiskais lauks rada strāvu.

Un tomēr šī parādību savstarpējā apgriežamība joprojām palika neizzināta. Tajās bija jāiedziļinās atkal un atkal, starp tām bija jāmeklē dziļāka sakarība un savstarpējā nosacītība.

\* Pilnīgi izpētīta tā nav arī mūsdienās.

## DIVVIENĪGIE VIĻŅI

Zinātnē tā mēdz būt vienmēr: vispirms tiek uzkrāti fakti, pēc tam tos apkopo un vispārina.

Kad Maksvels bija nolēmis vispārināt visu, kas zināms par elektrību un magnētismu, par faktu trūkumu nevarēja sūdzēties. Zinātnē un tehnikā jau bija atrasts simtiem iespēju, kā izmantot strāvas radīto magnētisko lauku, un desmitiem variantu, kā magnētisko lauku «pārvērst» elektriskajā strāvā.

Šie principi, piemēram, tika izmantoti, lai radītu dažādus mērinstrumentus.

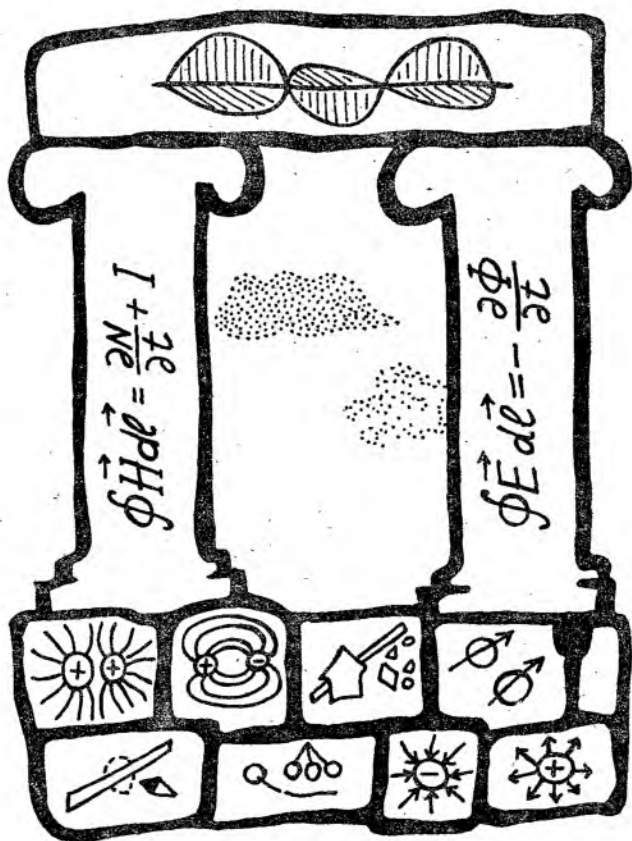
Viscaur norisa vieni un tie paši procesi. Strāva radīja magnētisko lauku, magnētiskais lauks ietekmēja strāvu. Viss bija apgriežams kā elektriskajā mašīnā: ja pa tās tinumiem liekam plūst kāda ārēja avota strāvai, tā darbojas kā motors, bet, ja mašīnu griežam, izmantojot kādu citu dzinēju, tā ražo strāvu. Apgriežamības pamatā ir vieni un tie paši procesi: ja mašīna strādā par motoru, tās tinumos kā ģeneratorā inducējas EDS; ja mašīna strādā par ģeneratoru, tās rotora griešanai jāpatērē spēks, kas pēc dabas ir tāds pats kā spēks, kurš mašīnai liek griezties kā motoram.

Vada apkaimē mainot magnētisko lauku, vadā yaram radīt strāvu, bet telpā ap strāvas vadu rodas lauki. Strāva plūst pa vadu, bet telpā ap to mijiedarbojas elektriskie un magnētiskie lauki.

Bet ja nu pēkšņi vads «izzūd», tā nemaz nav? Ja elektrisko lauku mēs radītu tukšā telpā un liktu tam mainīties? Kas tad notiktu?

Pirmais šo jautājumu uzdeva Džeimss Klārks Maksvels; viņš uz to arī atbildēja. Tā nebija vienkārša atbilde. Tā bija stingra un sevī noslēgta matemātisku vienādojumu sistēma — elektromagnētiskā lauka teorija. Turklāt izrādījās: lai sistēma patiešām būtu noslēgta, jau eksperimentāli izpētītās un pazīstamās saites starp elektrību un magnētismu nepieciešams papildināt ar vēl yienu «ķēdes locekli», ar noteiktu fizikālu parādību. Maksvela teorijā šis «trūkstošais ķēdes loceklis», šī parādība bija. Teorijas autors to bija «izgudrojis» tīri teorētiski jeb, kā dažreiz saka, postulējis.

Ja telpā pastāv mainīgs elektriskais lauks, tad tas rada mainīgu magnētisko lauku. Notiek tā, it kā telpā eksistētu iedomāts vads, pa kuru plūst iedomāta strāva. Atšķirībā no parastās vadītspējas strāvas — lādētu daļiņu plūs-



mas — Maksvels to nosauca par *nobīdes strāvu*. Nobīdes strāva — «trūkstošais ķēdes loceklis» — nav saistīta ne ar kādu lādiņu plūsmu. Tā pastāv itin visur, kur vien pastāv mainīgs elektriskais lauks, un tās blīvums ir proporcionāls lauka maiņas ātrumam.

Tādi gadījumi, kuros lauku mijiedarbība (mainīgs elektriskais lauks ierosina magnētisko) notiktu bez strāvas vadītāju klātbūtnes, zinātnei vēl nebija pazīstami. Tomēr visi zināmie fakti liecināja Maksvela hipotēzei par labu. Visi eksperimenti, mērinstrumenti, ierīces utt., kuru pamatā bija ideja, ka elektriskais un magnētiskais lauks ir nesaraujami vienoti, šo pieņēmumu netieši apstiprināja. Tiesa, eksperimentos, mērinstrumentos un ierīcēs vienmēr figurēja vadi, pa kuriem plūda strāva. Lai nu tā būtu; elektro-



magnētisko lauku konstatēt (un mērīt) tieši mēs gluži vienkārši vēl neesam iemācījušies; tā īpašības, kā nākas, vēl neesam izpētījuši.

Tādas bija Džeimsa Maksvela domas, un vēsture pierādīja, ka tās ir bijušas pareizas.

Šīs domas atspoguļojās viņa vienādojumos, un elektromagnētiskā lauka teorija kļuva apbrīnojami saskanīga. Visas elektromagnētiskās parādības, ko zinātne atklāja vēlāk, bija tikai Maksvela vienādojumu speciālgadījumi. Tajos kā spoguļi atainojās parādību savstarpējā sakarība un apgriežamība: viens no vienādojumiem izsacīja elektriskā lauka atkarību no magnētiskās plūsmas maiņas, otrs — magnētiskā lauka atkarību no elektriskā lauka maiņas jeb, respektīvi, no visu veidu strāvām, ieskaitot nobīdes strāvu.

Radies tur, kur novietots strāvas vads,\* elektromagnētiskais lauks izplatās telpā. Lauku var atdalīt no vada, bet nevar atdalīt elektrisko lauku no magnētiskā — tie abi ir neatdalāmi apvienojušies kopīgā *elektromagnētiskā vilnī*.

Dabā tāldarbības nav. Elektromagnētiskais lauks nevar momentāni iedarboties uz ķermeni, kas atrodas kādā noteiktā attālumā. Vilnis ķermenim tuvojas pamazām. No Maksvela vienādojumiem izrietēja, ka viļņa ātrums ir precīzi vienāds ar gaismas ātrumu.

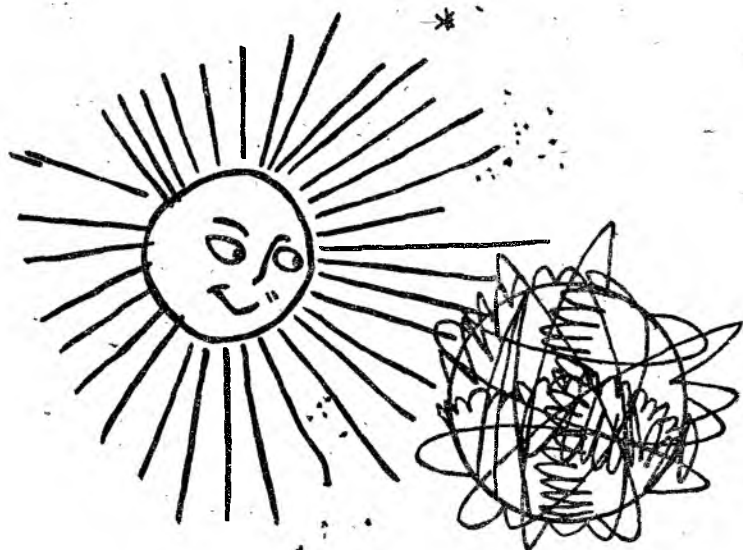
Te tev nu ir «pamazām»! Tik ātrs vilnis vienā sekundē gandrīz astoņas reizes apjozīs zemeslodi!

(Kā jau minēts, gaismas ātrums tukšā telpā ir pavisam nedaudz mazāks par 300 000 kilometriem sekundē.)

## NEGAIDĪTS SECINĀJUMS

Maksvela nopelni ir ļoti lieli. Un tomēr nedrīkst noklusēt, ka jau daudzus gadus pirms Maksvela atklājuma elektromagnētiskos viļņus tika paredzējis Faradejs. Jau 1832. gadā (gadu pēc elektromagnētiskās indukcijas atklāšanas), mēģinādams saprast indukcijas dabu, Faradejs secināja, ka elektromagnētisko parādību jomā ierosai telpā jāizplatās ar īpašām svārstībām, kurām jābūt līdzīgām «viļņus nesošas ūdens virsmas svārstībām vai arī gaisa daļiņu svārstībām skaņas vilnī».

\* Strāvas frekvencei jābūt pietiekami augstai; sk. arī 83. lpp.



Vēl viņš rakstīja tā:

«Ierosinošais cēlonis (ko es atļaušos nosaukt par magnētismu) no magnētiskajiem ķermeņiem izplatās pakāpeniski, un šī izplatīšanās prasa noteiktu laiku, kas acimredzot izrādīsies ļoti mazs.»

Bet Maksvels taču pierādīja tieši to!

Faradeja daudzo ideju vidū šī ideja laikam bija vienīgā, kuru viņš nevarēja pārbaudīt pats ar savām rokām. Var domāt, ka tāpēc viņš to arī npublicēja. Faradejs atstāja vēstuli, kuru lūdza atvērt tikai pēc simt gadiem.

1938. gadā Faradeja vēstuli izlasīja Karaliskās biedrības locekļi; tā vēlreiz apstiprināja, cik gaišredzīga ir bijusi Faradeja intuīcija. Tai laikā ideju bija apliecinājusi ne tikai teorija, bet arī Herca eksperimenti un daudzās sakaru sistēmas un ierīces, kuru darbības pamatā bija elektromagnētisko viļņu izmantošana; šie viļņi tiešām izplatījās ļoti lielā un tomēr galīgā ātrumā — precīzi tā, kā bija paredzējis Faradejs.

Maksvels tika pierādījis, ka šis ātrums ir vienāds ar gaismas ātrumu.

Vai šī sakritība būtu nejauša?

Nē, Maksvels nejaušībām neticēja, vismaz šādām ne. Viņš centās atrast dažādo parādību kopsakarības. Ja jau elektromagnētiskie viļņi izplatās gaismas ātrumā, tad *gaisma* arī nav nekas cits kā *elektromagnētiskie viļņi*.

Tādējādi elektrības un magnētisma sakara pētīšanas rezultātā pēkšņi tika konstatēta pavisam negaidīta radniecība. Elektrisko un magnētisko lauku savstarpējo sakarību un mijiedarbību bija pētījuši desmitiem zinātnieku. Kas gan varēja iedomāties, ka šie paši lauki ir atbildīgi arī par gaismu!

Drosmīgais Maksvela ģēnijs atsedza arī šo vienotību. Gaismas viļņiem ir tāda pati daba kā viļņiem, kas uz visām pusēm izplatās no vada, pa kuru plūst pietiekami augstas frekvences maiņstrāva. Vieni no otriem tie atšķiras tikai pēc viļņa garuma. Gaismas viļņiem tas ir mazs — tikai dažas milimetra desmitstokstošdaļas. Bet garākus viļņus tolaik vēl konstatēt neprata.

Tikai divpadsmit gadus pēc Maksvela nāves Heinrihs Hercs veica eksperimentus ar elektromagnētiskajiem viļņiem, tos pārraidīdams un uztverdams un tādējādi apstiprinādams sava ģeniālā priekšteča ideju pareizību.

Bet vēl pēc dažiem gadu desmitiem jau darbojās tūkstošiem radiostaciju, kuras ar šiem viļņiem bija piepildījušas visu Zemes virsmai tuvo telpu. Viļņi deva iespēju visdažādāko informāciju jebkurā valodā pārraidīt uz visām pasaules malām.

## OPTIKAS VĒSTURE

Pirms Maksvela idejas apvienoja gaismu ar elektromagnētiskajiem viļņiem, zinātne par gaismu — optika — bija veikusi garu un sarežģītu ceļu.

Gaisma cilvēku uzmanību saistījusi kopš vissenākajiem laikiem. Tā konstatējama bez mērinstrumentiem. Pasauli piestaro Saule, un, tikai pateicoties gaismai, cilvēks šo saulaino pasauli varējis izziņāt. Lūk, tāpēc pirmais «zinātniskais disputs» par gaismas dabu notika jau pirms trīs arpus tūkstošiem gadu; tā iniciators bija faraons Amenofiss IV, kas dzīvoja 14. gadsimtā pirms mūsu ēras.

Pretēji tālaika teorijām, kas sludināja, ka gaismu izstarojot dieva Amona acis, Amenofiss IV izteica atziņu, ka gaismas avots ir Saule. Bet arī Saule tolaik bija dievs, ko sauca par Atonu. Amenofiss IV jaunus uzskatus izplatīja pavēles kārtībā: viņš lika turpmāk pielūgt nevis Amonu,

bet gan Atonu un par godu šim jaunievedumam pārmaiņīga arī savu vārdu, kļūdamis par Ehnatonu. «Amenofiss» nozīmēja *miļš Amonam*, turpreti «Ehnatons» — *padevīgs Atonam*. Jaunais vārds pilnīgi atbilda jauno ideju garam.

Senie grieķi sprieda citādi. Konstatējuši, ka tikai gaisma priekšmetus dara cilvēkam redzamus, viņi izdarīja secinājumu, ka gaismu izstaro... pašas lietas. «Gaismas daļiņas» nonāk cilvēka acī, un, pateicoties šīm daļiņām, viņš redz priekšmetu.

Tomēr antīko filozofu darbos ir sastopami arī citādi uzskati. Piemēram, Platons savos slavenajos «Dialogos» izsakās šādi:

«Dievi kā pirmo orgānu tika radījuši *gaismu izstarojošās acis.*»

Salīdzinājumā ar Amenofisu-Ehnatonu tas jau ir solis uz priekšu. Pēc Platona uzskatiem, ar «gaismu izstarojošo redzi» ir apveltīti ne tikai dievi, bet arī cilvēki.

Taču to, ka būtu notikusi tuvošanās patiesībai, grūti apgalvot: Amenofiss bija domājis, ka gaisma eksistē ārpus cilvēka, bet Platons savukārt domāja, ka to izstaro pats cilvēks, ka viņa acis it kā «aptausta» priekšmetus ar savu izstaroto staru.

Skaidrība šajā jautājumā radās daudz vēlāk. Slavenais arābu zinātnieks Abu Ali Haisams, kas vēsturē iegājis ar Alhāzena vārdu, ap mūsu ēras 1000. gadu pirmais pasludināja, ka mēs redzam *priekšmetu atstaroto gaismu.*

Bet kas ir šī gaisma?

Dižais Ņūtons mums mantojumā ir atstājis savu gaismas teoriju, kurā ir atdzimušas antīko filozofu idejas. Arī Ņūtons uzskatīja, ka gaisma sastāv no daļiņām. Tiesa, viņa daļiņas, ko viņš sauca par korpuskulām, neizstaroja nedz acs, nedz priekšmeti: Ņūtons lieliski saprata, ka redzamie priekšmeti gaismu tikai atstaro.



Bet Maksvels radīja elektromagnētisko gaismas teoriju, kas tik lielā mērā sāka valdīt pār zinātnieku prātiem, ka par korpuskulām neviens vairs ij nerunāja. To vietā pieminēja Heigensu un Frenelu — Ņūtona oponentus, kas bija apgalvojuši, ka gaisma, savā ceļā sastapdama šķērslī, izturas tā, it kā to veidotu viļņi, nevis daļiņas.

Bet pēc dažiem gadu desmitiem zinātne sastapās ar parādību, kas tai uzskatus par gaismas dabu lika revidēt no jauna.

Izrādījās, ka apgaismots metāls elektronus izstaro (emitē) tā, it kā to kapātu kaut kādu daļiņu «krusa». Maksvela vienādojumi šo parādību — tā saukto fotoefektu — nevarēja izskaidrot. Einšteins, to pētīdams, atgriezās pie Ņūtona izstrādātās korpuskulu idejas. Jau atklāto matērijas elementārdaļiņu sarakstu viņš papildināja ar gaismas daļiņu — *fotonu*.

Seit mēs sastopamies ar tipisku dialektikas piemēru — ar agrāko uzskatu un ideju pārvērtēšanu atbilstoši jaunajam attīstības posmam. No Ņūtona gaismas korpuskulām uz Heigensa un Frenela viļņiem, no tiem uz Maksvela idejām par elektromagnētiskajiem viļņiem, bet pēc tam uz Einšteina fotoniem, kuri ļāva likvidēt «baltos plankumus» vilniskajā gaismas teorijā, — tādi ir galvenie robežstabi garajā optikas attīstības ceļā.

Un, visbeidzot, modernā gaismas teorija ir vēl viens spilgts parādību pretējo īpašību dialektiskās vienotības piemērs: vienos gadījumos izpaužas gaismas viļņējādās īpašības, citos — korpuskulārās, t. i., gaisma var uzvesties gan kā viļņi, gan kā vieglu daļiņu plūsma.

Bet kāpēc mūsu grāmatā par elektroniku vajadzēja stāstīt par optikas vēsturi?

Šo vēsturi varētu neskart, ja pēdējos gados nebūtu radusies fotonika, kas būvē gaismas ģeneratorus un citas ierīces un daudzu uzdevumu risināšanā konkurē ar elektroniku.

## AR KO SĀKAS RADIO!

Ir radio. Ir elektronika. Divas savā starpā cieši saistītas nozares. Kur iet robeža, kas tās vienu no otras atdala?

Elektronika nodarbojas ar elektroniskajām ierīcēm — ar lampām, kineskopiem, pusvadītājiēriēcēm, to projektēšanu, izmantošanu utt. Radio loma ir skaidra bez komentāriem. Un tomēr ...

Vai radio var pastāvēt bez elektronikas? Modernu raidītāju vai uztvērēju bez pusvadītājiem vai (un) lampām ir grūti iedomāties. Bet izrādās, ka sakarus var nodibināt, arī izmantojot fotoniskās ierīces: pārraide notiek nevis ar radioviļņu, bet ar gaismas viļņu starpniecību.

Vai tas ir radio? Lai to pateiktu, jāatceras, ko īsti nozīmē vārds «radio». Tas ir cēlies no latīņu valodas vārda *radius*, kas nozīmē «stars». Radio var darboties ar dažādiem «stariem» (t. i., viļņiem). Un gaismai taču ir tāda pati daba kā līdz šim plaši izmantotajiem radioviļņiem: gan vieni, gan otri ir elektromagnētiskie viļņi.

Maksvels šo patiesību noskaidroja vairāk nekā pirms simt gadiem. Kāpēc tad optiskās sakaru sistēmas ir radušās tikai samērā nesen?

Sakaru tehnikas attīstības sākumā vieglāk bija apgūt relatīvi garos viļņus. Kad Maksvels bija izdarījis savu atklājumu, zinātne neatlaidīgi meklēja paņēmienus, kā šos neredzamos viļņus iegūt. Ar kādu nolūku? Ne jau tikai tādēļ, lai apstiprinātu vai atmestu Maksvela idejas. Daudzi saprata, ka, šos viļņus izpētījusi, zinātne arī atradīs, kā tos izmantot praksē. Kur un kādā veidā? Vai gan to-



laik, kad neviens šos viļņus vēl nebija novērojis, varēja zināt, kādas iespējas tie pavērs? Viļņu īpašības nezinot, kaut ko prognozēt bija grūti.

Heinrihs Herca, kuram pirmajam bija izdevies eksperimentēt ar elektromagnētiskajiem viļņiem, apgalvoja, ka viņa atklājumam neesot nekādas praktiskas nozīmes.

Bet tieši Herca eksperimentos pirmo reizi bija likts lietā princips, kas ar laiku kļuva par jebkuru bezvadu sakaru pamatu: jānotiek *izstarošanai* un *uztveršanai*.

«Jāizgudro ierīce, kas aizstātu elektromagnētisma juteklus, kuru cilvēkam nav,» — tā savu uzdevumu formulēja izcilais mūsu zemes zinātnieks Aleksandrs Popovs.

Drīz vien viņš pierādīja, ka radīt tādas ierīces patiešām ir iespējams. Vispirms tās sāka «just» zibens izlādes. Bet 1896. gadā notika pirmā radiotelegrāfa pārraide 600 metru attālumā — no Ķīmijas institūta uz Pēterburgas universitāti. Tai laikā šādi sakari īpaši bija nepieciešami flotē. Uz sauszemes varēja iztikt arī ar telegrāfu pa vadiem. Bet nevar taču aizvilkt vadu no krasta līdz kuģim, kas izgājis jūrā!

Ne visi prata novērtēt jaunā izgudrojuma nozīmi. Kad Popovs lūdza jūrlietu ministru, lai eksperimentu turpināšanai viņam piešķir 1000 rubļu, atbilde bija īsa: «Šādai himerai naudu piešķirt neatļauju.»

Bet tieši ar šo «himeru» divus gadus vēlāk Popovs noorganizēja sakarus starp diviem kuģiem, kas viens no otra atradās četrdesmit kilometru attālumā, un 1900. gadā no Kronštates uz Hoglandes salu pārraidīja instrukcijas, kā veicami bruņukuģa «Ģenerāladmirālis Apraksins» glābšanas darbi (bruņukuģis šīs salas tuvumā bija uzskrējis uz sēkļa).

Gadījuma dēļ pirmās radiotelegrāfa sakaru līnijas radīšana bija sakritusi ar kādu svinīgu notikumu cara ģimenē. Vietējie varasvīri nolēma, ka pirmā radiogramma būs lieliska dāvana cara ģimenei, un sagatavoja apsveikuma tekstu. Bet tās vietā Popovs pats uz savu atbildību pārraidīja pavisam citādu ziņojumu — par to, ka vētra aiznesusi jūrā ledusgabalus ar 27 zvejniekiem. Kuģis, kas izgāja jūrā pēc šīs telegrammas saņemšanas, paspēja viņus izglābt. Bezvadu sakari bija palīdzējuši glābt cilvēku dzīvības.

Tā radio pamazām ieviesās dzīvē, bet par elektroniku neviens neko nezināja.

Un tātad atkal radio bez elektronikas: Popova pirmajās radiostacijās elektronu lampu nebija.

## PAR BEZVADU SAKARIEM

Tātad radiosakariem lampas nav obligātas.

Ar transformatoru, jādomā, ir sastapies ikviens. Bet diez vai kāds ir iedomājies, ka starp tā tinumiem — primāro un sekundāro, sk. 2.18.—2.19., — pastāv radiosakari.\* Sekundārais tinums uztver viļņus, ko izstarojis primārais.

Aplūkosim divas spoles, kas atrodas viena otrai līdzās. Vienu — primāro — caur slēdzi pievienosim baterijai, otras ķēdē ieslēgsim mērinstrumentu. Kamēr pa primārās spoles tinumu plūst nemainīga stipruma strāva, instrumenta rādītājs atrodas uz nulles iedaļas.

Bet momentā, kad bateriju no primārā tinuma atslēdzam, novērojam mērinstrumenta rādītāja izsitienu. Kāpēc? Tāpēc, ka izslēgšanas momentā sāk mainīties («sabrūkt») primārā tinuma lauks — un sekundārā tinuma vijumos, kuri atrodas noteiktā attālumā no primārā tinuma vijumiem, inducējas elektriskā strāva. (Kā jau aizrādīts, pareizāk būtu teikt, ka inducējas spriegums, bet strāva ir vienlīdzīga — skaitliski — tā dalījumam ar ķēdes sumāro pretestību, kura var būt dažāda.) Ja strāvu primā-

---

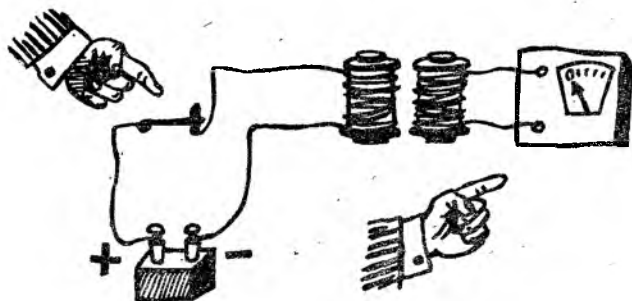
\* Šis apgalvojums nav pareizs; transformators iztīrījumā tiek izmantots tikai uzskatāmības labad. Starp transformatora tinumiem pastāv magnētiskā jeb, kā bieži saka, induktīvā saite. Tās būtība ir abiem tinumiem kopīgs magnētiskais lauks. Bet šis lauks nav elektromagnētiskais viļnis. Tas «neparvēršas» par elektrisko lauku, lai gan mainīdamies spēj inducēt šo lauku, spriegumu un strāvu; tas neatdalās no sava avota — tinuma ar strāvu; laikā tas mainās praktiski precīzi pēc tāda paša likuma, pēc kāda mainās strāva tinumā (tinumos); tas strauji samazinās, ja attālināmies no lauka avota (ja avots ir spole, kas atrodas gaisā, lauka intensitāte aptuveni ir apgriezti proporcionāla attāluma kubam). Šis īpašības laukam piemīt tāpēc, ka tā avota izmēri ir daudz, daudz mazāki par elektromagnētiskā viļņa garumu (piemēram, rūpnieciskās frekvences maiņstrāvai šis garums ir 6000 km).

Elektromagnētiskā viļņa īpašības ir pavisam citādas. Tajā pastāv kā elektriskais, tā magnētiskais lauks, kuri ir atdalījušies no sava avota; laikā šie lauki mainās katrā telpas punktā savādāk, tā ka parasti izveidojas sinusoidāls sadalījums, kas «skrien» prom no avota ar lielu ātrumu (tukšā telpā — gaismas ātrumā); lauku intensitāte samērā maz — apgriezti proporcionāli attālumam pirmajā pakāpē, nevis kvadrātā, kā tas ir Kulona likumā, utt. — mainās, ja attālināmies no avota (starotāja).

Vilni var izstarot tikai tāda antena, kuras izmēri ir samērojami ar viļņa garumu.

Visinteresantākais ir tas, ka Maksvela vienādojumi ir spēkā kā viļņim, tā arī transformatoram; tie ir pareizi arī visos citos elektriskā, magnētiskā vai elektromagnētiskā lauka rašanās, pastāvēšanas un izplatīšanās gadījumos.



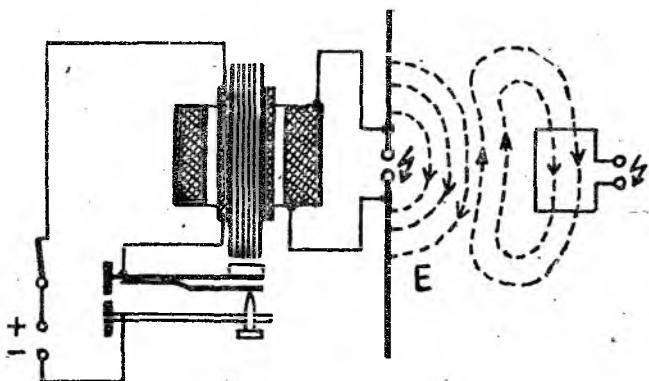


rajā tinumā ieslēdzam, instrumenta rādītājs novirzās uz pretējo pusi. (Arī šis izsitieni ir īslaicīgi.)

Tā notiek vienmēr, ja tikai spoles ir izvietotas pietiekami tuvu viena otrai, tā ka starp tām var pastāvēt šī savdabīgā «radiosaite» (patiesībā tā ir magnētiskā saite; sk. arī parindes piezīmi). Transformatoros magnētisko saiti parasti nodrošina ar abiem tinumiem kopīgu tērauda serdi; šādos gadījumos saite ir īpaši cieša. Ja primārā tinuma strāva mainās visu laiku, tā rada mainīgu magnētisko lauku. Šāds lauks sekundārajā tinumā inducē maiņstrāvu (sk. arī 2.19.). Transformatoros saite starp tinumiem realizējas ar tērauda serdes starpniecību, bet spolēs, kuras novietotas viena otrai līdzās, — cauri tukšajai telpai, kas atrodas starp tām. (Faktam, ka iekārta darbojas *gaisā*, nav praktiski nekādas nozīmes.)

Bet vai tinumus vienu no otra nevar atvērīt kādā lielākā atstatumā, saitei starp tiem tomēr saglabājas? Izrādās, ka var. To savos klasiskajos eksperimentos pierādīja Heinrihs Hercs.\* Tiesa, lai maiņstrāvas frekvence būtu pietiekami augsta un viļņi vispār izstarotos (sk. arī parindes piezīmi), no parastajām spolēm nācās atteikties, to vietā izmantojot speciālu vibratoru un dzirksteli. Dzirkstele vibratorā radīja maiņstrāvu, kas apkārtējā telpā savukārt radīja elektromagnētiskos viļņus. Dzirkstele lēca

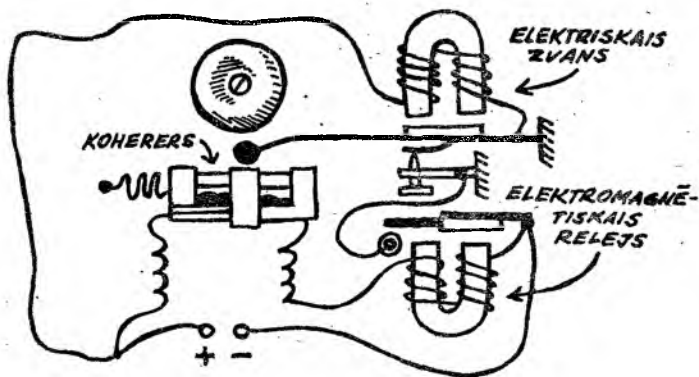
\* Hercs nevis mainīja saiti starp spolēm, bet gan pirmo reizi raidīja un uztvēra īstus elektromagnētiskos viļņus, izmantodams īpašu paša izgudrotu vibratoru, ko vēlāk nosauca viņa vārdā. Viscaur tekstā iztīrījums uzskatāmības labad ir vienkāršots. Precīzu izklāstu var atrast jebkurā fizikas mācību grāmatā. Vēl tikai piebūrdīsim, ka Herca eksperimenti no šeit minētajiem «domu eksperimentiem» (ar transformatoru, spolēm utt.) būtiski atšķiras pēc *frekvences*: Hercam tā bija vismaz miljons reižu augstāka.



starp divām lodītēm, kurām tika pievadīts noteikts lādiņš (pietiekami liels, lai potenciālu starpība būtu tik augsta, ka dzirkstele pārvar gaisa spraugu starp lodītēm).

Jau eksperimentos ar Leidenes traukiem tika novērots, ka dzirkstele, kas lec starp trauka izvadiem, ir īpatnēja: tās virziens vairākas reizes mainās, t. i., trauks «pārlādējas», tā ka ļoti, ļoti īsā laika sprīdī vairākas reizes «šurpu turpu» izmainīties pagūst gan klājumu potenciāla zīme, gan arī izlādes strāvas virziens. Dzirkstele rada svārstības — lūk, ko Hercs izmantoja savos eksperimentos.

Netālu no izlādes iekārtas viņš novietoja otra, uztveroša vibrators cilpu, kuras galos bija piestiprinātas citas lodītes. Dzirksteles radītais lauks cilpā inducēja spriegumu, un neliela dzirkstelīte lēca arī starp uztvērējvibrators lodītēm. Lai saīte starp abiem vibratoriem — raidi-



tāju un uztvērēju — būtu stiprāka, Hercs tos izvietoja speciālu spoguļu fokusos.

Popovs, balstīdamies uz Herca eksperimentiem, izveidoja pirmo radiostaciju, kuras princips ir sīki izklāstīts daudzos laikrakstos, žurnālos un grāmatās. Tāpat kā Herca eksperimentos, arī Popova raidītājā starp diviem satuvinātiem elektrodiem lēca dzirkstele. Dzirkestelstarpa bija tieši pievienota antenai; antena bija arī uztvērējā; šis Popova iedibinātais princips ir saglabājies līdz mūsu dienām. Raidītāja antena elektromagnētiskos viļņus izstaroja, uztvērēja antena tos uztvēra. Popovs izmantoja īpašu jutīgo elementu, tā saukto kohereru, — stikla caurulītē iebērtas metāla skaidiņas. Uztverto elektromagnētisko viļņu (jeb, pareizāk sakot, augstfrekvences elektriskā lauka) iedarbībā skaidiņu pretestība samazinājās, un koherers sāka vadīt strāvu. Tā plūda pa releja tinumiem; relejs noslēdza zvana ķēdi, un zvans signalizēja, ka vilnis ir uztverts. Zvana āmuriņš vienlaikus «sapurināja» kohereru, un tas pārstāja vadīt strāvu. Iekārta atgriezās izejstāvoklī un gaidīja pienākam kārtējo radioviļņu «devu».

Kādu ziņojumu varēja pārraidīt ar tādiem signāliem? Tikai Morzes ābeci (punkts — punkts — svītra utt.), t. i., telegrammas. Cilvēka balsi pārraidīt ir daudz sarežģītāk. Bija jāiemācās ģenerēt nerimstošus radioviļņus, tajos «uzsēdināt» skaņu un, kad šādi viļņi uztverti, tos pietiekami pastiprināt un «jātņieku» — raidāmo skaņu — nocelt nost, t. i., padarīt dzirdamu skaļrunī.



Lai varētu pastiprināt un izstarot nepārtrauktus signālus, Lī de Forests radīja savu slaveno triodi.

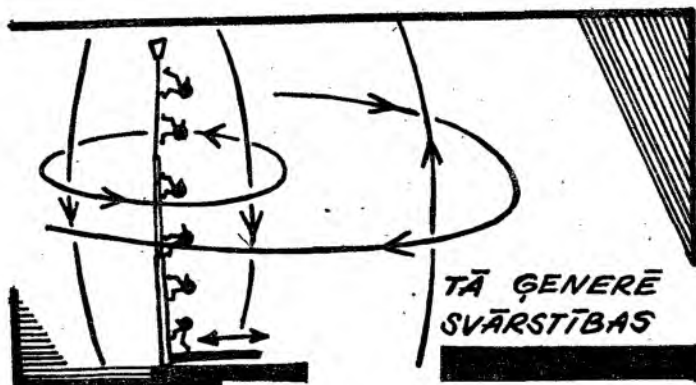
Lūk, kā dzima elektronika!

Tālaika vārdnīcās un katalogos terminu «elektronika» ir velti meklēt: nosaukums radās daudz vēlāk. Tomēr elektronu lampa (diode, triode) un katodstaru (elektronstaru) lampa ir pirmie divi elektronikas asniņi, no kuriem izaudzis varens koks, kas nes daudz pārsteidzošu un apbrīnojamu augļu.

3. NODAĻA

# ELEKTRONI, VIĻŅI UN LAUKI

**Kā lauks deva iespēju  
stūrēt elektronus.  
Par viļņu un elektronu  
sadraudzību un tās  
radītajiem vispasaules  
radiosakariem.**

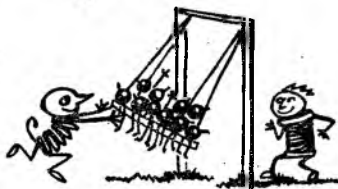
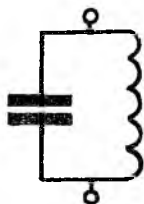


PAMATS IR ŠĀDS

### 3.1.

Spoli savienodami ar kondensatoru, iegūstam svārstību kontūru — slēgumu, kura loma elektronikā un radiotehnikā ir izcili liela.

Kontūrā dzimst svārstības, kas līdzinās pulksteņa svārstai vai ģitāras stīgas svārstībām. Taču svārstis vai stīga svārstās paši, turpretī kontūras detaļas ir nekustīgas. Kontūrā svārstības rada elektroni, bet svārstās elektriskā strāva un spriegums.

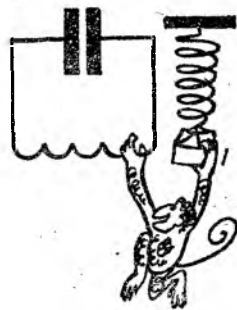


### 3.2.

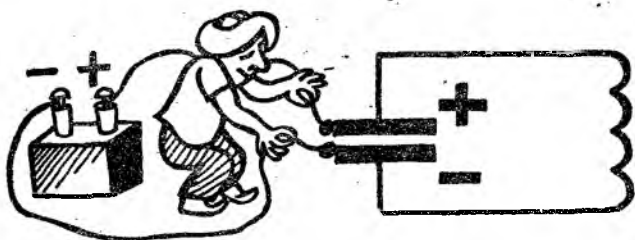
Ārējā līdzība reizēm viņ. Pēc izskata spolei līdzīgā atspere, kas redzama šai zi-

mējumā, faktiski ir kondensatora lomā. Bet atspers, kas piesiets pie atsperes,

ārēji spolei gan nelīdzinās, taču būtībā ir tai dziļi līdzīgs. Atsvaram ir inerce, spolei — arī. Ja lasītājs ir aizmirsis, no kā tā rodas, viņš vēlreiz var aplūkot attēlus puunktos 2.20. un 2.21. (Speciālajā literatūrā aplūko arī tādu analogiju, kurā ir spēkā arī šeit minētā ārējā līdzība.)



### 3.3.



Ja kondensatora klājumus uz īsu brīdi pieslēgsim pie sprieguma avota, kondensators uzlādēsies un uzkrās enerģiju. Šim brīdim jābūt tik īsam, lai kondensators ne vien nepagūtu, bet pat nemaz nesāktu izlādēties caur spoli. Praktiski kondensatoru var uzlādēt tikai attēlā redzamais «faķīrs».

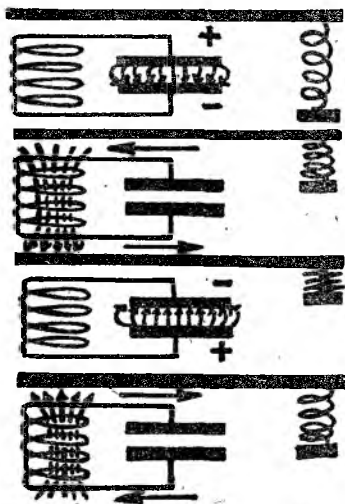
Ar atsperē iekārto atsvaru kaut kas līdzīgs notiks, ja atsperi izstiepsim un pēc tam palaidīsim vaļā, visu sistēmu atstādami pašu savā ziņā,



### 3.4.

Atspere sarausies, atsvars atgriezīsies izejstāvokli, bet tur nepaliks — aiz inerces pārvietosies tālāk augšup un visu enerģiju atdos atsperei, gandrīz tikpat stipri to saspiezdams, cik stipri tā bija izstiepta.

Kontūrā notiek tas pats. Kondensators jau ir paguvis atdot visu enerģiju, bet strāva kontūrā aiz «inerces» joprojām plūst. Tās virziens ir iepriekšējais — tāpat, kā atsvars kādu laiku vēl pārvietojas augšup. Elektronu uz kondensatora augšējā klājuma sakrājas arvien



### 3.5.

Atsvars atkal nonāk vidusstāvokli un aiz inerces turpina virzīties lejup, at-

vairāk un vairāk. Izlādes procesa sākumā tie klājuma pozitīvo potenciālu pakāpeniski samazināja līdz nullei, bet tagad, kad strāva vēl plūst «aiz inerces», «nulle» pamazām pārvēršas «minusā». Toties uz otra klājuma rodas «pluss».

Analoģiski atspere sākumā bija izstiepta, bet tagad ir saspiesta; kondensatora klājumu lādiņi «apmainījušies vietām», klājumu lādiņu zīme — mainījusies uz pretējo.

Brīdī, kad atspere ir maksimāli saspiesta, atsvars maina kustības virzienu: agrāk tas pārvietojās augšup, tagad sāk virzīties lejup.

Kad kondensators ir ieguvis maksimālo iespējamo pretējās zīmes lādiņu, strāvas virziens mainās uz pretējo (viscaur attēlos ir parādīts tehniskais strāvas virziens).

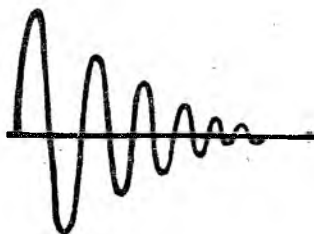


speri izstiepdams. Analoģiski kondensatora lādiņš kļūst vienāds ar nulli, bet

strāva «aiz inerces» turpina plūst; rezultātā «pluss» un «mīnuss» uz kondensatora klājumiem atkal mainās vietām.

Sistēma ir atgriezies izejstāvoklī (sk. 3.3.). Kontūra pašsvārstību cikls (jeb periods) ir beidzies.

Bet kāpēc gan «pašsvārstību»? Droši vien lasītājs jau ir pamanījis, ka ārējais avots («pirmais impulss») bija nepieciešams tikai pašā procesa sākumā (sk. 3.3.). Pēc tam to «novāca» un kontūrs iztika pats ar saviem spēkiem, radīja pats savas svārstības (pašsvārstības), kurām ir kāda no-

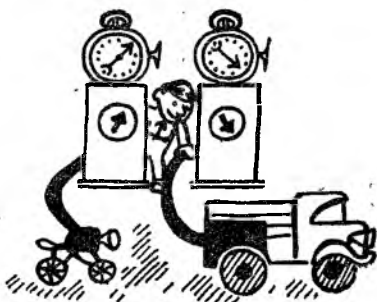


teikta frekvence — pašfrekvence. Cikls atkārtojas ne vienu reizi vien, sistēma vairākkārt iet cauri visām stadijām, kas redzamas 3.4. paragrāfa attēlā, ik jaunā ciklā svārstību amplitūda kļūst aizvien mazāka un mazāka, līdz beidzot svārstības pavisam norimst.

### 3.6.

Cik ilgs īsti ir katrs kontūra svārstību cikls?

Acīmredzot cikla ilgums ir atkarīgs no «atsperes» un «atsvara» īpašībām. Tiešām, to nosaka kondensatora kapacitāte un spoles induktivitāte. Jo lielāka ir kapacitāte, jo ilgāk ilgst kondensatora uzlādēšanās un izlādēšanās. Jo lielāka ir spoles induktivitāte, jo



līdz mainās (pieaug un samazinās) kontūra strāva (sk. 2.21.).

### 3.7.

Kontūra pašsvārstību pilno ciklu (periodu) skaits sekundē nosaka tā pašfrekvenci.

Ja pieaug kapacitāte un induktivitāte, perioda ilgums pieaug, bet ciklu skaits sekundē samazinās



un līdz ar to pazeminās pašfrekvence.

So atkarību izsaka Tomsona fōrmla:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

kur  $f$  ir frekvence (ciklu skaits sekundē),  $L$  — spoles induktivitāte henrijos, bet  $C$  — kondensatora kapacitāte farados.



### 3.8.

Kas ir rezonanse, zina daudzi. Piemēram, tā izpaužas, kad stīga atsaucas uz kādas citas stīgas svārstībām: īpaši intensīvi stīga sāks svārstīties, ja ārējās skaņas frekvence sakrītīs ar tās pašsvārstību frekvenci. Kontūrs dara tāpat: strāvas svārstībās tajā ir īpaši intensīvas, ja tam pievadīto svārstību (signāla) frekvence ir vienāda ar tā pašfrekvenci (rezonanses frekvenci).

Ja signāla frekvence «aizbrauc» sānis no rezonanses frekvences (vienalga, uz kuru pusi), svārstību intensitāte kontūrā samazinās.



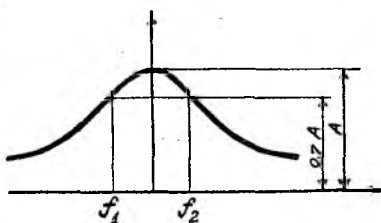
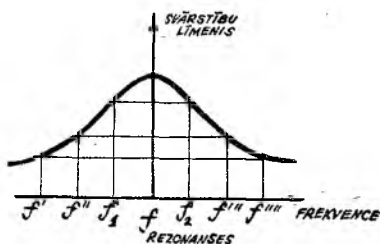
So kontūra īpašību labi attēlo zvanveida grafiks. Šādu līkni sauc par kontūra rezonanses līkni.

### 3.9.

Uz signāliem, kuru frekvence-daudz atšķiras no rezonanses frekvences, kon-

tūrs neatsaucas. Ir pieņemts uzskatīt, ka kontūrs brīvi «laiž cauri» signālus, kuru

frekvence atrodas intervālā no  $f_1$  līdz  $f_2$  (šīm frekvencēm atbilst tāds svārstību līmenis kontūrā, kurš ir vienāds ar septiņām desmitdaļām jeb, precīzāk,  $1/\sqrt{2}$  no rezonanses līmeņa).



## DZIEDOŠĀ LOKA ĢENERATORS

Radio vēsturē bija laiks, kad tas iztika bez elektronikas. Kas tas bija par radiol!

... Ritēja pirmā pasaules kara gadi. Divus kilometrus no Hodinkas\* visu laiku bija dzirdama elektrodzirkstelu dārdoņa: tur strādāja Maskavas raidstacija, izstarodama signālus, kuru jauda bija 100 kW. Simt kilovāti ir krietna jauda; parastā plītiņa patērē ap 0,5 kW. Tomēr, par spīti lielajai jaudai, stacija varēja pārraidīt tikai Morzes ābeci, kuras punktus un svītras tā pārvērta izlādes dzirkstelēs. Tādas pašas stacijas darbojās arī citās Eiropas pilsētās. Radiotelegrāfa pakalpojumus izmantoja arī uz karakuģiem. Pa radio pārraidītos signālus viegli varēja pārtvert ienaidnieks. Pēc šiem signāliem vācieši sekoja angļu un franču manevriem. Sabiedrotie peilēja vācu kuģus un centās atšifrēt štābu komandu slepenos kodus.

Tad pēkšņi notika kas neparasts: visas vācu raidstacijas spītīgi apklusā. Krievijas, Anglijas un Francijas ar-

\* Vieta Maskavā, tagadējās metropolitēna stacijas «Aeroport» apkaimē.

miju štābos tas Izraelsīja paniku: nevarēja būt šaubu, ka tiek veikts kāds viltīgs gājiens, ka vācieši ievieš kādu slepenu jauninājumu.

Noslēpumu uzminēja izcilais krievu zinātnieks Mihails Suleikins. Izrādījās, ka vācieši bija sākuši strādāt ar tādām raidstacijām, kuras raida nepārtrauktu vilni (nerimstošas svārstības). Bet sabiedroto uztvērēji bija paredzēti tikai dzirksteļu telegrāfa signālu uztveršanai: kad raidītājā lec dzirkstele, uztvērējā dzirdams sprakšķis. Jauno vācu raidītāju vilnis bija nepārtraukts: Morzes ābece pēdas tas nesa tādā formā, ka vecā tipa uztvērēji tās nevarēja konstatēt.

Suleikins atrada paņēmieni, kā ar vecajiem uztvērējiem «noķert» jauno vācu staciju signālus: uztvērēja ieejā viņš ieteica ierīkot pārtraucēju, kas signālu padarītu līdzīgu pierastajiem neregulāru impulsu veida vilņiem. Brīžos, kad pienāca signāls, uztvērēja izejā šādi izdevās iegūt parasto sprakšķi.

Vēlāk noskaidrojās, ka pirmos nepārtrauktos vilņus vācieši bija ieguvuši, izmantodami «dziedošā loka ģeneratoru». Šādu ģeneratoru bija radījis irs Dudels, kas radiokontūru (sk. 3.1.) bija iemācījis «piebarot» ar nepārtrauktu dzirksteļu plūsmu.

Dzirksteles Dudels ieguva ar Voltas loku. Kontūrs bija noskaņots uz kādu toņfrekvenci, tāpēc ģenerators darbotamies skanēja kā mūzikas instruments, un tā arī to nosauca par «dziedošā loka ģeneratoru».

## KĀ DZIMST UN MIRST SVĀRSTĪBAS

Kontūrs ir vienkārša ķēde. Jāsavieno kopā no vada uzlīta spole un kondensators (sk. 3.1.). Abas šīs detaļas zinātnei bija pazīstamas jau sen. Kondensators ir Leidenes trauku radnieks. Spole ir tas pats Ampēra solenoīds (sk. 2.15.). Bet, kad amerikāņu zinātnieks Tomsons šīm detaļām lika sadarboties, viņš novēroja procesus, kas ir ārkārtīgi nozīmīgi vēl šodien un, domājams, tādi paliks vienmēr.

Kontūrā rodas svārstības. Šai parādībai ir ļoti daudz analoģu visā dabā, zinātnē un tehnikā.

Atcerēsimies svārstu, stīgu, toņdakšu, šūpoles; ja šīs ierīces kaut kādā veidā ierosinām, tās sāk svārstīties, un šo svārstību frekvence — sistēmas pašfrekvence — ir pilnīgi noteikta (sk. 3.5.).

Visas minētās sistēmas svārstās «pašas», tāpēc ka tām piemīt masa (svārstošā masa) un kaut kāda elastība (pret-darbība). Elektrisko svārstību kontūra detaļas ir nekustīgas; «detaļas», kuras svārstās, ir neredzamas: kontūrā svārstās elektroni, radīdami svārstību strāvu jeb maiņstrāvu (sk. 3.1.).

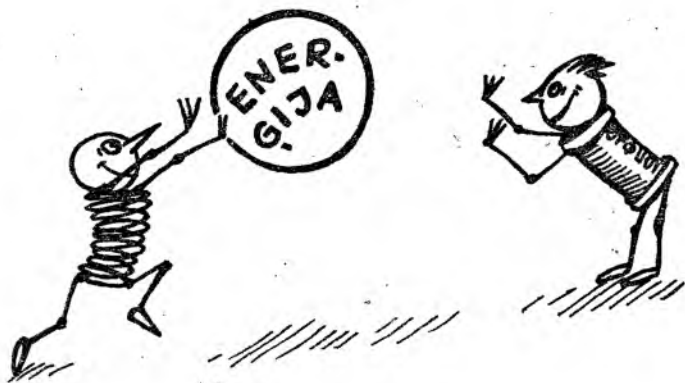
Spole un kondensators visu laiku viens otram «piespēlē» enerģiju — kā volejbolisti bumbu.

Tomēr jau sen ir zināms, ka uzbūvēt mūžīgo dzinēju — *perpetuum mobile* — nav iespējams. Ja Jūs sistēmu esat iekustinājuši, berzes dēļ kāda enerģijas daļa visu laiku neizbēgami pārvērtīsies siltumā. Ja kāds ārējais avots sistēmai šo zudušo daļu nepiegādās atpakaļ, beigu beigās kustība apstāsies, jo visa enerģija būs pārvērtusies siltumā un izkliedējusies. Siltums izklīst apkārtējā telpā, un jebkurā mūžīgajā dzinējā agri vai vēl u iestājas «mūžīgs miers».

Tā paša cēloņa dēļ norimst svārstu un šūpoļu svārstības. Berze starp detaļām un gaisa pretestība liek apstāties gan šūpolēm, gan svārstām, gan atsperē iekārtajam atsvaram. Bet svārstību kontūrā pārvietojas elektroni. Vai berzes spēki iedarbojas arī uz tiem?

Jā, savdabīga berze pastāv arī šajā gadījumā. Spolei piemīt elektriskā pretestība. To pārvarēdami, elektroni zaudē enerģiju, kas, tāpat kā svārstā vai šūpolēs, visa pāriet siltumā. Svārstības pamazām rimst, līdz norimst pavisam.

Radiotehnikā ir nepieciešams, lai ar strāvu notiktu tādas svārstības, kas, reiz radušās, nenorimtu ilgi, ilgi. Tās viegli pārvērst nerimstošos viļņos. Bet, šādus viļņus iz-



mantojot par «nesēju», var pārraidīt visu, ko sirds vēlas: runu, mūziku, attēlus un, ja vajadzīgs, arī telegrāfa signālu.

Kā lai iegūst nepārtrauktas svārstības?

Tas izdarāms, kontūru visu laiku «piebarojot». Turklāt labāk, ja to «piebaro» vienā ritmā ar tā pašsvārstībām, izmantojot rezonanses parādību.

Kas lai to «piebaro»?

Atkal vajadzīgs kontūrs. Lai «piebarošanas» impulsi cits citam sekotu nepārtraukti, svārstības tajā nedrīkst norimt. Tātad arī tas «jāpiebaro» — un tāpat vienā ritmā ar tā pašsvārstībām.

Bet kas «piebaros» to? Vēl kāds kontūrs? Sai «ķēdītei» taču nebūs sākuma. Varbūt to var saliekt gredzenā?

## KĀPĒC UPES TEKI

Diez vai pasaulē atradīsies kāds cilvēks, kas nemilētu upes. Upē ir tikama ar to, ka tajā mīt zivis, ka svelmīgā dienā tā var atdziesēt slāpes un dāvēt veldzi, bet ziemā — pārvērsties par slēpošanas trasi un jautriem slidotavu laukumīņiem.

Bet upe pozitīvas emocijas izraisa arī tāpēc, ka nekad nestāv uz vietas, tāpēc, ka tās nemitīgajā tecējumā atspoguļojas kas dižens un mūžīgs. Aizrit dienas, gadi un gadsimti, bet ūdens aizvien vēl plūst un plūst. No kurienes? Kurp?

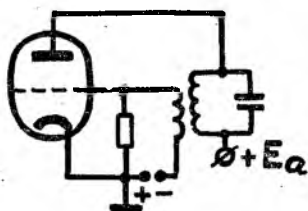
Tiešām — kurp un no kurienes? Tā jau vairs nav lirika, bet pilnīgi lietišķs jautājums.

Katrs zina, ka upes ceļas no avotiem un ietek jūrā. Bet, ja gadsimtu pēc gadsimta upe jūrai piegādā tik daudz ūdens un turklāt neizsīkst, tad jāvaicā — no kurienes šis ūdens rodas?

Tas «nokrīt no debesīm» lietus un sniega veidā. Bet debesīs tas nokļūst, iztvaikodams no ezeriem, jūrām un okeāniem. Un tó daļu, ko ezeri, jūras un okeāni ir zaudējuši iztvaikošanas dēļ, atkal papildina upes.

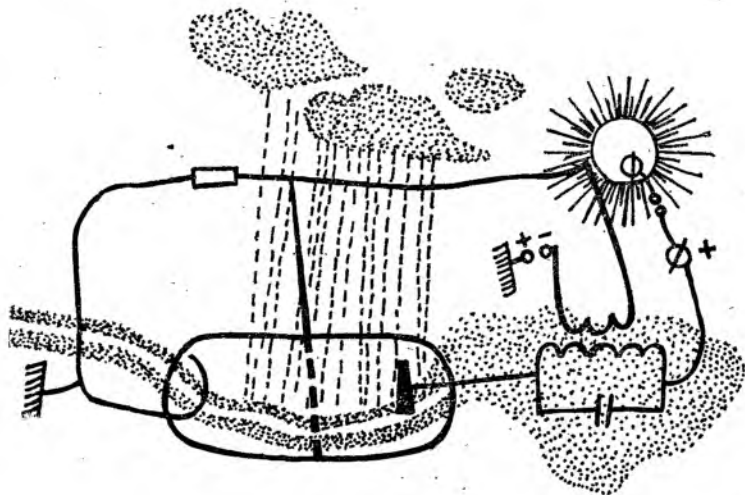
Protams, lasītājs jau ir uzminējis, kāpēc mēs, pārtraukuši sarunu par svārstībām kontūrā, pievērsāmies ūdens riņķojumam dabā. Upju plūdumā ir tieši tas, kā mums pietrūka, kad atklājās, ka jānodrošina, lai svārstības nenorimtu: tajā ir noslēgta cēloņu un seku ķēde. No okeāna uz mākoņiem, no mākoņiem uz upi, no upes — atkal uz okeānu.

Lūk, tāpat darbojas arī ģenerators. Svārstību kontūrs ir ieslēgts triodes anodķēdē. Lai svārstības nenorimtu, daļu no anodkontūrā norisošo svārstību enerģijas pievada triodes tīkliņam. Šis svārstības stūrē triodes strāvu (anodstrāvu). Stūrētā strāva — maiņstrāva, kurai ir tāda pati frekvence kā svārstībām kontūrā, — kontūru «piebaro» («uzšūpo») tieši vajadzīgajā ritmā, jo precīzi vienā ritmā ar kontūrā norisošajām svārstībām mainās tīkliņa stūrējošais spriegums. Katra cikla (perioda) laikā rodas anodstrāvas impulsi, kas kontūru «piebaro» tā pašfrekvences ritmā. Bezgalīgās «ķēdītes» vietā esam ieguvuši sevī noslēgtu gredzenu.



Svārstības, kas reiz radušās kontūrā, uz lampas tīkliņa liek parādīties spriegumam, kurš mainās vienā ritmā ar tām. Tīkliņspriegums savukārt izstūrē anodstrāvu; līdz ar to palielinās svārstību intensitāte, jo lampa tās pastiprina (izmantodama barošanas avota enerģiju), pieaug tīkliņsprieguma svārstību amplitūda utt.

Lasītājs, bez šaubām, var sākt interesēties, vai svārstību sākšanās vienmēr ir pietiekami droša un kāpēc tās nepastiprinās «līdz bezgalīgi lielām amplitūdām». Šo jautājumu analīze ir speciālo kursu uzdevums. Isi var teikt, ka jebkurš impulss, kāds, piemēram, rodas, lampu ieslēdzot vai strāvām nejauši svārstoties, vienmēr satur kaut vai nelielu komponenti, kuras frekvence ir vienāda ar kontūra pašfrekvenci,



tā ka svārstību sākšanās ir nodrošināta. Tālāk. Triodes jauda un tās raksturliiknes «derīgo izmaiņu diapazons» (sk. arī 1.32. un 1.33.) vienmēr ir ierobežots; šis apstāklis ierobežo arī svārstību amplitūdas pieaugšanu. Tomēr tehnisku iemeslu dēļ generatoru praktiskajās shēmās parasti ir speciāli elementi, kas amplitūdu ierobežo citādā, «labākā» veidā.

Pastiprinātājā signāls, kas pievadīts triodes tīkliņam, ir saistīts ar tās anodstrāvu (sk. 1.25.—1.34.). Bet generatorā bez šīs saites, kuru var saukt par *tiešo*, pastāv arī *atgriezeniskā saite*: daļa enerģijas no anoda atgriežas atpakaļ tīkliņkēdē, tā ka lampa pastiprina pati savu signālu.

Tādu režīmu speciālisti sauc par *pašierosmes režīmu*.

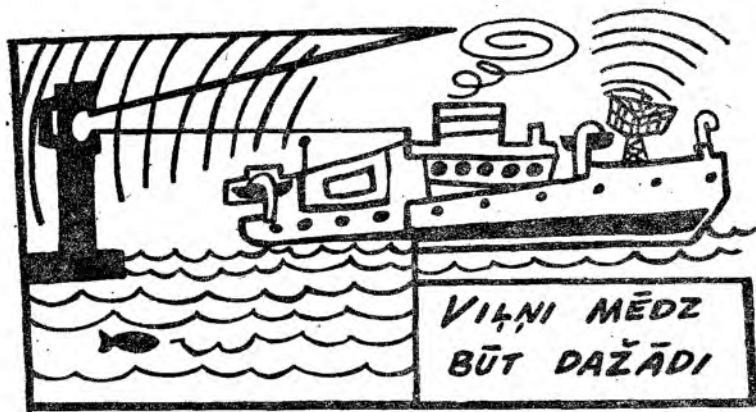
Savdabīgu «atgriezenisko saiti» varam atrast arī ūdens dabiskajā riņķojumā. Par tiešo saiti var uzskatīt jūru un okeānu ūdens krājumu papildināšanos, ko nodrošina upes, bet par atgriezenisko — upju ūdens krājumu atjaunošanos ar lietu un sniegu, ko radījusi iztvaikošana.

Bet no kurienes nāk ūdens riņķojumam un elektrisko svārstību ierosināšanai nepieciešamā enerģija?

Pirmajā gadījumā tās avots ir Saule, bet otrajā — anodkēdes barošanas baterija (vai tīkla barots taisngriezis u. tml.). Tātad aptuvena analogija ir tāda, ka anodbaterija ir savdabīga Saule, kontūrs anodkēdē — jūra, enerģijas daļas pārvade no anoda uz tīkliņu — lietus un sniegs. Daļa līdzstrāvas avota enerģijas šajā riņķojumā pārvēršas nerimstošo svārstību enerģijā.

Jāuzsver, ka svārstību enerģijā vienmēr izdodas pārvērst tikai daļu no līdzstrāvas avota dotās enerģijas: generators patērē vairāk enerģijas, nekā sev līdzī aiznes tā radītās svārstības. Ja svārstību enerģijā pārvēršas kaut vai tikai puse tās enerģijas, ko dod līdzstrāvas avots, tiek uzskatīts, ka generators strādā labi. Starp citu, jāteic, ka Saule no Zemes iedzīvotāju viedokļa savu gaismu un siltumu tērē nesalīdzināmi neracionālāk: gandrīz viss Saules starojums izkliedējas kosmosā, un Zemi sasniedz tikai niecīga daļa no tā.

Turpretī mūsu generatoros svārstību enerģijā pārvēršas apmēram puse avota dotās enerģijas. Otra puse iet zudumā. Taču, zinot, kā vārdā šādus zudumus ciešam, ar tiem var samierināties. Seit mērķis ir skaidrs: generatora radīto maiņstrāvu varam pievadīt antenai, lai tā uz visām pusēm izstarotu elektromagnētisko lauku — radioviļņus.



## PAMATS IR ŠĀDS

### 3.10.

Viļņiem, kas izplatās pa ezera virsmu, radioviļņiem, skaņai un gaismai matemātiski var formulēt

vienu un to pašu vienādojumu.

No fizikas viedokļa šīs parādības ir dažādas. Kopīgs tām ir tas, ka tie ir viļņi.

### 3.11.

Vilnīm kādā noteiktā telpas punktā piemīt atkarība no laika, kas nav saistīta ar viļņa fizikālo dabu. Vilnis ir sinusoidāla svārstība, ko raksturo trīs lielumi — amplitūda, frekvence un fāze.

Par amplitūdu jau esam runājuši: tā ir mainīgā lieluma (lauka intensitātes, ezera ūdens līmeņa utt.) vislielākā novirze no vidējā stāvokļa (bieži vien — no nulles).



Frekvence ir ciklu skaits sekundē.

Kas attiecas uz fāzi, tad...



### 3.12.

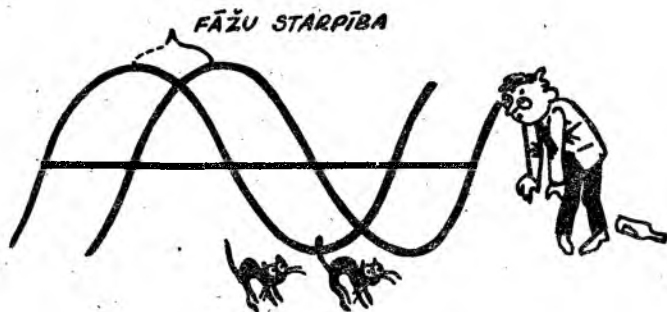
Ja aplūko vienu sinusoidālu procesu, fāzi parasti nepiemin. Bet divas svārstības, kuru frekvence un amplitūda ir vienāda, var atšķirties fāzē. Šis atšķirības raksturošanai izmanto *fāžu starpības jēdzienu*.

Ja kādā fiksētā telpas punktā atkarību no laika raksturo iepriekšējā lappusē sniegtā sinusoīda, tad kaimiņpunktā šī sinusoīda būs pēc visiem pārējiem parametriem «tāda pati» (neievērojot tās iespējamo nelielo pavājināšanos u. tml.); *izņemot fāzi*. Kaimiņu sinusoīda būs nobīdīta fāzē attiecībā pret doto un turklāt jo vairāk, jo tālāk atrodas kaimiņpunkts no dotā punkta. Šī proporcionalitāte ir stingra, un tieši tā raksturo viļņa *izplatīšanos* ar noteiktu ātrumu, tā saukto *fāzes ātrumu*.

Ja lasītājs ir izsekojis šiem

pārspriedumiem, viņš var uzskatīt, ka par viļņiem zina jau krietni daudz.

Jā divas svārstības viena pret otru ir nobīdītas fāzē, tad katram no abiem viļņiem kore rodas citā laika momentā — un tāpat dažādos laika momentos vidējā un galējos stāvokļos atrodas divas šūpoles. Tādas pašas īpašības piemīt mainīstrāvām, kurām ir vairāki avoti ar vienu frekvenci, bet dažādu fāzi (t. i., viens pret otru nobīdīti fāzē) vai arī viens un tas pats avots, bet katrai strāvai sava ķēde, ko veido citādi elementi — rezistori, spoles, kondensatori — vai citādas to kombinācijas.



### 3.13.

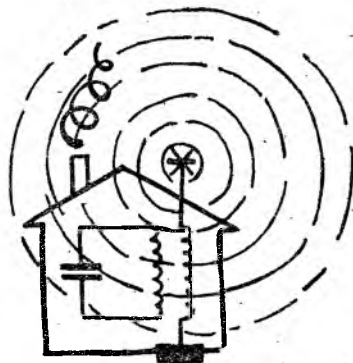
Ja antenu saistām ar kontūru, kurā noris elektriskās svārstības, elektronu kus-

tība antenā kļūst līdzīga jūras bangām: kontūra svārstību ritmā antenā «uz-

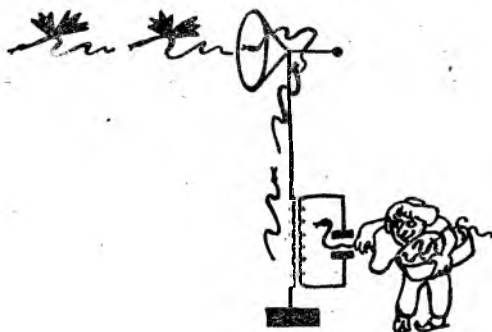
plūdi» mijas ar «atplūdiem».

«Uzplūdu» laikā elektromagnētiskā lauka intensitāte antenas apkaimē pieaug — veidojas viļņa kore.

Seit un dažviet arī turpmāk viļņa pozitīvo galotni vienkāršuma labad saucam par kori, negatīvo — par ieplaku. Protams, īsti korekti tas nav.



### 3.14.



Kad pagājis laiks, kas vienlīdzīgs vienam kontūrā norisošo svārstību periodam  $T$ , «uzplūdi» atkārtojas, un rodas nākamā kore. Bet iepriekšējā kore gaismas ātrumā  $c$  skrien prom no antenas un laikā  $T$  veic attā-

lumu  $cT$ . Tātad viena kore ir nupat kā radusies, bet iepriekšējā jau atrodas attālumā  $cT$ . Viļņa garums  $\lambda$  arī ir attālums starp divām viena otrai sekojošām korēm:  $\lambda = cT$ .

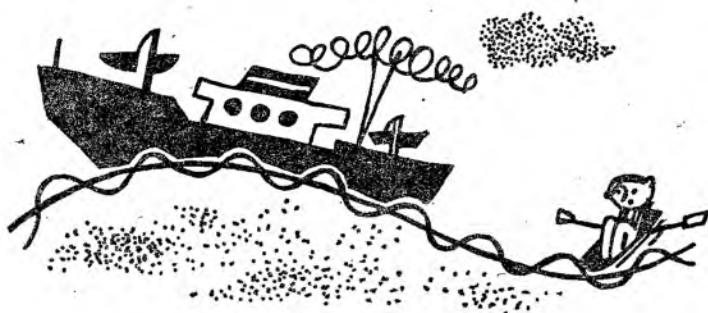
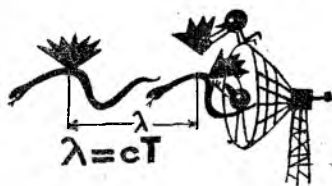
### 3.15.

Jo retāki ir «uzplūdi» antenā, jo vairāk pagūst attālināties viena kore, pirms

radusies otra. Citiem vārdiem sakot, jo zemāka ir kontūrā norisošo svārstību

frekvence, jo garāks vilnis izstarojas.

So sakarību mums nāksies pieminēt ļoti bieži. Lai to labāk apgūtu, izmantosim uzskatāmu piemēru: jo garāks ir okeāna vilnis, jo zemāka ir frekvence (pilno šūpojumu skaits laika vienībā), ar kādu šūpojas kuģis.



### 3.16.

Sakarību starp viļņa garumu  $\lambda$  un svārstību frekvenci  $f$  var ilustrēt arī ar skrējējiem.

Ja zināms, ka skrējēja soļu skaits sekundē ir  $n$ , bet katra soļa garums ir  $l$ , atrast skrējēja ātrumu  $v$  ir pavisam viegli: soļa garums jā sareizina ar soļu skaitu sekundē, t. i.,  $v = ln$ .

Elektromagnētisko viļņu «solis» ir to garums  $\lambda$ .

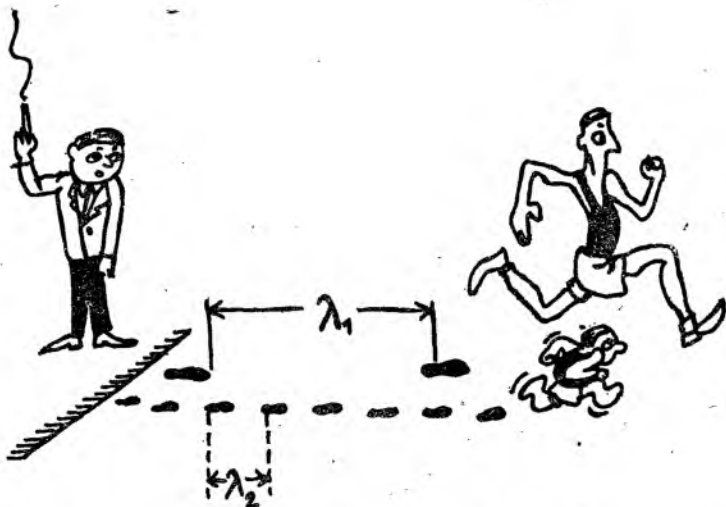
Soļu skaitam sekundē atbilst svārstību frekvence  $f$ .

Arī elektromagnētisko viļņu ātrums ir «soļa» garuma reizinājums ar «soļu» skaitu sekundē:

$$c = \lambda f.$$

Ja viļņa garums ir zināms, pēc šīs formulas var aprēķināt svārstību frekvenci:  $f = c/\lambda$ .

Lai šīs sakarības būtu labāk saprotamas, vēlreiz palūkosimies uz skrējējiem. Kaut gan mazajam skrējējam soļi ir krietni vien īsāki



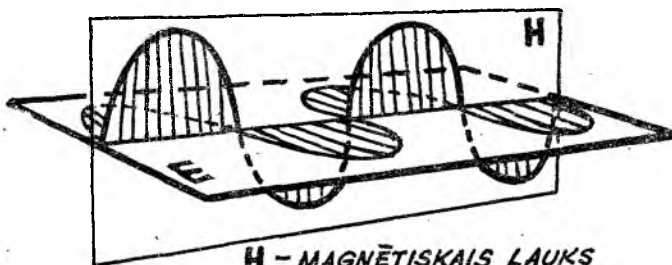
nekā lielajam, ātrums abiem ir vienāds: mazais sekundē spēj veikt vairāk soļu.

Ar viļņiem ir tāpat: jo tie ir īsāki, jo augstāka to frekvence («soļu» skaits sekundē). Bet viļņu ātrums tukšā telpā vienmēr ir viens un tas pats — 300 000 kilo-

metru sekundē neatkarīgi no viļņa garuma.

Gaismas ātrums ir jūtami atkarīgs no viļņa garuma, ja gaisma izplatās vielā. Varavīksne, piemēram, rodas tikai tāpēc, ka pastāv šāda atkarība. Viela, kas ir atbildīga par tās rašanos, ir parastais ūdens.

### 3.17.



**H** - MAGNĒTISKAIS LAUKS  
**E** - ELEKTRISKAIS LAUKS

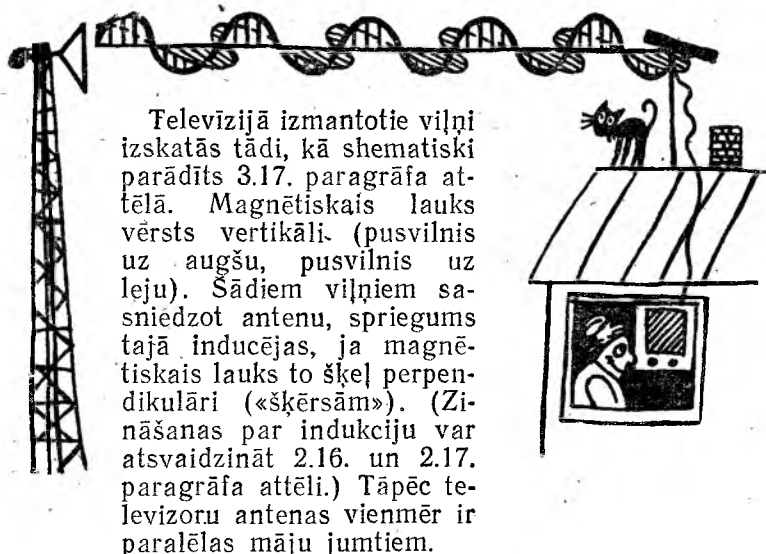
Lūk, kādus iedomājās elektromagnētiskos viļņus Džeimss Klārks Maksvels. Viņš bija pirmais, kas radīja šo priekšstatu, ko izmanto vēl šodien. Divas sinusoidas attēlo elektrisko un magnētisko lauku, kas abi svārstās, būdami neatdalāmi saistīti kā telpā, tā arī laikā.

Lauki ir viens otram per-

pendikulāri, tāpēc sinusoidas ir lezīmētas divās savstarpēji perpendikulārās plaknēs.

Izplatīdamies lielā ātrumā, vilnis kļūst aizvien vājāks. Tomēr neatkarīgi no tā, cik maz tajā būtu palicis enerģijas, šī enerģija vienmēr sadalās precīzi uz pusēm starp viļņa elektrisko un magnētisko komponenti.

### 3.18.



Televīzijā izmantotie viļņi izskatās tādi, kā shematiski parādīts 3.17. paragrāfa attēlā. Magnētiskais lauks vērstas vertikāli (pusvilnis uz augšu, pusvilnis uz leju). Šādiem viļņiem sasniedzot antenu, spriegums tajā inducējas, ja magnētiskais lauks to šķērš perpendikulāri («šķērsām»). (Zināšanas par indukciju var atsvaidzināt 2.16. un 2.17. paragrāfa attēli.) Tāpēc televizoru antenas vienmēr ir paralēlas māju jumtiem.

Radiofonijā izmantoto viļņu elektriskais un magnētiskais lauks ir it kā mainījušies vietām (speciālists teiks: viļņu polarizācijas plakne ir pagriezusies par  $90^\circ$ ). Tāpēc automobiļu antenas stāv vertikāli.

## MATEMĀTIKAI VISS VIENALGA

Matemātikim elektromagnētiskie viļņi nav nekas sevšķs. Viņam šī parādība ir tikai viļņu speciālgadījums, viens no svārstību veidiem, kādu dabā ir milzums. Viļņus viņš pēta, no to konkrētās dabas abstrahēdamies. Tos viņš pēta, izmantodams vienus vienādojumus un vienas liknes.

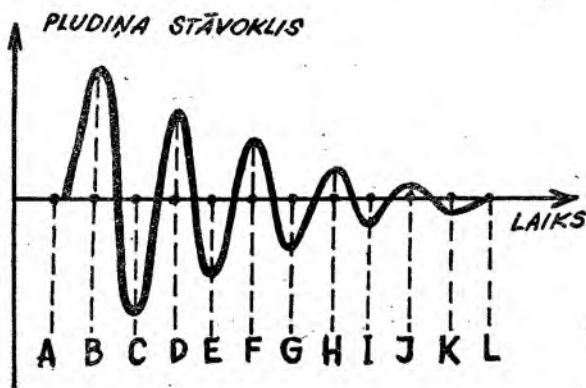
Arī mums nav vērts uzreiz sākt ar neredzamajiem radioviļņiem. Vispirms paanalizēsim mums labi pazīstamos ūdens virsas viļņus.

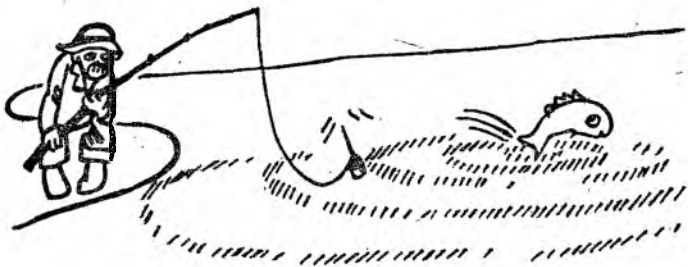
Iedomāsimies, ka Jūs ar makšķeri sēžat ezera krastā un vērojat pludiņu. Vēja nav, ūdens virsma ir pilnīgi gluda, pludiņš ir nekustīgs. Bet te pēkšņi, zviņām atmirzot saules staros, turpat blakus uz mirkli no ūdens izlec liela zivs. Tās izraisītie viļņu gredzeni skrien uz visām pusēm pa ezera virsmu un, sasnieguši pludiņu, to iešūpo.

Satraucošs brīdis. Šķiet, ka pludiņš tūlīt pat-paies zem ūdens — zivs būs piekodusies. Nē, viļņi pamazām norimst, un beidzot pludiņš atkal ir sastindzis uz spoguļgludas ezera virsmas. Bet Jūs esat apbēdināts: nekožas.

Gandrīz viss nupat stāstītais ir attēlots šeit redzamajā grafikā. Ir ievērots pludiņš, ievērota zivs. Arpus mūsu uzmanības loka ir palikuši tikai makšķernieka pārdzīvojumi.

Punktā *A* zivs pēc lēciena ienirst ūdenī. Pēc neilga laika sprīža — punktā *B* — pirmā viļņa kore sasniedz pludiņu. Kores un ieplakas seko cita citai, pludiņu «dancinādamas» (punkti *C*, *D*, *E*, *F* utt.). Bet pakāpeniski tās kļūst aizvien lēzenākas un seklākas, kamēr izbeidzas pavisam (punkts *L*).





Tāds ir rimstošu svārstību grafiks.

Ja ieskandināsim ģitāras stīgu, katrs tās punkts izturēsies tāpat kā pludiņš. Līkne, ko tikko aplūkojam, der arī šai gadījumā. Tiesa, līknes parametri būs citādi. Isumā aplūkosim arī tos.

Amplitūda, kā jau zinām, ir attiecīgā stīgas punkta, pludiņa utt. maksimālā novirze no vidējā stāvokļa (līdzsvara). Protams, stīgai svārstību amplitūda ir daudz mazāka nekā ezera līmenim (zivs, atcerieties, bija liela, un mazs nebija arī mūsu sarūgtinājums).

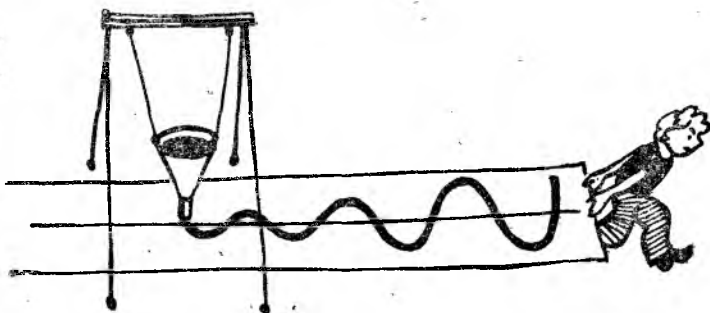
Toties stīgai ir simtiem reižu augstāka svārstību frekvence: ja stīgai tā būtu tik zema kā pludiņam, skaņa nemaz nebūtu dzirdama. Tātad, ja gribam grafiski attēlot stīgas svārstības, būtiski jāmaina arī horizontālās ass (laika ass) mērogs.

Bet visinteresantākais ir parametrs, kuru varētu nosaukt par svārstību rimšanas relatīvo ātrumu.

Vēlreiz aplūkosim 125. lpp. uzzīmēto līkni. Mēs redzam, ka ik divu ciklu laikā svārstību amplitūda samazinās aptuveni divas reizes. Pat nebūdami mūzikas speciālisti, intuitīvi mēs saprotam, ka stīgas svārstības rimst relatīvi daudz lēnāk. Kamēr to amplitūda samazinās divas reizes, stīga spēj veikt dažus tūkstošus vai vismaz dažus simtus svārstību. Tāpēc nepareizi būtu teikt, ka mūsu līkne der visām rimstošajām svārstībām, ja vien pienācīgi mainām vertikālās ass (amplitūdas ass) un horizontālās ass (laika, resp., frekvences ass) mērogu. Tā tas nav.

Tālāk. Intuitīvi mēs jūtam, ka stīga, kuras svārstību amplitūda divas reizes samazinās, teiksim, piecsimt šo svārstību laikā, ir «labāka» svārstību sistēma nekā pludiņš, ar kuru tas pats notiek triju periodu laikā. Tā tas tiešām ir; to apstiprina speciālistu veiktā analīze; pēdīnās ir liekas, sistēma ir labāka, un to, cik tā ir laba, raksturo īpašs koeficients, ko tā arī sauc, — *labums*. To var aprēķināt, nupat minētos skaitļus (500 un 3) sareizinot ar noteiktu koeficientu. Bet tās jau tiešām ir detaļas, kas var interesēt tikai speciālistus.

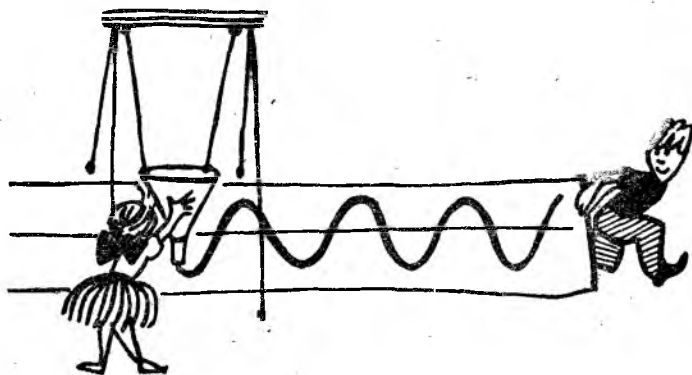
Vienas no relatīvi vislēnāk rimstošajām ir gaismas viļņu svārstības: tās var ilgt nevis 3 vai 500, bet vairākus simtus miljonu, pat miljardu šo svārstību periodu. Grafiskā attēlot tik lēnu rimšanu mērogā (tā, lai būtu redzama ik sinusoida) nav iespējams.



Atgriezīsimies pie svārstību kontūra, kurš tiek ierosināts ar impulsu (sk. 3.4. un 3.5.). Kontūrā notiek svārstības ar rīkstošu amplitūdu; to frekvence ir vienāda ar kontūra pašfrekvenci. Arī šo svārstību grafiks ir līdzīgs 125. lappusē redzamajai liknei (ar dabisko atrunu, ka sistēmas labums, resp., tas, cik ciklu laikā amplitūda samazinās, teiksim, divas reizes, var būt atšķirīgs).

Ja Jūs nedaudz papūlēsities, šādu likni Jums uzzīmēs arī šūpoles. Kad tās iešūpotas, svārstību amplitūda pamazām samazinās, tā ka grafiks ir līdzīgs kontūra un plūdiņa grafikam. Bet vai var panākt, ka šīs svārstības nerimst? Var. Jāliek lietā ārējs enerģijas avots, kas vienā ritmā ar svārstību sistēmas (šūpoļu utt.) pašfrekvenci šo sistēmu «piebarotu».

Attiecībā uz šūpolēm jautājumu var atrisināt pavisam vienkārši: darbojošos personu saraksts jāpapildina vēl ar vienu. Ja šī persona visu laiku ritmiski palīdzēs šūpolēm





ar vienu un to pašu spēku, precīzi kompensējama zudums, tad šūpoļu svārstību amplitūda nemainīsies un svārstību grafiks būs precīza sinusoīda ar konstantu amplitūdu.\*

Radiotehnikā papildu personas vietā darbojas triode. Arī ģenerators svārstības veido sinusoidālu procesu. Sūpoles svārstās te pa kreisi, te pa labi. Gluži tāpat ik periodu mainās strāvas virziens.

Tāpat procesus, kuru fizikālā daba ir dažāda, var attēlot ar vienām un tām pašām līknēm (ja svārstību sistēmu labums ir dažāds, tad, kā jau aizrādīts, viens no otra atšķirsies svārstību amplitūdu rīšanās relatīvais ātrums).

## PALĪGĀ KLUSAJAI BALSĪJ

Raidītāja antena, kas pieslēgta ģenerators kontūram, līdzinās zivij, kura pēc palēciena iekrīt atpakaļ ezerā; uz visām pusēm no tās izplatās neredzamo radioviļņu riņķi (sk. 3.13.).

Bet pludiņu, kurš sāks šūpoties viļņos, aizstāj uztvērēja antena: pienākošie radioviļņi saskaņā ar Faradeja indukcijas likumu šai otrā antenā inducē elektrisko spriegumu. Viļņi, kas no raidītāja antenas izplatās uz neskaitāmām uztvērēju antenām, sevī var nest mūzikas skaņas, runu, televīzijas kadrus, Morzes ābeceš punktus un svītras vai jebkuru citu impuls kodu. Tādējādi visus, kas šobrīd mīt uz mūsu māmuļas Zemes, radioviļņi ir saistījuši ar neredzamām, bet ciešām saitēm.

Kamēr radio nebija izgudrots, cilvēka balss bija vāja. Pat visskaļākais kļiedziens ir sadzirdams tikai kilometra attālumā — un arī vienīgi gadījumā, ja netraucē blakstrokšņi. Lidmašīnu motoru rūkoņa ar īpašiem skaņas uztvērējiem ir uztverama tikai apmēram desmit kilometru attālumā.

Toties «jāšus uz radioviļņa» pat čuksts var aplidot visu zemeslodi.

---

\* Sinusoīdai amplitūda var būt tikai konstanta. Termins «sinusoīda ar lēni (ātri, eksponenciāli utt.) dilstošu (augošu) amplitūdu» ir iekšēji pretrunīgs: šāda līkne vairs nav sinusoīda. (Sk. arī attēlu 125. lpp.) Lai teikto pierādītu, būtu jāiedziļinās spektrālanalīzes finansēs.

Kāpēc?

Viens no cēloņiem ir tas, ka radioviļņi, no raidītāja uz uztvērēju izplatīdamies, vājinās būtiski mazāk nekā, piemēram, skaņas vilnis.

103. lappusē jau pierīnējām, ka elektromagnētiskā viļņa elektriskās un magnētiskās komponentes intensitāte ir apgriezti proporcionāla attālumam pirmajā pakāpē, kamēr, piemēram, skaņas viļņa intensitāte krītas proporcionāli attālumam kvadrātā. Šī atšķirība ir būtiska.

Tālāk. Elektronika raidāmajiem viļņiem ļauj piešķirt lielu jaudu, bet vājos uztvertos viļņus — pastiprināt.

Skaņas viļņi ir elastiskas gaisa daļiņu svārstības: daļiņas svārstās turp un atpakaļ tai pašā virzienā, kādā izplatās vilnis, nevis šim virzienam «šķērsām», kā notiek elektromagnētiskajā vilnī (sk., piemēram, attēlu 3.17. un 3.18. paragrāfā). (Vēl svarīgāka atšķirība starp šiem viļņiem, protams, ir tā, ka, izplatoties elektromagnētiskajam vilnim, vispār nesvārstās nekādas daļiņas — lauki pastāv un izplatās tukšā telpā.)

Noteikta garuma stīga, kas turklāt nostiepta ar noteiktu spēku (precīzi «uzskaņota»), dod tīru noteikta augstuma toni. (Tā sauktos «virstoņus» šeit ignorējam.) Garām klausītājam, kas sēž koncertzālē, ar vienāda ilguma atstarpēm skrien sablīvēti gaisa slāņi — viļņa kores. (Šīs kores vienu no otras, protams, atdala izretināti slāņi — viļņa «ieplakas».) Ja gar klausītāja ausi sekundē paskrien 100 kores, tad akustisko svārstību frekvence ir 100 hercu (Hz).

Frekvences vienību — *hercu* jeb periodu sekundē — izmanto, raksturojot ne tikai elektromagnētiskos viļņus (tos, kā zināms, pirmais ieguva Herts), bet arī jebkuru citu periodisku procesu, svārstības un viļņus, to vidū skaņas viļņus.

Cilvēka auss uztver skaņas, kuru frekvence ir robežās no 16 līdz 16 000 herciem. Cilvēki, kuriem ir īpaši attīstīta dzirde, uztver augstu toņu skaņš ar frekvenci pat līdz 40 000 Hz.

Lai raksturotu cilvēka balss skaņas viļņa jaudu, izmantosim šādu ūzskatāmu piemēru: simttūkstoš cilvēku balss jauda (ja turklāt viņi visi runā reizē) nepārsniedz kabatas luktūrīša spuldzītes jaudu, bet visu zemeslodes iemītnieku vienlaicīga saruna tricīna atmosfēras gaisu ar jaudu, kas nav lielāka par moskviča motora jaudu.

Mazjaudīgas būdamas, balss un mūzikas instrumentu skaņas iestrēgst elastīgajā gaisā un ātri norimst pavisam.



Ar rezonatoriem, ruporiem u. tml. skaņu var pastiprināt tikai dažas reizes. Bet radiosignāli modernajos uztvērējos var tikt pastiprināti  $10^{14}$ — $10^{17}$  reižu.

Sakariem, kuros izmantotu skaņas viļņus, salīdzinājumā ar radiosakariem būtu vēl viens trūkums: Maskavā radusies skaņa Deli vai Ņujorku sasniegtu (ja tik tālu to pārraidīt būtu iespējams) tikai pēc vairākām stundām.

Lai garā ceļā ietaupītos laiks un spēki, cilvēks izmanto transportlīdzekļus.

Skaņas viļņiem tāds ērts transportlīdzeklis ir radioviļņi. Vismodernākie superekspreši salīdzinājumā ar tiem velkas kā gliemeži: vienā sekundē radiovilnis gandrīz astoņas reizes apskrien apkārt zemeslodei pa ekvatoru.

## ELEKTRONI UN SKAŅA

Lai skaņu varētu pārraidīt pa radio, skaņas viļņi vispirms jāpārvērš («jāpārtulko») maiņstrāvā. Šo uzdevumu izpilda mikrofoni.

Mikrofons nav sarežģīta ierīce; tomēr, ja kādreiz tiks atvērta elektronikas muzejs, mikrofons ar pilnām tiesībām tanī ieņems vismaz vienu lielu zāli.

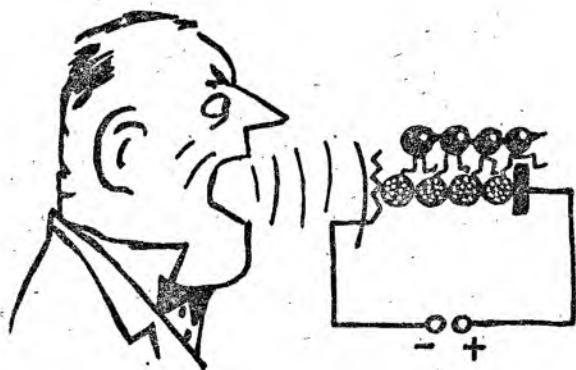
Dažādi tā varianti ilustrēs tēzi, ka vienai un tai pašai praktiskajai vajadzībai var izmantot pavisam atšķirīgas fizikālās parādības, kas izpētītas dažādās zemēs un dažādos laikos.

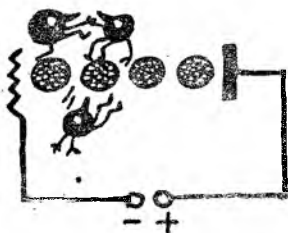
Lūk, mikrofons, kurā izmantots Oma atklātais un viņa vārdā nosauktais likums.



Tam ir membrāna, kas skaņas viļņu iedarbībā vibrē. Brīdī, kad skaņas spiediens pieaug, — tas notiek tad, kad mikrofons uztver skaņas viļņa kori, — membrāna saspiež ciešāk ogļu graudiņu slāni, kas tai atrodas līdzās. Graudiņi piekļaujas viens otram tuvāk un līdz ar to labāk vada elektrisko strāvu. Tātad šai momentā strāva pāstiprinās. Cik reižu sekundē membrāna uztvers kores un ieplakas, tik reižu pieaugs un samazināsies strāva mikroфона ķēdē. Ja toņa augstums ir nemainīgs, strāva ir sinusoidāla un tās frekvence ir vienāda ar mikroфона «sadzirdētā» toņa frekvenci.

Lūk, cits mikroфона tips; tajā tiek izmantots Faradeja atklātais indukcijas likums. Membrāna iesvārsta spoli. Spole atrodas magnētiskajā laukā. Kad spoles tinums šķēļ magnētiskās spēka līnijas, tinumā inducējas spriegums un



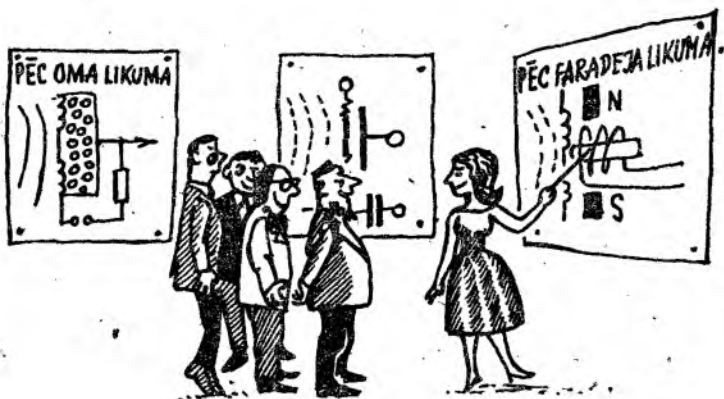


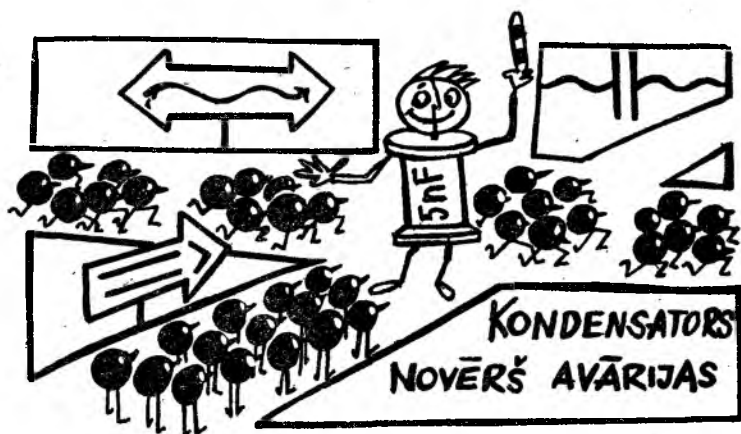
plūst strāva. Frekvence tai ir tāda pati kā membrānas svārstībām, bet amplitūda ir jo lielāka, jo intensīvāk membrānu šūpo skaņas viļnis.

Ir arī tādi mikrofonu, kuros skaņas viļņa iedarbībā mainās kapacitāte. Un reizē ar kapacitāti mainās arī strāva.

Kā redzat, paņēmienu ir daudz, bet rezultāts viens: skaņas viļņi izraisa tādas pašas frekvences strāvu.

Protams, mikrofonu raksturlielumi — jutība, tās atkarība no skaņas viļņa virziena, frekvenčatkarība utt. — mēdz būt visai dažādi. Praksē tas viss ir svarīgi.



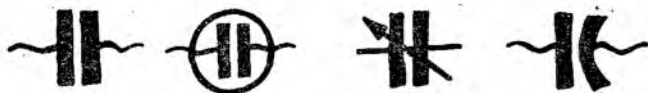


PAMATS IR ŠĀDS

### 3.19.

Kas notiks pilsētas ielās, ja novāksim visas satiksmes regulēšanas zīmes? Uz šo jautājumu nav grūti atbildēt: katrā krustojumā cita pēc citas sāksies avārijas. Izrādās, ka bīstami krus-

tojumi ir arī jebkurā elektroniskajā shēmā. Ceļa zīmju vietā šādos krustojumos tiek izvietoti kondensatori. Tie regulē elektronu kustību un novērš avārijas.

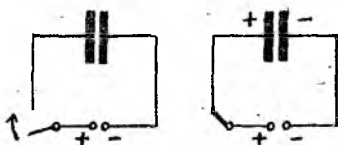
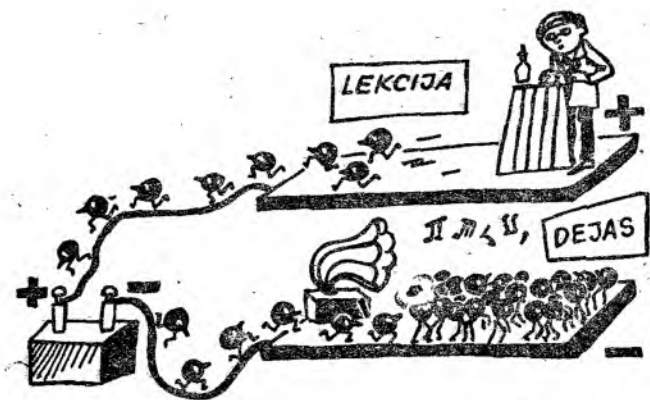


### 3.20.

Kondensators ir vienkārša ierīce. Tas sastāv no divām paralēlām platēm (jeb klājumiem), ko vienu no otras atdala gaisa starpslānis. Gaisa vietā var būt arī kāds

cits nevadītājs, piemēram, papīrs, stikls (Leīdenes traukā), keramika vai vizla.

Ir vispārzināms, ka uz auksta stikla virsmas kondensējas gaisa mitrums: uz



tās sakrājas siki ūdens pilieniņi. Analogija, protams, nav pilnīga, toties tā ir uzskatāma: līdzīgā veidā arī kondensators, kas pieslēgts sprieguma avotam, uz saviem klājumiem kondensē lādiņu. Tāpēc elektronu kūļa stūrēšanas shēmā to arī izmanto par «rezervuāru».

Ja kondensatoru pievienojam līdzsprieguma avotam, tad uz klājuma, kurš pieslēgts tā negatīvajai spaiļei («polam»), sakrājas elektroni un rodas negatīvs

potenciāls. Bet no otra klājuma elektroni pa vadu dodas prom. Šī klājuma potenciāls kļūst pozitīvs.

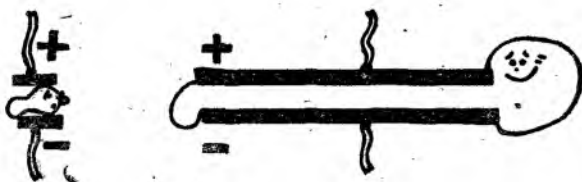
Kondensators būs pilnīgi uzlādēts, ja klājumu potenciālu starpība kļūs vienāda ar barotājbaterijas spaiļu spriegumu (vai ĒDS).

Parasti kondensators uzlādējas ļoti ātri. Uzlādes laiks aptuveni ir vienāds ar uzlādes ķēdes pretestības un kondensatora kapacitātes reizinājumu. Ja ķēdes pretestību nosaka tikai savienošo vadu pretestība, kondensators var uzlādēties dažās mikrosekundes tūkstošdaļās jeb nanosekundēs — ns;  $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ .

### 3.21.

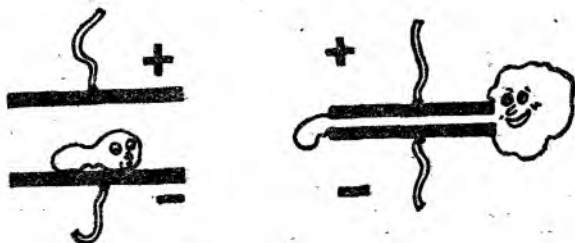
Kondensatora lādiņš ir vienāds ar sprieguma un kapacitātes reizinājumu. Ja

spriegums ir dots, lādiņš ir tieši proporcionāls kapacitātei. Tā savukārt ir jo lie-



lāka, jo lielāks ir klājumu laukums. Kapacitāte pieaug arī tad, ja klājumus vienu otram tuvinām. Tomēr šai gadījumā pastāv caursītes

briesmas: ja spriegums kļūst nepieļaujami augsts, starp klājumiem var lēkt dzirkstele.



### 3.22.

Kondensatora kapacitāti var palielināt, arī nemainot tā konstruktīvos izmērus. Proti, kapacitāte pieaug, ja gaisa vietā par starpklā-

jumu izolatoru izmantojam kādu speciālu materiālu: vizlu, keramiku, polistirolu.

Šādu elektrības nevadītāju parasti sauc par *dielektriķi*.





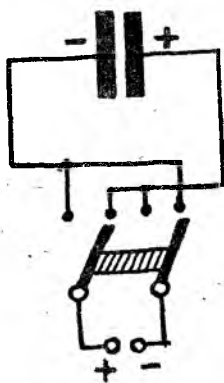
### 3.23.



Ķēdē, ko veido kondensators un līdzsprieguma avots, strāva plūst tikai uzlādes procesa laikā. Parasti šis laiks, kā jau aizrādīts, ir ļoti īss. Kad kondensatora spriegums kļūst vienāds ar avota spriegumu, strāva izbeidzas.

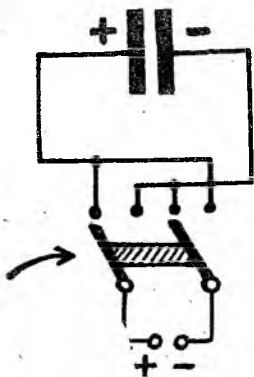


### 3.24.



Ja tajā pašā ķēdē samainām vietām sprieguma avota spaiļes, t. i., vadu, kurš bija pievienots «plūsam», pārslēdzam pie «mīnusa» un otrādi, kondensators pārlādējas. Strāva plū-

dīs pretējā virzienā, kamēr kondensatora spriegums atkal kļūs vienāds ar avota spriegumu (EDS); turklāt tagad kondensatora klājumu lādiņiem būs pretēja zīme nekā iepriekš.



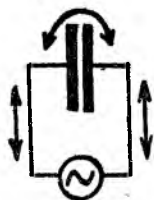
### 3.25.

Ja kondensatoru pieslēdzam maiņsprieguma avotam, piemēram, tādām, kura spriegums (EDS) sekundē mainās 1000 reižu, tad 1000 reižu sekundē mainās arī klājumu lādiņu zīme un ārējās ķēdes strāvas virziens. Tā kā šī strāva, kas kondensatoru periodiski pārlādē, plūst visu laiku, tad mēdz sacīt, ka kondensators «laiž cauri» maiņstrāvu, lai gan spraugai starp kondensatora klājumiem netiek cauri neviens elektrons. Elektronu šaudās turp un atpakaļ tikai pa ārējo ķēdi.

Ja avota spriegums mainās sinusoidāli, tāpat, tikai «nobīdīta fāzē», mainās arī strāva, kas «plūst caur kondensatoru» (sk., piemēram, 3.12. paragrāfa attēlu; pirmā, agrākā sinusoīda atbilst strāvai, otrā, vēlākā — spriegumam).

Vēlreiz pārlasīsim paragrāfu «Divvienīgie viļņi» (sk. 94.—96. lpp.). Tajā pieminējam Maksvela ģeniālo teorētisko intuīciju, kas viņam ļāva formulēt nobīdes strāvas jēdzienu. Un nu esam nokļuvuši līdz piemēram, kas arī mums (jādomā, visvienkāršākajā veidā, kāds vien iespējams) ļauj tuvuoties šim svarīgajam jēdzienam, iegūt uzskatāmu priekšstatu par nobīdes strāvu.

Proti, ja pa vadiem, kas kondensatoru savieno ar maiņsprieguma avotu, plūst vadītspējas strāva, tad telpā starp konden-



satora klājumiem plūst *nobīdes strāva* (telpa turklāt jāiedomājas «pilnīgi tukša», dielektriķis — ja tāds ir — jāignorē, jāatstāj speciālistiem).

Summārā nobīdes strāva ir *precīzi tikpat stipra*, cik vadītspējas strāva vados. Bet kondensatora klājumu laukums parasti ir būtiski (simt, tūkstoš un vairāk reižu) lielāks nekā vada šķēsgriezuma laukums. Nobīdes strāvas *blīvums* ir tikpat daudz reižu mazāks. Bet tā jau ir tīri tehniska «detāļa».

Nobīdes strāva rada *magnē-*

*tisko lauku tāpat kā jebkura «cita» strāva.*

Elektromagnētiskajā vilnī nobīdes strāva plūst «bez kondensatora» un, kā jau aizrādīts, vispār bez vadiem. Bet tai ir precīzi tāda pati «daba» kā strāvai mūsu kondensatorā, «caur» kuru plūst maiņstrāva. Mēs redzam, ka pēdiņas ir liekas: kondensators maiņstrāvu patiešām laiž cauri, tikai tai no vadītspējas strāvas ir jāklūst par nobīdes strāvu. Tā to dara gluži labprāt — vienmēr, kad vajadzīgs. Ja ievērojam arī nobīdes strāvu, varam formulēt gluži vispārīgu likumu: *strāvas ķēde vienmēr ir noslēgta* ( kaut arī tajā, piemēram, var būt posmi un ne viens vien, kuriem elektroni «netiek cauri»).

Atgriezīsimies pie mūsu kondensatora. Līdzsprieguma gadījumā aina ir pavisam citāda: kondensators, kā redzējām, vienu reizi uzlādējas, un pēc tam strāva vairs neplūst, jo neviena elektrons nevar tikt cauri «tukšajai telpai» starp kondensatora klājumiem. Pa ķēdi, kurā ieslēgts kondensators, līdzstrāva neplūst.

Arī šis fakts pilnīgi saskan ar nobīdes strāvas jēdzienu: šīs strāvas būtība, kā jau teikts, ir elektriskā lauka *maiņa*. Ja kondensators ir pieslēgts līdzsprieguma avotam, tad elektriskais lauks starp tā klājumiem ir konstants, t. i., *nemainās*; tāpēc nobīdes strāva ir vienāda ar nulli.

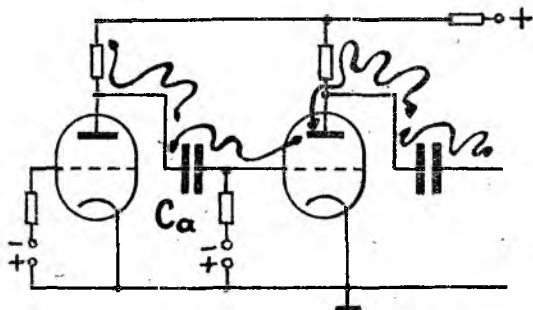
### 3.26.

Šo kondensatora īpatnību — «laist cauri» maiņstrāvu un «nelaist cauri»

līdzstrāvu — elektronika izmanto ik uz soļa. Starp vienas lampas anodu un otras

tīkliņu, līdzstrāvas un maiņstrāvas ceļu «krustojumā», ieslēdz kondensatoru  $C_a$ , ko sauc par *atsaistišanas* kondensatoru. Tas vienu no otras atdalā, «atsaista» līdzstrāvu un maiņstrāvu.

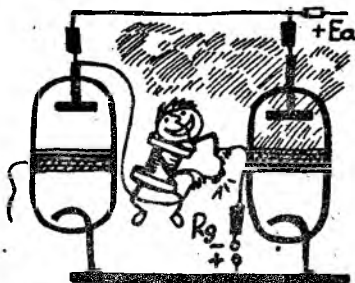
Maiņstrāvai tiek dots brīvs ceļš no anoda uz nākamās lampas tīkliņu; līdzstrāvai (līdzspriegumam) šis ceļš ir slēgts.



### 3.27.

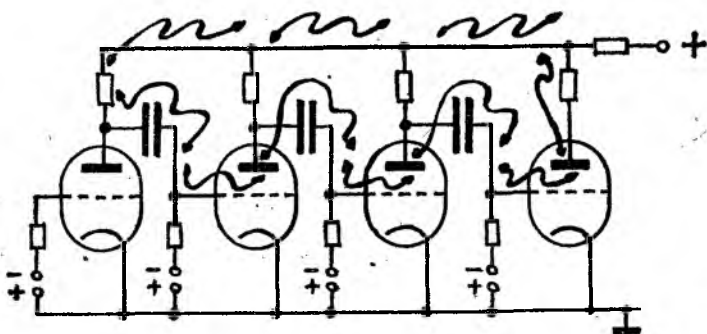
Tīklīdz šī kondensatora klājumi saslēdzas īsi (piemēram, caursišanas gadījumā), notiek avārija: augstais anoda potenciāls tīkliņa rezistorā  $R_g$  izraisa stipru strāvu. Tīkliņa potenciāls kļūst vienāds ar anoda potenciālu, un tīkliņš sadeg.

Caur normāli funkcionējošu kondensatoru, kas laiž cauri tikai maiņstrāvu, tīkliņam pievada pastiprināmo signālu, bet līdzspriegums



paliek tikai uz anoda: uz tīkliņa tas nenokļūst.

## 3.28.

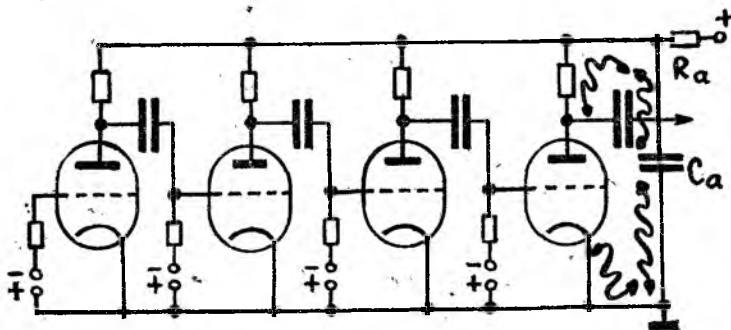


Citāda avārija var atgadīties, ja pastiprinātā maiņstrāva brīvi nokļūst anodu barošanas ķēdē. Pēc vairākkārtējas pastiprināšanas, t. i., pastiprinātāja pēdējā (izejas) pakāpē, signāla amplitūda ir vislielākā. Ja šis signāls pa barošanas avota ķēdi var atgriezties pastiprinātāja ieejas pakāpēs, var iestāties parazītiska atgriezeniskā saite. Tāds pastiprinātājs pievadīto signālu nevar pastiprināt tā, kā būtu vajadzīgs pēc konstruktora ieceres,

bet tā vietā sāk ģenerēt kādu parazītisku signālu, kura frekvenci nosaka pats.

No šādas avārijas izvairīties atkal palīdz kondensators  $C_a$ .

Tā pretestība maiņstrāvai ir maza. Tāpēc, ja lampas anodķēdi caur šo kondensatoru savienojam ar zemi, anodstrāvas maiņkomponente caur  $C_a$  plūdis uz zemi, nevis pa atsaistīšanas pretestību  $R_a$  nokļūs kopīgajā anodbarošanas avotā.



## PĀRĀK GARI VIĻŅI

Kā darbojas radiostacija? Liekas, nu mums viss ir kļuvis skaidrs un uz šo jautājumu mēs atbildēsim viegli. Bet...

Mikrofons skaņu pārvērš («pārtulko») maiņstrāvā. Maiņstrāvu pievadām raidanteni, un tā izstaro atbilstošus radioviļņus. Nokļuvuši uztvērēja antenā, tie tur ar elektronu lampām šo vājo strāvu var pastiprināt. Pastiprinātā strāva liks vibrēt skaļruņa ruporam. Kas gan vēl būtu vajadzīgs?

Vēl vajadzīgs ir pats galvenais. Trūkst vissvarīgākā ķēdes locekļa — tā, bez kā pārējie locekļi ķēdi vispār neveido.

«... Runā Maskava. Klausieties vijoļkoncertu...»

Tiklīdz diktors pieteicis raidījumu (viņa balss satur komponentes, kuru frekvence ir 80 līdz 5000 Hz), atskan vijoles smeldzīgās skaņas, kuru virsotņiem frekvence var būt pat 16 000 Hz, t. i., 16 kHz.

Piebildīsim, ka 1000 hercu ir viens kilohercs (kHz), bet 1000 kilohercu — viens megahercs (MHz).

Bet mūsu uztvērējs visu laiku ir noskaņots uz vienu frekvenci. Uz kādu? Divsimt, četri tūkstoši vai desmit tūkstoši hercu? Kāpēc, mainoties skaņas augstumam, uztvērējs nav jāpārskano?

Nupat mēs runājām, ka mikrofons akustiskās svārstības, nepārveidodams to frekvenci, pārvērš elektriskās strāvas svārstībās. Vai tad šī strāva nav tā pati, kas, pa antenu plūzdama, izstaro viļņus? Vai tad nevis šiem viļņiem, bet kādiem citiem jātiek uztvertiem un uztvērējā atkal jāpārvēršas skaņā?

Ja viļņus, kuriem ir tāda pati frekvence kā skaņai, būtu iespējams izstarot, varbūt tā arī tiktu darīts. Tad mikrofonu strāvu vajadzētu tikai pastiprināt un pievadīt antenai, lai tā izstaro atbilstošus radioviļņus.

Bet, kā jau teikts, antena var izstarot tikai tādus elektromagnētiskos viļņus, kas pēc garuma ar to ir samērojami (t. i., nevis simtiem un tūkstošiem reižu garāki, bet apmēram tādi paši; vilnis parasti ir dažas reizes garāks par antenu).

Pieņemsim, ka akustiskās svārstības ir pārvērstas strāvas svārstībās, strāva pastiprināta un pievadīta antenai, bet tā savukārt izstaro vilni. Zinot, kādā ātrumā izplatās

elektromagnētiskie viļņi un kāda ir antenas strāvas frekvence, viegli varam aprēķināt izstarotā viļņa garumu (sk. 3.16.).

Akustiskajām svārstībām atbilst mainstrāva, kuras frekvence ir no 16 Hz līdz 16 kHz. Augstākajai no šīm frekvencēm — 16 kHz — atbilst apmēram 19 km garš elektromagnētiskais vilnis. Tātad raidantenei jābūt vairākus kilometrus garai.

Bet viszemākajām skaņas frekvencēm taču atbilst desmitiem tūkstošu kilometru garī radioviļņi!

Ja pat tiktu uzbūvētas šādas fantastiski garas antenas, reāla pārraide tik un tā nevarētu notikt. Iedomājieties, ka visas radiostacijas vienlaikus izstaro elektromagnētiskos viļņus, kuriem ir tieši tāda pati frekvence kā raidāmajai skaņai, t. i., 16 Hz līdz 16 kHz. Arī Jūsu uztvērējs ir noskaņots uz šīm frekvencēm. Jūs dzirdēsiet nevis savu izraudzīto raidījumu, bet gan visas melodijas un visas balsis reizē!

Par laimi, radiosakari notiek citādi. Savu uztvērēju Jūs varat noskaņot uz vienu no daudzajām raidstacijām; ne raidītāju, ne uztvērēju antenām nav jābūt neiespējami lielām.

Pārraidei izmanto *nesējvilni*.

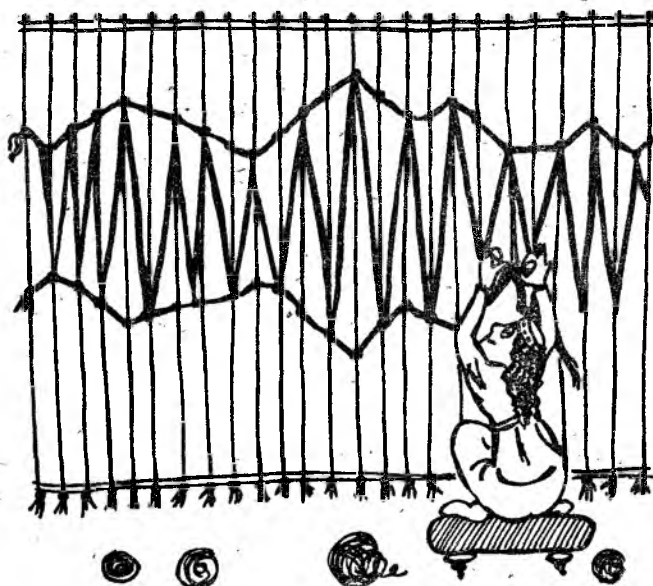
## **NEREDZAMĀIS EKSPRESIS**

Lai radīfonijas stacijas varētu pārraidīt skaņu, elektronika ģenerē īpašus viļņus, kuru garums ir apmēram no 15 līdz 2000 metriem; tiem atbilstošās frekvences ietilpst diapazonā no 20 MHz līdz 150 kHz.

Salīdzinājumā ar optiskajām frekvencēm, kuras mērī simtos miljonu megahercu, šīs frekvences, protams, ir ļoti zemas. Taču salīdzinājumā ar skaņas frekvencēm tās ir ļoti augstas: ja šādu frekvenču mainstrāvu pārvērstu skaņas viļņos, mēs šo skaņu nedzirdētu. (Tā būtu tā sauktā ultraskaņa.)

Toties tieši šie neredzamie un nedzirdamie viļņi ir lielisks «ekspresis», kas mūziku un runu aizgādā visur, kur vien vajadzīgs.

Raidītājā akustiskās svārstības, kā jau vairākkārt aizrādīts, vispirms ar mikroфона palīdzību tiek pārvērstas strāvas svārstībās. Bet pēc tam notiek vissvarīgākais. Skaņas frekvencei atbilstošā strāva pati ceļā nedodas; saglabādama visas savas īpatnības (savu komponentu frekven-



ces, amplitūdas utt., t. i., savu informativitāti), tā «tikai» iesēžas nupat minētā augstfrekvences signāla «seglos» un ceļo «ar to». Šo signālu sauc par nesējsignālu, bet tā frekvenci — par nesējfrekvenci. Tam ir zināms pamats: šis signāls skaņas atveidu («saturu») vispirms aiznes līdz antenai, bet pēc tam, elektromagnētiskā viļņa veidā izstarots, aiznes pa telpu un piegādā visiem uztvērējiem; uztver šo viļņi gan tikai tie uztvērēji, kas uz to ir noskaņoti.

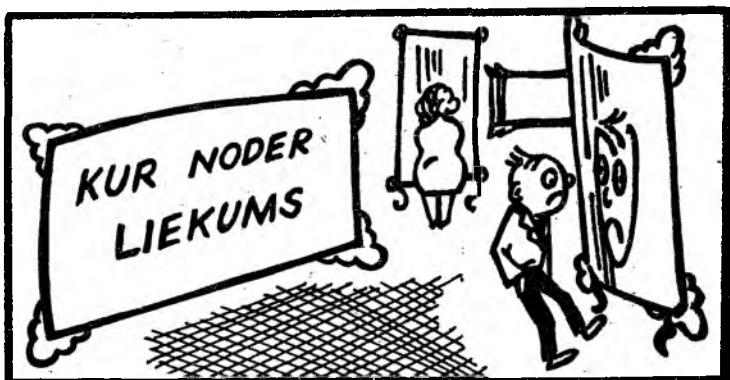
Stingra analīze liecina, ka skaņas atveids ceļo «pa galiniem» — uz nesējviļņa korēm. Tomēr šis kores cita citai seko tik ātri, ka intervālus starp tām nepamana pat elektrisks mēraparāts, kas jūt ļoti īsus laika sprīžus. Pilnīgi tāpat Jūs nemanīsīt, ka no atsevišķiem elementiem sastāv acij tikams paklāja raksts.

Bet tālab nepieciešams pietiekami smalks pamataudums. Un gluži tāpat ir nepieciešams, lai nesējfrekvence būtu daudz reižu augstāka par visaugstāko no raidāmajām skaņas frekvencēm.

Bet kā var savienot dažādus signālus — skaņas frekvences signālu uzsēdināt «jāšus» uz nesējsignāla?

Atkal talkā nāk triode.





PAMATS IR ŠĀDS

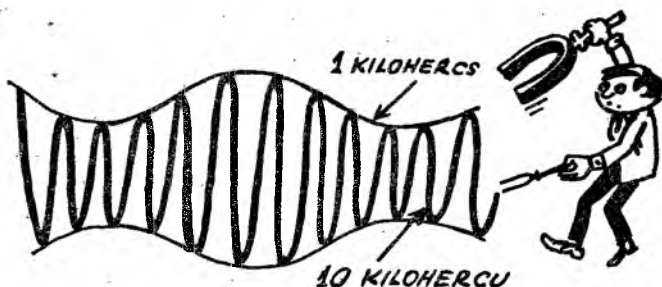
### 3.29.

Rimstošo svārstību amplitūda pakāpeniski samazinās (sk. 3.5.). Nerimstošo svārstību amplitūda ir nemainīga.

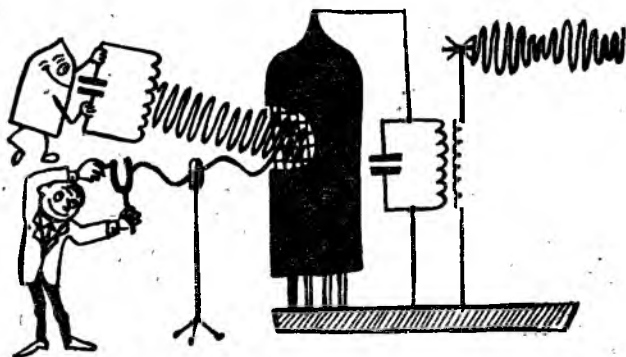
Bet var radīt arī tādas elektriskās svārstības, kuru amplitūda sinusoidāli mainās ap kādu vidēju vērtību. Piemēram, ja svārstību frekvence ir 10 kHz, bet to amplitūda mainās ar vienu kilohercu lielu frekvenci,

var teikt, ka nesējsignāls, kura frekvence ir 10 kHz, ir pēc amplitūdas modulēts (AM) ar modulējošo signālu, kura frekvence ir 1 kHz.

Piebildīsim, ka attēls ir shematisks: «ārējā» sinusoida («1 kilohercs») reāli nepastāv un tālād, piemēram, uz oscilogrāfa ekrāna nav novērojama (lai gan var likties, ka šāda apliecēja reāli eksistē).

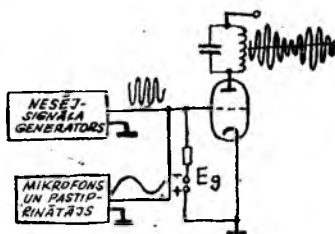


### 3.30.



Skaņas frekvences signāls, kas iegūts mikroфона izejā, ar modulāciju ir «uzsēdināms jāšus» uz nesējsignāla, ko ģenerējis īpašs ģenerators. Nesējsignālu un modulējošo signālu abus kopā pievada triodes tīkliņam.

Triode šādā gadījumā darbojas par *modulatoru*.



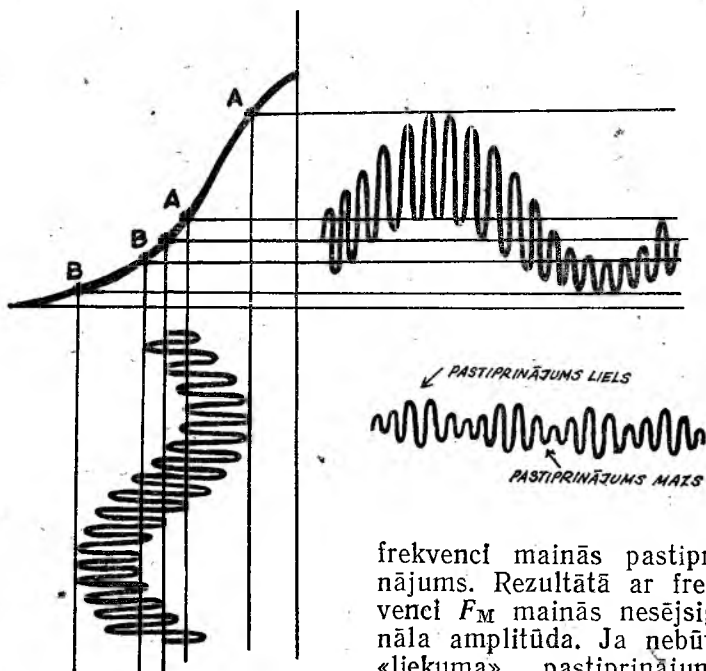
### 3.31.

Lai būtu saprotams, kā notiek modulācija, jāatceras, kādas ir triodes raksturlieknes (sk. 1.31.—1.34.).

Un tātad triodes tīkliņam pievadām divus sinusoidālus signālus; nesējsignālu, kura frekvenci apzīmēsim ar  $f_0$ , un modulējošo signālu, kura frekvence  $F_M$  ir stipri zemāka par  $f_0$ . Noteiktā laika intervālā («pozitīvajā modulācijas pusperiodā»)

visi trīs tīkliņam pievadītie spriegumi (līdzspriegums  $E_g$ , kura avots ir tīkliņbaterija, un divi maiņspriegumi, kuru frekvence ir  $f_0$  un  $F_M$ ) dod tādu summu, ka «darbojas» raksturlieknes posms *AA*.

Citā laika intervālā («negatīvajā modulācijas pusperiodā») spriegumu summa ir tāda, ka «darbojas» posms *BB*. Šeit nesējsvār-



stības tiek pastiprinātas samērā maz, jo lampa raksturlikne šai posmā ir «liekta» jeb, precīzāk sakot, iet visai lēzeni (vidēji pa nesējsignāla periodu).

Modulējošais signāls visu triju signālu summai liek «slīdēt» pa raksturlikni ar frekvenci  $F_M$ . Tātad ar šādu

frekvenci mainās pastiprinājums. Rezultātā ar frekvenci  $F_M$  mainās nesējsignāla amplitūda. Ja nebūtu «liekuma», pastiprinājums visu laiku būtu viens un tas pats un pēc amplitūdas modulētu signālu nebūtu iespējams iegūt.

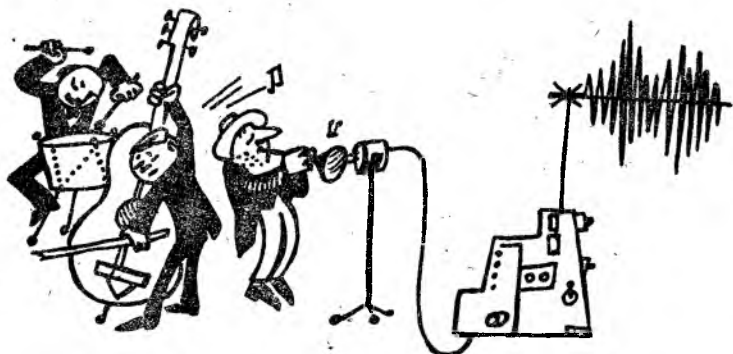
Tikliņam pievadītais līdzspriegums («priekšspriegums»)  $E_g$  tiek izraudzīts tā, lai modulators darbotos raksturliknes posmā, kuram piemīt liekums, t. i., raksturliknes nelineārajā posmā.



### 3.32.

Aplūkojām gadījumu, kur modulējošais signāls ir tīri sinusoidāls («tīrs tonis»). Ja tiek raidīta mūzika vai runa, mikroфона izejas signāls ir sarežģītāks, jo satur daudz frekvenčkomponentu, kuru frekvence, ilgums, intensitāte, kā arī virstoņu saturs nepārtraukti un neregulāri mainās. Informativitātes būtība ir tieši šī ne-

regularitāte, kurā vienmēr ir kāds negaidītības moments. Tomēr modulācijas procesa būtība paliek iepriekšējā: «liekuma» dēļ mainās pastiprinājums, un uz nesējsignāla «pamatauduma» «uzklājas» «raksts» («izšuvums»). «Raksts» satur diktora balsi, dziesmu, operas āriju, klavieretīdi un tā tālāk.



### 3.33.

Uztvertais pēc amplitūdas modulētais (AM) signāls atkal tiek pārveidots. Ar to veic operāciju, kas ir pretēja modulācijai: «rakstu» atdala no «pamatauduma». Ja to nedarītu, tad elektriskās svārstības akustiskajās pārvērst nevarētu: jebkura skaļruņa rupors ir pārāk smagnējs un inerts, lai rea-

gētu uz svārstībām, kuru frekvence ir  $f_0$ . (Bet, ja tas tāds arī nebūtu, skaņu ar frekvenci  $f_0$  — ultra-skaņu mēs tik un tā nesaudzirdētu.)

Skaļrunis darbināms, tam pievadot tīru «rakstu».

«Rakstu» no «pamatauduma» nogriež ar īpašām šķērēm, ko sauc par *detek-*

toru. Detektoru galvenā sastāvdaļa ir diode. Diode ar šo uzdevumu tiek galā tikai tāpēc, ka arī tās raksturliknē ir posms, kuram piemīt «liekums». Šis posms

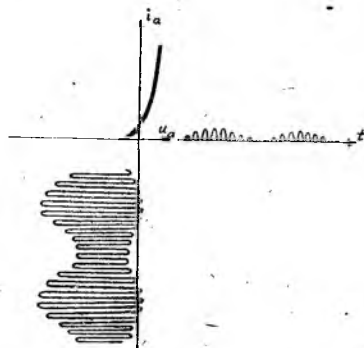
daļu no signāla «nogriež»; atlikušo signāla daļu pievada  $RC$  ķēdei, t. i., ķēdei, kas satur rezistoru  $R$  un kondensatoru  $C$ .

### 3.34.

Diode «nogriež» negatīvos pusperiodus. Turpretī pozitīvo pusperiodu laikā\* caur to plūst strāva. Tā sastāv no atsevišķiem impulsiem, kas it kā veido «mie-tiņu žogu». Pirmais «mie-tiņš» (impulss) uzlādē kondensatoru. Seko pauze, kamēr sākas nākamais impulss, utt. Pauzes laikā kondensators paspēj izlādēties tikai nedaudz: pa labi no tā ir liela pretestība, pa kreisi — aizvērta diode. Tāpēc kondensatora spriegums līdz pat nākamā impulsa sākumam saglabājas gandrīz nemainīgs.

Ja impulsu amplitūda ir dažāda (kā AM signāla gadījumā), katrs impulss kondensatoru uzlādē līdz citādam spriegumam. Rezultātā no kondensatora var «ņemt» tīru «rakstu».

Mēs jau pieminējām (sk. 3.20.), ka uzlādes laiks  $T$  ir vie-



nāds ar rezistora pretestības  $R$  un kondensatora kapacitātes  $C$  reizinājumu; ja  $R$  izsakām omos, bet  $C$  — farados, tad  $T$  dabūjam sekundēs. Izlādes laiks, protams, ir tāds pats. Analīze rāda, ka diodes detektors (sk. attēlu) normāli darbojas tikai tad, ja reizinājums  $T=RC$ , tā sauktā *laika konstante*, salīdzinājumā ar nesējsignāla periodu  $1/f_0$  ir liels, turpretī salīdzinājumā ar modulējošā signāla periodu jeb modulācijas periodu  $1/F_M$  — mazs.

\* Patiesībā (tad, kad process ir nostabilizējies) strāva plūst pašam īsu laiku signāla «pozitīvās galotnes» rajonā; sk. arī turpmāk.

(Analīze liecina, ka patiesībā šie laiki ir  $1/(2\pi f_0)$  un  $1/(2\pi F_M)$ ; tomēr tās jau ir detaļas, tāpat kā tas, ka laikā  $T=RC$  kondensators patiesībā uzlādējas tikai līdz spriegumam  $U(1 - 1/e)$  un izlādējas — līdz spriegumam  $U/e$ , kur  $e = 2,71828\dots$  ir naturālo logaritmu bāze.)

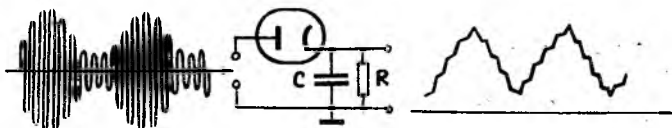
Ja lasītājs var patstāvīgi secināt, kādas būs šīs prasības neizpildes sekas, viņš sevi var apsveikt: tik dziļi izklāstīt elektronikas procesus nav bijis autora galvenais nolūks. Nedaudzie peitiestarpinājumi, to vidū arī šis, ir domāti lasītājam, kurš ar laiku grib kļūt par elektronikas speciālistu.

### 3.35.

No visa teiktā izriet, ka spriegumam uz  $RC$  paralēlslēguma ir maiņsprieguma dubultamplitūdai (tā sauktajam vēzienam) tuva vērtība; šis spriegums mainās vienā ritmā ar modulējošo svārstību (runu, mūziku utt.); bet tikpat kā nesatur augstfrekvences komponentes. Nosacīti tas viss attēlots zīmējumā; detektētais spriegums no maiņsprieguma vēziena atšķiras ma-

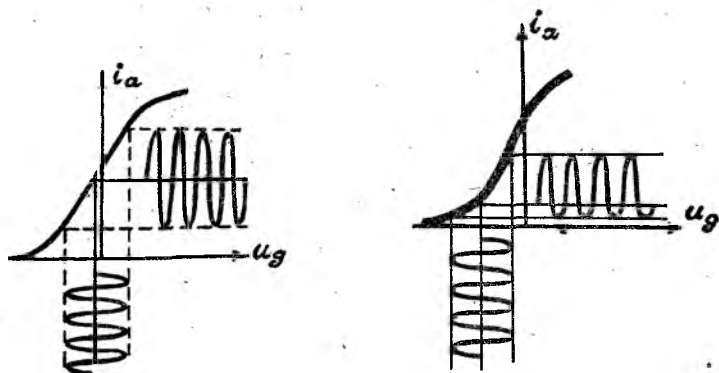
zāk un arī nav tik «robains» («zāģveidīgs»), kā uzskatāmības labad to ir attēlojis mākslinieks.

Mēs nepieminējam arī to, ka  $C$  uzlādējas pa atvērtais diodes iekšējo pretestību, kas ir krietni vien mazāka par  $R$  un turklāt atkarīga arī no  $u$ . Tāpēc diodes detektora shēmā kondensatora uzlādes un izlādes ilgums ir dažāds. Tomēr arī tas var interesēt tikai speciālistus.



### IZKROĻOTAIS PORTRETS

Lai signāli pastiprinātos bez kropļojumiem, lampai jādarbojas raksturliknes lineārajā daļā. Ja šo prasību neievērojam, simetriskas un jaukas sinusoidas vietā dabūjam



izkropļotu tās portretu. Šai gadījumā radiolampa kļūst līdzīga greizam spogulim, kādi atrodami «smieklu istabās». Attēla vienu daļu palielinādami un otru samazinādami, šādi spoguļi normālas sejas pārvērš smieklīgās karikatūrās. Ikdienas dzīvē tie, protams, nevienam nav vajadzīgi. Bet kā ir ar lampām, kuru raksturliknēs ir nelineāri posmi, «liekumi» un «likumi»?

Ja lampai jādarbojas par nekropļojošu pastiprinātāju, tad raksturliķņu izliektie posmi, protams, var tikai kaitēt. Taču daudzu izgudrojumu pamatā ir tieši tādas īpašības un parādības, kas citos apstākļos būtu tikai kaitīgas.

Atcerēsimies, piemēram, visuresošo berzi. Cik daudz enerģijas izlieto jebkurš mehānisms, to pārvarēdams! Bet, ja berzes nemaz nebūtu, skrūves un uzgriežņi neturētos pievilkti, transmisiju vārpstas nerotētu, automobiļi nevarētu pabraukt, jo riepas pa asfaltu slidētu utt., u. tml. (Tādā gadījumā neeksistētu arī kāpas un tām līdzīgi ģeoloģiskie veidojumi.)

Dzirksteles, kas lec starp kontaktiem, tos apdedzina; bez tam jutīgi aparāti tās uztver kā traucējumus. Bet cilvēki ir iemācījušies gūt labumu arī no šīm parādībām: ar dzirkstelēm tagad apstrādā metālu.

Triode ir vēl viens spilgts piemērs, kā vienas un tās pašas īpašības var būt gan derīgas, gan kaitīgas, un tādēji ilustrē dialektikas tēzi, ka pretmeti ir vienoti.

Raksturliķnes nelineārie posmi pastiprināmo signālu kropļo. Bet, ja triodei šī «trūkuma» pēkšņi vairs nebūtu, tā pazaudētu arī lielāko daļu savu pozitīvo īpašību, kuru dēļ par to ar tādu cieņu un apbrīnu runāja fiziķis Luijs de Brojī.

## GREIZO SPOGUĻU KARALVALSTS

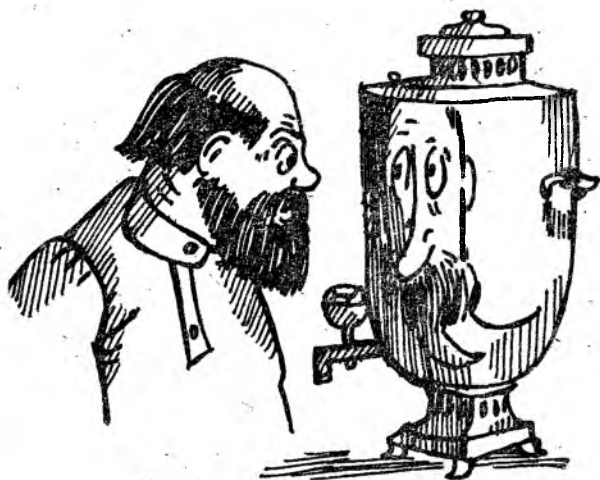
Angļu rakstnieks Lūiss Kerols ir sarakstījis brīnišķīgu pasaku «Alise Aizspogulijā». Mazā Alise nokļūst dīvainā karaļvalstī, kur viss, kas ir ap viņu, atspoguļojas greizos spoguļos. Viss, kas dzīvē ir kroplīgs, šeit izskatās pievilcīgs: mantrausība pārvēršas par dāsnumu, ļaunums mānīgi izliekas esam labs.

Arī elektronikai ir sava «karaļvalsts», kurā lieto tikai liektus spoguļus. Tiesa, tiem ir citāds uzdevums: patiesība tiem jāizvelk dienas gaismā, nevis jāizkropļo.

Elektronikas greizie spoguļi ir lampu raksturlīkņu nelineārie posmi. Tie ļauj veikt ļoti daudzas absolūti nepieciešamas operācijas ar signāliem: uz nesējsignāla «jāšus uzsēdināt» mūziku vai runu, to no nesējsignāla atdalīt (patiesībā: AM signālu detektēt, jo «skaņa» ar nesējsignālu ir sajaukusies tādā vienotā signālā, no kura tā nemaz tik vienkārši nav atdalāma), kā arī pārveidot nesējsignāla frekvenci, visu tajā «ierakstīto» («ieminulēto») saglabājot nemainīgu.

Pa radio raidīts signāls būs kļuvis sadzirdams tikai tad, kad būs «izstaigājis» visus «spoguļus». Viens «spogulis» atrodas raidītājā; tas «pamataudumā» ieštrādā «rakstu». So procesu sauc par modulāciju (sk. 3.30.—3.32.).

Raidantena radioviļņu veidā izstaro «pamataudumu» kopā ar «rakstu», kas ir kļuvis par neatņemamu «auduma»







daļu. (Lai kļūtu saprotams, cik būtiska ir šī daļa, vajadzētu operēt ar spektrālanalīzes jēdzieniem, kurus iztīrīt neriskēsim.) Uztvērēja antena šos viļņus uztver. Uztvertais signāls gan ir ļoti vājš, taču nekā briesmīga tur nav: to var pastiprināt.

Vispirms jāparūpējas, lai nerastos kropļojumi. Šai nolūkā, izmantojot lampas raksturliķnes lineāro posmu (t. i., posmu, kurš pēc formas ir tuvs taisnes nogrieznim, «gandrīz taisns»), «rakstu» un «audeklu» pastiprinām reizē.

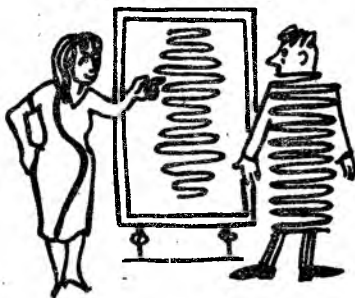
Seit izklāstītajam vairāk ir tikai teorētiska nozīme, jo modernajos uztvērējos no antenas pienākošo signālu pastiprina reti (tikai augstas klases iekārtās): pirmā pakāpe ir jaucējpakāpe, kuras izejā ir starpfrekvences signāls. Tehniskos iemeslus, kuru dēļ tā rīkojas, aplūko speciālajā literatūrā.

Tomēr vājus signālus šādi nav iespējams pastiprināt līdz tādām līmenim, lai tos, piemēram, varētu pievadīt detektoram. Mēs jau redzējām, ka pastiprinātā signāla enerģijas daļa caur kopīgo barošanas avotu, kam pieslēgti visi anodi, var nokļūt pastiprinātāja vai arī tā otrās pakāpes ieejā. Tātad signāla daļa no pēdējās pakāpes anoda var nokļūt otrās pakāpes tīkliņā: visu pastiprinātāju līdz ar to aptvers parazītiska atgriezeniskā saite (sk. 3.28.). Sekas mums jau ir pazīstamas: pastiprinātājs var sākt darboties kā nerimstošu svārstību ģenerators.

Tas atkal ir dialektikas piemērs: ģeneratorā atgriezeniskā saite ir nepieciešama, bet pastiprinātājā var būt kaitīga.

Tiesa, šis apgalvojums būtiski jāprecizē. Proti, pastāv divi galve-

### MODULĀCIJA



nie atgriezeniskās saites veidi: *pozitīva* un *negatīva* atgriezeniskā saite, ko speciālisti saisina nāti sauc par *līdzsaiti* un *pretsaiti*. Katrai no tām ir daudz paveidu.

## FREKVENCES PĀRVEIDOŠANA



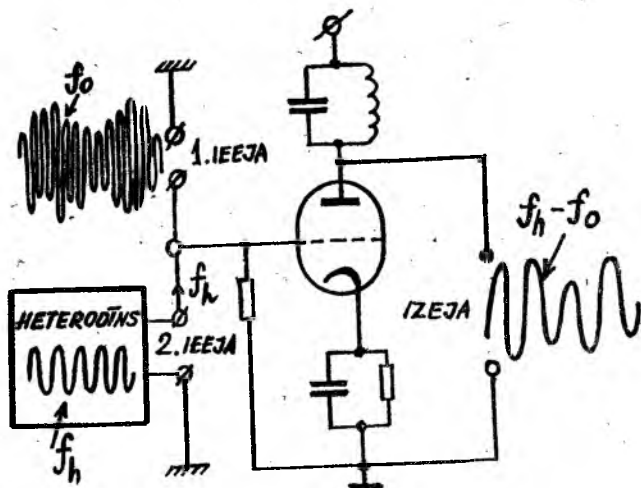
Līdzsaites gadījumā (sk. arī nodaļu «Kāpēc upes tek?») pastiprinātāja ieejā atgriežas tāda pastiprinātā signāla daļa, kas sākotnējo signālu *pastiprina*. Kā saka speciālisti, sākotnējais signāls un šī daļa «ir vienā fāzē» jeb «fāzē sakrīt». Ja signāla daļa, kas ir atgriezusies, ir kaut nedaudz lielāka par sākotnējo signālu (par finesēm nerunāsim), iestājas pašierosme.

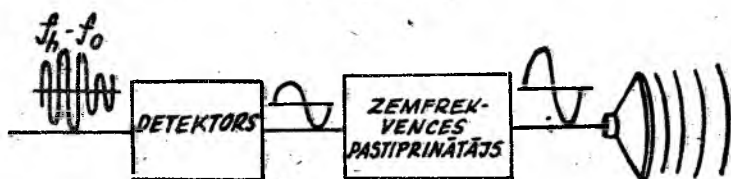
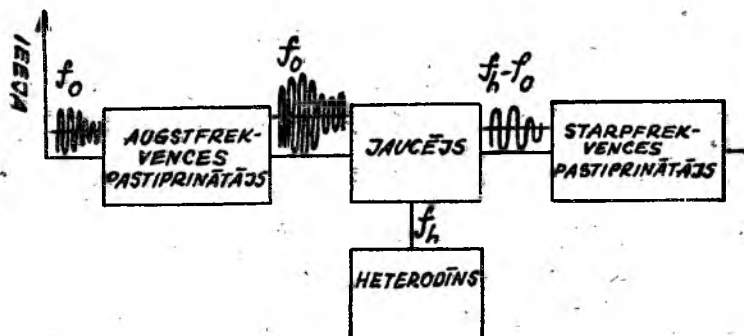
Pretsaites gadījumā pastiprinātāja ieejai pievada tādu signāla daļu, kas sākotnējo signālu *pavājina*, t. i., ir tam «pretējā fāzē» jeb «pretfāzē». Pastiprinātāja rezultējošais pastiprinājuma koeficients samazinās. Tātad, ja izejas spriegumu gribam saglabāt nemainīgu, pastiprinātājam jāpievada lielāks spriegums nekā bez pretsaites.

Tāpēc varētu likties, ka pretsaites iekārtošana ir absurds. Kā tad tā? Būvējam pastiprinātāju, bet tā do to pastiprinājumu samazinām?! Tad jau labāk uzreiz izveidot pastiprinātāju, kuram pastiprinājuma koeficients būtu mazāks: izmaksās lētāk, vajadzēs mazāk enerģijas utt.

Ši «absurda» noskaidrošanu atstāsim speciālās literatūras ziņā; piebūvēsim tikai to, ka moderno pastiprinātāju izcilās īpašības lielā mērā ir tieši šī «absurda» izmantošanas rezultāts.

Vārdu sākot, pastiprinātājos kaitīga ir līdzsaite, turpretī pretsaite tajos ir derīga, pat absolūti nepieciešama.





Kaut arī pastiprinātāju konstruktori visādi pūlas «atpakaļsignālam» ceļu uz ieeju aizsprostot, dažreiz tas tur tomēr iesprūk.

Ja pastiprinājums (speciālisti teiks: pastiprinājuma koeficients) ir liels, izejas signālam piemīt liela jauda. Šādā gadījumā pat ļoti maza tā daļa, pa parazitiskās saites ķēdēm nokļuvusi pastiprinātāja ieejā, tiks atkal pastiprināta, tā ka pastiprinātājs sāks ģenerēt signālu ar «sev tīkamu» frekvenci. Vājš antenas signāls šajā pašsvārstību jūrā nosliks, un uztvērēja skaļrunī būs dzirdams tikai griezīgs svilpiens.

Lai nekas tamlīdzīgs nenotiktu, signālu nākas pastiprināt pakāpeniski, vairākos posmos, katrā no tiem izmantojot kādu «greizo spoguļi».

Tātad pirmais posms ir augstfrekvences signāla pastiprināšana. Seko pirmā «kropļošana» (lasiet: pirmā pārveidošana): augstfrekvences signāls tiek pārveidots par starpfrekvences signālu. Tas izdarāms šādi: lampai liek darboties raksturliķnes «izlocītajā» (nelineārajā) daļā, un šādas lampas tiklīņam reizē pievada divus signālus — no antenas nākošo (un, ja uztvērējā ir augstfrekvences pastiprinātājpakāpe, arī pastiprināto) un vietējā generatora,

tā sauktā heterodīna, radīto. (Heterodīna signālam parasti ir būtiski lielāka amplitūda nekā uztvertajam signālam.)

Antenas uztvertā nesējsignāla frekvenci apzīmēsim ar  $f_0$ , bet heterodīna signāla frekvenci — ar  $f_h$ . Lampu, kuras tīkliņam abus signālus pievadām, sauc par jaucēju: tā tos sajauc kopā. Kālab tas vajadzīgs? Sādi iegūstams signāls, kurš ir modulēts tāpat kā uztvertais signāls, t. i., satur to pašu «rakstu» (mūziku, runu utt.), bet kuram ir cita nesējfrekvence, kas vienāda ar starpību  $f_h - f_0$  un tāpēc tiek saukta par starpfrekvenci.



Jaucējlampas anodstrāvai ir komponentes ar ļoti dažādu frekvenci (piemēram, arī ar  $f_h + f_0$ ), bet anodspriegumam ir gandrīz tikai frekvence  $f_h - f_0$ , kas šai gadījumā ir derīgā komponente. To panāk tādejādi: anodķēdē ieslēdz svārstību kontūru, kuram ir tāda kapacitāte  $C$  un induktivitāte  $L$ , lai kontūra pašfrekvence (rezonanses frekvence) būtu vienāda ar  $f_h - f_0$ . Tāpēc šo komponenti kontūrs atdala no pārējām, kas šai gadījumā ir parazitiskas. Bet kontūram ir noteikta caurlaides josla (sk. arī 3.8. un 3.9.); tāpēc līdz ar «jaunās» nesējfrekvences — starpfrekvences  $f_h - f_0$  — nesējsignālu izejā nokļūst arī «raksts» (mūzika, runa utt.), kas tāds pats, kāds tas bija, «uz» uztvertā augstfrekvences nesējsignāla, tagad ir uzmodulēts «uz» starpfrekvences nesējsignāla. «Greizais spogulis» «rakstu» nav izkropļojis, bet tikai «pārrakstījis uz rupjāka» pamatauduma.

Varbūt lasītājam sāk likties, ka starpfrekvences izmantošana ir konstruktoru «kaprize». Jaucējs ir uzbūvēts; nu, un tad?

Patiesībā starpfrekvences izmantošana uztvērēju pilnveidošanā pavēra pavisam jaunas iespējas. Uztvērējus, kas darbojas pēc iztīrītā principa, sauc par superheterodīna uztvērējiem.

Galvenās to priekšrocības ir saistītas ar iespēju realizēt signāla pastiprināšanu un nodrošināt uztvērēja selektivitāti konstantas frekvences — starpfrekvences — nesējsignālam. Pārslēgdami uztveramo viļņu diapazonu un (vai) pārskanodamies uz citu staciju,  $f_h$  mēs mainām atbilstoši tās stacijas  $f_0$ , kuru gribam uztvert, bet šo frekvenču starpība nemainās.

Jaucējpakāpi atstājis, signāls nokļūst starpfrekvences pastiprinātājā, kur to pastiprina. Tad atkal nāk «greizais

spogulis» — detektorlampa (parasti diode). Tajā «rakstu» atdala no «pamatauduma».

Un, beidzot, «raksts» ir vēlreiz jāpastiprina, pirms to pievadām skaļrunim; tas jau ir trešais pastiprināšanas posms.

Arī Jūsu radiouztvērējā signāls izstaigā visus aplūkotos posmus — «greizos spoguļus».

Tomēr radiofonijas uztvērēji ir tikai neliela diženās «greizo spoguļu karaļvalsts» province; tie atrisina tikai vienu no daudzajiem uzdevumiem. Tiesa, plaša patēriņa radiouztvērēju un atbilstošo raidstaciju attīstība vēsturiski norisinājās visagrāk un rosināja arī pārējo radioelektronikas nozaru attīstību. Taču mūsdienās radiofonija ir tikai viena, samērā šaura radioelektronikas daļa.

Jādomā, ka tādas nozares, kura iztīktu bez «greizajiem spoguļiem», t. i., bez nelineāras signālu pārveidošanas, elektronikā nemaz nav. Svarīgākie šādu pārveidojumu vidū ir modulācija, detektēšana, frekvences pārveidošana (jeb transponēšana), frekvences daudzkāŗšošana un dališana.

Modulācija nesējsignālā ļauj «ierakstīt» ne vien mūziku vai cilvēka balsi, bet arī jebkuru citu raidāmo informāciju, piemēram, datus par jonizējošā starojuma intensitāti, par spiedienu un temperatūru kosmosa kuģa kabīnē u. tml. Šādu ziņojumu nepārraida ar vārdiem: speciāli pārveidotāji starojuma intensitātes, spiediena un temperatūras skaitliskās vērtības pārvērš atbilstošā signālā. Signālu pievada modulatoram, bet tā izejā iegūstam mums jau pazīstamo ainu — «pamataudumu» ar «rakstu».

Nesējsignālā var «ierakstīt» telegrāfa ābeci, kā arī principā jebkuru speciāli kodētu signālu. Radiolokatorā ar modulāciju (labāk būtu teikt: manipulāciju) iegūst īsus impulsus, kas «jāšus uz nesējsignāla» aizlido līdz mērķim (piemēram, ienaidnieka lidmašīnai); no tā atstarojušies, impulsi laikus ziņo par gaidāmajām briesmām un pretinieka dislokāciju. Tādējādi impulsmodulācija lokatoros ļāvusi realizēt teiksmainā Zelta gailīša brīnumainās īpašības.

Bet kā ir ar attēla pārraidi? Arī par to kopš senlaikiem ir sacerētas leģendas. Atcerieties daždažādos burvju gredzenus, burvju ābolus, tasītes ar burvju šķidrumu un burvju spoguļus. Šis pasaku «iekārtas» ļāvušas saredzēt visu, kas notiek «aiz kalniem un lejām, aiz plašajām jūrām», «aiz trejdeviņām zemēm».

Patiesībā viss izrādījās vienkāršāk. Nebija jāizgatavo nekādi burvju spoguļi, varēja iztīkt ar kineskopa ekrānu.

Tomēr tālo notikumu attēlam, lai tas kļūtu par kadru uz TV ekrāna, arī bija ar elektronisko «greizo spoguļu» starpniecību jātiek ierakstītam nesējsignālā un vēlāk no tā atdalītam.

Lūk, cik svarīgs elektronikā ir modulācijas process: tas ļāvis ļoti daudzām pasakām kļūt par realitāti.

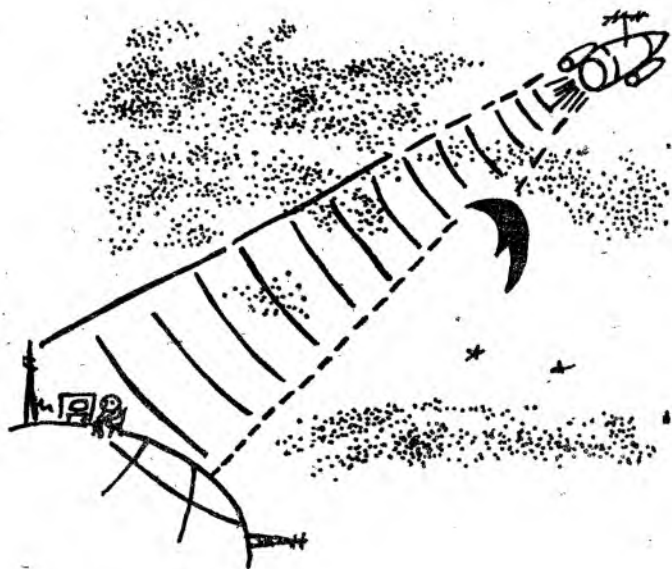
Darbi, ar kuriem agrāk nodarbojās tikai burvji un magi, mūsu dienās ir elektronikas un tās brīnišķīgo «greizo spoguļu» ikdiena.

## JONOSFĒRA UN BILJARDS

Vārdu, kas izrunāts Eiropā, pa radio var sadzirdēt arī Austrālijā un Amerikā. Bet televīzijas raidījums tieši, bez retranslācijas staciju starpniecības nav uztverams jau pat simt piecdesmit kilometru attālumā. Kā tas izskaidrojams?

Televīzija mums pirmo reizi ļāva tuvplānā skatīt Mēness virsmu. Bet līdz Mēnesim taču ir 384 tūkstoši kilometru!

Pēdējos gados kosmiskie aparāti augstā kvalitātē uz Zemi pārraidījuši neskaitāmus Venēras, Marsa, Jupitera, Saturna, tā gredzenu, pavadoņu utt. teleattēlus. Tātad



ielūkoties kosmosa dzīlēs ar televizoru ir vieglāk nekā nodibināt sakarus tepat uz Zemes? Kā lai to saprot?

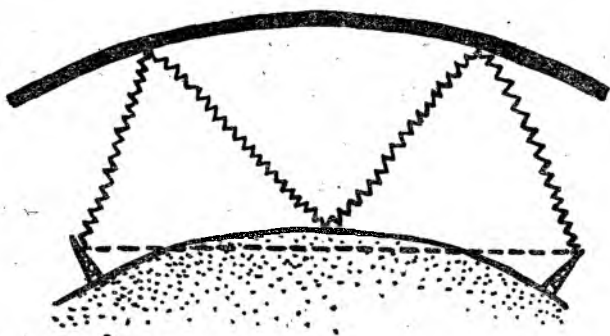
Speciālists uz šo jautājumu atbildēs pavisam lakoniski: televīzijas signāli izplatās tikai tiešās redzamības robežās.

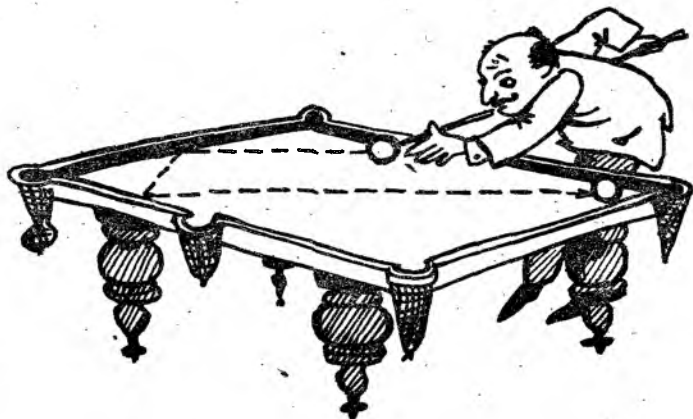
«Tiešās redzamības attālums» ir konkrēts un viennozīmīgs jēdziens: lai vienas antenas izstaroto signālu varētu uztvert otra, tām vienai otra «jāredz». Ja uztvērējantena kaut kādu apstākļu dēļ «paslēpsies» aiz horizonta, sakaru vairs nebūs. Horizonts televīzijai ir savdabīga «lieguma līnija». Bet kosmosā horizonta nav. «Tiešās redzamības attālumam» tur nav robežu: varam ieskatīties kaut vai miljardu gaismas gadu tālās Višuma dzīlēs! Vai tur ir kas ieraugāms vai nav, tas, protams, ir cits jautājums. Bet ceļš signālam ir brīvs, un, kamēr kosmosa kuģis nav aizslēpies aiz kāda debess ķermeņa, televīzijas sakari ar to ir iespējami. Uz Zemes ir citādi: uz Zemes traucē Zeme.

Tomēr pagaidām no kosmosa atgriezīsimies uz Zemes un mēģināsim atbildēt uz citu jautājumu. Kā tad no kontinenta uz kontinentu aizceļo vārds, ko raida pa radio? Kāpēc šiem radioviļņiem Zemes lodveidīgums netraucē?

Pirms gadiem sešdesmit zinātne uz šo jautājumu neprata atbildēt, tas likās mīklains. Sākumā radiotehnika iztika ar gariem un ļoti gariem viļņiem (800—3000 un vairāk metru), kuri spēj mest likumu ap zemeslodi un līdz ar to nodrošināja samērā tālus sakarus. Tomēr visai planētai apkārt tie netika, un tāpēc, piemēram, nodibināt sakarus no Austrālijas ar Ameriku vai Eiropu, izmantojot šos viļņus, neizdevās.

Bija pazīstami arī īsviļņi, kuru garums ir 10 līdz 100 metru. Tolaik uzskatīja, ka tie izplatās tikai taisnā virzienā un tātd apliekies ap zemeslodi, t. i., nokļūst aiz

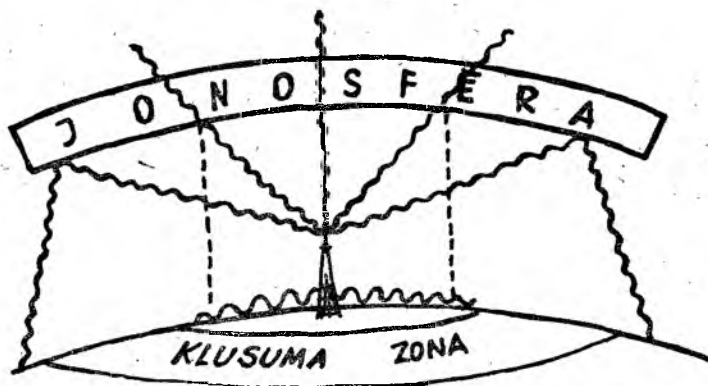




horizonta, nevar. Tāpēc šos viļņus ierindoja «neērto viļņu» kategorijā un, raidstacijas projektējot, ignorēja. Isviļņu diapazons tika atvēlēts radioamatieriem («lai parotaļas»), kuru jau toreiz bija atliku likām.

Un pēkšņi atgadījās kaut kas tāds, ka speciālistiem bija ko palauzīt galvu. Izrādījās, ka amatieru īsviļņu stacijas ļauj sazināties pat ar vistālāko zemeslodes punktu. Mazi raidītāji, kuri nepatērēja vairāk jaudas kā neliela apgaismošanas spuldze, savu signālu aizgādāja lielākā attālumā nekā garo viļņu raidstacija, kuras jauda bija vairāki kilovati.

Vēl vairāk. Ja no šiem pašiem īsviļņu raidītājiem attālinājās tikai divsimt kilometru, to signālus vairs neizdevās uztvert. Tā vien likās, ka, pavisam nelielu attālumu veicis,





signāls «aiz pārguruma nomirst», bet vēlāk aiz trejdeviņām zemēm piedzīvo «augšāmcelšanos».

Mikla šķita neatminama.

Labāk par citiem tādas miklas prata minēt padomju zinātnieks Mihails Šulejkins, kurš īsviļņu divainās īpašības izskaidroja detalizēti. Vispirms viņš aprēķināja, kā vājinās īsviļņi, kas izplatās cieši gar zemes virsmu; aprēķini liecināja, ka šajā ceļā tie tiešām vājinās krietni straujāk nekā garie viļņi. Ja šo trūkumu mēģinātu pārvarēt, palielinot raidstacijas jaudu, būtiski palielināt īsviļņu izplatīšanās tālumu tomēr neizdotos: appliekties ap Zemi īsviļņi nevar. Lai jauda būtu kāda būdama, horizonts šiem viļņiem būs «lieguma līnija».

Tomēr daba ir izgudrojusi citu paņēmieni, kā īsviļņiem veikt tālus ceļojumus.

Zemes atmosfēras augšējie slāņi, iedarbojoties Saules starojumam, jonizējas. Gaisa molekulas sašķeļas jonus un elektronus, tā ka vesels slānis, tā sauktā *jonosfēra*, sastāv no lādētām daļiņām, kas turklāt atrodas straujā un haotiskā kustībā. Īsviļņi no tā atstarojas tāpat kā gaismas stars no spoguļa virsmas vai skaņas vilnis no šķēršļiem. Slāni var salīdzināt arī ar biljarda galda apmali. Starp citu, radiosakaru speciālisti šo slāni izmanto gandrīz tāpat kā pieredzējuši biljardisti galda malu: ja bumba taisni «robā» neiet, to var raidīt pret malu.

Pēc tāda paša rikošeta Jūsu uztvērējā nokļūst tālo raidstaciju īsviļņu signāli. Turklāt rikošets — atstarošanās — var būt vairākkārtējs, jo biljarda galda malai šai ziņā līdzinās arī Zemes virsma.

Tomēr gadījumā, ja uztvērējs atrodas divsimt kilometru no raidītāja, tas neuztvers nekā. Vilni, kas izplatās gar Zemes virsmu, aiztur horizonts. Un atstarošanās no jonizētā slāņa arī nevar izmantot, jo divsimt kilometru ir pārāk mazs atstatums, lai tā notiktu. Ir zināms, ka atstarošanas leņķis ir vienāds ar krišanas leņķi. Lai atstarotais vilnis nokļūtu uztvērējā, kura attālums no raidītāja ir 200 km, vilnis jāraida gandrīz taisnā leņķī pret jonosfēru. Tāds vilnis jonosfērā ieurbjas kā šķēps un, izgājis tai cauri, uz visiem laikiem izgaist Visuma dzīlēs. Tāpēc ap katru raidītāju pastāv klusuma zona, kas to apjož līdzīgi platam un ne visai regulāram gredzenam.

Pavisam netālu no stacijas ir dzirdami viļņi, kas izplatās tieši. Lielos attālumos Zemes virsmu sasniedz jonosfēras atstarotie viļņi. Bet uz klusuma zonu, kura nav ne

pārāk tālu no raidstacijas, ne arī tai pārāk tuvu, neved neviens no šiem ceļiem.

Uzskati par īsviļņu radiosakaru tālumu pirmajā laikā maldīgi bija tieši šī apstākļa dēļ. Signāla izzušana kļusuma zonā un atjaunošanās lielākos attālumos nebija viegli izskaidrojama.

Mūsu dienās siki ir izpētīta Jonosfēras ietekme uz jebkura garuma viļņu izplatīšanos. 100 līdz 1000 metru gari viļņi — tā sauktie vidējie viļņi — labi no tās atstarojas tikai naktī. Dienā jonosfēras sastāvs mainās, un drošiem sakariem lielos attālumos ar atstarotā viļņa intensitāti nepietiek. Tie, kuriem patīk medīt tālas stacijas, šo vidējo viļņu īpatnību droši vien ir pamanījuši.

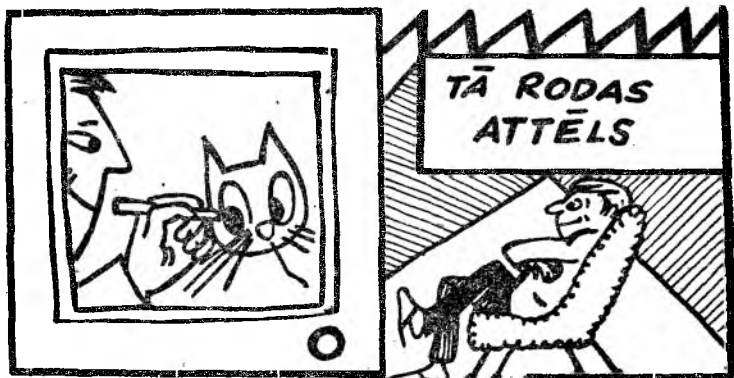
Garie viļņi, kuru garums pārsniedz 1000 metru, no jonosfēras neatstarojas ne naktī, ne dienā.

Ultraīsviļņus, kuru garums ir mazāks par 10 m, jonosfēra neaiztur vairāk kā siets ūdeni. Tie tai iet cauri, nemaz no tās neatstarodamies. Lūk, tāpēc televīzijas antenām (raidītāja vai retranslators antenai un uztvērēja antenai) vienai otra obligāti «jāredz»: televīzijas nesējvilnis ir ultraīsvilnis, kas no jonosfēras nerikošetē.

Bet kāpēc tad televīzijas radītāji tika izvēlējušies šādus — visneērtākos — viļņus?

Tāpēc, ka tikai ultraīsviļņi der par televīzijas signāla nesējviļņiem, tikai tie spēj uztvērējam nogādāt sarežģīto «rakstu», kurš satur uz kineskopa ekrāna reproducējamo kadru.

Televīzijā nav nekā nejauša. Viss ir radies gadiem ilgā rūpīgā darbā, viss ir «dzimis mokās»: gan kineskopa konstrukcija, gan kadru pārraidīšanas un reproducēšanas metodika, gan nesējviļņu garuma izvēle. Un bez tam visi šie risinājumi ir cits ar citu cieši saistīti. Piemēram, lai varētu pareizi izraudzīt nesējviļņa garumu, labi jāpārzina televīzijas kadrā redzamā attēla radīšanas princīpi, kā arī atbilstošo elektronisko ierīču darbība:



PAMATS IR ŠĀDS

### 3.36.

Ja rūpīgi vērojam attēlu uz televizora ekrāna, varam konstatēt, ka tas sastāv no sīkām horizontālām līnijām, kuras sauc par rindām. Katrā raidītajā kadrā ir precīzi 625 rindas.

Elektronu kūļa kustība pa kadra rindām lielā mērā līdzinās skatiena kustībai, lasot grāmatu: pa rindu nošķrējis no kreisās puses uz labo, kūlis ļoti ātri atgriežas ekrāna kreisajā malā un sāk «zīmēt» nākamo rindu. Sekundes divdesmitpiektdaļā kūlis spēj «uzzīmēt» visas 625 rindas, kas



veido kadru. Sekojošajā sekundē divdesmit piektdaļā tas «zīmē» nākamo kadru utt. Tātad sekundē tiek izveidoti 25 kadri. «Pārlecošo izvērši» vienkāršības un uzskatāmības labad šeit neaplūkosi.

### 3.37.

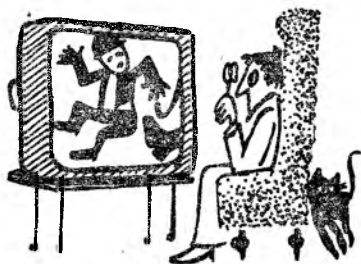
Rindu skaits kadrā un kadru skaits sekundē (kadru frekvence) nav izraudzīti nejauši. Ir ievērotas divās mūsu redzes īpatnības: inerce un izšķirtspēja.

Par redzes inerci sauc acs tiklenes spēju ap  $\frac{1}{15}$  sekundes saglabāt redzes iespaidu.

Ja televīzijas kadri cits citam sekotu retāk nekā 15 reizes sekundē, tad attēls tiklenē izzustu agrāk, nekā uz ekrāna parādītos nākamais kadrs. Ācs sāktu izsekot kadru maiņai. Skatoties tādu pārraidi, mums mestos raibs gar acīm.

Iespējams, ka Jūs esat redzējuši vecas kinofilmas un jocīgās cilvēku kustības tajās. Arī tās izskaidrojamās ar kadru skaitu sekundē: tajos laikos tas bija tikai 16. Ieviešoties skaņu filmām, pārgāja uz 24 kadriem sekundē, bet televīzijā izvēlējās skaitli 25, jo tā ir precīzi puse no rūpnieciskās maiņstrāvas frekvences.

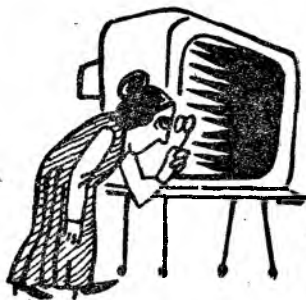
Tātad, skatīdamies filmas pārraidi, visus notikumus redzam par



1/24 «paātrinātus», bet praktiski tas nav jūtams. Tikpat daudz augstāka kļūst skaņa.

### 3.38.

Attālums starp rindām ir tāds, ka skatītājs, kas sēž divus metrus no ekrāna, neredz atsevišķas rindas. Sāds skatītājs kadru vēro ap desmit grādu jeb sešsimt minūšu lielā leņķi. Mūsu acs vienu priekšmetu no otra spēj atšķirt gadījumā, ja leņķiskais attālums starp tiem pārsniedz vienu minūti. Tātad, lai rindas saplūstu vienlaidu kadrā, to skaitam jābūt ne mazā-



kam par

$$600'/1' = 600.$$

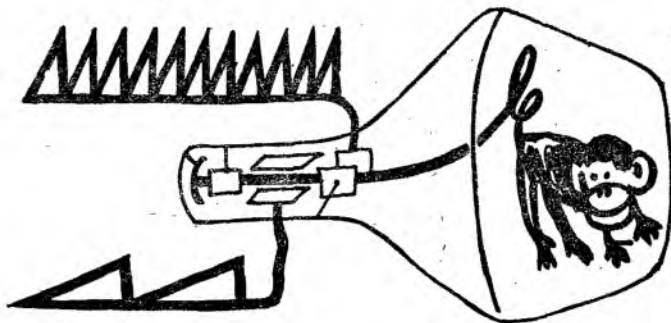
Patiesībā tas ir 625.

### 3.39.

Kā panākt, lai kūlis skrien pa ekrānu un «zīmē» rindu, mēs jau zinām: horizontālās nolieces platēm jāpievada «zāģis».\*

Lai iegūtu impulsa attēlu, kūlim mēs visu laiku likām skriet pa vienu un to pašu ceļu, kas atradās ekrāna vidusdaļā; vertikālās

\* Sk. 1. nodaļas paragrāfus «Neredzamo daļiņu pēdas» un «Gandrīz kā skolas uzdevumu krājumā».



nolieces platēm pievadījām impulsu, ko turklāt parasti nepieciešams pastiprināt.

Televīzijā katrai nākamajai rindai ekrāns jāšķērso mazliet zemāk nekā iepriekšējai. Sai nolūkā kūlim reizē ar tā kustību pa ekrānu no kreisās puses uz labo jāliek pamazām virzīties lejup. Tas panākams, vertikālās nolieces platēm pievadot «zāģi», kas ir 625 reizes lēnāks par rindu «zāģi». Kamēr viens «kadru zāģa zobs» kūli pārvirza no ekrāna augšas līdz apakšai, «rindu zāģim» aizzib

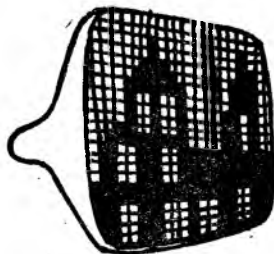
625 zobi, kuri «uzzīmē» 625 rindas. Modernajos lielekrāna televizoros kūļa ātrums rindu zīmēšanas procesā ir apmēram 30 000 kilometru stundā. (Zemes ekvatora garums ir 40 000 km.)

Vēl jāpiemin kāda «tehniska detaļa»: televizoros kūli stūrē nevis ar nolieces platēm, bet ar spolēm, kurām pievada attiecīgas frekvences zāģveida strāvu. Spoļu magnētiskais lauks uz kūli iedarbojas tāpēc, ka elektronu kūlis ir ekvivalents strāvai.

### 3.40.

Ja televīzijas kadru «zīmē» kūlis, kura intensitāte ir nemainīga, tad nemainās arī kūļa pēdu — gaišā punkta — gaišums; viss ekrāns ir apgaismots vienmērīgi. Attēlu šāds kadrs nesatur.

Reālā pārraidē kūļa intensitāte un līdz ar to arī



ekrāna punktu gaišums tikpat kā vienmēr visu laiku mainās. Uz ekrāna cītam seko mainīga gaišuma punkti, kuri, līdzīgi mozaī-

kai, izveido ainavu, futbola sacīkšu epizodi, kriminālfilmas kadru, diktora seju tuvplānā jeb, īsi sakot, visu, ko mēdz raidīt televīzija.

### 3.41.

Ja kadra detaļu izmēri ir lieli, blakusrindu gaišums ir vienāds. Turpretī, ja tiek pārraidīts kadrs ar sīkām detaļām, viena no otras pēc gaišuma jūtami var atšķirties pat divas līdzās izvietotas rindas. Arī katra rinda pati par sevi var saturēt noteiktu mozaikas elementu skaitu. Jo vairāk šādu elementu, jo asāks attēls un labāk uz ekrāna redzama ik maza detaļa.

Ja kūļa gaišums katrā rindā ir savādāks, kadrā pa vertikāli izvietosies 625 mozaikas elementi. Ja ekrāns būtu kvadrātisks, tad tikpat daudz elementu būtu iespējams izvietot arī katrā rindā. Ekrānā pavisam būtu  $625 \cdot 625 = 390\,625$  elementi.

Bet kadra platums ir  $\frac{4}{3}$  tā augstuma. Tāpēc kadrā var būt

$$625 \cdot \frac{4}{3} \cdot 625 > 500\,000$$

elementu.



Pieņemsim, ka jebkuru divu blakus esošu elementu gaišums ir dažāds. Cik bieži šādā gadījumā jāmainās kūļa intensitātei? Visus elementus sadalīsim pāros (gaišs — tumšs utt.). Veidojoties vienam kadram, kūlis pārskrien pāri 500 000 elementiem, t. i., 250 000 to pāriem. Tātad 250 000 reižu jāmainās tā gaišumam: viens elements ir gaišs, otrs — tumšs utt.

Sekundē ekrānā parādās 25 kadri. Tāpēc ik sekundi kūļa\* gaišumam jāmainās

\* Pats kūlis — elektronu plūsma vakuumā — nav redzams; stingri ņemot, viscaur būtu jārunā par kūļa pēdām — mazu plankumu («punktu») uz ekrāna. Kūli mēdz saukt arī par staru. Tomēr stars ir tīri ģeometrisks objekts, «taisne bez biezuma un platumā». Arī optikā, aplūkojot reālas gaismas izplatīšanos, vienmēr ir darīšana ar gaismas kūli, nevis staru, kas ir ģeometriskās optikas objekts.

$250 \cdot 25 = 6\,250\,000$  reižu jeb, respektīvi, kūli veidojošās strāvas maiņkomponentes

mainīšanās frekvencei ir jābūt  $6\,250\,000$  hercu ( $6,25$  MHz).

### 3.42.

Protams, ne jau katrs attēls satur visus  $500\,000$  mozaikas elementus. Tomēr ik kadrā ir gan lielas, gan arī gluži sīciņas detaļas: talantīga aktiera vaibstu nianšes, smalki otas vilcieni mākslinieka radītajā gleznā, mazi burtiņi, nelielā hokeja ripa utt. Lai jebkurā gadījumā Jūsu televizora ekrānā šādas detaļas būtu labi saskatāmas, obligāti jāreķinās ar to, ka gaišuma mainīšanās maksimālā frekvence var būt  $6,25$  MHz. Bet kūļa gaišuma mainīšanās cēlonis ir «raksts», kas ar modulāciju ticis «uzklāts» nesēj-signalam.

Zinot maksimālo iespējamo «raksta» mainīšanās frekvenci, varam aprēķināt arī minimālo pieļaujamo nesējfrekvenci. Tā kā nesēj-



signāls ir «pamataudums», tā frekvencei jābūt vismaz desmit reižu augstākai par «raksta» frekvenci. Tikai šādā gadījumā nesējviļņa kores spēš pārnest visas «raksta» nianšes («punkts punktā»).\* Tātad televīzijas signāla nesējfrekvences lieluma kārtai jābūt ap  $60$  MHz.

Šādas frekvences viļņu garums ir  $5$  m. Tie arī ir jau minētie «visneērtākie» viļņi, kam horizonts ir «lieguma linija».

### KĀ PĀRRAIDA ATTĒLU

«Raksts», kas satur diktora balsi vai mūzikas skaņas, tiek radīts, izmantojot mikrofonu. Skaņas viļņus, kurī izplatās pa gaisu, mikrofons pārvērš tiem pēc frekvences un

\* Sk. paragrāfu «Neredzamais ekspresis».

intensitātes atbilstošā maiņstrāvā — toņfrekvences signālā.

Bet kā iegūst «rakstu», kas satur attēlu?

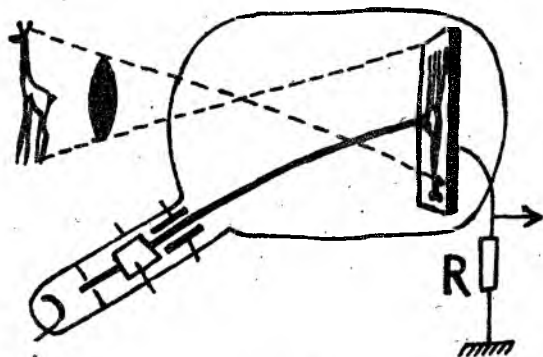
Arī to dara ar elektronstaru lampu (tā saukto ikonoskopu vai kādu tā paveidu), kurai gan ir pavisam citāda konstrukcija un darbības princips nekā līdz šim aplūkotajām lampām — kineskopiem.

Ikonoskopa ekrāns ir pārklāts ar īpašu vielu; jo stiprāk ekrāns apgaismots, jo mazāka ir šīs vielas pretestība. Pārmaiņa notiek šādi.

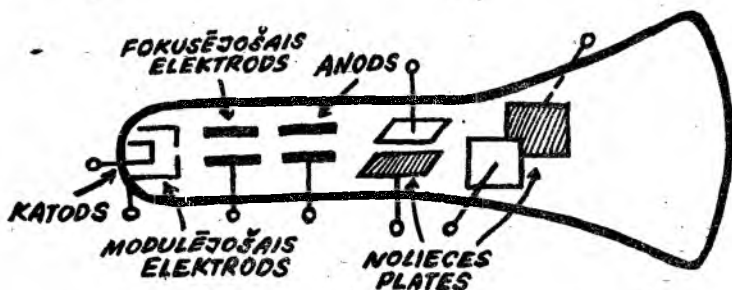
Izmantojot parastās optiskās lēcas, uz ekrāna projicē attēlu, kas vispirms jāpārvērš maiņstrāvā («attēla signālā»), bet pēc tam — raidāmajos (izstarojamajos) elektromagnētiskajos viļņos. Pār ekrānu — tāpat kā kineskopā — slid elektronu kūlis, notaustīdams rindu pēc rindas, punktu pēc punkta. Elektronu plūsma ekrānu «mazgā» gandrīz vai kā ugunsdzēsēju šļūtene mājas sienu. Elektronu strautiņi tek caur vadošo slāni un pa rezistoru  $R$  noplūst uz zemi. Jo gaišāks ir kāds ekrāna punkts, jo «bagātāks ar ūdeni» ir «strautiņš», jo vairāk apgaismojums samazina vadošā slāņa pretestību.

Kā jau teikts, kūlis notausta visus attēla punktus pēc kārtas; gaišam punktam atbilst samērā stipra strāva rezistorā  $R$ , tumšam — vāja. Tā rodas «raksts». Ja sprieguma kritumu uz rezistora  $R$  izmanto (protams, pēc pastiprināšanas) ultraīso viļņu modulēšanai, tad «raksts», kas satur attēlu, uzsēžas «jāšus» uz nesējsignāla.

Televīzijas uztvērējā signālam ir apmēram tāds pats «liktenis» kā radiofonijas signāliem radiouztvērējos: arī







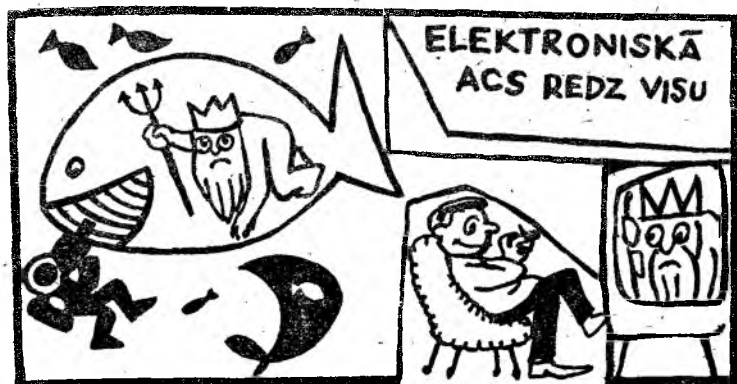
to pastiprina pakāpeniski un pārveido ar vairākiem «greizajiem spoguļiem». Vispirms notiek augstfrekvences, pēc tam — starpfrekvences pastiprināšana, tad — detektēšana un, visbeidzot, — tīrā «raksta» pastiprināšana.

Un tālāk? Tālākais. «likteņa pagrieziens» var likties negaidīts: sasniedzis finišu, signāls atkal *modulē*, turklāt šoreiz tas modulē elektronu kūli. Lai tas varētu notikt, kinoskopu papildina (salīdzinājumā ar 1.19. paragrāfa attēlu) vēl ar vienu — modulējošo — elektrodu. Šim elektrodam, lūk, pievada signālu, kas atveido «rakstu» un tātad «sevi satur» attēlu. Vienā ritmā ar modulējošā elementa spriegumu mainās kūļa gaišums.

Lai visi mozaikas elementi nokļūtu tajās ekrāna vietās, kur nākas, nesējsignālā «iemodulē» ne vien attēla signālu, bet kopā ar to arī tā sauktos sinhronizācijas impulsus. Šie impulsi «dod komandu», pēc kuras elektronu kūļi sāk savu skrējieni pa uztvērēju ekrāniem. Visu uztverošo televizoru kūļi visā pārraides laikā reizē ar ikonoskopa kūli startē un finišē, divdesmit piecas reizes sekundē sākdami un pabeigdami kadru.

Jebkurā momentā pāri vienam un tam pašam mozaikas elementam slid miljoniem kūļu. Divdesmit piecas reizes sekundē miljonus ekrānu punktu pēc punkta tiek zīmēts viens un tas pats attēls.

Raidāmo televīzijas kadru (attēlu) elektriskajā signālā pārveido ar dažādām tā sauktajām pārraides lampām; 167. lappusē vienkāršoti paskaidrots tikai to darbības princips. Pārraides lampās ar foto-katodu izmanto attēla pārneši no šī katoda uz uztvērējelektrodu (superikonoskops, par to daudz jutīgākais superortikonos), lampas uztvērējelektrodu var izveidot ar fotopretestību (vidikons un tā paveidi, kurus izmanto aizvien plašāk); speciālām vajadzībām lieto arī lampas bez lādiņu uzkrāšanas (monoskops, disektors). Sīkākas ziņas par šīm lampām atrodamas speciālajā literatūrā.



PAMATS IR ŠĀDS

### 3.43.

Televīzija mūsu dzīvē ir dziļi iesakņojusies. Bet ne mazāk svarīga ir tās loma dažādās zinātnes un tehnikas nozarēs. Izmantojot speciālas elektroniskās «ācis», var novērot, kā līdz baltkvēlei sakarsis šķidr metāls piepilda veidformas, kā noris dzīvībai bīstams radioaktīvs process; sarežģītu operāciju, ko izdara pieredzējis un virtuozs ķirurgs, var demonstrēt veselai studentu auditorijai utt.

Ja ģeoloģiskajā urbumā ielaiž kompakto televīzijas kameru, slāni pēc slāņa var izpētīt dziļi guļošus iežus. Kamēr televīzija vēl netika izmantota, katra slāņa izpētišanai urbi ar iežu paraugiem nācās izvilkāt virszemē.

Telekameras ļāva atrast

nogrīmušo laivu «Efreja» un saskatīt amforas, kurās senie grieķi no Rodosas salas uz Marseļu veda vīnu.

Zvejas kuģi zivju baru izseko pēc komandām, kuras tiem pārraida no lidmašīnas. Ja šādā lidmašīnā ir telekamera, kuģiem var pārraidīt arī bara attēlu.

Pa televīziju uz Zemi tika pārraidīti pirmie Mēness attēli, bet vēlāk arī pirmie cilvēku soļi uz Mēness. Pēdējos gados kosmiskie aparāti, kā jau teikts, uz Zemi ir pārraidījuši ļoti daudz Venēras, Marsa, Jupitera un Saturna, kā arī to pavadoņu, gredzenu sistēmu utt. attēlu. Daudzos gadījumos šie attēli ir palīdzējuši revolucionizēt priekšstatus par mūsu

Saules sistēmas locekļiem, par fizikālajiem procesiem, kas tajos noris, par to izcelšanos un dabu.

Televīzija palīdz veikt smalkas tehnoloģiskās operācijas. Piemēram, kamēr televīzija nebija ieviesta, stundām ilgi nācās lūkoties mikroskopā un mērīt topošas stieplītes diametru; diametra skaitliskā vērtība bija tikai daži mikrometri, bet, lai stieplīte derētu tranzistoru izgatavošanai, tas no nominālvērtības nedrīkstēja atšķirties vairāk kā par mikrometra desmitdaļām. Tagad mikroskopa objektīvā raugās telekamerās acs. Attēla izmērs visu laiku tiek salīdzināts ar etalonsignālu. Ja starpības

signāls kļūst pārāk liels, automāts fiksē brāķi.

Būtībā parastās televīzijas kameras neko «neredz»: tās tikai veido, pārraida un reproducē cilvēkam redzamu attēlu. Bet pēdējā laikā ir radītas arī tādas iekārtas, kas, varētu teikt, patiešām redz priekšmetus un analizē to raksturīgās pazīmes: prot atšķirt suni no kaķa un pazīst alfabēta burtus neatkarīgi no raksta tipa un burtu izmēriem.

Šīs iekārtas sauc par perceptroniem. To pamatā ir tā pati elektronu lampa. Tomēr ar to vien neiztiek. Lai perceptroni varētu pazīt priekšmetus (resp., to attēlus), signālus apstrādā ar ESM.

## KUR LAI ŅEM SIMT SAUĻU!

Pirmo televīzijas sistēmu izgudroja poļu inženieris Nipkova. Ikonoskopā viņam, protams, nebija. Raidāmo attēlu viņš pēc tā paša principa sadalīja elementos, izmantodams nevis elektronisku, bet gan mehānisku ierīci — disku, kuram bija daudz apaļu (labāki, protams, būtu bijuši kvadrātiski) caurumiņi. Uz nelielas diska daļas tika projicēts attēls. Diskam rotējot, katrs caurumiņš «zīmēja» vienu rindu. Caurumiņi bija pa spirāli izvietoti dažādā attālumā no diska centra, turklāt ar tādu aprēķinu, lai ik nākamais savu rindu «zīmētu» mazliet zemāk par iepriekšējo. Gaismas kūlis, izgājis cauri kārtējam caurumiņam, nokļuva fotoelementā, kura strāva bija proporcionāla gaismas stiprumam, t. i., attēla kārtējā punkta gaišumam.

Tātad fotoelementa strāva mainījās atbilstoši tam, kā mijās attēla gaišie un tumšie punkti, kamēr viens no caurumiņiem «zīmēja» savu rindu. Tas pats atkārtojās ar

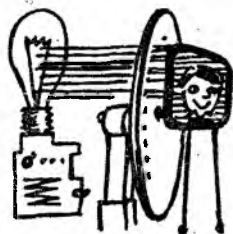
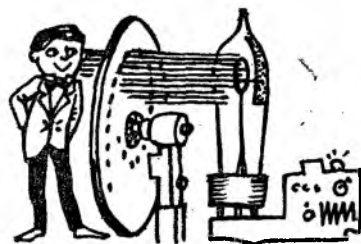
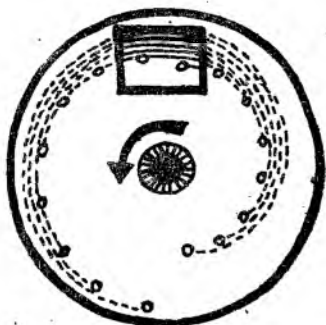
vīsām 30 rindām pēc kārtas (Nipkova diskā bija 30 caurumiņu, vairāk nevarēja atļauties ierobežotā diska rotācijas ātruma un citu iemeslu dēļ). Fotoelementa strāvu pastiprināja un pēc tam izmantoja nesējviļņa modulēšanai.

Uztvērējā radās tāda pati strāva. To pievadīja spuldzei, kuras gaišums mainījās vienā ritmā ar to. Starp spuldzi un ekrānu novietoja otru Nipkova disku, kas bija vienāds ar raidītāja disku un rotēja sinhroniski (un sinfāziski) ar to, t. i., abos diskos caurumiņi reizē atradās pret vienu un to pašu kadra punktu, tāpat kā elektronu kūļi ikonoskopā un miljonos uztverošo kineskopu. Ideja, kā redzam, ir vienkārša. Bet kāda jezga bija ar tās realizēšanu!

Trīsdesmitajos gados Maskavā, 25. oktobra ielā (tolaik to sauca par Ņikoļska ielu), darbojās eksperimentāla televīzijas studija; aparatūrā izmantoja Nipkova diskus. Kas no tā iznāca, varam secināt, ja pāršķirstām tālaika žurnālus.

«Pirms televīzijas pārraides sākuma notiek ne mazums komisku scēnu. Aktieris ir pieradis pie parastā teātra grima. Lūpām jābūt sarkanām — citādi nemaz nevar būt. Bet te pēkšņi — kāds pārsteigums! — grimētājs triepj viņam uz lūpām... tumšzaļu krāsu. Viņu, kas ir spēlējis jau simtiem lomu, to vidū Otello, nēģerus, Kvazimodo, vēl gan neviens nav iedrošinājies izraibināt kā eksotisku kakadū papagaill!»

«...Vingrotājs uzstājās melnās biksītēs, uz tumša fona. Uztvērēja ekrānā biksītes bija izzudušas. Tumšo fonu aiz-



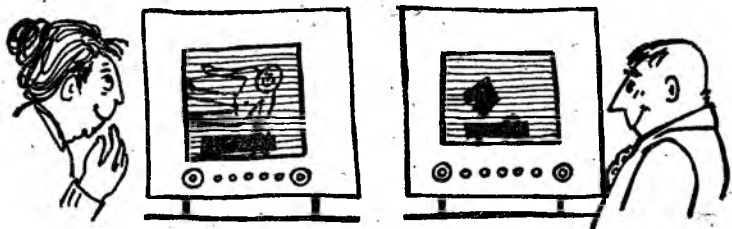


stāja ar gaišu. Efekts bija vēl satriecošāks: biksītes ekrānā bija redzamas lieliski, bet izzudis bija... pats vingrotājs.»

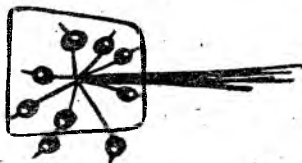
Kas tur bija par nelaimi? Kāpēc ar Nipkova disku nevarēja iegūt tādus pašus attēlus, kādus redzam tagadējos teleekrānos?

Vispirms jau ir slikti, ka attēlu sadala (izvērš) tikai trīsdesmit rindās. Tādu nav tikami vērot: vienlaidu attēla vietā redzams tikai retu rindu režģis. Bet ar to vēl varbūt varētu samierināties, ja vien... Ja vien neizzustu biksītes vai vingrotājs. Bet kāpēc tie izzūd? Priekšmetam kadrā taču labāk vai sliktāk būtu jābūt redzāmam arī tad, ja rindu skaits ir ļoti mazs!

Tomēr priekšmets izzūd — un tas nozīmē, ka fotoelements nav sajutis starpību starp fona izkliedēto un priekšmeta atstaroto gaismu. Un to var saprast: caur nelielo diska caurumiņu ir izgājusi tikai neliela daļa gaismas, pārējo disks ir atstarojis, un tā ir gājusi zudumā. Šī izšķērdība ir visu nelaimju — ij zaļo lūpu, ij izzudušo biksīšu — cēlonis.



Ir aprēķināts, ka ar Nipkova disku iegūtais kadrs kļūtu tikpat ass (skaidrs), kāds ir modernā televizora kadrs, ja gaismas avots dotu simt reižu stiprāku apgaismojumu nekā tieša saules gaisma.



Bet vai šāds uzdevums — radīt gaismas avotu, kas aizstātu simt sauļu, — ir reāls?

Vai labāk nav izmantot gaismu ekonomiskāk?

Inženieris Zvorikins rīkojās tieši tā. Jau 1907. gadā Pēterburgas universitātes profesors Boriss Rozings izteica domu, ka televīzijas uztvērējā jāizmanto katodstaru lampa. Viņa skolnieks Zvorikins šo ideju attīstīja tālāk un izstrādāja pārraides lampu, kas spēja «uzkrāt gaismu».

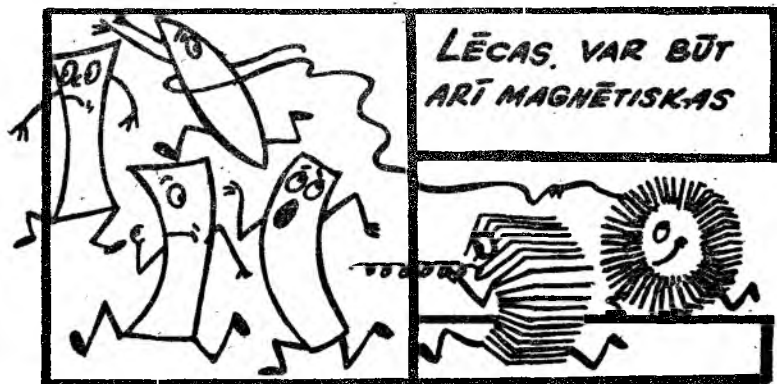
Kā tas notiek?

Pavisam vienkārši. Vajag tikai Nipkova metodi salīdzināt ar iepriekš aplūkoto moderno attēla veidošanas metodi, un viss kļūst skaidrs. Lampas ekrānu neaizsedz nekāds caurumots disks, nedz arī kas tam līdzīgs. Visa gaisma, ko priekšmets atstarojis pārraides lampas virzienā, krīt uz ekrāna. Tas ir pats galvenais, ar ko modernā pārraides lampa ir pārāka par Nipkova disku.

Gaismas uzkrāšanas metodei ir dažādi varianti.

Paragrāfā «Kā pārraida attēlu» aplūkoto pretestības mainīšanos gaismas iedarbībā sauc par iekšējo fotoefektu. Bieži pārraides lampu ekrānus pārklāj ar materiālu, kurā izpaužas ārējais fotoefekts. Starpība starp šiem efektiem atspoguļota to nosaukumos. Ārējais fotoefekts — tā ir elektronu «izlākšana» ārā no jutīgā slāņa līdzīgi tam, kā, piemēram, mēdz izšļakstīties pilieni, kad uz ūdens virsmas nokrīt kāds priekšmets. Jo stiprāka ir gaisma, jo vairāk elektronu «izšļakstās» no gaismjutīgā slāņa attiecīgā punkta. Kad elektronu kūlis, kas notausta rindu pēc rindas, nonāk šajā punktā, tas slānim atdod daļu savu elektronu — turklāt jo vairāk, jo vairāk elektronu ir paguvjis «izšļakstīties» raidāmā kadra notaustišanas laikā. Kūlis slīd pa attēlu, kur gaiši apvidi mijas ar tumšiem, un attiecīgi mainās kūļa strāva (t. i., elektronu «lidošana» no katoda uz ekrānu).

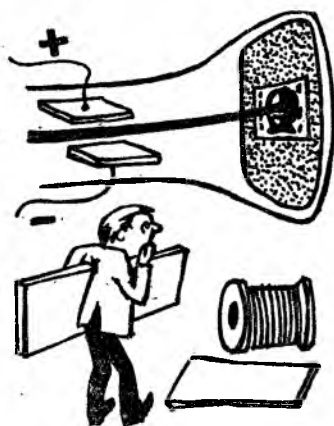
Arī tādējādi uzkrājas gaisma. Gaisma uz ekrāna krīt visu pārraides laiku, elektroni arī «izšļakstās» visu laiku, bet «to krājumi atjaunojas» (speciālisti saka: atjaunojas slānis) ārkārtīgi īsā laika sprīdī (īsākā par mikrosekundi); tos, slīdēdams pa rindām, atjauno elektronu kūlis.



PAMATS IR SĀDS

### 3.44.

Iesākumā elektronu kūli lampās stūrēja, nolieces plātēm pievadot vajadzīgo spriegumu (sk., piemēram, 1.20.—1.24.). Bet, kad parādījās lielekrāna kineskopī, plātes ar šo uzdevumu vairs netika galā, jo kūli no taisnā ceļa spēja novirzīt tikai samērā mazā leņķī. Protams, izvērst kadru pa visu lielo ekrānu tādā gadījumā nav iespējams. Turklāt jāievēro, ka lielekrāna lampās ir arī augsts anodspriegums; līdz ar to liels ir arī elektronu ātrums. Pa spraugu starp plātēm tie izskrien tik ātri, ka tos novir-



zīt spētu tikai ļoti stiprs elektriskais lauks. Tādu lauku nav kur ņemt.

### 3.45.

Tomēr konstruktori bija neatlaidīgi: lauku starp plātēm viņi mēģināja padarīt

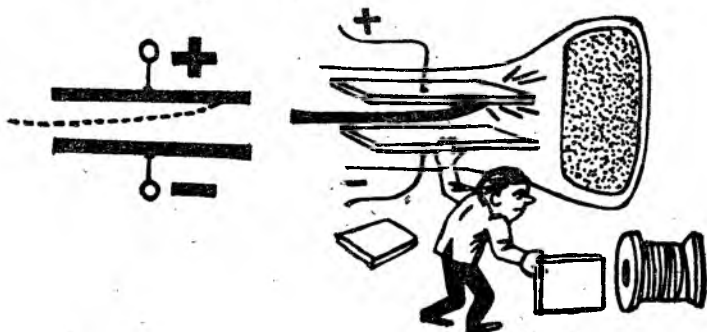
stiprāku. Sai nolūkā viņi plātes pietuvināja vienu otrai un tām pievadīja lielāku

spriegumu, kā arī palielināja to garumu (kūļa skriešanas virzienā), lai elektroni noliecošajā laukā atastos ilgāk.

Rezultāts bija paradokšāls; plates varētu novirzīt kūli vajadzīgajā leņķī, ja

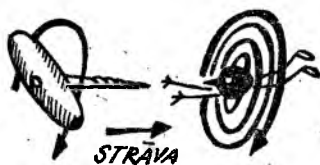
vien tas..., neuzskrietu virsū pozitīvajai plātei.

Tad konstruktori bija spiesti atcerēties, ka elektronu kūli var stūrēt ne tikai ar elektrisko lauku, kas pastāv starp plātēm, bet arī ar magnētisko lauku.



### 3.46.

Uz mierā esošu lādiņu magnētiskais lauks neiedarbojas. Bet elektronu kūli lādiņi atrodas nepārtrauktā kustībā («lido», «skrien», «joņo»), un kūlis, kā jau vairākkārt aizrādīts, ir ekvivalents noteiktai strāvai: absolūti nav svarīgi, vai lādiņi plūst pa vada materiālu vai pa vakuumu. Magnētisko lauku nosaka lādiņu skaits laika vienībā. Arī ap vienu pašu lidojošu elektronu, kā parādīts attēlos, pastāv magnētiskais lauks. Protams, šis lauks ir vājš.

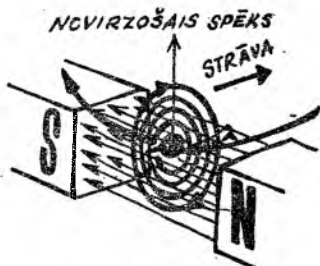
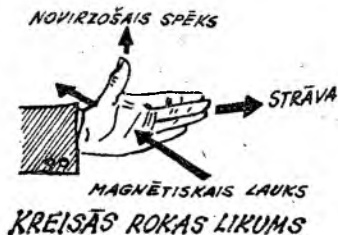


Tātad ap lidojošu elektronu ir īpašs «oreols» — magnētiskais lauks. Lauka virziens sakrīt ar korķuvilķa griešanās virzienu, ja korķuvilķa ass pārvietojas strāvas tecēšanas virzienā (tehnikajā; sk. arī 2.14.).



### 3.47.

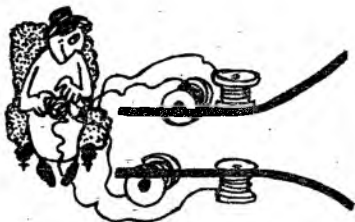
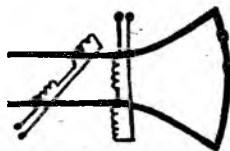
Vienā pusē elektronam (attēlā — zem tā) abi lauki — ārējais magnētiskais lauks un elektrona magnētiskais lauks — ir vērsti vienā virzienā, un tāpēc summārā lauka spēka līnijas šeit mazliet sabiezinās. Otrā pusē (attēlā — virs elektrona) abi šie lauki ir viens otram pretēji, un summārā lauka līnijas mazliet izretinās.



Sabeezinātās līnijas spiež vienu uz otru sāniskā virzienā, tiekdams izplesties. Šādas lauku mijiedarbības dēļ elektrons novirzās augšup, aiz inerces daļēji saglabādams arī savu iepriekšējo kustību. Var pierādīt, ka elektrons lido pa riņķa loku. Riņķa līnija var būt arī noslēgta (sk. turpmāk). Lādiņa kustība magnētiskajā laukā noris saskaņā ar kreisās rokas likumu.

### 3.48.

Lai radītu kūļa noliekšanai nepieciešamos magnētiskos laukus, televizoros lieto nevis pastāvīgos mag-



nētus, bet gan spoles. Spoļu pāris, kura ass ir vertikāla, kūli novirza horizontālajā plaknē. Otrs pāris, kas novietots horizontāli, kūli virza augšup un lejup. (Saskatāma pilnīga analogija

ar «krusta likumu» — sk. 1.24.)

Ja mainās horizontāli izvietoto spoļu strāvas virziens, mainās arī to magnētiskā lauka virziens (vienkāršāk izsakoties, vietām apmainās magnēta poli), un tagad kūlis noliecas nēvis

augšup, bet — pēc tā paša kreisās rokas likuma (sk. 3.47.) — lejup.

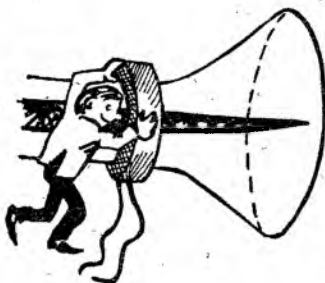
Ja spolēm pievadām zāģveida strāvu («ātro zāģi» — vertikālajām spolēm, «lēno» — horizontālajām), kūlim varām likt izvērst kadru (sk. 3.39.).

### 3.49.

Stūrējošās plates ir samērā grūti ievietot lampā, jo jāsaglabājas vakuamam. Šādu lampu ražošanas process ir sarežģīts. Lampu ar magnētisko nolieci ir vieglāk izgatavot, jo spoles tiek novietotas lampas ārpusē.



### 3.50.



Lampās, kā izrādās, ir nepieciešama vēl viena spole — fokusējošā. To uz-

bīda uz lampas kakla, un tā rada magnētisko lauku, kas vērsts lampas ass virzienā. Šāds lauks uz kūli iedarbojas tāpat kā lēca uz gaismas staru kūli — to fokusē, tā ka visi elektroni nokļūst vienā ekrāna punktā.

(Protams, tas nav «ģeometrisks punkts», kam nav nekādu izmēru, bet gan mazs plankums, kuru ikdienā tāpat saucam par punktu.)

## AUGSTĀKĀS PILOTĀŽAS FIGŪRAS

Viegli saprotams, cik svarīga televīzijā ir kūļa fokusēšana. Katrs kūļa elektrons taču ir «naidīgi noskaņots» pret saviem brālīšiem un, kad visi kopā lido vienā un tai pašā virzienā, cenšas tos atgrūst, jo viņiem visiem ir vienādas zīmes lādiņš. Televīzijas radītājiem. šī atgrūšanās savulaik sagādāja ne mazums rūpju.

Jūs, protams, atceraties, kā fiziķi ar šo parādību cīnījās, būvēdami pirmās katodstaru lampas. Lampā viņi iekārtoja nelielu cilindru, kas aptvēra kūli, un cilindram pievadīja negatīvu potenciālu. Cilindrs elektronus atgrūda, un tie koncentrējās lampas ass tuvumā, veidodami smalku kūlīti (sk. 1.19.). Bet, tiklīdz elektroni no cilindra bija izlidojuši, tie atkal sāka izklīst uz visām pusēm. Jo tuvāk ekrānam, jo vairāk pagūst izpausties šī atgrūšanās un jo izplūdušāks kļūst kūlis. Mēģināt ar šādu «pūkainu» kūli izveidot asu attēlu (uzzīmēt smalku līkni utt.) ir tikpat bezcerīgi kā mēģināt ar krāsotāja otru uzgleznot detalizētu portretu.

Tā tad jārada sistēma, kas būtu līdzīga parastajai optiskajai lēcai un kūli fokusētu tā, ka fokuss atrastos tieši uz ekrāna virsmas.

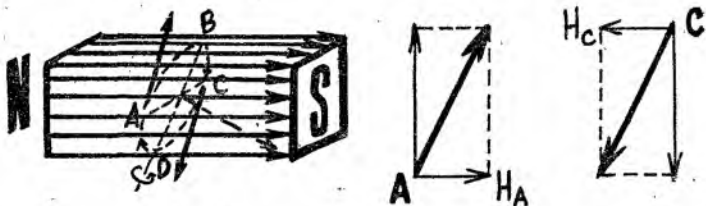
Šāda sistēma ir magnētiskās lēcas. Ja spoli uzbīda uz lampas kakliņa un spolē ieslēdz strāvu, rodas magnētiskais lauks, kura spēka līnijas — kopumā — ir paralēlas lampas asij.

Spoles gala rajonā laukam ir arī tā sauktā radiālā komponente, kas vienā galā vērsta uz iekšu, otrā — uz āru (sk., piem., 2.15. paragrāfa attēlu). Pa spoles iekšieni ejošās lauka līnijas mazliet atgādina labības kūlīti. Līniju «izplūšana» fokusa asumam nekaitē; svarīga ir tikai lauka simetrija attiecībā pret lampas asi jeb, kā saka speciālisti, *aksiālā simetrija*. Spoles laukam tā piemīt.

Elektrons, kas lido precīzi pa magnētiskā lauka spēka līniju, šo lauku nejūt, jo paša elektrona lauka līnijas ir ārējam laukam perpendikulāras un visapkārt elektronam šo lauku «deformē» vienādi: ne vienā, ne otrā pusē no elektrona nerodas summārā lauka līniju sabiezējums vai retinājums, bet, kā jau zinām (sk. 3.47.), tāds ir nepieciešams, lai magnētiskais lauks iedarbotos uz elektronu.

Bet kas notiks, ja elektrons novirzīsies no kursa un, piemēram, sāks joņot lejup?

Punktos *B* un *D* elektrona lauka un ārējā lauka līnijas paliks savstarpēji perpendikulāras, turpretī punktos *A* un *C* — ne. Elektrona lauka līnijas (elektrona «oreolu») var



sadalīt divās komponentēs — ārējam laukam perpendikulārā (šo komponenti var ignorēt) un tam paralēlā. Paralēlās komponentes  $H_A$  un  $H_C$  punktos  $A$  un  $C$  ir vērstas pretējos virzienos un punktā  $A$  izraisa summārā lauka palielināšanos, bet punktā  $C$  — pavājināšanos. Elektrons, paklausīdams magnētiskā lauka spēka līniju tieksmei izplesties sāniskā virzienā, pagriezīsies pa kreisi. Tiklīdz tas būs noticis, mijiedarbība starp elektrona lauku un ārējo lauku sāksies arī punktos  $B$  un  $D$ .

Ja atkārtosim visus iepriekšējos pārspriedumus, tad pārliecināsimies, ka šī mijiedarbība elektrona trajektoriju pavērsīs uz augšu. Bet agrākā iedarbība, kas to novirzīja pa kreisi, kaut cik saglabāsies. Tāpēc elektrons tieksies pārvietoties pa riņķi. (Šādu elektrona īpatnību pieminējām jau 3.47. punktā.)

Kāds būs galarezultāts?

Elektrons, kas novirzījies no kursa, ir kļuvis «divu kungu kalps» (varbūt pat triju). Kineskopa anoda elektriskais lauks, kā arī paša elektrona inerce (to ignorēt nedrīkst) tam joprojām liek lidot uz ekrāna pusi, bet magnētiskās lēcas lauks — riņķot. Ko lai tas šādos apstākļos dara? Tam neatliek nekas cits kā lidot uz ekrānu, tomēr nevis pa taisni, bet gan viražējot un tā veicot riņķi pēc riņķa. Elektrons «iekļūst grīstē» gluži kā lidmašīna. Maršruts ir aprēķināts precīzi: neatkarīgi no sākumātruma novirzēm (mums taču jāaprēķinās ar to, ka elektronu ir daudz) visi elektroni beigu beigās nokļūst vienā un tajā pašā ekrāna punktā.

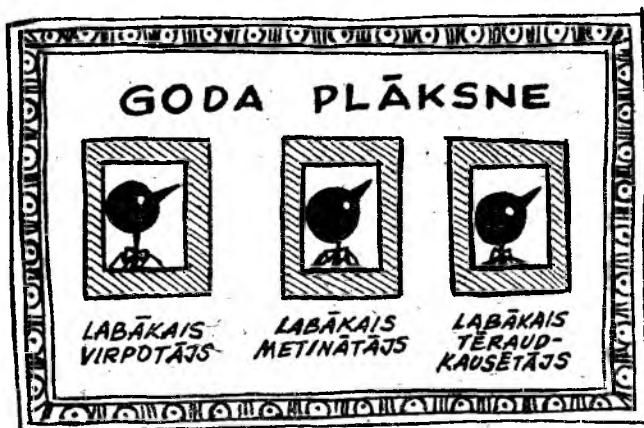


PAMATS IR ŠADS

### 3.51.

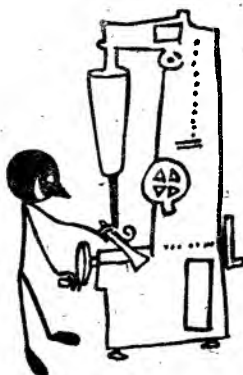
Fokusēts elektronu kūlis vajadzīgs ne jau tikai televīzijai vien. Metālu apstrādes tehnoloģijā šāds kūlis lieliski noder par griezēj-instrumentu.

Pēdējos gadu desmitos elektrons ir apguvis daudz blakusprofesiju. To vidū ir virpotāja, frēzētāja, metinātāja un metālkausētāja profesija.



### 3.52.

Vakuūmkamerā ievieto mums jau pazīstamo elektronu lielgabalu un apstrādājamo metālu. Lai ar kūli to varētu griezt, kūli jābūt vismaz simt reižu vairāk elektronu nekā kineskopa kūli. Bez tam kūlim jābūt arī ļoti smalkam, smailam («asam»); šai nolūkā kūli ar magnētisko fokusējošo lēcu koncentrē tā, lai tā diametrs nepārsniegtu dažus mikrometrus. Turklāt kūli ir sakoncentrēta tāda jauda, ka vienā kvadrātcentimetrā (ja jaudas blīvums nemainītos) tās būtu tik, cik liela ir Krasnojarskas spēkstacijas turbīnu kopjauda. Tāpēc nav jābrīnās, ka punktā, kur kūlis skar metālu, ir tāda pati temperatūra kā uz Saules virsmas — ap 6000 grādu. Jebkuru — pat visgrūtkūstošāko metālu ar šādu kūli var griezt tikpat viegli kā sviestu ar virtuves nazi. Ja kūlis ir nekustīgs, metālā var «izurbt» (izdedzināt) caurumu, bet, kūli ar magnētisko vai elektrisko



lauku pavirzot vajadzīgajā veidā un virzienā, metālu varam frēzēt.

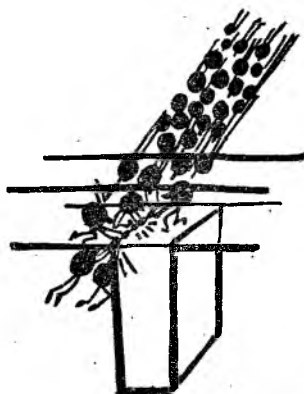
### 3.53.

Līdzīgi metālus var arī metināt. Kūļa jauda šādā gadījumā jau var sasniegt vairākus desmitus kilovatu. Uzdrāzdamies virsū metālam, elektroni tajā strauji nobremzējas, un visa to ki-

nētiskā enerģija pārvēršas siltumā. Šādā procesā 0,001—0,1 milimetra dziļumā izdalās simtiem reižu lielāka enerģija, nekā iespējams iegūt ar jebkuru citu siltuma avotu. Elektronu

kūļa izmantošana ir revolucionizējusi visu metināšanas tehnoloģiju. Piemēram, ir kļuvusi iespējama metināšana vairākos «stāvos», kā arī T veida šuvju veidošana «cauri metālam».

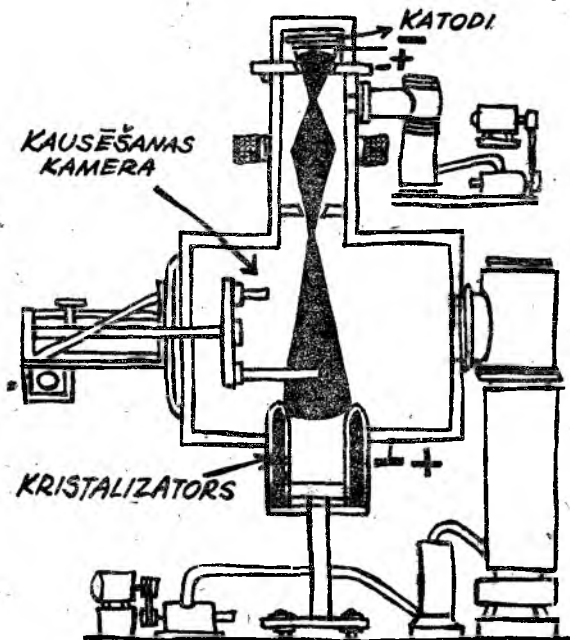
Kūli stūrējot, ar ļoti lielu precizitāti var veidot visdažādākās (izlocītas utt.) šuves. Metinātājs, kas instrumentu (degli, elektrodi utt.) tur rokās, šādu precizitāti nodrošināt nevar.



### 3.54.

Jaunas iespējas tika pavērusi arī elektroniskā kausēšana. Tā ļāva, izmantojot pārkausēšanu un kristalizā-

ciju, iegūt supertīras vielas. Šādas vielas ir nepieciešamas atomenerģētikā un raķeštechnikā; bez tām nevar



iztikt arī pati elektronika. Piemēram, ir zināms, ka pusvadītāju ražošanā vajadzīgs germānijs; kura vienā kilogramā piemaisījumu nav vairāk par grama desmitmiljondaļu (t. i., procenta simtmiljondaļu). Tik tīru metālu ļauj iegūt šādi paši elektronu kūli. Vienīgi nepieciešams līdz pusotra tūk-

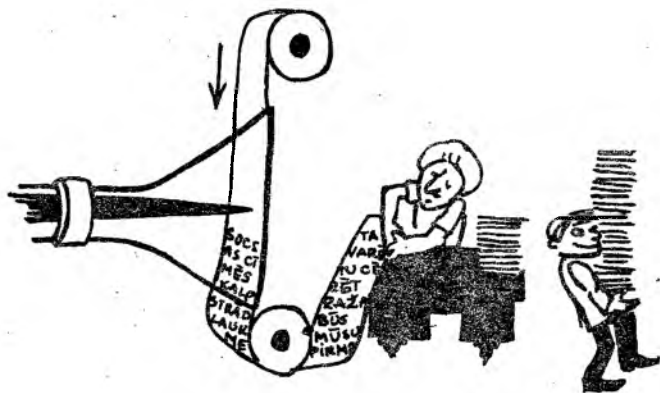
stoša kilovatiem palielināt kūļa jaudu. Kausējamo metālu izmanto par anodu. Tas izkūst un satek kristalizatorā, bet piemaisījumi iztvaiko un nosēžas uz kameras sienām.

Šo procesu vairākas reizes atkārtoti, kamēr ir sasniegta nepieciešamā tīrības pakāpe.

### 3.55

Elektronu kūlis dod iespēju jaunā veidā iespiest grāmatas. Iekārta atgādina televizoru; ekrānu tajā aizstāj papīra lente, uz kuras kūlis zīmē rindu pēc rindas, kūlis ir modulēts ar iespījamā teksta attēlu. Papīra vietās, kur krīt kūlis, saglabājas lādiņš. Elektrizētais papīrs virzās gar izsmidzi-

nātās tipogrāfijas krāsas «mākonī» un pievelk sikos krāsas pilieniņus, kas papīram pielīp tais vietās, uz kurām ir projicējušies burti (un citas zīmes). Sekundē ar šādu iekārtu var iegūt 25 novilkumus,\* kamēr, piemēram, rotaprints minūtē iespiež ap 30 lappušu.



\* Tas ir tāds pats ātrums, ar kādu noris projicēšana televīzijā — 25 kadri sekundē.



## DAĻIŅA VAI VILNIS?

«Elektrons ir tikpat neizsmejams kā atoms,» šā gad-simta sākumā rakstīja Vladimirs Ļeņins. So vārdu parei-zību apstiprinājusi visa turpmākā fizikas attīstība.

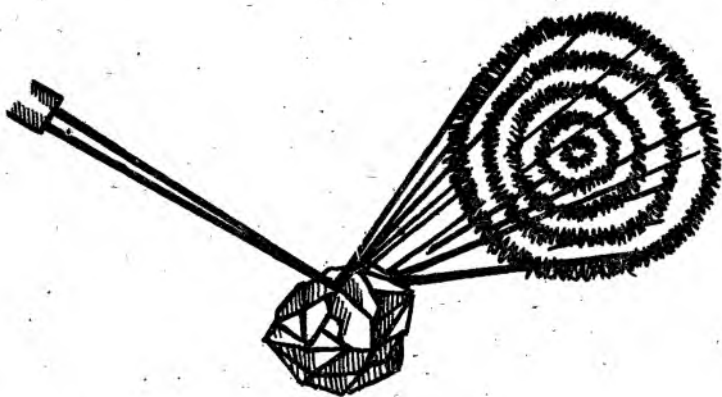
Elektrona atklāšana bija tikai pirmā iepazīšanās ar šo daļiņu. Nākotnē vēl jānoskaidro elektrona struktūra, jāiz-pēta, kā tas uzbūvēts.

Pagaidām mēs pazīstam tikai tās elektrona īpašības, kuras ir konstatējamas «no ārienes», «no malas». Un pat tās ne visos gadījumos mums ir saprotamas.

Parasti elektrons izturas kā lādēta daļiņa. Tomēr fiziķi ir sastapušies arī ar gadījumiem, kur tas izturas kā vilnis.

Ja gaismas viļņi, kas atstarojušies no kristāla, krīt uz ekrāna, tad zināmos apstākļos ir novērojama interferences aina. Tā izskaidrojama vienkārši: atsevišķo kristāliņu at-starotie viļņi summējas. Vietās, kur kore sastopas ar kori, viļņi cits citu pastiprina; vietās, kur kore satiekas ar ieplaku, rodas tumša josla. Tā kā kristāla struktūra ir regulāra, tad ekrānā ir novērojama labi atšķirama tumšo un gaišo joslu mija.

Tāpat interference liecina, ka mums ir darišana ar viļ-ņiem. Bet kāpēc tādas pašas joslas rodas, kad kristāls atstaro elektronu kūli? Vai tad arī kūlī ir kores un iepla-kas un tād viļņi? Kas tādā gadījumā ir elektrons — daļiņa vai vilnis?



1924. gadā uz šo jautājumu\* atbildēja jau pieminētais fiziķis Luijs de Brojī. Atbilde bija negaidīta: elektrons reizē ir gan daļiņa, gan vilnis. De Brojī arī uzrakstīja svarīgo formulu, pēc kuras viegli aprēķināms elektronam piekārtotā viļņa garums: formulā jāievieto elektrona masas un ātruma skaitliskās vērtības.

## ELEKTRONS UN «GRIBAS BRĪVĪBA»

Fiziķi pie šādas dualitātes jau bija pieraduši. Arī gaisma — elektromagnētiskie viļņi — sastāv no fotoniem, t. i., no matērijas daļiņām. Šī īpašība, jādodomā, piemīt ne jau tikai vienam vienīgam matērijas veidam. Piemēram, ir pamats domāt, ka arī vispasaules gravitācijas būtība ir duāla: no vienas puses — gravitācijas lauks, no otras — pagaidām neatklāta daļiņa, tā sauktais gravitons.

Tomēr visu nevar mērīt ar vienu mērauklu.

Kaut arī vienādojumi ir līdzīgi, elektrona vilnis nav tas pats, kas elektromagnētiskais vilnis. Elektrona vilnis ir varbūtības vilnis.

Tumšās joslas uz ekrāna atbilst varbūtības viļņa ieplakām. Varbūtība, ka elektrons nokļūs tajās, ir ļoti maza. Viļņa kore atbilst vislielākajai varbūtībai, t. i., vairums elektronu trāpa tajos ekrāna punktos, kur izvietotas varbūtības viļņu kores. It kā loģiski. Un tomēr...

Kāpēc vieni elektroni nokļūst punktā ar lielu varbūtību, bet citi — tur, kur varbūtība ir maza? Apstākļi taču tiem ir vienādi! Kāpēc tad tie uzvedas dažādi?

Daži fiziķi šo faktu izskaidro apmēram tā: elektrons savu ceļu izvēlas pats. Elektronam — tā viņi apgalvo — piemīt «gribas brīvība»: kur gribu, tur lidoju.

Tomēr pret šādiem pārspridumiem jāizturas kritiski. Elektronu dažādajā uzvedībā izpaužas statistiskās likumsakarības, kurām šo daļiņu kustība ir pakļauta gluži vienkārši tāpēc, ka daļiņu ir ārkārtīgi daudz.

Dabas likumi pastāv neatkarīgi no cilvēka; cilvēks tos tikai izzina un liek lietā. Kāpēc būtu jārunā par elektrona «gribas brīvību»? Visa elektronikas vēsture taču liecina, ka pār elektronu valda dabas likumi; tos zinot, elektronu var pakļaut cilvēka gribai.

\* Kāds asprātīgs mūsdienu teorētiķis uz jautājumu, kas tad isti ir elektrons, daļiņa vai vilnis, esot atbildējis, ka «elektrons ir elektrons», *Tulk. piez.*

## KĀ SASKATĀMA MOLEKULA?

Ja dabā pastāv elektronu viļņi jeb, citiem vārdiem sakot, elektronu plūsmai piemīt viļņējāda daba, var likt lietā arī to. Šiem viļņiem ir svarīga priekšrocība salīdzinājumā ar gaismas viļņiem: tie ir daudz īsāki.

Vai jums nav gadījies redzēt, kā jūras vilnis apskalo krasta klintis? Uz mazu šķērslī šis vilnis nemaz nereaģē (nelielu akmeni u. tml.) — paskrien garām tā, it kā šķēršļa nemaz nebūtu bijis. Bet, ja priekšā atrodas liela klints, aina ir citāda: klints atsviestais vilnis dodas pretī viļņiem, kas tam seko, un klints piekāpjē var vērot uzbrūkošo un atstaroto viļņu mijiedarbības pēdas.

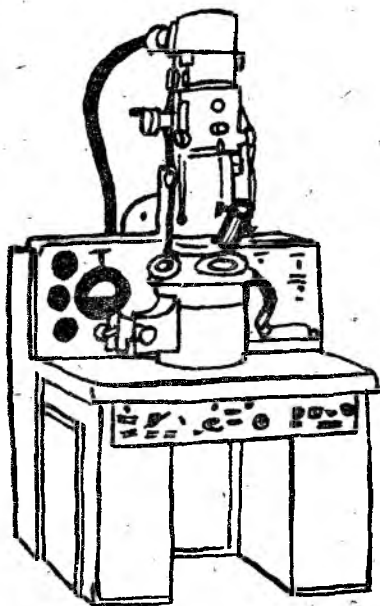
Gaismas vilnis dara tāpat. No priekšmetiem, kuru izmēri ir būtiski mazāki par viļņa garumu, tas neatstarojas. Ja attālums starp diviem objektiem ir mazāks par gaismas viļņa garumu, tie nav izšķirami. Tāpēc optisko mikroskopu iespējas ir ierobežotas: mikroskopa lēcu sistēma taču darbojas, noteiktā veidā lauздama tieši gaismas viļņus.

Vismazākā šeit saskatāmā priekšmeta izmēri ir samērojami ar gaismas viļņa garumu. Šis garums ir dažas milimetra desmtūkstošdaļas jeb, precīzāk formulējot, no

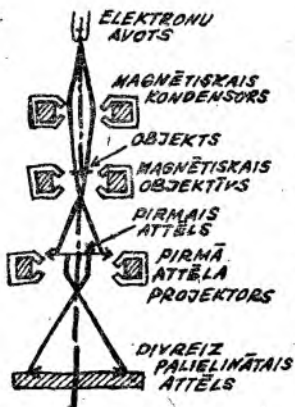
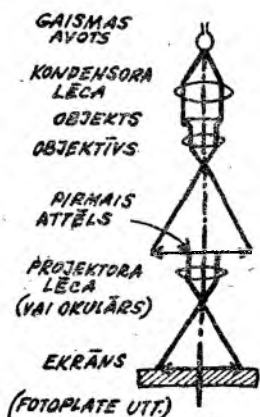
0,4 mikrometriem (violetā gaisma) līdz 0,7 mikrometriem (sarkanā gaisma). Lai objekta attēls kļūtu saredzams, tā izmēram šie lielumi jāpārsniedz. Tikai šādā gadījumā tā attēlu ir iespējams palielināt līdz saskatāmam lielumam, vismaz līdz dažiem milimetriem jeb vairākus tūkstošus reižu.

Tādas ir optiskā mikroskopa iespēju robežas.

Ar elektronu mikroskopu ir pavisam citādi. Tajā strādā elektronu viļņi, kas var būt pat simttūkstoš reižu īsāki par gaismas viļņiem. Elektroniem tikai jāpiešķir zināms ātrums, lai tie, pakļaudamies de Brojī formulai, kļūtu par



OPTISKO LĒCU SISTĒMA  
PARASTĀJĀ MIKROSKOPĀ



MAGNĒTISKO LĒCU SISTĒMA  
ELEKTRONU MIKROSKOPĀ

vajadzīgā garuma viļņiem. Tiesa, pārāk vienkārši tas nav: lai elektronu ātrums būtu tāds, kāds vajadzīgs, anodspriegumam jābūt mērāmam simttūkstošos voltu!

Uzdevumu, ko parastajā mikroskopā veic optiskās lēcas, elektronu mikroskopā izpilda mums jau pazīstamās magnētiskās lēcas.

Mūsdienu elektronu mikroskopa palielinājums desmit-tūkstoš reižu pārsniedz optiskā mikroskopa palielinājumu. (Patiesībā būtu jārunā nevis par palielinājumu, bet par izšķirtspēju, taču tas ir speciālās literatūras temats.) Vienīgi elektronika devusi iespēju saskatīt molekulu, novērot vīrusu vairošanos un pētīt olbaltumvielu struktūru. Šis zināšanas būtiski veicinājušas bioloģijas progresu. Nozīmīgs ir arī elektronu mikroskopijas ieguldījums cietvielu fizikā un vairākās citās nozarēs.

## KO IZSTARO SMADZENES!

Kādā KPFSR Zinātņu akadēmijas laboratorijā A. Sokolova vadībā pievērsās jaunam un interesantam jautājumam: vai ir iespējams pierakstīt un atšifrēt neizteiktus vārdus? Kādi bija eksperimentu rezultāti?

Atklājās, ka dažas desmitdaļas sekundes pirms tam, kad mēs izrunājam vārdu, runas aparāta orgāni saņem signālu no smadzenēm. Ja cilvēkam, ar kuru izdara eksperimentu, pie mēles vai lūpām pieslēdz īpašus elektrodus, šo signālu var konstatēt pat gadījumos, kur vārds tiek izteikts tikai domās, nevis dzirdami.

Tā tad var lasīt domas? Daļēji jā. Tiesa gan, šādu signālu ierakstu — tā sauktos *biopotenciālus* — nav viegli atšifrēt. Tomēr dažas neizsacītas skaņas jau ir iespējams izlasīt. Tāpat ir izdevies konstatēt, ka biopotenciāli ir tieši saistīti ar domāšanas procesu: jo grūtāks jautājums uzdots pārbaudāmajam, jo augstāks ir izmērītais potenciāls.

Pats par sevi saprotams, ka bez elektronikas nekas nebūtu paveikts. Biopotenciālus pierakstot, jāpastiprina ārkārtīgi vājš signāls; ieraksta apstrādei un atšifrēšanai izmanto elektroniskos skaitļotājus.

Bet vai šos signālus nevarētu mērit tieši to ģenerēšanās vietās? To avots taču ir smadzenes, bet elektronika smadzeņu radītās biostrāvās ļauj pierakstīt encefalogrammās. Tas izdarāms, galvas dažādām daļām pieslēdzot elektrodus. Lai kontakts būtu labāks, elektrodus piepilda ar īpašu ziedi, kas vada elektrību. Katra elektroda spriegumu pievada savam pastiprinātājam. Pastiprinātais signāls tiek pievadīts elektromehāniskai rakstāmekārtai vai arī speciālam oscilogrāfam. Uz oscilogrāfa ekrāna (vai arī uz pašrakstītāja lentes) ir redzamas sarežģītas un daudzveidīgas liknes, kas atspoguļo smadzeņu garozas dažādo apvidu aktivitāti: trīsdesmit dažādiem punktiem atbilst trīsdesmit dažādas liknes.

Bet ir taču jāievēro, ka ikviena punkta spriegumā summējas iedarbība, kuras avots ir miljoniem nervu šūnu, kas savā starpā apmainās ar neskaitāmiem un dažādiem impulsiem; tāpēc kļūst saprotams, kā signālu atšifrēt nav vienkārši. Gluži tāpat jūs nesadzirdēsiet neviena artikulēta vārda, ja reizē pieslēgsities pie visa telefona kabeļa, kas no viena pilsētas gala uz otru nes tūkstošiem sarunu.

Tāpēc nav jābrīnās, ka pagaidām ir izdevies atbildēt tikai uz dažiem pašiem svarīgākajiem jautājumiem: kādas ir smadzeņu signālu galveno komponentu frekvences, kā nomods atšķirams no miega, kā var pazīt dažus saslimšanas gadījumus? Turpretī līdz vārdu vai domu atšifrēšanai vēl ir tālu.

4. NODAĻA

# PRETĪ AIZVIEN AUGSTĀKĀM FREKVENCĒM

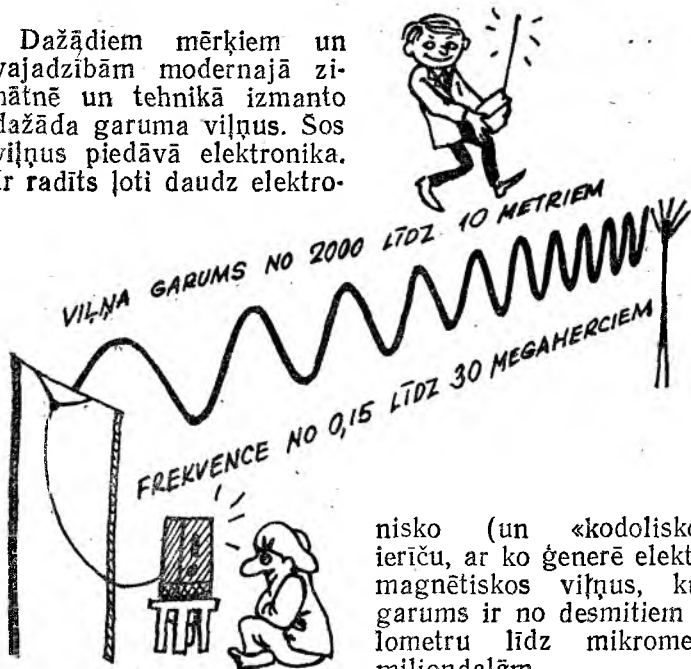
Par to, kā cilvēce  
gadu pēc gada apguva  
aizvien īsākus un  
īsākus viļņus un ko  
pieredzēja elektronika,  
ielauzdamās superaugsto  
frekvenču valstībā,



## PAMATS IR ŠĀDS

### 4.1.

Dažādiem mērķiem un vajadzībām modernajā zinātnē un tehnikā izmanto dažāda garuma viļņus. Šos viļņus piedāvā elektronika. Ir radīts ļoti daudz elektro-



nisko (un «kodolisko») ierīču, ar ko ģenerē elektromagnētiskos viļņus, kuru garums ir no desmitiem kilometru līdz mikrometra miljondaļām.

## 4.2.

Radiosakariem izmanto viļņus, kas ietilpst diapazonā no diviem kilometriem līdz desmit metriem.\*

Pēc formulas, kas atrodama 3.15. punkta attēlā,

var aprēķināt, ka divus kilometrus garam viļņim atbilst 0,15 MHz (jeb 150 kHz), bet desmit metrus garam — 30 MHz liela frekvence.

## 4.3.

Televīzijas viļņu diapazons atrodas līdzās radioviļņu diapazonam. Tajā ietilpst vienu līdz sešus metrus gari viļņi. Atbilstošās frekvences ir 300 līdz

50 MHz. Tātad diapazons, ko izmanto televīzijas pārraidēm, ir divsimt piecdesmit ( $300 - 50 = 250$ ) megahercus plats.



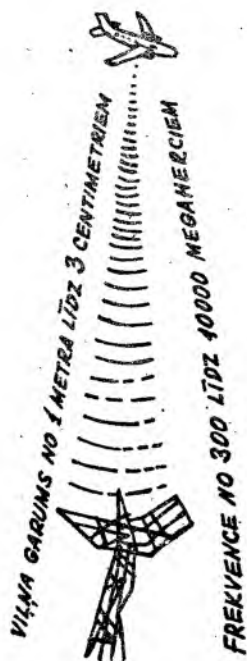
\* Mūsdienās, piemēram, kosmiskajās radiolīnijās, izmanto 100—32 000 MHz diapazona (protams, tikai dažu starptautiski reglamentētu joslu) viļņus; televīzijā (sk. turpmāk) ir apgūti arī decimetru viļņi utt. *Tulk. piez.*



#### 4.4.

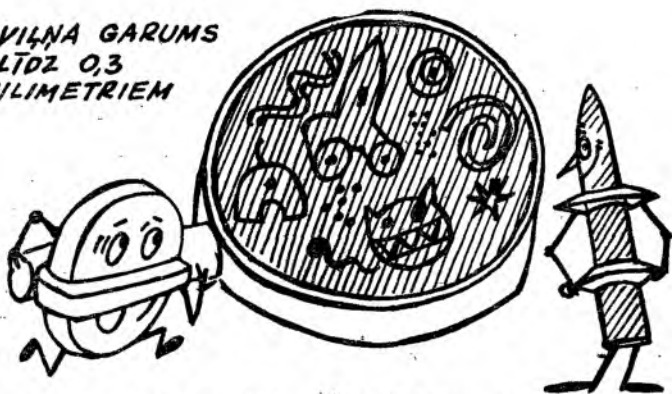
Televīzijai kaimiņos ir izvietojusies radiolokācija. Tajā izmanto viļņus, kuru garums ir no vairākiem metriem (tomēr biežāk — mazāks par metru) līdz 3 centimetriem jeb frekvence apmēram no 300 līdz 10 000 MHz. Tātad frekvenču diapazona platums ir  $10\,000 - 300 = 9700$  MHz. Tik platā diapazonā vietas pietiek visiem. Pēdējā laikā šī diapazona viļņus aizvien biežāk izmanto arī radiosakariem. Sakaru tālumu palielina ar retranslatoriem, nereti kosmiskiem: ir radīta vesela retranslatorpavadoņu gamma.

Centimetru viļņus iegūst ar speciālām ierīcēm, piemēram, ar magnetronu, klisotronu un skrejviļņa lampu.



#### 4.5.

VIĻŅA GARUMS  
LĪDZ 0,3  
MILIMETRIEM



FREKVENCE LĪDZ 1 MILJONAM MEGAHERTCU

Pēdējā laikā elektronisko ierīču kuplā saime ir paplašinājusies ar jaunām ierīcēm, kas ģenerē milimetru un vēl īsākus (submilimetru) viļņus.

Ir radīti diokotroni, kar-sinotroni, harmodotroni,

mikrotroni, rezonotroni utt., u. tml. Tās visas ir eksperimentālas ierīces, un pagaidām nav skaidrs, kura no tām nākotnē kļūs tikpat populāra, kādas pašreiz ir to vecākās «māsas» — magnetrone un klistrons.

#### 4.6.

Sakariem un lokācijai izmantojamo viļņu frekvenču diapazonu būtiski paplašinājuši kvantģeneratori — lāzeri.

Lāzeru ienākšana zinātnē un tehnikā ļāvusi apgūt viļņus līdz pat 0,4 mikrometru garumam, t. i., līdz 0,75 miljardiem megahercu. Lāzeros izmantojamajiem viļņiem ir tāds pats diapazons kā

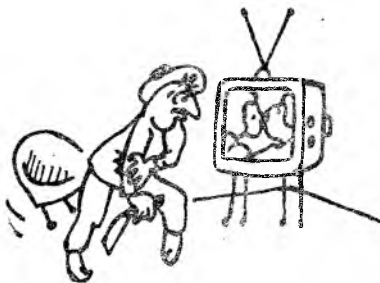
gaismai (t. i., viļņu garums ir no 0,4 līdz 0,7 mikrometriem, frekvence — no 0,75 līdz 0,42 miljardiem megahercu). Šis diapazons ir 40 miljonus reižu platāks nekā televīzijas kadra pār-raidei nepieciešamā frekvenču josla. Modernie lāzeri ģenerē viļņus, sākot ar mīksto rentgenstarojumu un beidzot ar milimetru viļņiem.



#### 4.7.

Tiekdamiem iepazīties ar aizvien augstāku un augstāku frekvenču svārstībām,

esam pārlēkuši pāri vienam pakāpienam — *infrasarkanajam starojumam*,



«Infra» nozīmē «zemāk». Infrasarkanajiem viļņiem ir zemāka frekvence nekā visgarākajiem gaismas viļņiem, kurus uzīveram kā sarkano krāsu. Protams, ar «neapbruņotu aci» infrasarkanos viļņus redzēt nevar. Tie ietilpst joslā starp milimetru viļņiem un gaismas viļņiem — aptuveni no 0,4 miljardiem līdz vienam miljonam megahercu jeb no 0,7 mikrometriem līdz 0,3 milimetriem.

Ļoti ērti šie viļņi ir izrādījušies lokācijā. Nav vajadzīgi nedz generatori, kas

izstarotu īsus to impulsus, nedz arī uztvērēji, kas «ķertu rokā» atstarotos impulsus: visi ķermeņi paši ir infrasarkanā viļņu generatori, «raidstacijas», jo būtībā infrasarkanie viļņi ir siltumviļņi, *siltumstarojums*. Vieni objekti izstaro no Saules saņemto siltumu, citi — paši savu (savas asins siltumu, motora siltumu utt.).

Lokatorā ir nepieciešams tikai jutīgs uztvērējs, lai tas pat piķamelnā tumsā spētu konstatēt šādus siltuma izstarotājus.

Modernajos gaismvadsaķaros plaši lieto tā sauktā tuvā infrasarkanā diapazona viļņus, kuru garuma kārtā ir 1  $\mu\text{m}$ . Optiskajā šķiedrā tie vājinās īpaši maz.

**VILNA GARUMS NO 300  
LĪDZ 0,7 MIKROMETRIEM  
FREKVENCE NO 1 LĪDZ  
400 MILJONIEM MEGAHERCU**



#### 4.8.

Visiem ļabi pazīstamais Rentgena aparāts darbojas ar viļņiem, kas ir līdz des-

mittūkstoš reižu īsāki par gaismas viļņiem: īsāko rentgenstarojuma viļņu ga-

rums ir mērāms mikrometra simttūkstoš daļās.

Elektronu mikroskopijā izmanto viļņus, kuru garums ir mikrometra miljondaļas. Tas ir savdabīgs «isuma rekords». (Runa ir par viļņiem, kas elektronu plūsmai atbilst saskaņā ar de Brojī formulu.)



#### 4.9.

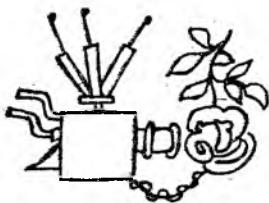
Visīsākie un visgarākie mums līdz šim zināmie viļņi nāk no kosmosa. Ir izdevies konstatēt pat 30 miljonus kilometru garus viļņus. Viens svārstību periods tiem ilgst 100 sekundes. Attālumā no Saules līdz Zemei saiet tikai pieci šādi viļņi.

Turpretī kosmiskie stari satur pat viļņus, kuru ga-

rums ir tikai 0,005 angstrēmi (mikrometra desmitmiljondaļas).

Angstrēms (Å) ir garuma vienība, ko lieto atomfizikā; 1 Å ir  $10^{-10}$  m jeb centimetra simtmiljondaļa. Varētu likties, ka angstrēms ir galīgi «neuzskatāms» un «nesaprotams». Tā tas nav. Atoma diametrs ir daži angstrēmi. Tātad iegūt priekšstatu par angstrēmu nozīmē arī iegūt priekšstatu par atoma apmēriem.

#### 4.10.



Lai aina būtu pilnīga, piebildīsim, ka, pēc dažiem pētījumiem, 8 līdz 14 mikrometrus gari viļņi ir «smaržu viļņi». Nav izslēgts, ka nākotnē, kad šie viļņi būs ap-

gūti, elektronika smaržas spēs pārraidīt tāpat, kā tagad pārraida attēlus vai skaņas.



## NO KILOMETRIEM LĪDZ MIKROMETRA DAĻĀM

Par elektronikas vēsturi var stāstīt ilgi. Bet visa «kods» ir ietverams īsā teikumā: elektronikas vēsture ir viļņu isināšanas vēsture.

Atmiņā atsvaidzināsim galvenos radiosakaru attīstības posmus. Vispirms tika apgūti garie viļņi.

Interesanti, ka H. Herca iegūto pirmo radioviļņu garums bija daži desmiti centimetru. Taču šie viļņi tika ģenerēti nevis ar elektronisko ierīci (tolaik tādas nepazina), bet gan ar dzirksteļstarpu; radiosakariem tos vēl ilgi neizmantoja.

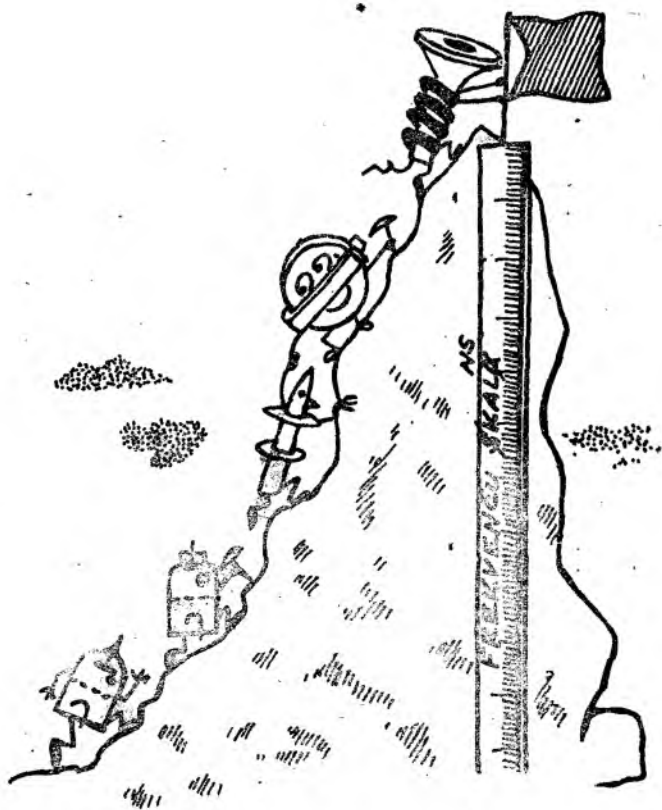
Pēc tam tika konstatēts, ka īsviļņi rikošetā spēj atlēkt no «debesīm» un no Zemes virsmas un tādējādi pat izplatīties visapkārt zemeslodei. Visa uzmanība tika pievērsta īsviļņiem.

Izmantojamo svārstību frekvences dažos gados izdevās palielināt par veselu decimālkārtu, t. i., apmēram desmit reizi. Tātad viļņu garumu izdevās tikpat daudz reizi samazināt.

Bija jau radusies arī televīzija. Tai bija vajadzīgi ultraīsviļņi (UIV). Atkal nācās desmit reizi paaugstināt frekvenci. Un sākās pirmie sarežģījumi: līdz ar pāreju uz ultraīsviļņiem triodes spēki bija tuvu izsikumam. Lampas konstrukcija bija jāpapildina ar jauniem tikliņiem. Tā radās tetrodes un pentodes. (Tās, it īpaši pentodes, noderēja arī darbam samērā zemu frekvenču diapazonā — ar vidējiem un garajiem viļņiem, kā arī toņfrekvencēm.)

Tomēr visas šīs grūtības vēl bija tīrais sākums: kad lokācijas vajadzībām bija jāapgūst centimetru viļņu diapazons, nācās no jauna izstrādāt visu aparātūru. Ar līdzšinējās konstrukcijas lampām tik augstu frekvenču svārstības vairs nevarēja pastiprināt; nederēja arī jau apgūtie rezonanses kontūri, kas sastāvēja no spoles un kondensatora. Elektronisko ierīču saimei radās papildinājums. Tika izstrādātas lampas, kurām stikla balonu aizstāja sarežģīta konstrukcija, kas bija izveidota no metāla un keramikas detaļām. Speciālistu terminoloģija bagātinājās ar tādiem mazzaprotamiem nosaukumiem kā «bākas tipa lampa», «klistrons», «magnetrons», «skrejviļņa lampa».

Tāds nu reiz bija elektronikas liktenis: miera un atpūtas nepazīstot, nācās rāpties augšup pa kraujo frekvenču skalas klīni. Tieši vārds «rāpties», kā liekas, vislabāk izsaka grūtības, kas bija jāpārvar, pakāpeniski apgūstot superaugstās frekvences. Ikvienā šā ceļa posmā radās savas problēmas, un tikai ar visas pasaules speciālistu neatlai-



dību, asprātību un izgudrotprasmi ir izskaidrojams, ka, par spīti visiem šķēršļiem, elektronika ieinteresētajām zinātnes un tehnikas nozarēm gadu no gada varējusi piedāvāt aizvien augstākas izstarojamo viļņu frekvences.

Šī tradīcija ir dzīva vēl šodien. Mūsu acu priekšā — pāris gadu desmitos — frekvenču paaugstināšanas virzienā ir atkal sperts milzu solis.

Parastais, no spoles un kondensatora veidotais svārstību kontūrs ir ticis aizstāts ar «kailu», atomu un molekulu veidotu rezonanses sistēmu. Rezultātā zinātnes un tehnikas nozare, ko grāmatas sākumā pa jokam nosaucām par fotoniku, veiksmīgi apgūst viļņus līdz pat mikrometra desmitdaļu garumam.

Tādi ir elektronikas sasniegumi, ja tos attēlojam uzskatāmi.

Pusgadsimtā elektronika viļņus ir «saspiedusi» miljardiem reižu: sākdamā ar vairākus kilometrus gariem viļņiem, nonākusi pie viļņiem, kas ir īsāki par mikrometru.

## CIK SVER ĪSVIĻŅI!

— Nu labi, — teiks lasītājs. — Droši vien paaugstināt frekvences un saīsināt viļņus tiešām nebija vienkārši. Bet vai vispār bija vajadzīgs ķerties pie tik grūta uzdevuma atrisināšanas? Radio taču iztika arī bez īsviļņiem!

Iztika gan. Tomēr radiosakaru tālums bija ierobežots. Un televīzijai pat īsās distancēs bija nepieciešami UIV. Ja jāraida daudz televīzijas programmu, vajadzīgi vēl īsāki viļņi. Kāpēc? Lūk, kāpēc.

Televīzijas signāla frekvenčkomponentu aizņemtā josla ir plata — no dažiem herciem apmēram līdz 6 MHz (sk. arī 3.41. un 3.42.). Ja izmantotu elementāro modulācijas principu, kuru aplūkojām paragrāfā «Neredzamais ekspresis» un punktos 3.29.—3.42., tad, «pamataudumam» uzklājot rakstu, šī josla būtu divas reizes jāpaplašina; ēterā katrs televīzijas kanāls aizņemtu divpadsmit megahercus platu joslu. Tā būtu neattaisnojama izšķērdība, ko neviens neatļaujas. Televīzijā, kā arī daudzkanālu telefonijā un citās radniecīgās nozarēs izmanto citādu pārraides sistēmu, ko sauc par vienaš sānjoslas pārraidi. «Ēterā ejošā» televīzijas signāla frekvenču joslas platums tajā ir nedaudz lielāks par 6 MHz; tehnisku iemeslu dēļ kanālus izvietoj 8 MHz vienu no otra.

Televīzija strādā UIV diapazonā, kas aptver frekvences no 50 līdz 300 MHz. Cik programmu vienlaidus var pārraidīt?

Tas aprēķināms vienkārši. Programmu skaits ir vienāds ar kanālu skaitu  $N$ , bet

$$N = (300 - 50) / 8 \approx 30.$$

Varētu likties, ka ar to pilnīgi pietiek: telecentri taču raida 2—4 programmas. Taču nepietiek vis. Ja, piemēram, lielā pilsētā gribēs radīt videotelefona tīklu, daži desmiti videopunktu piepildīs visu UIV diapazonu!

Bet cik šādu kanālu var radīt centimetra diapazonā?

Parēķināsim! Ja pieņemtu, ka mēs izmantojam tikai viļņus, kuru garums ir no 3 līdz 10 centimetriem un kuriem

atbilst svārstību frekvences no 10 000 līdz 3000 MHz, tad diapazona platums būtu 7000 MHz, bet kanālu skaits

$$N = 7000/8 = 875.$$

Tas jau kaut kas ir. 875 videotelefoni — tā jau tiešām ir videosakaru sistēma.

Bet ja pilsētā būtu desmitiem un simtiem tūkstošu videotelefona abonentu? Ko tad?

Nesējfrekvence, kas zemāka par 50 MHz, mums neder: «raksts» būs izkropļots. Visā diapazonā no 50 līdz 10 000 megaherciem (viļņu garums — no 6 m līdz 3 cm) izvietosies tikai

$$N = (10\,000 - 50)/8 \approx 1240 \text{ programmu.}$$

Kur lai ņem desmitiem un simtiem tūkstošu kanālu, kas nepieciešami, lai videosakarī būtu pieejami visiem? Atliek tikai viena iespēja: vēl radikālāk pašināt viļņus jeb paugstināt svārstību frekvenci.

Atkal var sākt likties, ka tas nav izdarāms: ja viļņu garumi kļūst mērāmi milimetra daļās, elektronisko ierīču «spēki izsīkst», tāpat kā jau pirmajā pašināšanas posmā tie «izsīka» triodei. Ko darīt? Uz visiem laikiem atteikties no idejas par vispārlietojamu videotelefonu?

Nē! Līdzās elektronikai jau eksistē arī fotonika, un tā ar šo uzdevumu var tikt galā.

Nedaudz apsteigdami pamatizklāstu, piebildīsim, ka optiskie kvantģeneratori (lāzeri) ģenerē gaismas viļņus, kuru garums, kā jau vairākkārt aizrādīts, ir no 0,4 līdz 0,7 mikrometriem, bet svārstību frekvence — no  $4 \cdot 10^{14}$  līdz  $7,5 \cdot 10^{14}$  periodiem sekundē, t. i., no 0,4 līdz 0,75 miljardiem megahercu.

Cik televīzijas programmu ietilps šajā diapazonā? To mēs jau protam aprēķināt:

$$N = (0,75 - 0,4) \cdot 10^9/8 \approx 43 \text{ miljoni.}$$

Tas jau ir vēriens! Tomēr mūsu uzkāpšana frekvenču kalna smailē bija tik strauja, ka diez vai lasītājs ar savu domu skatienu paguva izsekot visam, kas šai ceļā bija uzmanības vērts.

Tāpēc tagad mazliet atpūtīsimies un padomāsim.

Pieņemsim, ka uzskatāmības labad ar viļņu garumu drīkstam rīkoties tāpat kā, piemēram, ar zīmuļu garumu un, ja mums ir krāszīmuļu kaste, kurā atrodas pārdesmit



300 OPTISKO  
DIAPAZONU



zīmuļu 6 līdz 15 centimetru garumā, drīkstam teikt, ka šo zīmuļu «garumu diapazons» ir deviņus ( $15-6=9$ ) centimetrus «plats».

Ja izmantojam šo analogiju (zinātniski tā gan nav pamatota), tad varam teikt, ka visi gaismas viļņi ir izvietojušies tik īsā nogrieznī, ka tas nav saskatāms pat mikroskopā (sk. paragrāfu «Kā saskatāma molekula?»): šī no-

griežņa garums («viļņu garumu diapazona platums») ir 0,3 mikrometri. Zīletes biezums mēdz būt ap 300 reizu lielāks. Tātad zīletē «saiet» 300 reiz 43 miljoni televīzijas programmu!

Bet radiodiapazonā, ja tajā ietveram viļņus, kuru garums ir no viena līdz divtūkstoš metriem, var izvietot labi ja 35 teleprogrammas! Pirmajā brīdī tas izskatās pēc paradoksa.

Lūk, «submikroskopisks nogrieznis», kura garums ir 0,3 mikrometri. Tajā «saiet» visi gaismas viļņi. Bet te, lūk, garš ceļš, kas sākas vienu metru no jūsu nama sliekšņa, bet beidzas citā ielā aiz divām trolejbusa pieturām. Šajā ceļā varam izvietot visu izmantojamo radioviļņu garumus.

Kāpēc gan tik īsā, pat mikroskopā nesaskatāmā nogrieznī ietilpst miljons reizu vairāk informācijas nekā divus kilometrus garā ceļā?

Atbilde ir pavisam vienkārša. Novērtēdami, cik plati ir signālu spektri (šo jēdzienu mēs, tiesa gan, neesam, kā nākas, izanalizējuši, taču lasītājs aptuveni nojauš, par ko ir runa) un šo signālu pārraidei nepieciešamā kanāla josla,



mēs izmantojam nevis viļņu garumu skalu, bet gan frekvenču skalu.

Kā jau teicām, pēc pazīstamās formulas (sk. 3.14.—3.16.) varam pārliccināties, ka radiodiapazona visgarākajam vilnim (2000 m) atbilst 0,15 megahercu jeb 150 kHz frekvence. Turpretī gaismas viļņu diapazona visgarākajam vilnim ( $\lambda=0,7$  mikrometri) atbilst 0,45 miljardu megahercu frekvence. Tā ir trīs miljardus reižu augstāka nekā nupat pieminētā 150 kilohercu frekvence.

Apmēram tikpat daudz reižu skudra (tā sver apmēram 3 miligramus jeb trīs tūkstošdaļas grama) ir vieglāka par vidēju vali (sver apmēram 10 tonnu).

Vēlreiz jāprecizē kāds apstāklis. Iespējams, daudziem liksies divaini, ka «valis» ir nevis kilometros, bet gan mikrometra daļās mērāmie viļņi. Vali un skudru mēs salīdzinām nevis pēc lieluma, bet tikai pēc svara. Bet radioviļņu «svars» pieaug, frekvencei paaugstinoties.

Gaismas viļņu augstākā frekvence (aptuveni  $0,75 \times 10^9$  MHz) ir apmēram divas reizes augstāka par zemāko. (Tāpēc nereti runā par «gaismas viļņu oktāvu» elektromagnētisko viļņu skalā; mūzikā oktāva ir intervāls, kura augstākās skaņas frekvence ir precīzi divas reizes augstāka par zemākās skaņas frekvenci.) Gaismas viļņu diapazons, kas rēķināts frekvencēs, ir frekvenču skalas nogrieznis\* starp zemāko un augstāko frekvenci; tas ir  $0,75 \cdot 10^9 - 0,4 \cdot 10^9 = 0,35 \cdot 10^9$  MHz jeb 350 miljoni megahercu.

Turpretī radiosakaru diapazonā augstākā frekvence ir augstāka par zemāko nevis divas, bet gan 2000 reizes. Tomēr frekvenču diapazons ir būtiski šaurāks. Tā platums ir «tikai»  $300 - 0,15 = 299,85$  MHz jeb, apaļos skaitļos, tie paši 300 megaherci.

Arī šeit nav ko brīnīties. Divi vali sver par 10 tonnām vairāk nekā viens. Turpretī 2000 skudras ir smagākas nekā viena tikai par  $3 \cdot 10^{-3} \cdot 2000 - 3 \cdot 10^{-3} = 5,997$  gramiem!

Tāpat ir ar radioviļņiem. Salīdzinādami radiosakariem izmantojamā frekvenču diapazona platumu (300 MHz) ar optiskā diapazona platumu ( $350 \cdot 10^6$  MHz), lieku reizi pārliccināties, ka radiodiapazons «sver» vairāk nekā miljonu reižu mazāk par optisko diapazonu.

---

\* Atšķirībā no «viļņu garumu diapazona platumā», kuru salīdzinājam ar žileties biezumu utt., frekvenču diapazona platumam ir nopietna jēga: teorijā un praksē šo jēdzienu lieto plaši, un šeit to izmantojam ne tikai uzskatāmības labad.

## SAURO KŪĻU PROBLĒMA

Beidzot mums ir kļuvis skaidrs, kāpēc elektronikas speciālisti viļņus tā centušies pārsīnāt. Visplašākās iespējas jebkura veida informācijas pārraidei paveras tikai tad, ja izmanto pēc iespējas īsākus viļņus.

Radiosakariem īso, vidējo un garo viļņu diapazonā jau sen ir kļuvis šauri. Pēdējā laikā arī televīzijai UIV diapazons kļūst «spiedīgs». Radiosakaru vajadzībām pēdējo gadu desmitos īpaši intensīvi tiek apgūts centimetru viļņu diapazons, bet televīzija, jādomā, ar laiku pāries uz optisko diapazonu. Tur tā jutīsies daudz brīvāk. Piemēram, sarkanajai krāsai vien ir tik daudz nianšu, ka lielas pilsētas iedzīvotāji bez kādiem traucējumiem savus attēlus pa videotelefonu varētu raidīt cits citam ar šai krāsai atbilstošajiem gaismas viļņiem vien.

«Spiedīgums» ir ļoti svarīgs viļņu pārsīnāšanas cēlonis. Bet ir vēl viens un turklāt ne mazāk svarīgs faktors, kura dēļ īsākie viļņi ir labāki. Daudzos gadījumos viļņus (viļņu kūli) ir nepieciešams vērst, t. i., izstarot tikai vienā noteiktā virzienā jeb, kā nereti saka, strādāt ar vērstu kūli — ar kūli, kuram piemīt *vērsums*.

Īpaši nopietna šāda nepieciešamība izvirzījās radiolokācijā. Pēc kūļa virziena noteic atstarojošā objekta atrašanās vietu. Puškina pasakā Zelta gailītis allaž pagrieza galvu uz to pusi, no kuras nāca svešzemju karaspēks. Radiolokators mērķi (ienaidnieka lidmašīnu utt.) norāda, tā virzienā pavērdzams savu antenu (antenas). Jo šaurāks (asāks, smailāks) būs antenas izstaroto viļņu kūlis, jo precīzāk tiks noteikts virziens.

Bet šāds kūlis ir izveidojams jau tikai tad, ja antenas izmēri ir daudz lielāki par izstaroto viļņu garumu.

Pirmajos radiolokatoros izmantoja metru viļņus; kūļos tos koncentrēja ar ļoti lielām antenām. Tā šie lokatori strādāja četrdesmito gadu sākumā.

Kūlis uztastīja ienaidnieka lidmašīnu, un līdz ar to arī bija skaidrs, kurp jāraida zenīrtartilērijas šāviņš. Bet piloti ilgi ar šādu stāvokli nesamierinājās: lokatori bija nepieciešami arī aviācijā. Tomēr tolaik neviens nezināja, kā viņiem palīdzēt. Nevar taču lidmašīnā uzstādīt antenu, kas ir divstāvu mājas augstumā. Un radās vienkārša ideja: vērstā starojuma veidošanās nosacījumu — to, ka antenas izmēriem jābūt būtiski lielākiem par viļņa garumu, — var jau izpildīt arī citādi. Proti, var nevis palielināt antenas izmērus, «pieskaņojoties» esošo viļņu garu-

nam, bet gan samazināt viļņu garumu. Antena tādā gadījumā kļūs mazāka «pati no sevis».

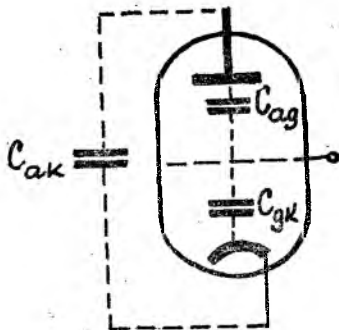
Kad izdevās apgūt centimetru viļņus, izdevās radīt arī kompakts un efektīvs aviācijas radiolokatorus.

Cik nācās samaksāt par centimetru viļņu izmantošanas iespēju, pastāstīsim nedaudz vēlāk. Pašreiz atgriezīsimies pie tā elektronikas vēstures posma, kad televīzijas un tālo radiosakaru vajadzībām nācās apgūt īsviļņu un UIV diapazonu.

## TĪKLIŅI SĀK VAIROTIES

Radiosakaru attīstības sākumā triode bija vienīgā (protams, neskaitot diodi) un turklāt universālā elektroniskā ierīce, kas strādāja itin visus darbus — ģenerēja maiņstrāvu un maiņspriegumu, kurus viegli varēja «pārvērst viļņos», t. i., izstarot «ēterā», iegūtos signālus pastiprināja, modulēja, detektēja, pārveidoja starpfrekvences svārstībās utt. jeb, vārdu sakot, veica visas operācijas, bez kurām radiosakari nav iespējami. Tomēr tad, kad vajadzēja pāriet uz UIV diapazonu, atklājās, ka triodei piemīt būtisks un tikai zemāko frekvenču diapazonos maz jūtams defekts. Proti, triodes elektrodi — anods, tīkliņš un katods — ir kondensatoru klājumi: starp tiem pastāv noteikta kapacitāte ( $C_{ag}$ ,  $C_{gk}$ ,  $C_{ak}$ ).

Jūs, protams, atceraties: jo augstāka ir signāla frekvence, jo vieglāk tas tiek cauri kondensatoram (sk. 3.25.). Pāreja uz īsviļņiem un it īpaši uz UIV nozīmēja to, ka frekvences kļūst augstas, pat ļoti augstas. Starpanodu un tīkliņu pastāvošā kapacitāte, kura zemas frekvences gadījumā lampas darbību neietekmē, augstu frekvenču signālam kļuva par ērti pārejamu tiltiņu. Daļa anodsprieguma pa šo tiltiņu nokļūst uz tīkliņa. Ja triode strādā par ģeneratoru, tad šāds «pārejas tiltiņš» nav kaitīgs, taisni otrādi: to iekārto speciāli, tādējādi nodrošinot svārstību ģenerācijai nepieciešamo atgriezenisko saiti. (Par to bija runa 3. nodaļas paragrāfā «Kāpēc upes tek?».) Bet, ja triodei jādarbojas par pastiprinātāju, šāds «tiltiņš» ir tikai kaitīgs. Cik



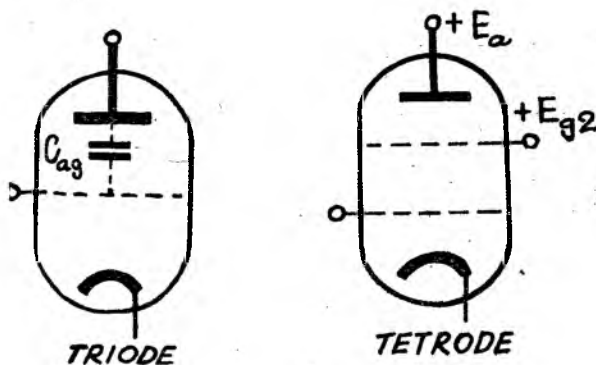
kaitīgs — to aptuveni var secināt kaut vai no iesaukas, ko tam piešķirušī speciālisti: «parazītiskā saite». Augstfrekvences pastiprinātāji, kuros izmantotas triodes, šīs saites darbības rezultātā mēdz nevis strādāt atbilstoši savam uzdevumam, t. i., pastiprināt derīgo signālu, bet gan ģenerēt kaut kādas parazītiskas pašsvārstības. —

Kā lai šo bīstamo «tiltiņu» sagrauj un parazītisko saiti novērš?

Var censties samazināt pašu kaitīgo anoda-tīkliņa kapacitāti, samazinot šo elektrodu derīgo virsmas laukumu vai arī tos vienu no otra atvirzot pēc iespējas tālāk (sk. arī 3.21.).

Tomēr kā viens, tā otrs pasliktina lampas elektriskos raksturlielumus (jaudu, pastiprinājuma koeficientu utt.).

Lampu konstruktori tika atraduši citu izeju. Lampā viņi iemontēja vēl vienu tīkliņu, to novietodami starp pirmo (stūrējošo) tīkliņu un anodu, un šim jaunajam tīkliņam, tāpat kā anodam, pievadīja pozitīvu potenciālu (parasti 2—3 reizes mazāku par anoda potenciālu). Tomēr atšķirībā no anoda šī otrā tīkliņa spriegums saturēja nevis maiņkomponenti jeb maiņspriegumu, kurš mainītos ritmā ar pastiprināmo signālu, anodstrāvu un anodspriegumu, bet gan tikai līdzkomponenti. Tādējādi parazītiskā saite starp anodu un stūrētājītīkliņu bija «pārgriezta» pušu: ap otro tīkliņu pastāvēja lauks, kas nekādu strāvu no anoda uz stūrētājītīkliņu cauri nelaida. (Precīzāk sakot, kapacitatīvā maiņstrāva, kas triodē noslēgtos ķēdē no anoda uz stūrētājītīkliņu, tagad plūda uz otro tīkliņu un no tā pa atsaistišanas kondensatoru — tieši uz «zemi» (sk. arī 3.28.).)

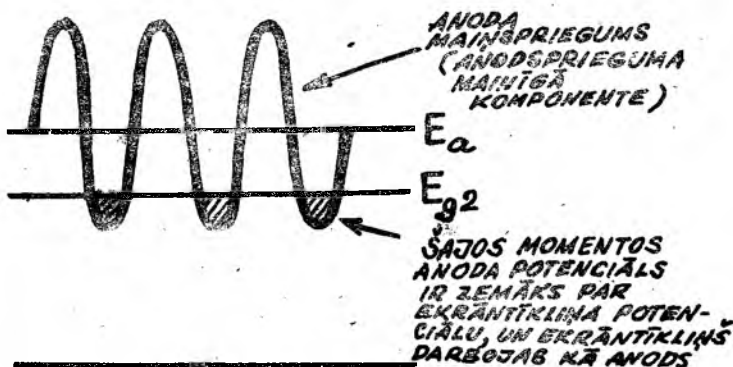


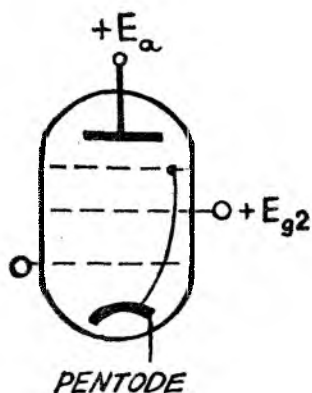
Tā radās tetrodes — lampas ar četriem elektrodiem (*tetra* latīņu valodā nozīmē «četri»). Tās izmantojot, bija iespējams konstruēt pastiprinātājus signāliem, kuru frekvence sniedzās līdz vairākiem desmitiem megahercu, nebaidoties, ka tie pēkšņi pārstās veikt pastiprināšanu un ierosināsies, t. i., ģenerēs paši savas parazītiskās svārstības. Varētu likties, ka ar pirmajām nopietnajām grūtībām UIV diapazona apgūšanā lampu konstruktori bija laimīgi tikuši galā.

Kur nu! Darbā ar tetrodēm atklājās, ka tām piemīt jauns defekts — dinatronefekts.

## VIENA VIETĀ TRIS

Dinatronefekta būtība ir šāda. Anods ir veidots no metāla; kā jau visos metālos, tajā pastāv «elektronu šķidrums» jeb «elektronu gāze» — brīvie elektroni, kas šurpu turpu klaiņo starp kristālrežģa atomiem (sk. 1.10.). Kad anodu bombardē no katoda atlidojušie elektroni, daži anoda brīvie elektroni «izšļakstās» uz āru. Noris process, ko sauc par sekundāro emisiju (atšķirībā no primārās emisijas, kur izstarotājs ir katods). Pozitīvā potenciāla avotam ir pieslēgts ne vien anods, bet, kā jau teikts, arī tetrodes otrais tīkliņš, tāpēc daļa elektronu, kas izsisti no anoda, lido uz to. Īpaši stipra šī sekundāro elektronu plūsma ir mirkļos, kad anodsprieguma maiņkomponentes negatīvajam pusperiodam ir skaitliskais maksimums. Tad otrajam tīkliņam var būt augstāks potenciāls nekā anodam un lampa var darboties «ar kājām gaisā»: otrais tīkliņš pievelk elektronus kā anods, bet anods strādā kā «otrs





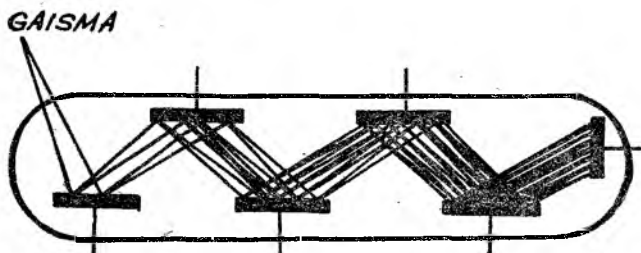
katods», emitēdams nevēlamos sekundāros elektronus. To plūsmas intensitāte (jeb tai atbilstošās strāvas stiprums) ir atkarīga no anodsprieguma un anodstrāvas, mainās vienā ritmā ar tiem un kropļo pastiprināmo signālu.

Kāpēc šis efekts izpaužas tikai tetrodēs? Vai tad triodē elektroni nedrāžas virsū anodam? Un vai tādā gadījumā sekundārā emisija nesākas?

Sākas. Notiek. Tomēr triodē sekundārie elektroni nevienu netraucēja, un tāpēc neviens tos nepamanīja. Nu, pieņemsim, ka elektrons ir «izšļakstījies» no anoda. Kur lai tas paliek? Tam nav kur doties, jo vienīgais elektrods, kam triodē ir pozitīvs potenciāls, ir anods; nekas cits elektronu pievilkt nevar. Tāpēc anoda lauka iedarbībā elektrons ir spiests tūlīt atgriezties uz anoda. Lūk, kāpēc līdz brīdim, kad lampā parādījās otrais tīkliņš, par sekundāro emisiju neviens neinteresējās. Turpretī tetrodē dinatronefekts kļuva par problēmu, par šķērslī, ko vajadzēja novērst.

Mēs netikām laikus paskaidrojuši, ka otro tīkliņu, kas iedarbojas ekranējoši. (stūrētājīkliņu ekranē attiecībā pret anoda «parazītiski kaitīgo» darbību), nosauca par *ekrāntīkliņu*.

Dinatronefektu novērsa, lampā starp ekrāntīkliņu un anodu ievietojot trešo tīkliņu, kas elektriski ir savienots ar katodu un «pārtver» no anoda izsistos sekundāros elektronus. Reizēm trešo tīkliņu sauc par antidinatronīkliņu; tomēr vispārpieņemts ir īsāks, ērtāks un ne mazāk precīzs termins — «bremztīkliņš». Proti, sekundāros elektronus šis tīkliņš «nobremzē».



Tā radās piecelektrodu lampa — pentode.

Pentode palīdzēja apgūt īsviļņu un UIV diapazonu. Piemēram, ar pentodi ērti varēja pastiprināt signālu, kurā ierakstīts televīzijas kadsrs.

Piebildīsim, ka elektronikā ir arī radītas ierīces, kurās sekundārā emisija ir derīga. Tāds, piemēram, ir fotoelektronu daudzķāršotājs, kas darbojas šādi.

Reģistrējamais gaismas stars krīt uz speciāla elektroda un ārējā fotoefekta rezultātā (sk. arī paragrāfus «Kā pār-raida attēlus» un it īpaši «Kur lai ņem simt sauļu?») no tā izsit elektronus (fotoelektronus). To ir maz, un to kustībai atbilstoša strāva ir ļoti vāja, tik vāja, ka nav izmērāma. (Principā, bez šaubām, katra elektronu plūsma, lai cik vāja būdama, ir strāva. Arī viena vienīga elektrona jebcik lēna kustība ir ļoti, ļoti, ļoti vāja strāva. Tikai absolūts tā miera stāvoklis vairs nav strāva.)

Bet fotoelektronu plūsmu var vērst uz otru speciālu elektrodu un panākt, ka fotoelektroni no tā izsit vairāk sekundāro elektronu, nekā ir bijis viņu pašu. Pēc tam sekundāro elektronu plūsma tiek virzīta uz trešo elektrodu, kas šīs «bombardēšanas» rezultātā atkal emitē sekundāros elektronus. (Saukt tos par terciārajiem vai trešajiem būtu nepareizi.) Tos raida uz ceturto elektrodu utt. Rodas elektronu «lavīna», kas ar katru emisijas pakāpi pieņemas spēkā. (Protams, lai tas notiktu, nepieciešama atbilstoša ierīces konstrukcija, elektrodiem jāpievada stingri noteikti potenciāli utt. Te saskatāma analogija ar kalna nogrūvumu: to taču arī var izraisīt pāris akmentiņu (=elektronu, ko gaisma izsitusi no pirmā elektroda.)

## OTRĀS KRĪZES CĒLOŅI

Augšanas slimības ir neizbēgamas. Jebkurai zinātnes un tehnikas nozarei nākas pārvarēt ne vienu vien attīstības krīzi, kuras laikā līdzšinējās metodes un idejas tiek fundamentāli revidētas.

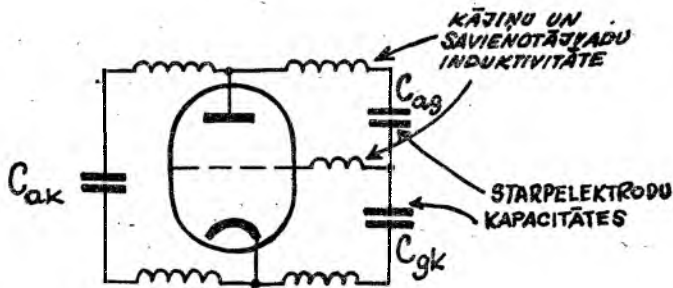
Elektronikas pirmās krīzes rezultātā radās vairāktīkliņu lampas.

Otrā krīze sākās tad, kad radiolokācija izvirzīja uzdevumu apgūt centimetru viļņus.

Kāds bija tās cēlonis?

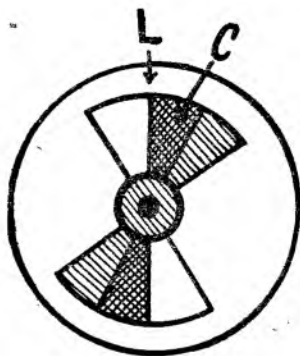
Atcerēsimies, kā darbojās vienkāršais  $LC$  svārstību kontūrs, kas sastāv no spoles ar induktivitāti  $L$  un kondensatora ar kapacitāti  $C$  (sk. 3.1.—3.7.). Jo mazākas ir  $L$  un  $C$





skaitliskās svārstības, jo augstāka ir kontūra pašfrekvence. Bet mēs jau zinām, ka triodģenerators shēmā, kurā darbojas šāds kontūrs, eksistē ne tikai kontūra («derīgā»)  $C$ , bet arī «parazīti» — starpelektrodu kapacitātes  $C_{ag}$ ,  $C_{gk}$  un  $C_{ak}$ . Un, ja «parazītu» ietekme bija jūtama jau UIV diapazonā (metru viļņos), tad ko lai saka par simt reīzu īsākiem viļņiem! Ja frekvence ir tik augsta, par «parazītu» kļūst jebkura ne vien shēmas, bet arī pašas lampas detaļa. Iss vadiņš sāk darboties par antenu, jo pēc garuma ir samērojams ar viļni. Par «parazītu» kļūst arī lampas kājiņa, pa kuru elektrodiem pievada spriegumu: tai piemīt inductivitāte, kas tik augstas frekvences gadījumā ir stipri jūtama. Šādas inductivitātes, sadarbotamās ar starpelektrodu kapacitātēm, veido parazītiskus kontūrus.

Visa lampa bija «apaugusi ar parazītiem». Katram «parazītam» bija sava rezonances frekvence, un tāpēc tie lampai neļāva ģenerēt signālu, kuram būtu vajadzīgā frekvence. Pat principā nav viegli noskaņot anodkontūru, teiksim, uz 10 000 megahercu frekvenci. Tas izdarāms, pazeminot  $L$  un  $C$ . Kondensatoru var atslēgt pavisam, bet spoli — attīt vajā, atstājot, piemēram, divus vai trīs vijumus. No kontūra it kā nekas nav palicis pāri; un tomēr «parazītu» ietekme ir tik būtiska, ka rezonances frekvence ir daudz, daudz zemāka par 10 000 MHz. Piemēram, savā laikā tika izstrādāts īpašs kontūrs, tā sauktais *taurīnkontūrs*, ar ko ģenerēt svārstības, kurām atbilst viļņu garums no 30 centimetriem līdz

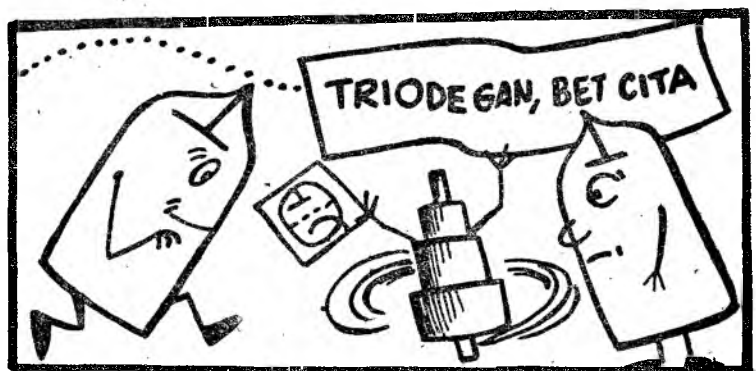


dažiem metriem (tātad frekvence bija zemāka par 1000 MHz). Detaļa, kas atgādina tauriņa spārnus (tāpēc arī kontūrs tika tā nosaukts), kalpo par kondensatoru, kuram ir ļoti maza kapacitāte. Bet spoli aizstāja īss pārvienojuma tiltiņš — tātad «spolei» bija tikai nepilns vijums!

Tomēr pašsvārstību frekvence tik un tā nebija pietiekami augsta. Lai varētu ģenerēt centimetru viļņus, tā bija jāpaaugstina vēl desmit reižu. Jāpiebilst, ka, augot frekvencei, sāka izpausties vēl viens tauriņkontūra trūkums. Kad viļņa garums pārsniedza līdz pārvienojuma tiltiņu izmēriem, tie sāka darboties kā antenas. Kontūrs savu svārstību enerģiju sāka izstarot apkārtējā telpā, lietderības koeficients strauji samazinājās.

Speciālisti kļuva par izgudrotājiem, kuri ilgi un neatlaidīgi «lauzīja galvas dotajā virzienā». Šo pūliņu rezultātā tika radīti jauna veida kontūri, kas pēc izskata atgādināja... glāzes; beigu beigās radās arī... triode.

Jā, jā, nebrīnieties, nevis tetrode vai pentode, bet tieši triode. Taču tā bija speciāla superaugsto (sevišķi augsto) frekvenču (SAF) triode, kas savas «vecākās māšas», zemo frekvenču triodes, atgādināja tikai pa gabalu.



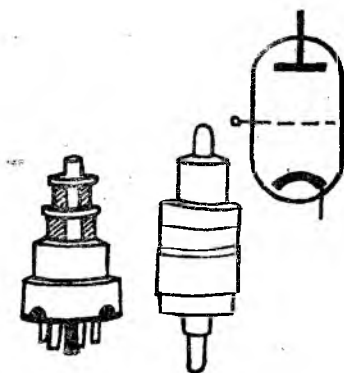
## PAMATS IR ŠĀDS

### 4.11.

Seit Jūs redzat divus superaugsto frekvenču (SAF) elektronisko ierīču saimes pārstāvjus. Šajās lampās ir visi parasto triožu elementi: anods, katods, tīkliņš, kvēldiegs. Tomēr tās izskatās pavisam citādi nekā līdzinējās lampas. Atšķirīga ir arī to iekšiene.

Pirmajai lampai — disku lampai — balons ir izveidots it kā vairākos stāvos un ārēji atgādina bāku (tāpēc krievu valodā to tā arī sauc — *маячковая лампа*).

Otrās lampas balons ir samontēts no vairākiem metāla cilindriem; galos to no-



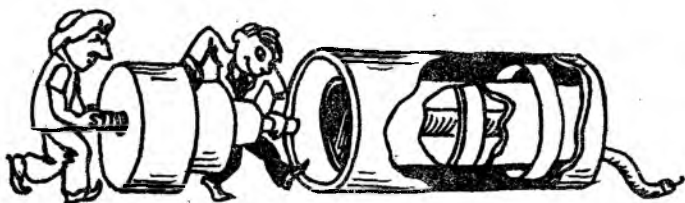
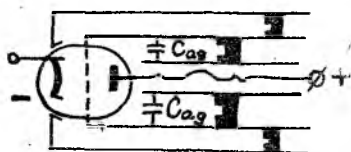
slēdz keramikas diskus. Šādas lampas sauc par metālkeramikajām lampām. SAF triožu divainā formamums kļūs saprotama tad, kad būsime iepazīnušies ar SAF ģeneratoriem, kuros šīs triodes izmanto.

### 4.12.

Ar disku triodi veidotā ģeneratorā Jūs neatradīsiet parasto LC kontūru. Šeit

kontūri pēc formas atgādina glāzes. Kontūrus piestiprina tieši pie lampas

diskveidīgajiem izvadiem. Lampa it kā saplūst kopā ar kontūru; tai nav kājiņu, un tātad kājiņu induktivitātes kaitīgā ietekme ir izslēgta. Bet «parazitiskā» kapacitāte (piemēram,  $C_{ag}$ ) kļūst par kontūra kapacitātes daļu un tātad «strādā».



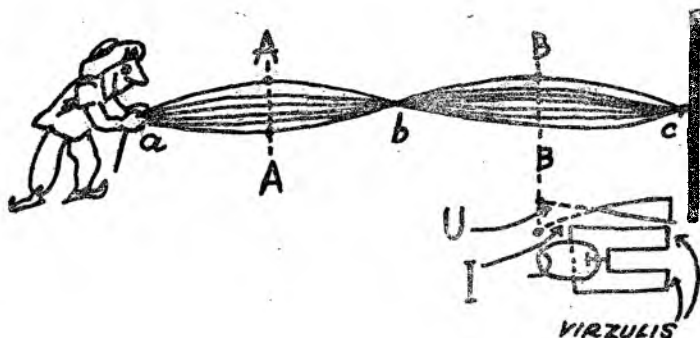
#### 4.13.

Sādus kontūrus sauc par *dobumrezonatoriem*. Tajos rodas *stāvvilņi*.

Patiesībā attēlos ir parādīti rezonatori, kas it kā veidoti no koaksiālo līniju nogriežņiem un tiek skatoti, ar īpašiem virzuļiem mainot to elektrisko garumu. Ar «īstiem» dobumrezonatoriem sastapsimies, kad, piemēram, aplū-

kosim magnetronus. So atšķirību detaļās neiedziļināsimies: acīmredzot tās var interesēt tikai superaugsto frekvenču elektrodinamikas speciālistus.

Uzskatāmu priekšstatu par stāvvilņiem var iegūt, aplūkojot virves svārstības, kas rodas, ja vienu virves galu piesienam pie sienas,



bet otru paņemam rokā un vienmērīgi šūpojam uz augšu un leju. Vilnis aizskrien līdz sienai, atsitas un skrien atpakaļ. Bet tam pretī jau skrien nākamais vilnis. Tiešajiem un atstarotajiem viļņiem summējoties, virvē rodas stāvviļņi. Noteiktās vietās (tā sauktajos šķēlumos, mūsu gadījumā  $AA$ ,  $BB$ ) virves svārstībām ir vislielākā amplitūda; šādus stāvviļņa amplitūdas maksimumus sauc par *blīzumiem*. Turpretī citos šķēlumos ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) stāvviļņa amplitūda ir nulle; šeit ir stāvviļņa *mezgli*. Punktā  $c$ , kur virve piesieta, ir pirmais mezgls.

Dobumrezonatorā (resp., mūsu līniju nogriežņos), protams, pastāv citādi — elektromagnētiskie — viļņi; tajos svārstās (un izplatās) elektriskais un magnētiskais lauks.

Tomēr mēs vēlreiz pārliecināties, ka dažādas dabas viļņiem daudz kas ir ko-

pīgs: arī dobumrezonatorā varam atrast blīzumus un mezglus. Kontūra (rezonatora) virzulis ir sienas lomā. Sprieguma mezgls ir tieši šeit. Virzulis taču ir īsslēgums: tā atrašanās vietā pretestība un tātad arī spriegums ir nulle (sk. likni, kas ilustrē sprieguma  $U$  sadalījumu). Bet tur, kur pretestība ir maza, strāva ir stipra. Tāpēc šeit ir izvietots strāvas blīzums (sk. strāvas  $I$  sadalījuma likni). Ja virzuli pārbīdām uz vienu vai otru pusi, reizē mainās sprieguma mezgla un strāvas blīzuma izvietojums — mainās stāvviļņa garums, bet reizē ar to arī sistēmas pašfrekvence.

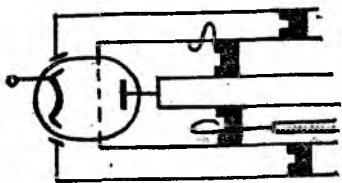
Lieli nopelni dobumrezonatoru teorijas izstrādāšanā ir padomju zinātniekam M. Neimanim.

Teiktais vēlreiz apstiprina, ka patiesībā te mums ir darīšana ar līniju nogriežņiem, nevis ar «īstiem» dobumrezonatoriem, kuros nav «nekāda»  $U$  vai  $I$  sadalījuma — ir «tikai» lauki.

#### 4.14.

Lai rastos svārstības, nepieciešama atgriezeniskā saite. To iegūst ar speciālu cilpu, pa kō daļa no anodkontūra svārstību enerģijas nokļūst tiklīņa kontūrā.

Otrā cilpa derīgo jaudu ļauj aizvadīt prom pa spe-



ciālu līniju, pievadīt antenai un izstarot ēterā.

Tur, kur pastāv strāvas blīvums (virzuļa tuvumā), pastāv arī lielas intensitātes magnētiskais lauks. Tāpēc cilpu ierīko tieši šeit.

Bet jaudu var noņemt arī kapacitatīvi. Attiecīga kapacitāte jāizvieto pēc iespējas tuvāk sprieguma blīvumam, t. i., vietā, kur liela intensitāte ir elektriskajam laukam.

## ELEKTRONI IR PĀRĀK GAUSI

Jau pēc jaunā ģenerators izskata vien var spriest, cik ciets rieksts bija SAF diapazons. Visu — shēmas, lampas, kontūrus — nācās radīt no jauna.

Varētu likties, ka jaunajā lampu konstrukcijā ir paredzēts viss. Un tomēr ģenerators, kurā izmantotas šīs lampas, «netiek» pat līdz 3000 megahercu robežai. Atbilstošais viļņa garums ir 10 cm. Kā jau teikts, lokācijā vajadzīgi vēl reizes trīs īsāki viļņi — ap 3 cm gari, t. i., frekvencei jābūt ap 10 000 MHz. Ja frekvence ir tik augsta, nedarbojas arī jaunās lampas, kaut gan tās tika radītas speciāli SAF diapazonam. Kāpēc tā? Lampa un kontūri taču tagad ir vienots kopums; parazitiskās kapacitātes, kas agrāk bija traucēklis, tagad ir «iekausētas» kontūrā. Parazitisko induktivitāšu nav: lampu kājiņas ir kļuvušas par diskusiem, un arī tie ir «iekusuši» kontūros. Kas vēl neļauj iegūt visaugstāko iespējamo frekvenču svārstības?

Neļauj tikai viens: katoda emitētais elektrons šajās lampās uz anodu lido pārāk gausi. Kas gan elektronam lēcies? Kur palicis tā žiglums, kas mūs agrāk tā sajūsmināja?



Elektrons ir tikpat žīgls kā vienmēr. No katoda līdz anodam tas aizņo vienā sekundes desmitmiljarddaļā; tas ir desmittūkstoš reīžu mazāk par mikrosekundī. Tomēr mūs interesējošajā frekvenču diapazonā svarīgas kļūst pat sekundes simtmiljarddaļas.

Lieta tāda, ka tieši tik ilgs — vienu sekundes desmitmiljarddaļu — 10 000 MHz frekvences gadījumā ir pilns svārstību cikls. Kamēr elektrons jož no katoda uz anodu, kontūra spriegums pieaug līdz amplitūdas vērtībai, samazinās, sasniedz «negatīvās amplitūdas» vērtību un vēlreiz sāk pieaugt. Tātad salīdzinājumā ar to, cik strauji mainās kontūra spriegums, elektrons ir gauss. («Viss ir relatīvs!») Mūsu pierastajos laika mērogos sekundes desmitmiljarddaļu grūti ir nosaukt pat par acumirkli (varbūt tas ir «mirkļa mirklis?»). Turpretī SAF lampām šis mirklis ir vai pati mūžība, jo laika izjūta tām ir «saasināta».

Līdz šim mēs bijām pieraduši domāt, ka ģeneratorā viss noris momentāni: uz anoda rodas signāls, pa atgriezeniskās saites ķēdi tas nokļūst uz tīkliņa, un anodķēdē tūlīt pat parādās «impulss».

Tomēr SAF diapazonā jēdziena «tūlīt pat» saturs ir citāds.

Uz anoda rodas signāls. Atbilstošā veidā transformēdamies, tas pa atgriezeniskās saites ķēdi nokļūst uz tīkliņa. Tīkliņa potenciāls pieaug; rezultātā anoda virzienā tiek pagrūsts «gausais» elektrons.

Bet, kamēr elektrons no katoda aizlido līdz anodam, anodsprieguma pozitīvo pusperiodu jau ir nomainījis negatīvais. Elektrons uz anoda nokļūst galīgi nelaikā. Notiek tā, it kā kāds tūļa, mēģinādams iešūpot svārstu, tā kustības virzienu censtos mainīt nevis maksimālās novirzes punktā, bet gan kaut kur ap ceļa vidu. Tāpēc katru reizi pirms-svārstā «piebikstīšanas» viņam tas jāaptur un svārstību amplitūda nevis pieaugs, bet gan samazināsies (pareizāk sakot, svārstības nemaz nesāksies).

Iztirzājums, protams, nav gluži konsekvents. Bet uzskatāmam priekšstatam ar teikto pietiek.

Līdzīgi apstākļi ir SAF triodē: tā kā «gausā» elektrona skrējiena ilgums ir samērojams ar SAF svārstību periodu, tad starp anodspriegumu un tīkliņspriegumu rodas fāžu starpības «uzvija» (sk. arī 3.12.). (Ideāli, kā labi zināms speciālistiem, būtu tad, ja šī fāžu starpība būtu precīzi 180°.) Atgriezeniskās saites spriegums šīs «uzvijas» dēļ sāk strādāt «greizi».

Kā lai samazina elektrona skrējiena ilgumu? Liekas, tas ir pavisam vienkārši — jāsaīsina ceļš. Tā arī rikojās. SAF triodēs katodu, tīkliņu un anodu iemācījās izvietot spraugā, kas samērojama ar žilettes biezumu. Nevīlus jāatceras N. Leškova apdziedātais Kreilis, kas mācēja apkalt blusu.

Bet atklājās, ka izgatavošanas grūtības nav galvenais šķērslis. Mūsdienu Kreilis spētu izveidot vēl šaurāku spraugu, taču tad pazeminātos lampas kvalitāte.

Lampas anodspriegums ir augsts. Ja katods anodam ir pārāk tuvu, starp tiem var lēkt dzirkstele. Un vēl vienas nepatīkšanas: jo tuvāk viens otram ir elektrodi, jo lielāka kļūst parazitiskā kapacitāte (sk. arī 3.21.). Bet, ja tā ir liela, pat dobumrezonatori vairs nedarbojas. Kā lai pārvar šīs pretrunas? Ja elektrodus vienu no otra atvirzām, pieaug skrējiena ilgums. Ja tos pievirzām vienu otram tuvāk, pieaug parazitiskā kapacitāte.

Tā nu ir īsta krīze, īsts apburtais loksl!

Varbūt samazināt tīkliņa, anoda un katoda virsmas laukumu, atstatumus starp tiem atstājot tādus pašus? Tādā gadījumā kapacitāte samazinātos, bet skrējiena ilgums nepalielinātos. Nē, arī tas nekur neder.

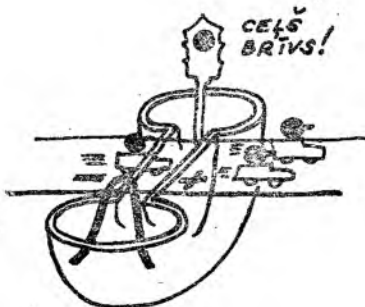
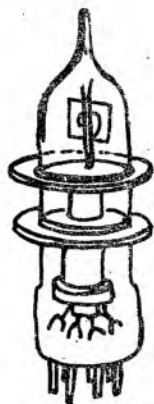
Ja katoda virsmas laukums ir mazs, katods nav spējīgs emitēt pietiekami daudz elektronu. Anods ar mazu virsmas laukumu nelaiž cauri vajadzīgo strāvu.

Visi šie apsvērumi tika ņemti vērā, konstruējot metāl-keramiskās lampas un disku lampas. Visi to izmēri tika izraudzīti rūpīgi, nodrošinoties pret katru nejaušību. Elektrodus vienu otram vēl tuvāk nav iespējams izvietot — parazitiskā kapacitāte kļūst traucējoša. Nav iespējams arī samazināt to virsmas laukumu — samazināsies lampas strāva un jauda. Bet tālo mērķu sekmīgai atklāšanai nepieciešami lielas jaudas impulsi. Tāpēc minētās triodes sāka izmantot, lai pastiprinātu un ģenerētu svārstības, kurām atbilstošie viļņi ir garāki par 10 centimetriem. Turpretī, lai varētu izstarot viļņus, kuru garums ir tikai 3 centimetri, neizzinātā džungļos bija jāizcērt pilnīgi jauni, neviena nestaigāti ceļi.

## KONTŪRS PAR LUKSOFORU

Pirmajās SAF diapazona ģeneratoru konstrukcijās kontūrs, kā mēs redzējām, saplūda vienotā kopumā ar elektronu lampu. Bet vai nav iespējams iet vēl tālāk un radīt konstrukciju, kurā kontūrs būtu pašas lampas daļa? Izrā-



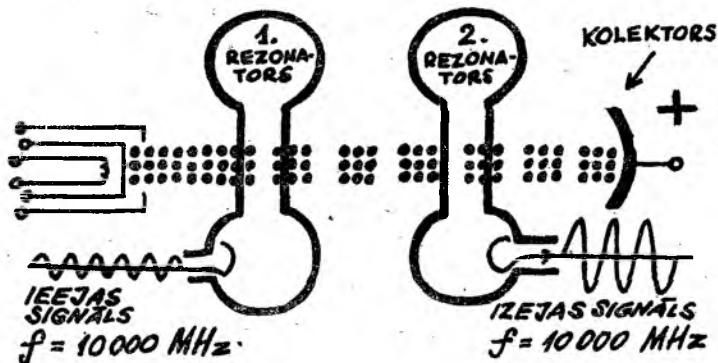


dījās, ka tas ir iespējams. Pēc šāda principa ir veidoti triju centimetru viļņu ģeneratori — magnetroni un klistroni.

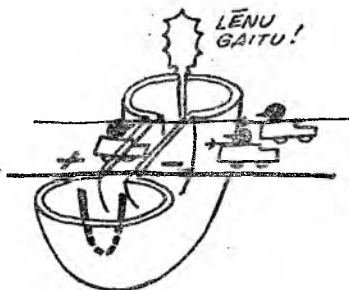
Klistronā tiek izmantots mums jau pazīstamais elektronu lielgabals. Lielgabala radītais elektronu kūlis, lampas iekšieni šķērsojot, krīt uz kolektora — īpaša elektroda, kura potenciāls ir pozitīvs un kurš it kā darbojas par anodu. Kūļa ceļā ir divi rezonanses kontūri. Tie līdzinās barankām. «Baranku» caurumos iemontēti tiklīņi, kuriem elektroni brīvi lido cauri. «Barankās» pastāv mainīgs elektromagnētiskais lauks, tādi paši stāvviļņi, kādus aplūkojām iepriekš punktos 4.12. un 4.13.

Patiesībā «barankas» pēc īpašībām ir daudz tuvākas «īstam» dobumrezonatoram nekā 4.12. un 4.13. paragrāfā aplūkotie kontūri. Bet mēs jau norunājām, ka šajās detaļās, kas, starp citu, ir visai komplicētas, tālāk neiedziļināsimies.

Abi kontūri ir noskaņoti uz 10 000 megahercu frekvenci, kam, kā jau labi zinām, atbilst 3 centimetrus garš vilnis.



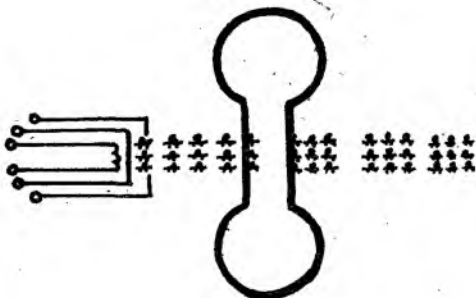
Elektrons, no stara uz finišu lidodams, vispirms skrien cauri pirmā kontūra («barankas») tīkliņam. Ar saites cilpas starpniecību šiem tīkliņiem tiek pievadītas svārstības, kuru frekvence ir 10 000 MHz. Kūlī rodas sabiezējumi un retinājumi.



Kaut kas līdzīgs notiek ar automobiļiem, kas traucas pa maģistrālēm, kuras apriekotas ar automātiski pārslēdzamiem luksoforiem. Kamēr nav sarkanās gaismas, vari dot pilnu gāzi, apdzīt priekšā braucošos utt. Bet, ja tev nav veicies un pirms sarkanās gaismas iedegšanās neesi ticis pāri krustojumam, — bremzē un gaidi; aiz tevis sastājas tādi paši «likteņa brāļi». Kad luksoforā atkal iedegas zaļā gaisma, var braukt tālāk — nu jau tajā mašīnu «sabiezējumā», kas radies pēc sarkanās gaismas iedegšanās. Tā visas mašīnas, šķērsojušas dažus krustojumus, sakārtojas grupās. Vienas pagaida pie luksofora, kamēr piebrauc klāt aizkavējušās, bet otras dodas panākt priekšējās.

Klistronā notiek gandrīz tas pats. Elektronus var pielīdzināt automobiļiem, bet kontūrs darbojas kā luksofors. Tomēr īstais luksofors tikai raida signālus, turpretī mašīnu ātrumu, šiem signāliem pakļaudamies, regulē šoferi. Klistronā ir citādi. Kontūrs pats regulē ātrumu. Tā tīkliņiem cauri lidojošie elektroni te paātrinās, te bremzējas — atkarībā no tā, kāda pusperioda spriegums attiecīgajā brīdī tīkliņiem pievadīts.

Piemēram, ja «pluss» ir pievadīts tam pirmajam «barankas» tīkliņam, kas attēlā parādīts pa labi, bet «mīnuss» —



otram, kreisajam tīkliņam, elektronus, kas atrodas starp tīkliņiem, elektriskais lauks paātrina. Nākamajā pusperiodā sprieguma polaritāte ir pretēja, un elektrons, kas šajā brīdī atrodas starp tīkliņiem, tiek piebremzēts. Rezultātā elektroni sakārtojas gandrīz tādās pašās grupās kā automobiļi, kas brauc pa maģistrāli.

## KLISTRONS — TAS IR BANGOTĀJS

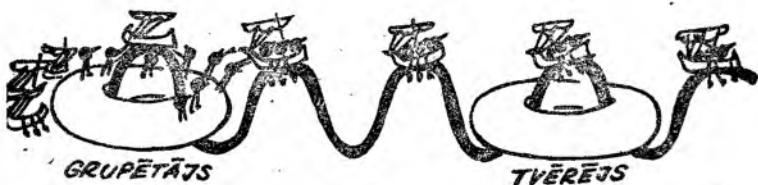
Vārdu «klistrons» elektronika ir aizguvusi no grieķu valodas. Tas nozīmē «bangotājs».

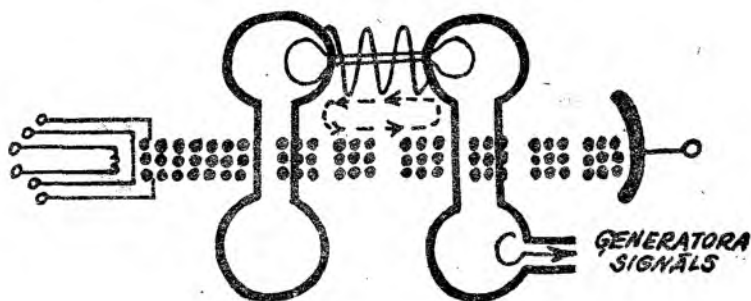
Sis nosaukums precīzi atspoguļo ierīces darbības principu. Pirmā kontūra (rezonatora) sagrupētie elektroni uz otro rezonatoru iedarbojas kā ritmiski jūras viļņi uz krastmalā piesietu laivu. Caur otrā rezonatora tīkliņiem cits pēc cita lido elektronu sabiezējumi, un tie visi uz šo rezonatoru iedarbojas kā «impulsi», kas to «piebiksta», tajā uzturēdami svārstības. Cik reizes sekundē tiek «bikstīts» otrais rezonators?

Elektronu grupas izveido pirmais rezonators — «luksofors». Luksofora signālu lomu veic šajā rezonatorā notiekošās elektriskās svārstības. «Zaļo signālu» (proti, paātrinošo sprieguma pusvilni) «sarkanais signāls» (bremzējošais pusvilnis) nomaina 10 000 000 000 reizu sekundē, t. i., ar 10 000 MHz frekvenci. Tātad sabiezējumi un retinājumi cits citam seko ar šādu frekvenci. Tie, lūk, arī ir tie «jūras viļņi», kas otro rezonatoru iešūpo 10 000 000 000 reizu sekundē, vienā ritmā ar tā pašfrekvenci.

Rezumēsīm teikto.

Elektriskās svārstības, kas pastāv pirmajā (ieejas) rezonatorā jeb, kā to sauc speciālisti, *grupētājā*, ar elektronu kūļa sabiezējumu un retinājumu starpniecību tiek pievadītas otrajam (izejas) rezonatoram jeb — speciālistu terminoloģijā — *tvērējam*; abi rezonatori ir noskaņoti rezonansē. Otrajā rezonatorā svārstībām ir krietni lielāka amplitūda nekā pirmajā; jaudu šīm svārstībām taču piešķir





elektroni, bet elektronu plūsmu ir paātrinājis pastāvīgs (laikā nemainīgs) elektriskais lauks, ko rada un formē līdzstrāvas barotājavota spriegums, kas pievadīts kolektoram un «elektronu lielgabala» paātrinātājelektrodiem. Lauks elektroniem piešķir ļoti lielu ātrumu un līdz ar to arī lielu enerģiju, kas pēc tam transformējas SAF svārstību enerģijā. Šai ziņā klistrons līdzinās jebkuram citam pastiprinātājam: svārstības pastiprina, izmantojot līdzstrāvas avota enerģiju.

Pastiprinātāju var viegli pārveidot par generatoru. Šai nolūkā jāiekārto atgriezeniskā saite. Ja tvērēju un grupētāju vienu ar otru savienojam, šim nolūkam izmantodami nelielas cilpas un īsu līnijas nogriežņi, daļa no tvērēja svārstību enerģijas atgriezīsies grupētājā. Ar šo samērā nelielo daļu pietiks, lai grupētāja tiklīņi veidotu elektronu sabiezējumus un retinājumus un lai klistronā sāktu «vilņoties jūra». «Jūras vilņi» iešūpos tvērējrezonatoru, daļa no tā svārstību enerģijas atkal atgriezīsies atpakaļ grupētājā, t. i., izveidosies nepieciešamais noslēgtais loks. Klistrons sāks ģenerēt svārstības, kuru frekvence būs vienāda ar rezonatoru pašfrekvenci.

Tomēr var vaicāt: kāpēc klistronā atgriezenisko saiti var radīt tikai ar cilpām un līnijas nogriežņi? Rezonatoriem taču ir tiklīņi, pa kuru acīm izjoņo cauri visa elektronu plūsma. Kāpēc gan arī vilnis nevarētu «izfiltrēties» pa tiklīņu acīm un no tvērēja nokļūt atpakaļ grupētājā, tādējādi radīdams atgriezenisko saiti?

Noslēpums ir tāds, ka vilņu garuma decimālkārta, kā jau vairākkārt aizrādīts, ir 3 centimetri, bet tiklīņu acis ir daudz mazākas. Vilnis šīs acis gluži vienkārši «nepamana». Ja vilņi un elektroni būtu apveltīti ar redzi, tad elektroniem tiklīņi liktos caurspīdīgi, bet vilņiem tie izskatītos kā mūra siena,

## LAIKS IR KĻUVIS VAJADZĪGS

Svārstības, kuru frekvences decimālkārta ir 10 000 MHz, triodei ir nepārkožami ciets rieksts. Turpretī klistrons ar tām tiek galā viegli. Kāpēc? Atkal jārunā par skrējiena ilgumu, par to «mirkļa mirkli», kad elektrons jau ir pametis katodu, bet vēl nav aizskrējis līdz anodam.

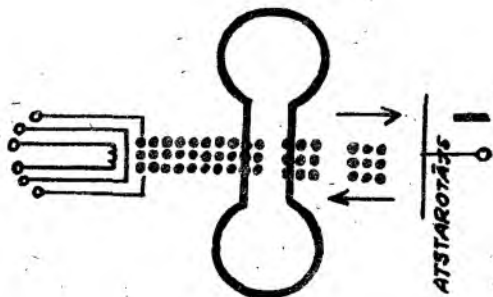
Mēs jau redzējām, ka SAF diapazonā izmantojamās triodes izskatās pavisam citādas nekā parastās triodes. Trūkumi, kas izriet no parazitisko induktivitāšu un kapacitāšu ietekmes, metālkeramisko lampu un disku lampu konstrukcijā ir novērsti. Tomēr samērā liels skrējiena ilgums — dziļi sakņotais «iedzimtais grēks» — ir palicis.

Bet kā šī problēma atrisināta klistronā?

Visai savdabīgi: triodē skrējiena ilgums ir «netikums», turpretī klistrons bez tā nemaz nevar darboties. Tieši šajā «mirkļa mirkli» jānoris procesiem, kuri ir pats klistrona darbības pamats. Laikā, kamēr elektroni lido, tiem jāpaspēj sakārtoties grupās un pēc tam ierosināt tvērēju, no kura tiek aizvadīts pastiprinātais signāls.

Tālāk. Kā ir ar parazitisko kapacitāti? Viena no rezonatoru sastāvdaļām taču ir tīkliņi, caur kuriem joņo elektroni. Ja tīkliņi atrodas tuvu viens otram, kapacitāte starp tiem ir liela. Var gadīties, ka noskaņot rezonatorus uz 10 000 megahercu frekvenci šīs kapacitātes dēļ nav iespējams. Tātad tīkliņi viens no otra jāattālina. Elektronu būs jānoskrien garāks ceļš; līdz ar to palielināsies arī skrējiena ilgums. Dilemma tā pati, kas triodēs.

Pieņemsim, ka laiks, kurā elektroni noskrien attālumu no viena tīkliņa līdz otram, ir kļuvis vienāds ar SAF svārstību periodu. Tādā gadījumā, kamēr elektrons jož no viena tīkliņa līdz otram, sprieguma pozitīvo pusvilni pagūst aizstāt negatīvais. Lauks, kas sākumā elektronu ir



paātrinājis, sāk to bremsēt. Izrāviens, piebremzējums, izrāviens, piebremzējums — un grupu vietā jau ir radusies vienmērīga elektronu plūsma; «luksofors» nevis veido grupas, bet tās izjauc.

Ko darīt? Ja tikliņi ir tuvu viens otram, kapacitāte ir pārāk liela: ja tālu — grupas izjūk.

Par laimi, otrā iespējamība ir tīri teorētiska. Klistrona «elektronu lielgabals» elektronus paātrina līdz ļoti lielam ātrumam. Un nav tik svarīgi, ka ir samērā liels kopējais skrējiena ilgums — no katoda līdz kolektoram. Relatīvi nelielo attālumu starp tikliņiem, pat visai atstatus izvietotiem, elektroni veic ļoti ātri. Tātad attālumu starp tikliņiem droši varam palielināt un, kaitīgajai kapacitātei līdz ar to samazinoties, mierīgi varam pastiprināt vai ģenerēt pat visaugstāko frekvenču signālus.

Tātad klistrons par triodi ir pārāks ar to, ka klistronā elektroniem ir dota iespēja «ieskrieties», turpretī triodē tiem katoda apkaimē (telpas lādiņa apgabals) jāpamet tikpat kā ar nulles ātrumu. Šī priekšrocība ir būtiska.

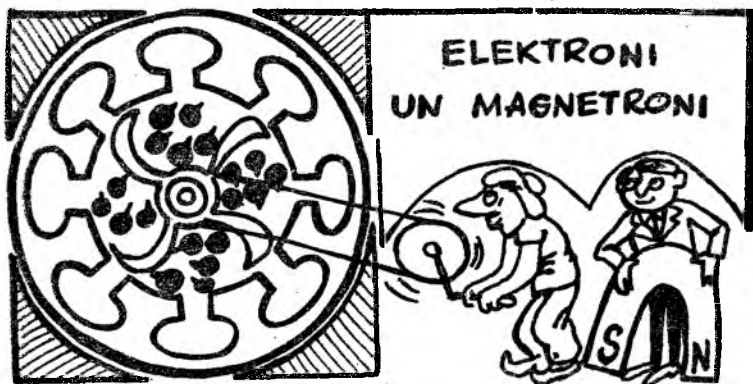
Klistroniem ir vairāki paveidi: viens no interesantākajiem ir tā sauktais refleksklistrons, kurā ir nevis divi, bet tikai viens rezonators. Šis ierīces pamatideja ir šāda: ja jau, lai iestātos pašierosme (sāktos ģenerācija), grupētājs un tvērējs tik un tā jāsavieno ar cilpu, vai tad nevar panākt, ka elektronus grupētu un tvertu viens un tas pats rezonators?

Izrādījās, ka var. Vispirms starp rezonatora tikliņiem izveido grupas, kurām liek lidot uz atstarotāju (reflektoru) — īpašu elektrodu, kura spriegums ir negatīvs. Ap šo elektrodu pastāv elektriskais lauks, no kā elektroni atlec kā zirņi no sienas un, palikdami sakārtoti grupās, dodas atpakaļ uz rezonatoru. Nonākušas starp tikliņiem, grupas savu enerģiju atdod rezonatōram.

«Piebikstīšanas» frekvence (un tātad arī ģenerācijas frekvence) ir vienāda ar rezonatora pašfrekvenci, jo rezonators viens pats veic visus darbus: ij grupē elektronus, ij tver atstarotās grupas, ij realizē atgriezenisko saiti.

Pirmos refleksklistronus 1941. gadā izstrādāja V. Kovalenko. Analogiskas konstrukcijas neatkarīgi no viņa radīja N. Devjatkovs un I. Piskunovs.

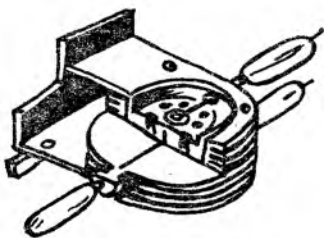
Bet klistrona ideja vispār radās daudz agrāk: 1932. gadā to piedāvāja D. Rožanskis, viens no padomju radiotehnikas pamatlicējiem.



PAMATS IR SĀDS

#### 4.15.

Bridināsim lasītāju: elektroni ir «elektrības atomi», bet magnetroni nav «magnētisma atomi». Magnetrons ir ierīce, viena no dažādajām ierīcēm, kas domātas SAF svārstību ģenerēšanai. Magnetronu izgudroja jau 20. gados, bet šīs ierīces istā dzīve sākās vēlāk, kad radiolokācijai bija kļuvuši vajadzīgi centimetru viļņi. Pirmo daudzrezonatoru (jeb daudzspraugu) magnetronu



M. Bonča-Brujeviča vadībā izveidojā padomju inženieri N. Aļeksejevs un D. Maļarovs.

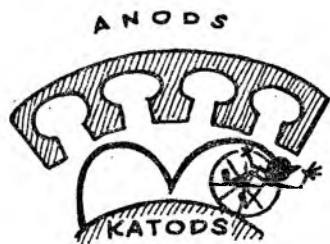
#### 4.16.

Jau tikām aplūkojuši (sk. 3. nodaļas paragrāfu «Augstākās pilotāžas figūras»), pa kādu trajektoriju skrien elektrons, uz kuru vienlaikus iedarbojas elektriskais un magnētiskais lauks.

Magnētiskajās lēcās magnētiskais lauks pamatos ir vērsts elektronu trajektorijām paralēli, turpretī magnetronā — perpendikulāri. Tāpēc šai gadījumā elektrons jo vairāk ir spiests iz-

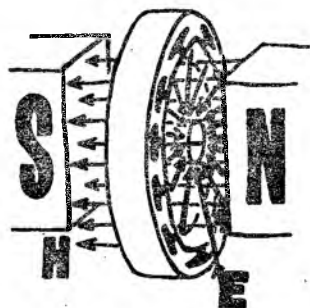
pildīt augstākās un visaugstākās pilotāžas figūras. Tā trajektorija ir cikloīda vai tai līdzīgas sarežģītākas līknes. (Cikloīda ir līkne, kādu «raksta» ikviens riteņa apmales punkts, ja ritenis rit pa gludu virsmu.)

Bet anods visus elektronus tiecas pievilkt sev klāt, atbrīvojot no magnētiskā lauka gūsta. Abi lauki savstarpēji konkurē: elektriskais lauks elektroniem liek lidot tieši uz anodu, magnētiskais tos, cik vien iespējams, «sacilpo».



#### 4.17.

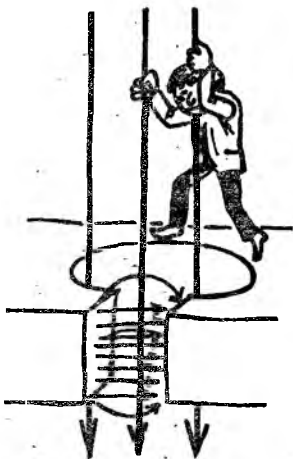
Uz elektronu iedarbojas ne vien laikā nemainīgie lauki, bet arī mainīgie, kas radušies magnetrona rezonatoros («kontūros»). Arī šie ir dobunrezonatori (un turklāt daudz «īstāki» nekā iepriekš aplūkotie); tie izvietoti tieši anodā. Bieži tos sauc par kamerām, bet pašu ierīci — ne tikai par daudz-



Ja pastiprinām magnētisko lauku, «cilpas savēliskas ciešāk», t. i., elektronu riņķojumu rādiusi samazinās. Turpretī, ja palielinām anodspriegumu, t. i., pastiprinām anoda radīto elektrisko lauku, cikloīdu vijumi tiecas iztaisnoties. Šo viens otram pretēji darbojošos faktoru skaitliskās vērtības izraugās tā, lai cikloīdu vijumi neskartu anodu, t. i., lai uz anoda, vismaz uzreiz, elektrons nenokļūtu.

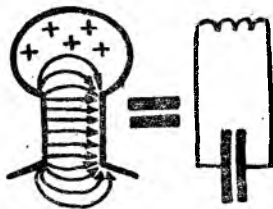
rezonatoru vai daudzspraugu, bet arī daudzkameru magnetronu. Uzskatāmības labad var pieņemt, ka magnētiskais lauks ir koncentrēts kamerās, bet elektriskais — spraugās. (Magnētiskās spēka līnijas ir perpendikulāras attēla plaknei; to «pēdas» parādītas ar krustiņiem. Elektriskā





Iauka spēka līnijas guļ atēla plaknē. Protams, gan vienas, gan otras savu vir-

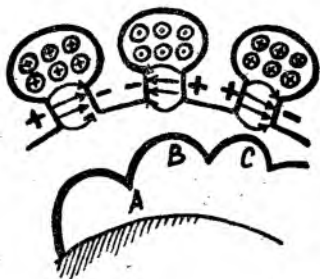
zienu un arī skaitlisko vērtību milzu ātrumā, teiksim, 10 000 000 000 reīžu sekundē, maina pēc sinusa likuma, turklāt vēl ar savstarpēji nobīdītu fāzi. Ārkārtīgi sarežģīti, vai ne?) Var uzskatīt, ka spraugas ir ekvivalentas kondensatoriem, bet kameras — spolēm.



#### 4.18.

Tāpat kā klistronā, arī magnetronā. rezonatora elektriskais lauks garām lidojošo elektronu var paātrināt vai palēnināt atkarībā no tā, vai attiecīgajā brīdī spraugā pastāv pozitīvais vai negatīvais sprieguma pusvīlnis.

(Elektriskais lauks ir «piebriedis»: tas vēl pastāv arī zināmā attālumā no spraugas «stūriem», magnetrona kopīgās cilindriskās-kameras iekšienē. Var teikt, ka lauka līnijas aptver spraugu kā krinolīns galma dāmas augumu.)



Pieņemsim, ka vispirms elektrons nokļūst rezonatora bremsējošajā laukā. Tur bremsēdamies, tas laukam atdod daļu no savas enerģijas. Punktā A, spēkus zaudējis un uz katoda at-

griezties vairs nevarēdams, elektrons apstājas. Bet jau nākamajā mirklī to pārtver kaimiņrezonatora paātrin-

šais lauks, un otrais cikloīdas vijums elektronu noved šī rezonatora tuvumā (punktā *B*).

#### 4.19.

Rezonatori ir cits ar citu saistīti, tomēr nevis kaimiņš ar kaimiņu, bet gan vienu izlaižot. Savienotājdetaļu sauc par sasaiti. Ja rezonatorus pēc kārtas sanumurētu, tad visi nepāra rezonatori būtu savienoti savā starpā un pāra rezonatori — savā.

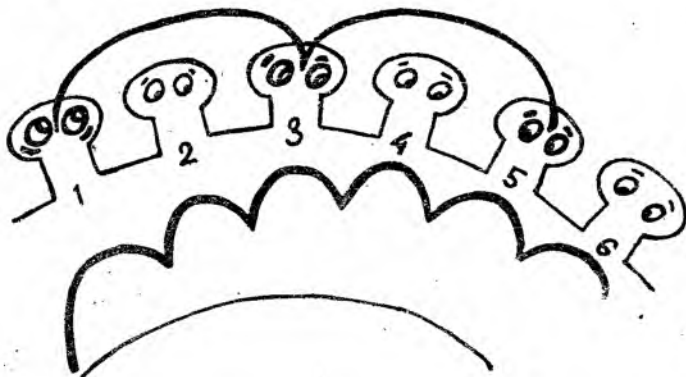
Tāpēc jebkurā mirklī visos nepāra rezonatoros ir viens (teiksim, pozitīvais) pusvilknis, bet pāra rezonatoros — otrs. (Kad pagājusi puse no sekundes desmitmiljarddaļas, viss ir otrādi.)

Tātad divu blakus novietotu rezonatoru svārstībām ir pretēja fāze. Piemēram, ja pirmā rezonatora lauks

elektronu bremzē, tad otrā — paātrina.

Tagad būs pats svarīgākais. Kamēr elektrons lido no pirmā uz otrā rezonatora apvidu, t. i., kamēr tas nonāk minētajā punktā *B*, ir pagājis laiks, kas precīzi atbilst svārstību pusperiodam. Rezonatoru lauku polaritāte ir mainījusies, bremzējošais lauks tagad ir otrajā rezonatorā (elektronam, protams, svarīgi, ka tas pastāv netālu no spraugas).

Viss ir aprēķināts precīzi. Visas spraugas pēc kārtas aplidodams, elektrons to tuvumā katru reizi nokļūst *bremzējošā* pusperioda



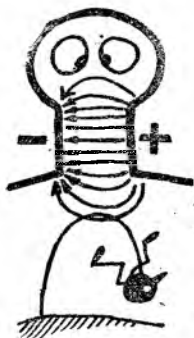
(pusviļņa) laikā un daļu no savas enerģijas atdod rezonatoru maiņlaukam. (Tajos cikloīdas posmos, kad elektrons tuvojas anodam, tas kaut cik enerģijas pagūst arī piesavināties — atņemt

pastāvīgajam anoda laukam.) Beigu beigās, rezonatoriem atdevis gandrīz visu enerģiju, elektrons nokrīt uz anoda. (Visu šādu elektronu kopums veido anodstrāvu.)

#### 4.20.

Neveiksmīgs mūsu elektrona brālītis, kas mazliet, mazliet aizkāvējas un pie rezonatora Nr. 1 piesteidzas brīdī, kad jau darbojas paātrinātais pusvilnis, ar to pašu tiek «izsists no segliem». Proti, no šī pusviļņa leguvis papildu enerģiju, tas pa atlikušo cikloīdas daļu (līknes parametri šīs papildu enerģijas dēļ mainās!) lido tik ātri, ka nepagūst laikā apstāties un «izstājas no spēles» — nokrīt uz katoda un tam atdod visu savas enerģijas atlikumu.

Tas notiek ar visiem elektroniem, kuri paātrināto pusvilni «grib» izmantot, lai iegūtu vairāk enerģijas. Tie nokļūst uz katoda, visu enerģiju atdodami tam. Tāpēc «elektronu lietus», kas

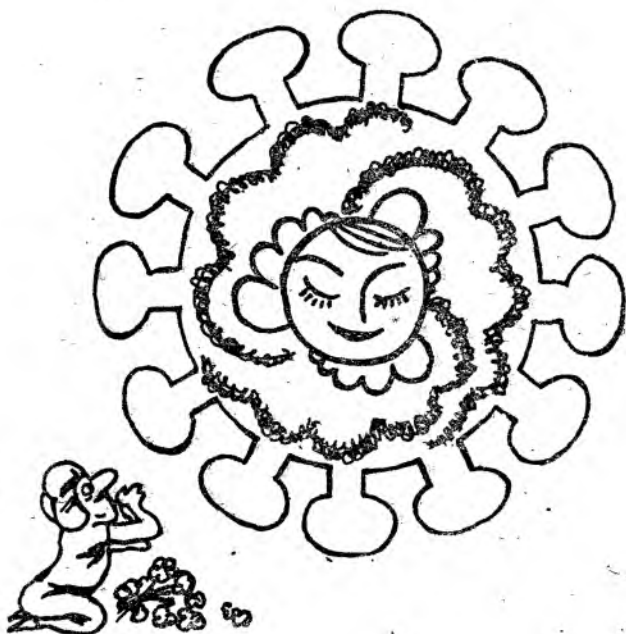


sitas pret katodu, to nevis atdzesē (kā svelmainā vasaras dienā mēdz darīt parastais lietus), bet gan sakarsē. Sakaršana ir tik spēcīga, ka magnetrona kvēldiegu bieži vien ir nepieciešams ieslēgt tikai uz pašu darba sākumu; kad magnetrons sāk ģenerēt svārstības, kvēldiegu var atslēgt.

#### 4.21.

Veiksmīgie elektroni, kas iekļuvuši «pareizajā fāzē», ar rezonatoru (kameru) lauku mijiedarbojas dažādi, jo elektriskā lauka bremzējošā pusviļņa laikā atrodas

dažādos cikloīdas punktos. Jo ātrāk elektrons lido, jo stiprāk tas bremzējas. Lēnākie elektroni bremzējas mazāk un ātrākos «iedzen»; rezultātā elektroni izkārt-



jas (nogrupējas) sabiezējumos, kas griežas līdzīgi rīteņa spieķiem. Šie «spieķi» ir vērsti pa spirāli, kas, re-

latīvi lēni ritinās vaļā un ir izrotāta ar cikloīdu «mežģinēm».

#### 4.22.

«Spieķos» sakoncentrēto elektronu enerģija uztur rezonatoros (kamerās) svārstības. Elektroni pašī sagrupējas tā, ka rezonatoru laukam spēj atdot samērā lielu daļu no savas enerģijas — nereti 2—4 reizes lielāku, nekā tas notiek samērā zemo frekvenču diapazonā (garajos, vidējos un īsajos viļņos).

Elektromagnētiskā lauka svārstību frekvence ir viena ar rezonatoru pašfrekvenci; tā var sasniegt 10 000 un pat 100 000 megahercu. Lauka svārstību enerģiju novada ar vienā rezonatorā iemontētu cilpu. Novadīto enerģiju pievada antenai, kas to izstaro centimetru vai milimetru viļņu veidā.

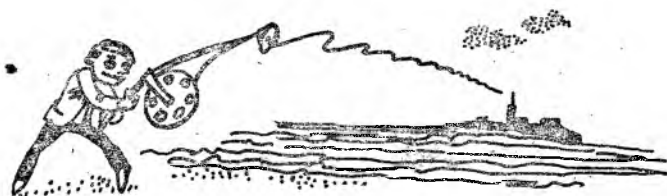
## 4.23.

Magnetrona pārākums par klistronu ir acīm redzams. Klistronā katrs elektrons ar rezonatoru maiņlauku mijiedarbojas tikai vienu reizi. Turpretī magnetronā tas, ērti iekārtojies atbilstošajā «spieķī», mijiedarbojas ar vairākiem rezonatoriem pēc kārtas. Riņķot pa magnetronu kā «spieķa» sastāvdaļai elektronam liek magnētiskais lauks.

Vairākkārtējās «spieķu» iedarbības rezultātā rezonatoros generējas ļoti jaudi-

gas, īsu impulsu veidā norisošas svārstības. Impulsa jauda var būt simtiem un pat tūkstošiem kilovatu. Impulsi tiek pārvērsti šauros viļņu kūļos, kurus lokatora antena vērs uz mērķi — lidmašīnu, raķeti utt.

Lai procesi magnetronā būtu cik sarežģīti būdami, to pamatā ir tas pats princips, ar kuru mēs tikām sastapušies visās elektroniskajās ierīcēs: elektronu mijiedarbība ar pastāvīgiem un mainīgiem elektriskajiem un magnētiskajiem laukiem.



## NAIVUMS UN JAUNRADE

Pat tikai pavirši iepazinušies ar galvenajiem SAF diapazona elektronisko ierīču tipiem, mēs jau saprotam, cik daudzveidīgi ir gan principi, gan konstrukcijas, kas izriet no šī diapazona īpatnībām. Tomēr visām aplūkotajām ierīcēm ir arī kaut kas kopīgs: viscaur tiek izmantota rezonanse. Tajā ir šo ierīču spēks, bet, ar Jūsu atļauju, arī vājums. Tās visas ir labas, kamēr signāla frekvence ir vienāda ar rezonatoru pašfrekvenci. Bet ja nu generācijas frekvence jāmaina?

Refleksklistronā šai nolūkā, piemēram, maina atstarotāja spriegumu. Tomēr šādi frekvence ir izmaināma tikai relatīvi šaurās robežās: signālam joprojām jāvar «iešūpot» rezonatorus, un tas ir iespējams tikai tad, ja «piebikstī-

šanas» frekvence ir pietiekami tuva rezonatora pašfrekvencei (sk. 3.8. un 3.9.). Bet pārskatot rezonatoru ir sarežģīti. Ar to pašu problēmu sastopamies arī radiouztvērējos: lai varētu uztvert citu staciju, jāpārskatī uztvērēja kontūri. (Atcerēsīmies superheterodīna principu — jāpārskatī tikai ieejas un heterodīna kontūri: starpfrekvence paliek nemainīga. Protams, radiouztvērēju lietotāji parasti par to nedomā.)

Atgriezīsimies pie SAF diapazona ierīcēm. Ilgu laiku pret šo ierīču frekvences nemainīgumu nekādi iebildumi neradās. Likās, ka te nu gan neko izgudrot nav iespējams. Visām ierīcēm piemita viens un tas pats defekts. Kamēr signāla frekvence nemainījās, tās strādāja lieliski, bet darba frekvenci mainīt plašās robežās vai arī pastiprināt signālu, kuram ir daudz frekvenčkomponenšu, nebija iespējams.

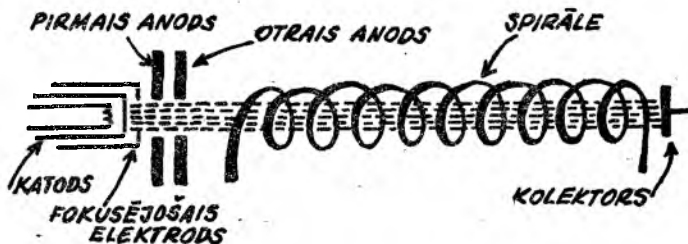
Tomēr atradās izgudrotājs, kurš, ar šo problēmu sastapies, uzdeva vairākus naivus jautājumus.

Kāpēc katrā ziņā rezonators? Kāpēc katrā ziņā rezonanse?

Viņa naivumu varēja saprast. Kā gan austriešu arhitekts Rūdolfs Kompfners būtu varējis zināt, kādas grūtības nācās pārvarēt, radot SAF diapazona elektroniskās ierīces?

Tomēr elektronikai bija laimējies. Tikai arhitektam, un ne jau nu fiziķim, varēja ienākt prātā šādi naivi jautājumi. Varbūt tieši šī naivuma pietrūka elektronisko ierīču radītājiem, kuri bija pārāk pieraduši pie kontūriem un rezonatoriem, tā ka centās tos izmantot visos gadījumos.

Kompfners izvēlējās pavisam neparastu ceļu. No kontūra vai rezonatora viņš nolēma vispār atteikties un panākt, lai mijiedarbība notiktu starp elektronu kūli un elektromagnētisko viļni, kas skrietu tam līdzās (vai arī vienā telpā ar to savietots; elektroni un elektromagnētiskais lauks var vienlaikus eksistēt vienā un tai pašā «punktā», telpas daļā).



Bet kā lai vilnim un elektronu kūlim pavēl skriet līdzās? (Ja ātrumi nesakrītīs, mijiedarbības nebūs.) Vilnis skrien gaismas ātrumā, turpretī elektroni — parasti desmit līdz piecpadsmit reizes lēnāk. Ka daļiņa nevar panākt gaismas staru, Einšteins ir pierādījis jau sen. Bet varbūt, kā teikts parunā, ja kalns nevar atnākt pie Muhameda, Muhameds var aiziet pie kalna?

Elektrons netiek līdz vilnim? Ļoti jauki.

Kāpēc gan nesamazināt viļņa ātrumu?

Arī šis ir jautājums, kas speciālistam var likties naivs. Vilnis var skriet tikai gaismas ātrumā, bet gaismas ātrumu izmainīt nevar neviens.

Tomēr Kompfners bija ne tikai naivs. Uzdevis naivu jautājumu, viņš prata uz to atbildēt radoši. Ja skrejvilni nevar piebremzēt, varbūt ir iespējams pagarināt tā ceļu? Un vilnim viņš lika skriet pa ... spirāli.

Pa spirāles vijumiem vilnis skrien gaismas ātrumā. Cik ilgā laikā tas sasniegs kārtējo vijumu? To izrēķināt ir viegli: no vijuma līdz vijumam vilnis aizskries tik reizes lēnāk, cik reizes attālums starp vijumiem ir mazāks par paša vijuma garumu.

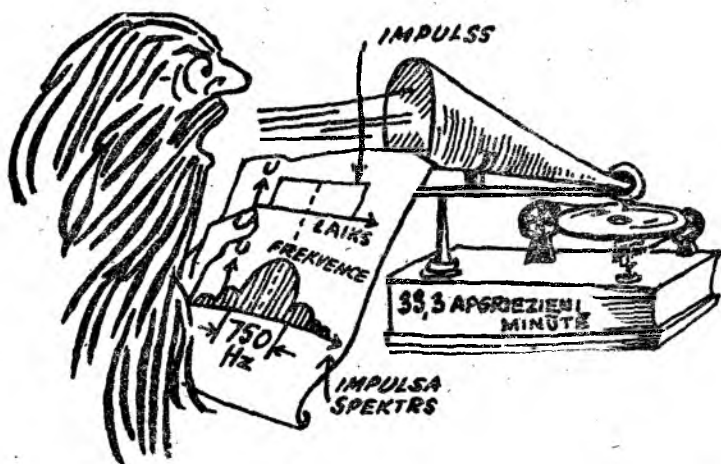
Bet līdzās skrien elektroni. Pašā sākumā tie vilni mazliet apsteidz; vēlāk vilnis tos sāk bremsēt. Bremsēšanas procesā elektroni vilnim dod savu enerģiju. Klistronā un magnetronā elektrons rezonatoram savu enerģiju deva tai isajā laika sprīdī, kamēr skrēja garām šī rezonatora spraugai, turpretī šeit elektrons enerģiju atdod visu laiku, kamēr atrodas ceļā. Tāpēc pastiprinājums ir daudzkārt lielāks: klistrons, piemēram, pastiprina reizes desmit, bet Kompfnera radītā ierīce — miljons reižu. Turklāt tajā nav nekādu rezonatoru un līdz ar to nav vajadzīga nekāda pārskatīšana. Lampa var darboties ļoti plašā frekvenču diapazonā.

Arhitektam Kompfneram par šīs ierīces radīšanu piešķīra fizikas doktora grādu; pašu ierīci nosauca par *skrejvilņa lampu*.

## IMPULSI UN BURATĪNO

Iespēja plašās robežās mainīt generējamo svārstību frekvenci ir svarīga skrejvilņa lampas priekšrocība salīdzinājumā ar citām SAF diapazona ierīcēm.

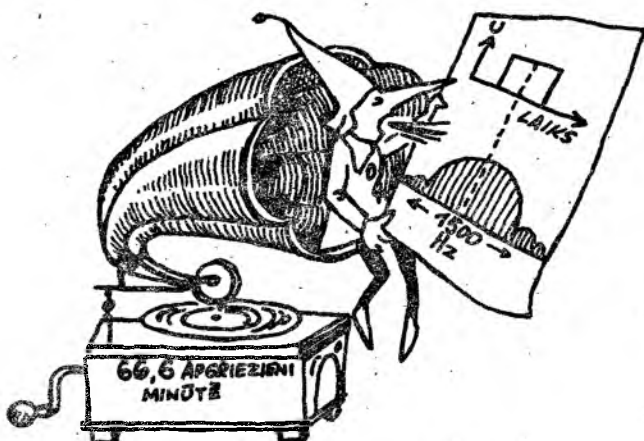
Jāpiebilst, ka tehnisku iemeslu dēļ svārstību generēšanai parasti izmanto tā saukto *pretvilņa lampu*; darbības princips tai ir līdzīgs, tikai vilnis un elektronu kūlis skrien viens otram pretī.



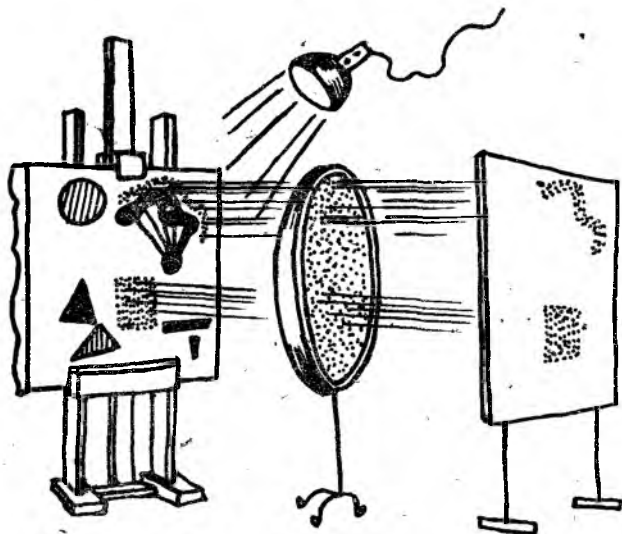
Otra — varbūt vēl svarīgāka, bet ar pirmo cieši saistīta priekšrocība ir iespēja pastiprināt signālu, kurš satur daudz dažādu frekvenčkomponentu.

Ar vienu šādu signālu jau esam sastapušies: tas ir atēla signāls jeb videosignāls. Kā redzējam (sk. 3.41.), tas satur komponentes, kuru frekvence mainās robežās no pašām mazākajām līdz samērā lielām vērtībām — līdz 6 MHz. Tādu signālu labi pastiprina pentode.

Turpretī lōkācijā, kur nesējsignālu frekvence ir desmitiem un simtiem reižu augstāka, bet pastiprināmo kompo-







nenšu frekvenču josla — desmitiem reižu platāka nekā televīzijā, skrejviļņa lampa ir gandrīz vai neaizstājama.

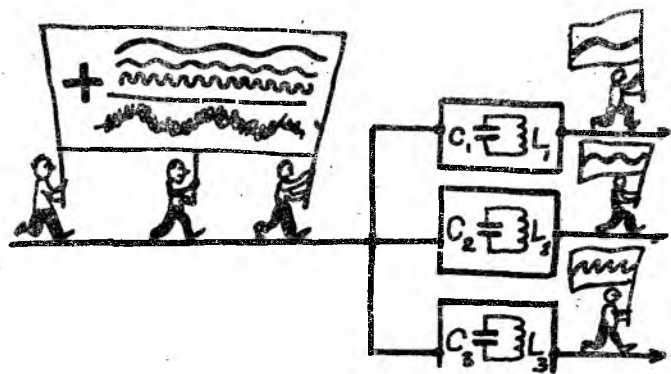
Lai būtu saprotams, kāpēc pastiprinātāja caurlaides joslai jābūt tik platai, jāzina, kas īsti ir lokācijas signāls.

Radiolokatora antena izstaro centimetru viļņu impulsus, t. i., īsus viļņu «uzbangojumus», svārstību «paketes». Kārtējā impulsa izstarošanai jābeidzas pirms brīža, kad šī impulsa sākums (teiksim, pirmās «ēterā» izstarotās 10 000 megahercu frekvences «sinusoīdas») jau varētu būt atgriezies no mērķa. Citādi impulsa turpinājums klāsies vīrsū vājjam uztvertajam impulsam, kuru vispār nebūs iespējams pamanīt. (Līdzīga parādība novērojama, klausoties atbalsi: tā atkārto visu Jūsu teikto, bet sadzirdēt varat tikai pēdējo zilbi.)

Impulsa «ceļojums» nav ilgs. Tas skrien gaismas ātrumā un dažus simtus metru veic pāris mikrosekundēs. Tātad, ja gribam uztautīt šāda attāluma mērķus, impulss nedrīkst būt ilgāks par šīm mikrosekundēm. (Tas nav vie-

GAISMA

SARKANS  
ORANŽS  
DZELTENS  
ZALŠ  
GAISZILS  
ZILS  
VIOLETS



nīgais iemesls, kādēļ impulsam jābūt īsam.) Raidītāja darbībai tas ir izdevīgi: īsā impulsā var koncentrēt lielu jaudu, bet generatoru barojošo līdzstrāvas avotu vidējā jauda var būt samērā neliela.

Varam izrēķināt, ka impulss saturēs dažus tūkstošus (vai pat desmit un vairāk tūkstošu) SAF «sinusoīdu». Uzzīmēt šādu impulsu, saglabājot laika mērogu, nav iespējams.

Bet, konstruējot šādu īsu («šauru») impulsu uztvērēju un tā sastāvā obligāti ietilpstošos pastiprinātājus, izvirzās daudz sarežģītu problēmu. Tās ir saistītas ar to, ka īsa impulsa frekvenčkomponentu aizņemtā josla ir plata jeb, kas būtu precīzāk, šāda impulsa spektra platums ir relatīvi liels.

Pavaicājiēt speciālistiem, kāpēc tas ir tā. Viņi teiks: lai tas kļūtu saprotams, Jums ar īpašu pārskatājamu «frekvenču sietu» (sk. 3.9.) pēc kārtas «jāatsijā» visas frekvenčkomponentes, kuras šis impulss satur, un «atsijāšanas» gaitā jānoteic šo komponentu frekvence. Vai arī dos vēl «vienkāršāku» padomu: lūgt palīdzību matemātiķiem, kuri impulsu (vai impulsu secību) prot izteikt kā bezgalīgi daudzu tādu un tādu frekvenču sinusoīdu summu (jeb, patiesību sakot, integrāli) vai arī kā tādu un tādu augstāko harmoniku summu (šoreiz patiešām summu); ar Furjē transformācijas formulām, viņi teiks, tas izdarāms viens un divi. Tomēr šādas speciālistu atbildes var pārliecināt... tikai speciālistus. Cilvēks, kas ar šādiem jautājumiem sastopas pirmo reizi, meklē citādu — patiešām vienkāršāku atbildi.

Un mūsu pieeja arī būs citāda: mēs aplūkosim vienkāršu piemēru.

Jādomā, ka visi ir dzirdējuši bērniem domātos radioraidījumus, kuros piedalās Buratīno. Tomēr droši vien tikai retajam ir skaidrs, kā Buratīno lomas tēlotājam izdodas atdarināt koka cilvēciņa balsi, kas taču nemaz nav līdzīga mums pierastajām balsīm.

Izrādās, ka aktierim palīdz tehnika. Jebkuru skaņuplatē ierakstītu balsi vienmēr var padarīt par «Buratīno balsi»: plati tikai vajag atskaņot ātrāk, nekā šī balss ierakstīta. (Tagad praksē visbiežāk izmanto magnetofonu, atbilstoši mainot lentes ātrumu.)

Aktieris, kas lasa Buratīno tekstu, to dara ļoti lēnām, vārdus tīšām stiepdams. Tekstu atskaņo aptuveni divas reizes ātrāk nekā ieraksta. Stiepti izrunātie vārdi un teikumi atgūst savu normālo ātrumu, bet balss kļūst nedabiski augsta. Kāpēc? Tāpēc, ka, divreiz palielinādami atskaņošanas ātrumu (salīdzinājumā ar ierakstes ātrumu), mēs līdz ar to esam divreiz paaugstinājuši katras signāla frekvenčkomponentes frekvenci. Piemēram, ja, plati atskaņojot normālā ātrumā, ik sekundi gar skaņas noņēmēju paslīd 800 «pozitīvās viļņa kores», tad dubultota ātruma gadījumā to skaits ir kļuvis 1600.

Teiktais atbilst 800 hercu frekvencei; kopējais pozitīvo un negatīvo svārstības maksimumu skaits ir 1600.

To pašu Jūs varat izdarīt ar jebkuru plati (tomēr labāk gan saudzējiet plati un apmierinieties ar «domu eksperimentu»), kurai normālais atskaņošanas ātrums ir 33,3 apgriezieni minūtē. Atskaņojiet to palielinātā ātrumā (78 apgriezieni minūtē), un Jūs konstatēsiet, ka bass ir kļuvis par soprānu un vispār balsis skan kā «leļļu balsis».

Tas viss ir labi, Jūs teiksiet, bet kāds tam sakars ar radiolokācijas impulsiem un to spektru?

Bet vai gan plate nav impulss? Precīzāk sakot, tā analogs? «Impulsa» ilgums — tas taču ir laiks, kas nepieciešams, lai plati nospēlētu no sākuma līdz beigām. Vidēja lieluma ilgspēlējošo plati (33,3 apgriezieni minūtē) var nospēlēt aptuveni 10 minūtēs. Tātad šis 10 minūtes ir «impulsa» ilgums. Ja šo plati uzliksim uz atskaņotāja, kurš apgriežas 66,6 reizes minūtē, «impulsa» ilgums būs kļuvis divas reizes mazāks, bet visu ierakstītās skaņas frekvenčkomponentu frekvence — divas reizes augstāka; piemēram, ja akustisko svārstību spektrs ir iekļāvies joslā no 50 līdz 800 herciem, tad paātrināta atskaņojuma gadījumā spektra josla ir 100—1600 Hz.

Spektra platums attiecīgi ir: 33,3 apgriezieniem minūtē

800—50=750 Hz, bet 66,6 apgriezieniem minūtē —  
1600—100=1500 Hz.

Tātad, impulsam ilgstot nevis 10, bet tikai 5 minūtes, spektra platums ir kļuvis divas reizes lielāks.

Radiolokatora impulss ilgst mikrosekundes. Tomēr likumsakarība paliek tāda pati: ja, piemēram, impulsa ilgums divas reizes samazinās, spektra platums divas reizes palielinās.

Visiem zināms, ka ar krāsainiem gaismas filtriem no baltās gaismas var atdalīt jebkuras krāsas staru — sarkanu, zilu, zaļu utt. Elektronikā līdzīgi gaismas filtram darbojas LC kontūrs, kura caurlaides josla (sk. 3.8.—3.9.) ir pietiekami šaura. Vairāki šādi kontūri var darboties kā optiskā prizma: pienākošo signālu tie sadala dažādās «krāsās».

Izaks Nūtons savulaik rakstīja, ka, izmantojot prizmu, viņam esot izdevies iegūt «krāsainu Saules attēlu». Vārdu «attēls» Nūtons rakstīja latīniski — *spectrum*. Visu saliktā signāla sinusoīdu frekvences veido kopumu, ko elektronikā (un arī citās nozarēs) ir pieņemts saukt par spektru.

Parasti runā par amplitūdu spektru, t. i., par sinusoidālo komponentu amplitūdām atkarībā no šo komponentu frekvencēm jeb, kā parasti saka, par šo amplitūdu kopu kā frekvences funkciju. Īsi, bet neprecīzi spektru var definēt kā «salikto signālu veidojošo frekvenču kopu».

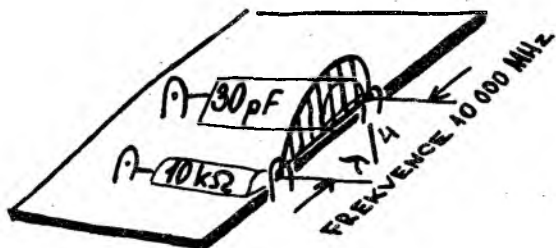
Frekvence — periodu skaits sekundē — nekādu signālu veidot nevar. Signālu veido sinusoidālās komponentes, un frekvence, tāpat kā amplitūda, ir šo komponentu raksturlielums.

Protams, «krāsainu impulsa attēlu», kas līdzinātos Saules spektram, iegūt nevar. Tiesa gan, ja radioviļņus mēs spētu saredzēt tāpat kā optiskā diapazona viļņus, katrs signāls mums būtu sarežģīts raksts, kas saturētu daudz krāsu nianšu un reizēm pat veselu to gammu.

«Raksts», kas «jāšus uz nesējviļņa» ierodas mūsu radio-uztvērēju antenās, ir pielīdzināms nevis vienkrāsainajam aizkaru rakstam, bet drīzāk gan daudzkrāsainajam paklāju ornamentam. Sarežģīto platspektra signālu pastiprināšana ir viena no elektronikas grūtākajām un vienkāršākajām jauna risināmajām problēmām. Daudzos gadījumos šeit lieti noder skrejviļņa lampa.

## VILŅI SKRIEN PA TUNELI

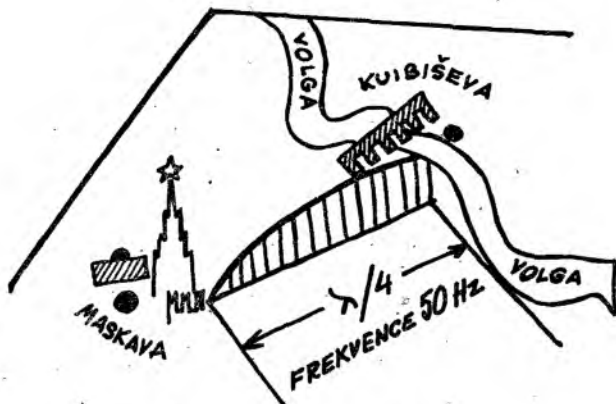
Kā redzams, apgūt centimetru viļņu diapazonu elektronikai nebija viegli. Bija jārada sarežģītas konstrukcijas lampas, kas spētu ģenerēt un pastiprināt tik augstu frek-



venču signālus. Bez tam centimetru viļņu impulsu uztveršana bija saistīta ar pastiprinātāja caurlaides joslas problēmu. Un pat signālu pārvade no generatora līdz raidantenei, kā arī no antenas līdz uztvērēja ieejai izvirzīja veselu sarežģītu jautājumu kompleksu.

Kamēr SAF diapazons vēl netika apgūts, signālu varēja pārvadīt pa vadiem. Taču SAF diapazonā visi ierastie priekšstatī sabrūk.

Salīdzināsim SAF diapazona generatoru radīto strāvu ar parasto apgaismošanas strāvu. Kā viena, tā otra mainās pēc sinusoidāla likuma; tomēr SAF strāvai ir 10 000 000 000 svārstību sekundē, turpretī strāvai, kas plūst pa Jūsu dzīvokļa instalācijas vadiem, — tikai 50. Tīkpat daudz reižu atšķiras viļņu garums. SAF generatorā tas ir trīs centimetri, vadā — 6000 km. Visā Kuibiševas—Maskavas elektropārvades līnijas garumā ietilpst tikai viļņa ceturtdaļa, turpretī SAF diapazonā jau dažus centimetrus garā vadiņā — vairāk nekā viens vilnis. 7,5 mm garš vada gabaliņš (tātad tikai ceturtdaļviļņa garumā) jau pilnā sparā strādā kā antena, apkārtējā telpā izkļiedēdams

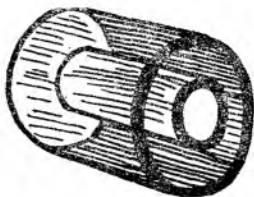




ZEMA  
FREKVENCE



AUGSTA  
FREKVENCE

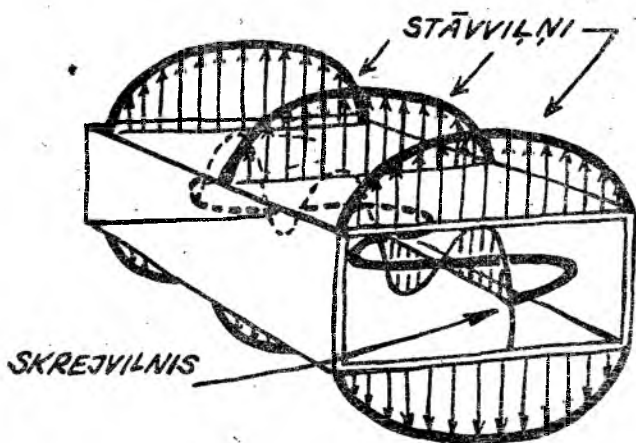


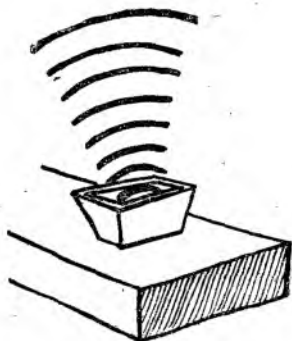
SAF svārstību enerģiju. Bez tam, frekvencei paaugstinoties, pieaug arī zudumi vadās.

Jau kopš Faradeja laikiem ir zināms, ka, tiklīdz lādiņš sāk pārvietoties, ap to rodas «oreols» — magnētiskais lauks (sk. 3.46.). Jo intensīvāka ir kustība, jo stiprāks ir magnētiskais lauks. Ja svārstību skaits sekundē sasniedz 10 000 000 000, tad lauks jau ir tik stiprs, ka ikviens elektrons jūtami traucē savus kaimiņus: tie visi svārstās tai pašā ritmā, un katram ir savs «oreols». Vadā tiem kļūst neērti, un tie attālinās no vada ass un koncentrējas plānā vada virsmas slānītī, kur jūtas daudz brīvāk: vismaz no ārienes to brīvību nekā neierobežo.

Teiktais jāprecizē: ja vada diametrs ir pietiekami liels un pietiekami liela ir arī materiāla vadītspēja, strāvas nesēji vada virsējos slāņos koncentrējas, jau sākot ar daudz zemāku frekvenču strāvām. Piemēram, vara vadam, kura resnums mērāms centimetros, šis efekts ir jūtams jau 50 Hz frekvences gadījumā.

SAF diapazona strāva plūst pa ļoti, ļoti plānu vada virsmas slāni. Tāpēc vada pretestība šai strāvai ir ļoti liela.





Par uzskatāmu piemēru var noderēt ūdens plūsma: ja caurules diametrs ir liels, pretestība plūsmai ir maza, turpretī, ja ūdenim jāplūst pa šauru spraugu starp divām caurulēm, plūsma sastop ļoti lielu pretestību. Lielās pretestības dēļ vadi stipri sasilst, un šī silšana patērē SAF svārstību enerģiju. Ņemot vērā visu teikto, var secināt, ka SAF strāvu pa vadiem pārvadīt nevar. Tāpēc enerģiju,

ko satur SAF svārstības, transportē bez vadiem.

Kā?

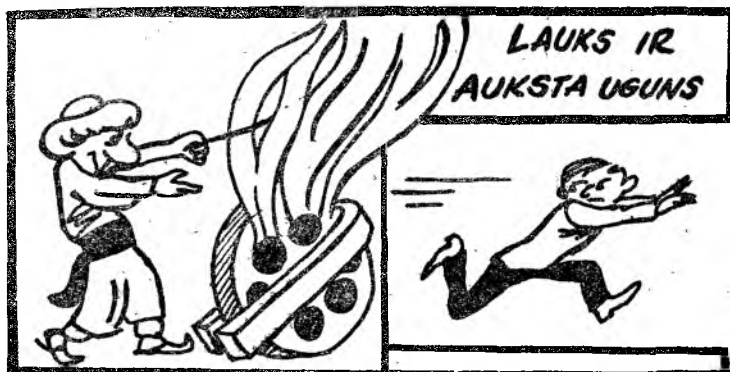
Tieši pa telpu.

Tomēr šai telpai jābūt ierobežotai, jo citādi viļņi izklidīs uz visām pusēm, enerģija izklidēsies, bet patērētājs, kam tā paredzēta, saņems tikai nenozīmīgu tās daļu. Lai tas nenotiktu, SAF vilnīm liek izplatīties pa «tuneli», kas vismaz pēc uzdevuma atgādina metropolitēna tunelus.

Tā kā «metropolitēna vilciens» šeit ir vilnis, tad šo «tuneli» sauc par *viļņvadu*.

Elektromagnētiskā lauka sadalījums viļņvadā ir sarežģīts. Šķēršām viļņvadā iestājas stāvvilnis, bet viļņvada ass virzienā enerģiju pārnēs skrejvilnis. Ja viļņvada sienā ierīko spraugu, kuras izmēri atbilst pietiekami lielai viļņa garuma daļai, šo spraugu var izmantot par antenu. Reizēm viļņvada sānos piemontē ruporu, kas viļņus šaurā kūlī izstaro noteiktā virzienā.

Maksveļa teorija ļauj paredzēt viļņu un lauku sadalījumu un izturēšanos, aprēķināt gan pašus viļņvadus, gan arī orientētas antenas.



PAMATS IR SĀDS

4.24.

Cik ilgi cepas pīle? Apmēram stundu. Bet tā ir izcepama arī sešās minūtēs. Ir tādas brīnumkrāsnis, kurās to var izdarīt. Tajās nede-

dzina ne malku, ne gāzi, ne ogles un arī nekarsē elektrospirāles. Uz kā tad pīle cepas?

Uz elektroniem!





## 4.25.

Ja starp kondensatora klājumiem ievieto materiālu, kuram ir bezgalīgi liela pretestība, jeb, citiem vārdiem sakot, ideālu izolatoru, strāva pa to neplūst.

Mēs jau zinām, ka telpā starp kondensatora klājumiem, pat ja tur «atrodas» absolūts vakuums, plūst *nobīdes strāva* (ja vien kondensatora spriegums mainās); nobīdes strāva ir proporcionāla ātrumam, kādā mainās spriegums un līdz ar to arī elektriskā lauka intensitāte (sk. arī 3.25.).

Bet dabā nekā ideāla nav. Pile, tāpat kā citi siltasiņu dzīvnieki (un arī cilvēks), drīzāk ir slikts elektrības vadītājs nekā slikts izolators, jo pīles ķermenī ir dažādu sāļu šķīdumi, kas savukārt satur jonus — tātad lādiņnesējus (sk. arī 1.13. un paragrāfu «Ceļojums pa vannu»). Un, iedarbojoties elektriskajam laukam, pa vadītājiem plūst elektriskā strāva.

Tomēr pīles ķermenis

## 4.26.

«Auksto» augstfrekvences «liesmu» izmanto daudzējādi. Ar to var mikstu padarīt stiklu, lai tam piešķirtu vēlamo formu; ar to var sildīt presējamās plastmasas, vulkanizēt gumiju, žāvēt vilnu un kokvilnu. Arī pārtikas rūpniecībā šo «liesmu» lieto plaši: žāvē



elektrību vada slikti; līdz ar to slikti vada arī siltumu. Tāpēc, ja pīli cepam uz uguns, tā silst lēnām un nevienmērīgi: no ārpuses tā var sadegt, bet iekšā palikt jēla.

Turpretī lauks vienmērīgi iespiežas visā pīlē; lauka izraisītā strāva pīli sakarsē. Jo augstāka ir lauka svārstību frekvence, jo vairāk siltuma izdalās. Par tādu svārstību avotu var būt, piemēram, magnetrons.

šķiņķi, iznīcina miltu vaļoju kāpurus, žāvē tabaku un cukuru.

Asprātīgi ir izveidota elektroniskā «šujmašīna». Pa kondensatora klājumu starpu velk divu plastmasas vai gumijas detaļu malas. Iedarbojoties laukam, tās

sakūst kopā («sacepas»), tā ka izveidojas šuve. Šuve bez caurumiem — tas taču ir lielisks ieguvums piepūšamo guļammaisu, laivu, ūdenī peldošu rotaļlietu, ūdensnecaurlaidīgu pārvalku un lietusmēteļu izgatavošanā!

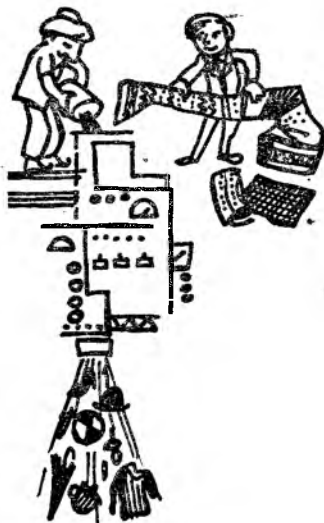
#### 4.27.

Atšķirībā no neideāliem izolatoriem un sliktiem vadītājiem, kurus karsē elektriskais lauks, metālus karsē magnētiskais lauks jeb, precīzāk izsakoties, virpuļstrāvas, kas metālā inducējas, ja to ievietojam mainīgā magnētiskā laukā. Izmantojot šo efektu, būvē



#### 4.28.

Bieži ir nepieciešams palielināt mašīnu un mehānismu tērauda detaļu iztu-



un plaši lieto dažādas tā sauktās indukcijas krāsnis, kurās, piemēram, pārkausējamā metāla tilpumu aptver lielizmēru spole. Metāla daudzums sniedzas tonnās, bet krāšņu jauda — megavatos. Šādaī pārkausēšanas tehnoloģijai ir daudz būtisku priekšrocību.

Parasti indukcijas krāsnīs lieto 50 Hz maiņstrāvu; krāšņu tilpums ir tik liels, ka nopietni jā-rēķinās ar tā saukto *virsmas efektu* (jeb *skin efektu*): proti, kaut arī frekvence ir samērā zema, strāva plūst tikai pa metāla virsējiem slāņiem.

rību. Šai nolūkā tās var rū-dīt ar augstfrekvences strāvu. Šāda strāva plūst

tikai pa plānu metāla virsmas slāni, un šis slānis sakarst, turpretī metāla iekšiene paliek auksta, līdz ar to saglabādama plastiskumu. Uz metālu pamīšus

iedarbojoties ar ūdeni un «augstfrekvences liesmu», iegūst augstas kvalitātes detaļas — no ārpuses cietas un izturīgas, iekšienē plastiskas.

#### 4.29.

Bet te, lūk, daži «pašapkalpošanās» piemēri: daudzos gadījumos elektronikā izmanto tehnoloģiju, kuras pamatus radījusi... pati elektronika.

Vietās, kur lampu baloni saskaras ar cokoliem, stiklu ar metālu salodē, izmantojot augstfrekvences lauku.

Lai lampā būtu pietiekami augsts vakuums, no tās metāla detaļām jāaizdabū prom tajās absorbētā gāze. Šai nolūkā lampu ievieto

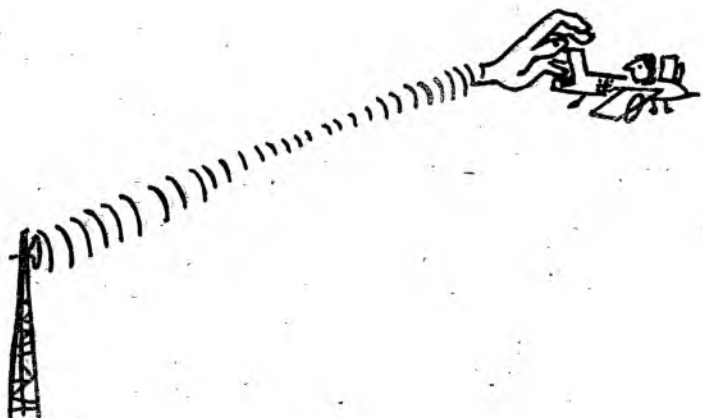
spolē, pa kuras vijumiem plūst augstfrekvences strāva. Lauks detaļas sakarsē līdz sarkankvēlei, un gāze no tām izdalās laukā; izdalijušos gāzi no balona izsūknē.

Pusvadītāji ierīču ražošanai nepieciešams germānijs un silīcijs, kuru tīrības pakāpei jābūt ļoti augstai. Šādus materiālus iegūst, kristālus vakuumā pārkausējot ar augstfrekvences lauku.



#### PAGĀJUŠĀ KARA EPIZODES

Līdz šim mēs iztirzājām tikai elektrona mierlaika profesijas. Bet ir taču labi zināms, ka centimetru viļņu impulss, ko radiolokācijas antena koncentrējusi smailā uz mērķi vērstā kūlī, pagājušajā karā bija visai iedarbīgs ierocis. Nebija nejausība, ka ij magnetrons, ij klistrons, ij skrejviļņa lampa «ceļazīmi dzīvē» saņēma un pirmās «kaujas kristības» izgāja tieši militārajās radiolokācijas iekār-



tās. Tomēr radiolokatori bija tikai viena «medaļas puse», bet otra ...

Kādā tumšā 1942. gada februāra naktī divi vācu līnijkuģi, «Scharnhorst» un «Gneisenau», kā arī kreiseris «Prinz Eugen», izlavījās no Brestas ostas, kuru no jūras puses bija bloķējuši angļu karakuģi, un izbrauca cauri Lamanšam. Neviena no angļu lokācijas stacijām, kuru tur bija simtiem, tos neatklāja: lokatoru ekrānus bija «apžilbinājušas» vācu traucējošās stacijas.

Tā sākās varenā elektronisko iekārtu kauja, kas ilga visus pasaules kara gadus.

Kopš šī kara beigām ir pagājis jau četrdesmit gadu, bet grandiozo kauju ainas tā dalībnieku atmiņā joprojām ir dzīvas. Tie, kas karā nav piedalījušies, par ciņu vērienīgumu un nežēlīgumu zina no literatūras, filmām un kara veterānu stāstiem.

Bet pat dažam labam kara dalībniekam nav pietiekami skaidra priekšstata par citādām kaujām — par neredzamo, tomēr nepārtraukto un siksto ciņu, kur sacentās elektroni un vilņi.

Daudzu operāciju rezultāts lielā mērā bija atkarīgs no elektroniskās tehnikas izmantošanas prasmes. Lūk, daži piemēri.

Lai bumbvedēji, uzlidodami Lielbritānijai, nenovirzītos no pareizā kursa, vācieši okupētās Beļģijas, Holandes un Francijas teritorijā bija iekārtojuši speciālas radiobākas. To raidītie signāli vācu pilotiem palīdzēja ieturēt pareizo virzienu.

Mēģinājumi nomākt bāku signālus beidzās ar neveiksmi: ja kāda bāka pārstāja darboties, to nomainīja cita —

ar citas frekvences signālu. Tad angļi izvēlējās citu cīņas paņēmieni. Savā teritorijā viņi uzbūvēja radiostacijas, kas vācu radiobāku signālus uztvēra un no jauna raidīja ēterā (t. i., retranslēja). Signāla raksturīgās iezīmes bija palikušas tādas pašas, turpretī virziens, ko vācu lidotājam norādīja šaurais bākas viļņu kūlis, protams, bija nepareizs un viņu novirzīja no mērķa. Gadījās pat tā, ka šis maldinošais signāls vācu lidotājam lika nolaisties Anglijas teritorijā. Līdz pat pēdējam brīdim, kad viņa lidmašīnas riteņi skāra kāda Devonšīras aerodroma skrejceļu, viņš bija cieši pārliecināts, ka atlidojis «mājās», uz Franciju.

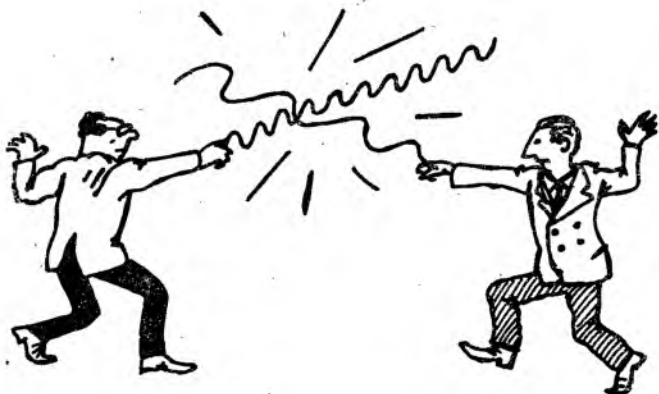
Nereti maldinošais signāls vāciešiem lika nomest bumbas nevis uz mērķi, bet gan neapdzīvotā apvidū vai pat Lamanšā. Beigās vācu lidotāji vairs neticēja nevienai bākai: ne ienaidnieka, ne savējai.

Tad vācu virspavēlniecība ķērās pie kara viltības. Vācu raidstacijas sāka raidīt angļiem domātu propagandas tekstu. Londonas iedzīvotāji drīz vien pamanīja kādu dīvainu sakritību: katru reizi pirms vācu «viesu» atlidošanas diktora balss sāka skanēt skaļāk, taču Londonas apkaimē savukārt kļuva tik tikko sadzirdama. Šī sakritība ieinteresēja izlūkdienestu; tomēr izskaidrojumu izdevās atrast tikai pēc ilgāka laika. Izrādījās, ka propagandas teksts tikai maskē stacijas īsto uzdevumu: tā bija bāka, kas vācu pilotiem rādīja ceļu uz Londonu. Lai tā varētu veikt savu uzdevumu, īsi pirms bumbvedēju starta tika mainīts izstarošanas režīms: parastās antenas vietā tika ieslēgta orientēta antena, kas viļņus koncentrēja samērā šaurā kūlī. Kūlis bija vērsts uz Londonu; tāpēc pašā Londonā signāls kļuva stiprāks, bet tās apkaimē — stipri vājāks.

Kad noslēpums bija atminēts, cīnīties ar šo viltību vairs nebija grūti. Atkal tika izmantota retranslācija, un atkal vācu bumbas krita Lamanšā.

## CĪNĀS ELEKTRONI

Artilērijas zaves jau sen vairs negrand, bumbas no lidmašīnām nekrit. Cilvēki cīnās par to, lai saglabātos miers. Pasaules karš ir beidzies. Bet elektroniskais turpinās. Tajā jau daudzus gadus nav atelpas, nav pamiera, kaut arī karš vispār nav pieteikts. Elektronikas speciālistiem kaujas lauka nevajag: cīņas noris laboratorijās, konstruktoru birojos, eksperimentālajos cehos. Pretinieki saņemšanas aparātūras precizitātē, drošumā un ātrdarbībā, un



katrs jauns sasniegums ir kārtējā uzvara nerimtigajā «elektroniskajā karā».

Līdzekļi, ko elektronika izmanto šai karā, tāpat ir sadalāmi pa «ieroču šķirām». Ir aizsardzības un uzbrukuma līdzekļi, ir izlūkošanas līdzekļi un maskējošais starojums. Radiostarojums var būt ļoti bīstams. Nāvi tas gan nenes, taču rāda tai ceļu. Ja tam ļauj brīvi notaustīt telpu, tas šāviņam, bumbai vai raķetei liek lidot precīzi uz mērķi. Secinājums ir vienkāršs: ar radiostarojumu jācīnās.

Kā?

Ir atrasts daudz paņēmieni.

Ir izstrādāti materiāli, kas absorbē radioviļņus. Ja ar šādu materiālu pārklāj mērķi, tad vilnis no mērķa neatstarojas; līdz ar to impulss lokācijas stacijas uztvērējā neatgriežas vai arī atgriežas tik lielā mērā vājināts, ka mērķis ekrānā nav redzams.

Taču ir iespējams arī citāds atrisinājums. Impulsiem var ļaut atstaroties, taču to atstarošanās mirkli pretinieka lokatora virzienā jāraida spēcīgs traucējumsignāls, lai atstarotie impulsi nebūtu uztverami un atšifrējami. Traucējumsignāla frekvencei jābūt tādai pašai, uz kādu noskaņots lokatora uztvērējs, t. i., vienādai ar pretinieka izstaroto impulsa nesējfrekvenci. Šī frekvence noteicama, raidīto signālu izpētot. Tāds arī ir izlūkošanas mērķis: speciāli izlūkošanas uztvērēji pretinieka lokatoru raidīto signālu «ķer», pieraksta un analizē.

Bet izlūkošanu apgrūtina radiomaskēšana. Starp daudzajiem maskējošajiem signāliem, kam turklāt ir dažāda

frekvence, ne vienmēr var atrast bīstamo. Ja signāls ir atšifrēts, pretinieks izmantos speciālas stacijas, kas raidīs traucējumus darbfrekvenču diapazonā. Tomēr arī gadījumā, ja tiek raidīti šādi traucējumi, stacija var strādāt normāli: ir speciāli līdzekļi, ar kuriem savu signālu iespējams atšķirt no traucējumiem. Traucējumnoturīgas sistēmas, piemēram, var radīt, ja signālu modulē ar īpašām kodētām impulsu virknēm; strādājot ar tādām sistēmām, atklāt mērķus, noteikt to koordinātas, tēmet lielgabalus, vadīt raķetes vai nodrošināt radiosakarus ir iespējams arī tad, ja pretinieks raida traucējumsignālus.

Tādējādi sasaistot elektroniskās un citas ierīces un iekārtas, tiek izstrādāta un noslīpēta elektroniskā kara taktika.

Elektrona daudzo specialitāšu vidū militārajām specialitātēm mūsu trauksmīgajā laikmetā, diemžēl, ir būtiska vieta. Mums, cilvēkiem, kas tiecas pēc miera, tas ir ļabi jāatceras; mums ir jāsaprot, cik svarīga ir elektrona loma mūsu zemes aizsardzībā pret jebkuru agresoru.

## RUNGA AR DIVIEM GALIEM

Bez elektroniskajām ierīcēm modernā armija nav iedomājama. Elektronika ir kļuvusi par organisku, neatņemamu tās daļu, ja gribat — par tās nervu sistēmu. Tieši ar elektronikas starpniecību armijas apakšvienības uztur





sakarus gan savā starpā, gan arī ar štābu. Elektronika palīdz atklāt pretinieka mērķus (lidmašīnas utt.) un nodrošina šaušanas precizitāti. Un vēl taču ir arī lidmašīnas bez pilotiem, tanki bez tankistiem, raķetes, kuru trajektoriju korigē komandas no Zemes.

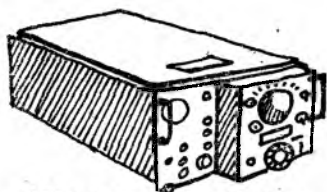
Karot bez elektronikas vairs nav iespējams. Tomēr cilvēkiem, kuri rada moderno elektronisko kara tehniku, visu laiku jāatceras, ka elektronika ir runga ar diviem galiem.

Vairums militārajos nolūkos lietoto elektronisko ierīču izstaro viļņus. Bet kas var garantēt, ka šo starojumu neizmantos ienaidnieks?

Viņš var noklausīties pa radio pārraidītu komandu, var atšifrēt kodu, kas paredzēts noslēpuma saglabāšanai. Pēc vadības sistēmu un radiolokatoru raidītajiem signāliem var spriest par karaspēka daļu dislokāciju un tuvākajiem nolūkiem. Zinot signālu raksturlielumus, var ģenerēt traucējumus darbfrekvenču diapazonā utt.

Tāpēc vesela elektronikas nozare izstrādā izlūkošanas ierīces, kas signālus spēj ne vien uztvert, bet arī ierakstīt magnētiskajā lentē un izanalizēt, noteicot, kāds ir to uzdevums un «iekrāsojums», t. i., izpētīt šo signālu spektrālo sastāvu. Tas notiek mazliet līdzīgi tam (tikai, protams, nesalīdzināmi rūpīgāk un sīkāk), kā prizma «izpēta» Saules baltās gaismas spektrālo sastāvu, šo gaismu sadalīdama septiņās varavīksnes krāsās no sarkanās līdz violetajai.





**ASV IZLŪKUZTVĒRĒJS**

Piemēram, ir zināms, ka fašistiskā Vācija jau pagājušajā karā izmantoja pa radio vadāmas raķetes. Savai bāzei tās raidīja ātruma un augstuma kontroles signālus. Angļu radioizlūkošanas aparātūra šos signālus spēja ne tikai uztvert; angļiem

bija izdevies atšifrēt raķešu vadības komandas un radīt aparātūru, kas raidīja maldināšanas komandas. Maldu signālus saņēmušās raķetes, mērķi nenasniegušās, sāka laisties lejup. Radiopretdarbība bija tik efektīva, ka vāciešiem no radiotāl vadības nācās atteikties un palauties tikai uz žiroskopu.

Informētība par pretinieka rīcībā esošajiem radiolīdzekļiem lielā mērā var nosacīt kara iznākumu. Mūsdienu ASV bruņoto spēku vadība, nerēķinādams ar izdevumiem, cenšas noskaidrot sociālistisko valstu armiju rīcībā esošo elektronisko sistēmu un ierīču raksturlielumus, parametrus utt. ASV Nacionālā drošības padome vada un koordinē divu tūkstošu radiopārtveršanas staciju un astoņu tūkstošu izlūkošanas operatoru darbību; šīs stacijas darbojas militārajās bāzēs, uz kuģiem un lidmašīnās.

Daudzi, jādodomā, vēl atceras, kā savā laikā amerikāņi radioizlūkošanas operācijām centās izmantot gaisa balonus. Tagad laiki ir mainījušies: gaisa balonu vietā tiek palaisti Zemes mākslīgie pavadoņi.

Pēdējos gados daudzās amerikāņu firmas, to vidū tāds milzenis kā «General Electric», specializējas spiegošanai paredzētu miniatūrierīču ražošanā. Kā visa tikai nav šo firmu cenrāžos!

Tur var atrast gan miniatūrtelekamas, gan miniatūrmagnetofonus; tos var noslēpt mēbelēs, gleznās un pat sienās. Tur ir noklausīšanās uztvērēji, kas iemontēti lūpu pomādes tūbiņās, pildspalvās, pulksteņu dekoratīvajās ietverēs. Ir radīti īpaši plāksnīšveida mikrofoni, kurus viegli var iebīdīt durvju apakšējā spraugā un tā iedabūt istabā, utt., u. t. jpr.

Siem ražojumiem ir plašs noiets. Ar tiem tiek apgādāti valsts aģenti, kurus iesūta svešu zemju teritorijās, drošības dienesta aģenti un privātpersonas, kas izseko un izspiego paši savas valsts pilsoņus. Firma «Clifton», apzinādams, ka «rungas otrs gals» jebkurā brīdī var ķert šo ierīču lietotājus, savu «jaunumu cenrādi» noslēdz ar iz-

teiksmīgu tekstu: «Esiet piesardzīgi! Daudzās pasaules valstīs ir spēkā likumi, kas dažus no šai sarakstā minētajiem aparātiem lietot aizliedz. Pircējam pašam (nevis pārdevējam) pie jurista jānoskaidro, kādā veidā šie likumi var attiekties uz katra iegādātā ražojuma lietošanu.»

«Esiet piesardzīgi!» Šis aizrādījums ir vietā. Diemžēl, to netika uzklausījuši tie, kas ar vismodernākajiem tehniskajiem līdzekļiem apgādāja lidmašīnu «Lockheed U-2», ar kuru 1960. gada 1. maijā, PSRS valsts robežu pārkāpdams, savu pretlikumīgo lidojumu veica Frānsiss Pauerss. Viņa lidmašīnā atradās speciāli raidītāji, kas raidīja ēterā traucējumus, kā arī daudzkanālu izlūkošanas uztvērējs, kas varēja strādāt visos plaši izmantotajos decimetru un centimetru radioviļņu diapazonos, sākot ar vienu metru un beidzot ar divarpus centimetru gariem viļņiem. Sapārotās antenas ļāva precīzi noteikt, no kuras vietas ieradīs uztvertais signāls. Visi signāli tika ierakstīti magnētiskajās lentēs, cerot, ka vēlāk pēc atšifrētajiem ierakstiem varēs secināt, kādiem nolūkiem šie signāli paredzēti, kā arī noteikt darbfrekvenču diapazonus.

Par laimi, amerikāņu izlūkdienesta cerības nepiepildījās: arī izlūklidojums pāri svešai teritorijai ir ... runga ar diviem galiem.

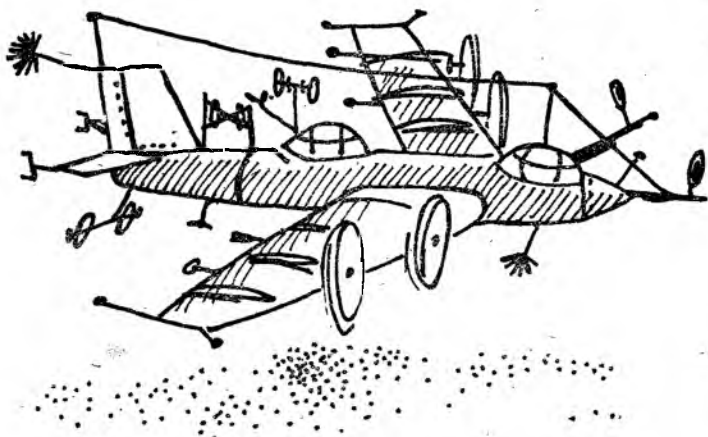
## SIGNĀLI PRET SIGNĀLIEM

Radiolokācijas stacijas uztvērēja ieeju var pielīdzināt barības vadam, bet antenu — atvērtai mutei. Ja traucējumsignāla frekvence atrodas uztvērēja caurlaides joslā, uztvērējs savu un svešo signālu «notiesās» ar vienādu apetīti. Un, ja traucējums būs daudz stiprāks par derīgo, atstaroto signālu, «kumoss iesprūdis rīklē».

Pagājušajā karā pretinieka radiolokatoru nomākšana ar lielas intensitātes traucējumsignālu tika praktizēta bieži.

Brēmenes aizsardzībai pret bumbvedēju uzlidojumiem vācieši izmantoja zenītlielgabalu baterijas, kuru darbību vadīja lielgabalu tēmēšanas stacijas «Würzburg».

Sabiedroto izlūkdienests noskaidroja, ka šo staciju nesējfrekvence ir 560 MHz. 1943. gada vasarā astotās amerikāņu gaisa kara spēku armijas bumbvedējus apgādāja ar raidītājiem «Carpet». Tie raidīja traucējumsignālu, kura spektra platums bija diezgan liels, bet vidējā frekvence — 560 MHz. 1943. gada oktobrī tika rezumēti pirmie rezultāti: lidmašīnu, kurām bija raidītāji «Carpet»,



bija notriekts divas reizes mazāk nekā lidmašīnu, kurām to nebija.

Traucējumsignāla raidīšana ir visai efektīva metode. Ja radio ir armijas nervu sistēma, tad traucējumus var pielīdzināt nomācošam līdzeklim, kas šo sistēmu spēj gandrīz pilnīgi paralizēt. To sapratušas, sabiedroto armijas izstrādāja un izmantoja daždažādas pretlokācijas līdzekļu sistēmas. Piemēram, amerikāņi savu «lidojošo cietoksni» B-29 apgādāja ar visu iespējamo traucējumu ģenerēšanas «kombainu». Tajā ietilpa astoņpadsmit raidītāji, vairāki izlūkošanas uztvērēji un cita aparātūra; antenu vajadzēja uzstādīt tik daudz, ka lidmašīna kļuva pavisam «saraina», tā ka to iesauca par «dzeloņcūku».

Tomēr elektronikā nav tādu līdzekļu, pret kuriem nevarētu atrast jaunus pretlīdzekļus. (Tā tas laikam ir visur un vienmēr.)

Rungas divi gali ir diezgan triviāls gadījums. Notiek taču arī tā, ka rungai šādu galu ir daudz. Vienā šādā notikumā kompleksā pirmais gals bija lokatori, kas tēmēšanai un pārtveršanai tika samontēti vācu iznīcinātājos. Rungas otro galu nekavējoties izmantoja angļi: viņi uztvēra lokatora signālus un noteica, kādā frekvenču diapazonā tie strādā. Drīz sekoja arī trešais gals: angļi savus bumbvedējus apgādāja ar traucējumsignālu raidītājiem.

Bet vai Jūs domājat, ka «gali» ar to pašu izbeidzās? Nebūt nei Vācu piloti savus iznīcinātājus iemācījās virzīt tieši uz traucējumu starotājiem kā uz radiobākām!

Svaru kausi atkal nosvērās iznīcinātāju pusē, un atkal tika atrasts pretlīdzeklis.

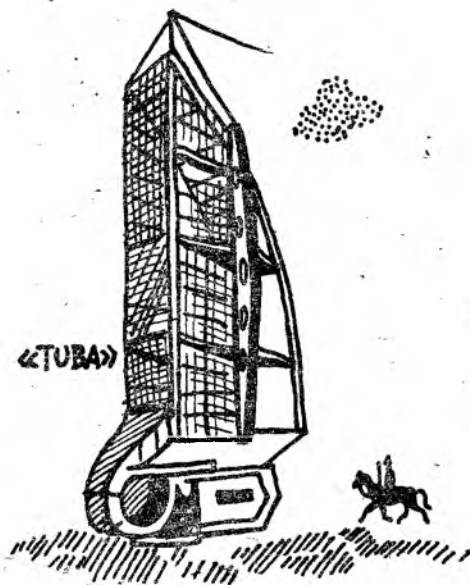
Tā kā bumbvedēja raidītie traucējumi palīdz ienaidniekam, tad traucējumi ir jāraida no zemes. Un gar Anglijas dienvidu piekrasti tika izvietoti milzīgi amerikāņu raidītāji «Tuba». To jaudīgie signāli vācu iznīcinātājus padarīja «aklus» jau Eiropā, un angļu bumbvedēji, no vajātājiem atkratījušies, mierīgi pāri Lamanšam lidoja mājup.

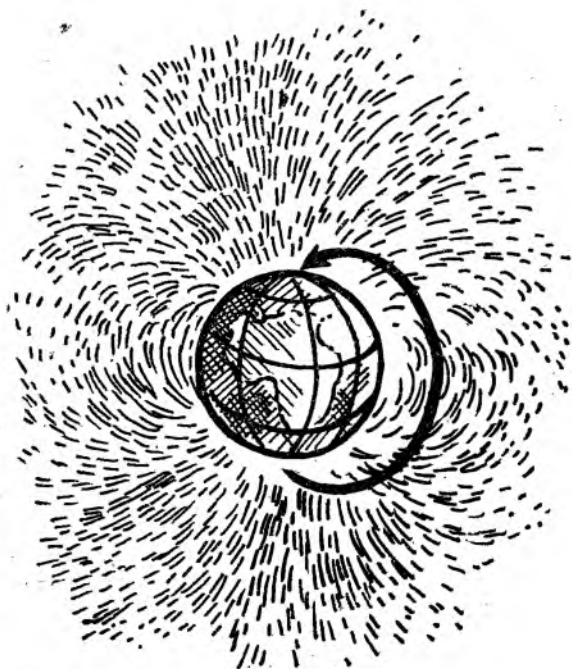
Mūsdienās traucējumi ir kļuvuši tik iedarbīgi, ka atrast «rungas trešo galu» vairs nav viegli.

1958. gada augustā Džonstonas salā amerikāņi izdarīja kodolspārdzienu, kas diapazonā no 5 līdz 25 megaherciem pārtrauca radiosakarus starp Tokiju un Kaliforniju. Tie atjaunojās tikai pēc 18 stundām.

Sāda spārdzienu rezultātā rodas ļoti daudz elektronu — ātro  $\beta$ -daļiņu. Zemes magnētiskajā laukā elektroni izturas tāpat kā magnētiskās lēcas laukā — «ieiet grīstē» un pa skrūvveida trajektorijām pārvietojas gar magnētiskā lauka spēka līnijām (sk. 3. nodaļas paragrāfu «Augstākās pilotāžas figūras»).

Zinot Zemes magnētiskā lauka struktūru,  $\beta$ -daļiņu plūsmu, kas radusies kodolspārdzienu rezultātā, var novirzīt uz noteiktiem planētas rajoniem.





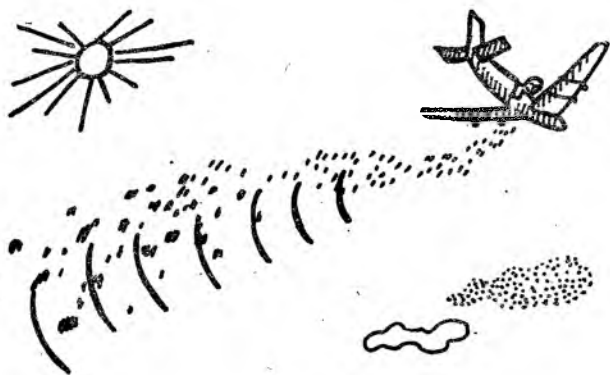
Cilvēku rokās tagad ir sakoncentrēta tik liela enerģija, ka māmuļa Zeme salīdzinājumā ar to sākusi atgādināt sakumpušu, lēnprātīgu večiņu, ko sedz caurspīdīgs magnētiskā lauka un neskaitāmu radioviļņu plīvurs. Večiņa ir ļoti noraižējusies: kas gan notiks, ja viņas bērni pārāk aizrausies ar savām bīstamajām rotaļlietām?

### **MĒRĶIS ACU APMĀNĪŠANAI**

Dažreiz lielu efektu var sasniegt ar vienkāršiem paņēmieniem. Vienkāršs pretdarbības līdzeklis ir atstarotāji, piemēram, parastā folija.

Lidmašīnai vajag tikai izmest metalizētas lentes atgriezumus, lai uz lokatoru ekrāniem parādītos maldu mērķis. «Artilērijas acis» (radiolokatori) sāks tam sekot; lielgabalu stobri automātiski pavērsīsies tai pašā virzienā, kādā raugās lokatoru antenas.

Tātad maldu mērķis var kalpot ne tikai «acu apmānīšanai»: reizē ar «acīm» tas apmānīs arī šaviņu.

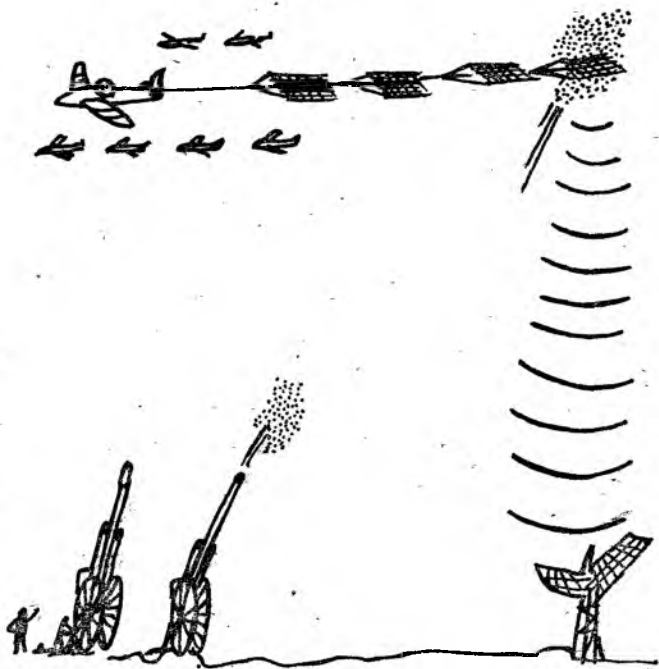


Folijas lente ir viegla. Katrā lidmašīnā to var iekraut tik lielā daudzumā, ka uz lokatoru ekrāniem ir iespējams radīt maldinošu masveida uzlidojuma iespaidu.

Pagājušā kara laikā vienai lidmašīnai izdevās radīt līdz septiņsimt maldu mērķu! Ej nu saproti, uz kuru no 700 mērķiem jāšauj. Paņēmienu vienkāršības dēļ tas bija ļoti populārs: fašistiskās Vācijas teritorijā kara gados tika nomests ap 20 tūkstošu tonnu folijas.

Efektīvai lidmašīnu radīto lokācijas signālu atstarošanai tika izmantoti daždažādi tā sauktie kakta atstarotāji. To princips ir vienkāršs: ar trim savstarpēji perpendikulārām atstarotājvirsmām panāk, ka atstarotais stars iet tieši pretī krītošajam, lai arī kādā virzienā tas būtu kritis. Tā





ir iekārtoti, piemēram, velosipēdu «sarkanie stikli». Kara gados no kakta atstarotājiem tika izveidotas veselas «maldu pilsētas», kas «apmānīja acis» bumbvedēju radiolokatoriem.

Tika izmantoti arī no šādiem atstarotājiem veidoti tikli. Tie atstaroja lielāko daļu no lielgabalu tēmēšanas staciju raidītās enerģijas, un stacijas savu zenitlielgabalu stobrus automātiski pavērsa uz šo maldu mērķi. Viena no lidmašīnām ar šādiem tikliem «zvejoja» ienaidnieka šāviņus, pavērdama brīvu ceļu visām pārējām.

Ipaši plaši elektroniskā kara līdzekļus izmantoja 1944. gada vasarā, kad Normandijā tika izcelts desants, ar kuru atklāja otro fronti.

Vācieši, gatavodamies desantu atsist, piekrastē sakoncentrēja milzum daudz atklāšanas staciju, kas kontrolēja visu gaisa telpu un katru zemes stūrīti. Sabiedrotie pirms desanta sākšanās ar artilērijas uguni un triecieniem no gaisa iznīcināja ap 80 procentu vācu staciju; lai nomāktu pārējās, tika laists darbā ap 700 traucējumsignālu raidītāju.

Tad sākās grandioza mistifikācija: virs Lamanša nepārtraukti kursēja sabiedroto lidmašīnas, kas, izmantodamas atstarotājus un speciālus signālus, citu pēc cita radija neskaitāmus maldu mērķus. Lielais maldu trauksmju skaits vācu lidotājus samulsināja un beigu beigās galīgi nogurdināja.

Vairāk nekā četras stundas pēc kārtas sabiedrotie imitēja desanta izcelšanu Buloņas virzienā, šim nolūkam izmantodami neskaitāmus maldu signālus un mērķus. Rezultātā vācieši savus galvenos spēkus pārsveda uz Buloņas un Kalē rajonu. Bet sabiedroto karaspēks izcēlās krastā Normandijā, kur vāciešu aizsardzība bija tik lielā mērā novājināta, ka no 2127 kuģiem, kas piedalījās desanta operācijā, vāciešiem izdevās nogremdēt tikai sešus.

## RAKETES UN ELEKTRONIKA

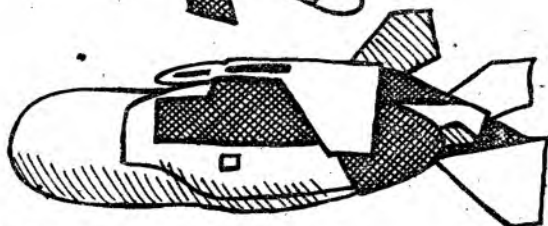
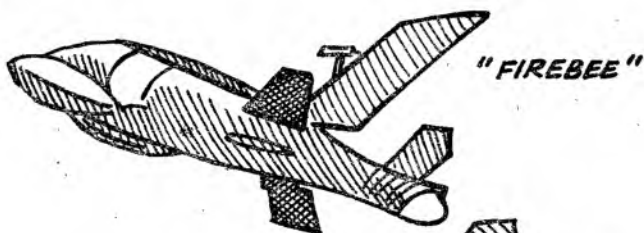
Gados, kas pagājuši kopš uzvaras pār fašistisko Vāciju, tehnika ir attīstījies ārkārtīgi strauji. Agrāk militārā elektronika tika izmantota uz zemes, kuģos un lidmašīnās, tagad tā apkalpo arī visdažādākās raķetes.

Šīm elektroniskajām ierīcēm jābūt vieglām un kompakām, jo raķetes tilpums ir ierobežots, bet liekais svars var jūtami samazināt tās lidojuma tālumu. Šīm ierīcēm jābūt arī ļoti izturīgām; piemēram, starta pārslodžu laikā nedrīkst sabojāties neviens to elements. Īpaši svarīgi ir jābūt jābūt, kas saistīti ar mērīšanas precizitāti un datu apstrādes ātrumu, jo raķete lido ļoti ātri. Konstruēt ierīci tā, lai tā apmierinātu visas šīs prasības, nav viegli. Tomēr arī pati elektronika nestāv uz vietas. Pēdējās desmitgadēs ir radies daudz jaunu elementu, kuriem piemīt īpašības, par kādām agrākajos gados konstruktori varēja tikai sapņot.

Pagājušā kara laikā elektroniskajās ierīcēs izmantoja gandrīz vienīgi lampas, tagad tās ir aizstājuši pusvadītāji, integrālās shēmas, mikroprocesori. Būtisks progress ir sasniegts arī shēmu sintēzes jautājumos; īpaši tas sakāms par loģiskajām shēmām un vadības mezgliem.

Jauno raķešu konstrukcijās izmanto visus jaunākos elektronikas sasniegumus. Lietā likta tiek arī iepriekšējo gadu pieredze. Vecā taktika iegūst jaunas formas. Piemēram, tagad arī raķetes palīdz generēt traucējumsignālus un radīt maldu mērķus, kuri neļauj normāli darboties uz zemes





izvietotajām radiolokācijas stacijām. Kā piemēru aplūkosim divas raķetes, kas savā laikā bija uzņemtas ASV armijas bruņojumā: «Green Quail» («Zaļā paipala») un «Firebee» («Ugunsbite»).

Tās startē no lidmašīnas un vai nu tiek vadītas pa radio, vai arī ar šai nolūkā iebūvētām programmiķārtām vada pašas sevi. Tās lido ātrāk nekā lidmašīna, no kuras startējušas, un, raidīdamas traucējumus, nomāc zemes radiolokatorus, bet vajadzības gadījumā darbojas par maldu mērķi, «izsaukdamas uguni uz sevi». Kaujas uzdevumu izpildījušas, šīs raķetes «beidz dzīvi pašnāvībā» — pašas eksplodē, lai viss, kas tajās ir, paliktu mūžīgs noslēpums.

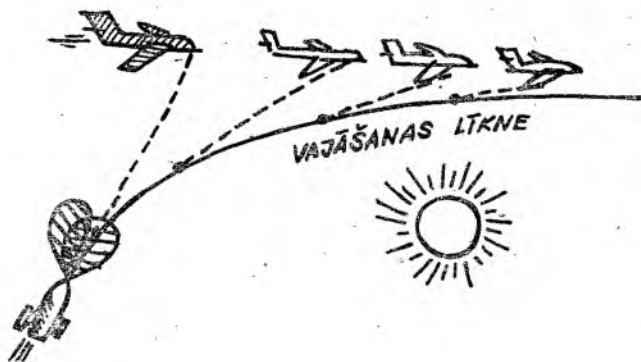
Radiolokatīvie maldu mērķi mūsdienu militārajā tehnikā un taktikā tiek izmantoti arī starpkontinentālo ballistisko raķešu darbības nodrošināšanai. Piemēram, Amerikas Savienotajās Valstīs pēta paņēmienus, kā raķetes kaujasgalviņu apjozt ar metāla šķembu mākonī, kas darbotos par maldu mērķi.

Bet kā lai šīs šķembas nogādā kosmosā?

Tās taču nevar kraut raķetē! Katrs orbitā paceltais vienas gramms ir zelta cenā.

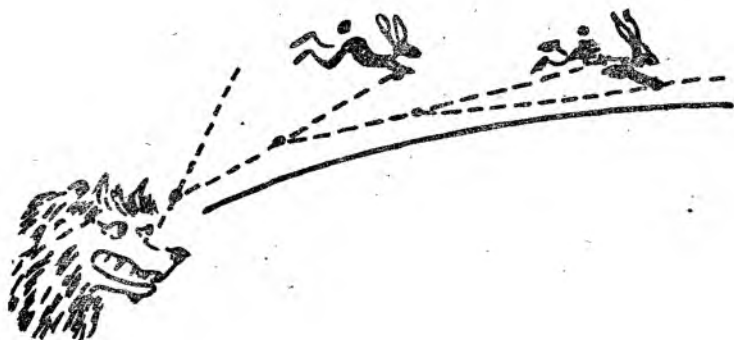
Izeja tika atrasta pavisam vienkārša.

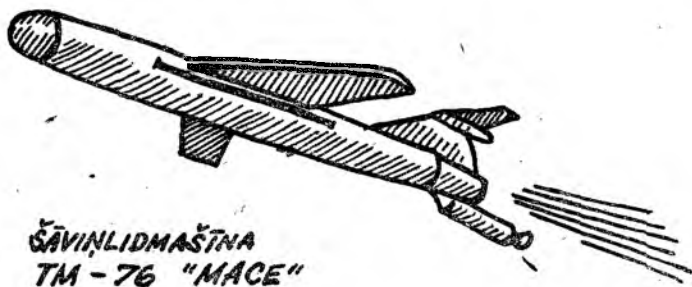
Nesējraķete, kas galviņu ievirzījusi trajektorijā, savu galveno uzdevumu ir izpildījusi. Tāpēc tagad to var izmantot par maldu mērķi. Proti, kad kaujasgalviņa trajektorijā ievadīta un no nesējraķetes atdalījusies, raķete eks-



plodē, pārvērdamās šķembu mākonī. Tā kā lidojums noris lielā augstumā, kur atmosfēra ir stipri retināta, šķem-bas seko galviņai, pārvietodamās ar to vienādā ātrumā. Turklāt mākonis izklist vairākus simtus kvadrātkilometru lielā platībā. Ar radiolokatoriem šajā gigantiskajā mākonī sameklēt mazo galviņu ir grūti.

Jau pagājušajā karā tika izmantotas paštēmējošās ra-ķetes un torpēdas. To priekšējā daļā tika uzmontētas divas antenas, kuru raidītie signālu kūļi viens ar otru veidoja noteiktu leņķi. Ja raķete (torpēda) pārvietojas tieši vir-zienā uz mērķi, abu antenu signāli ir vienādi. Ja tā no šī virziena kaut nedaudz novirzās, signāli kļūst nevienādi un automātiska ierīce atbilstoši to starpībai trajektoriju izkoriģē. Rezultātā raķete (torpēda) lido (peld) pa likni, ko matemātikā ir pieņemts saukt par «vajāšanas likni». Mednieki zina, ka vilks zaķi panāk gluži tāpat. Kamēr na-





ŠAVIŅLIDMAŠĪNA  
TM-76 "MACE"

bagā pelēcis draudošās briesmas vēl nav pamanījis, tas jož taisnā virzienā, bet, vajātāju ieraudzījis, sāk mest cilpas. Turpreti vilks — kā šaviņš ar elektronisko galviņu — visu laiku raugās tikai uz mērķi.

Kibernētikas pamatlicējs Norberts Vīners mēdza stāstīt šādu epizodi. Reiz viņš atradies kādā armijas iestādes laboratorijā. Neviens cita tur neesot bijis, un tomēr visu laiku viņam licies, ka kāds viņu nepārtraukti uzmana. Pēkšņi viņš konstatējis, ka kronšteinos iekarinātās torpēdas trulais priekšgals visu laiku griežas uz to pusi, kura dodas viņš pats. Sajūta neesot bijusi sevišķi patikama. Tā vien licies, ka viņam līdzī tukšajā istabā ielavījies nežēlīgs plēsoņa, kam galvā smadzeņu vietā ir nāvējošs lādiņš.

Bet lādiņš bez smadzenēm vēl nav vissliktākais variants. Kopš kibernetika lādiņus, raķetes un torpēdas sākusī apgādāt ar «mākslīgo intelektu», šie plēsoņas kļuvuši daudz bīstamāki, un tiem līdzās atrasties vairs nav tikai nepatīkami.

Lūk, viens šāds jaunums.

Sāviņlidmašīnā «Matador» (ASV) ir iekārtota no traucējumiem aizsargāta tēmēšanas sistēma «Atran». Sistēmas darbības princips ir ļoti interesants. Tās elektroniskajā atmiņā ir ierakstīta karte. Bet lokācijas panorāmiekārtas operatīvi uzņem vēl otru pārlidojamā apvidus karti. Elektroniskā shēma abas kartes salīdzina pēc svarīgākajiem orientieriem, kas tajās atrodami, uz šādu salīdzinājumu pamata izstrādā lidojuma trajektorijas korekcijas un tās pievada automātiskajam pilotam. Sāviņlidmašīnu, kurā bija šāda vadības iekārta, izmēģinājuma lidojumos no pareizā kursa nevarēja novirzīt pat seši traucējumsignālu raidītāji. Lidmašīna lido tā, it kā to vadītu cilvēks, kuram ir ideāla atmiņa: ja apvidus viņam ir pazīstams, tad atsevišķi maldinoši orientieri viņu no ceļa novirzīt nevar.

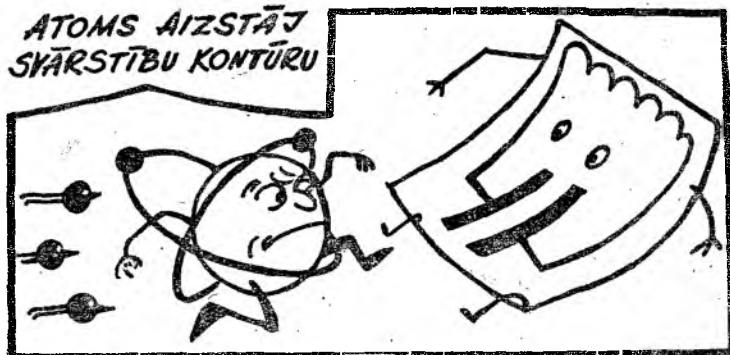
Tātad modernajā lokācijas tehnikā pastāv daudz dažādu iespēju, kā radīt «ideālam» tuvas iekārtas.

Bet kādas iespējas pavērtos, ja tiktu apgūti vēl īsāki viļņi, teiksim, 100, 1000 vai pat 100 000 reižu īsāki par jau aplūkotajiem?

Tiesa gan, tas nav tik viegli izdarāms. Ne magnetroni, ne klistroni, ne vecās skrejviļņa lampu konstrukcijas — nekas no visa lieliskā centimetru viļņu tehnikas arsenāla tur neder: mikrometru viļņi ar šīm ierīcēm nav ģenerējami. Nav jābrīnās, ka gandrīz divdesmit gadus elektronikas «griesti» bija centimetru viļņi jeb, citādi izsakoties, tai bija pieejamas tikai frekvences, kas nav augstākas par 10 000 MHz.

Bet zinātne un tehnika nekad nestāv uz vietas. Tika radīti lāzeri, un tehnika atkal (jau kuro reizi!) izdarīja milzu lēcieni augšup pa frekvenču skalu. Ne jau pa jokam mēs šo nodaļu sākām ar vārdiem: elektronikas vēsture ir viļņu īsināšanas vēsture.

## ATOMS AIZSTĀJ SVĀRSTĪBU KONTŪRU



PAMATS IR ŠĀDS

### 4.30.

Pēdējās desmitgadēs lo-  
kācijai un sakaru teknikai  
jaunas iespējas ir pavēru-  
šās sakarā ar to, ka tiek  
apgūti gaismas viļņi, kuru  
garums, kā jau teikts, ir  
mērāms mikrometra daļās.

Kā šādi viļņi ģenerējami?

Mēs tikām redzējuši, ka  
decimetru un centimetru  
viļņu diapazona ģenerato-  
ros dobumrezonatorā jāie-  
kļaujas kādai noteiktai  
viļņa garuma daļai (sk.  
4.13.). Tātad rezonatora iz-  
mēram jābūt mazākam par  
ģenerējamo viļņu garumu.

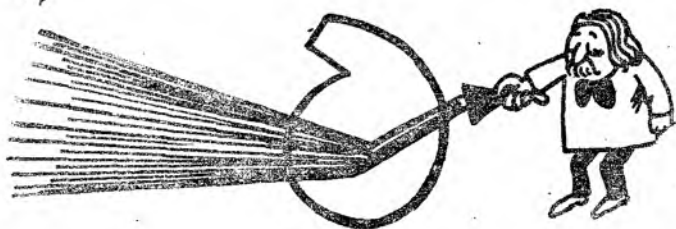
### 4.31.

Parastajos apstākļos gāzu  
un kristālu atomi gaismas  
enerģiju absorbē.

1916. gadā Einšteins teo-  
rētiski paredzēja, ka, izman-

Dobumrezonators, kas ģe-  
nerētu viļņus, kuri ir tūk-  
stošreiz īsāki par milimetru  
viļņiem, pats būtu tik mazs,  
ka to varētu saskatīt tikai  
mikroskopā. (Arī ģenerēto  
svārstību jauda būtu «mik-  
roskopiski» maza.) Tādu re-  
zonatoru uzbūvēt nav iespē-  
jams. Par laimi, patī daba  
mums piedāvā citu iespēju.  
Tai ir gatavi miniatūrre-  
zonatori, kas «nōskaņoti»  
uz ļoti, ļoti augstām frek-  
vencēm. Tie ir dažādu vielu  
*atomi*.

tojot gaismas viļņus, tos pa-  
šus atomus var ierosināt  
tādā gadījumā tie sāks iz-  
starot citas frekvences  
gaismas viļņus. Notiks sav-



dabīga «gaismas inducēšana»: gāzes vai kristāla atomi it kā pastiprinās uz tiem krītošo gaismu.

1940. gadā padomju fiziķim V. Fabrikantam eksperimentos izdevās iegūt izstaroto gaismu, kurai bija lielāka intensitāte nekā krītošajai gaismai. 1951. gadā V. Fabrikants, F. Butajevs

un M. Vudinska saņēma autoraplēcību par izgudrojumu «Elektromagnētiskā starojuma (ultravioleto, redzamo, infrasarkano viļņu un radioviļņu) pastiprināšanas paņēmieni».

1954. gadā N. Basovs un A. Prohorovs radīja Padomju Savienībā pirmo kvantģeneratoru.

#### 4.32.

Kvantģeneratoru pamatā ir gaismas daļiņu — fononu — absorbcijas un izstarošanās procesi. (Tāpēc mēs jau pašā grāmatas sākumā tikām runājuši par fotoniku.)

Fotons ir gaismas enerģijas kvants — vismazākā iespējamā tās «porcija». Dabā eksistē arī citi kvanti: akustiskās enerģijas kvants



(fonons), gravitācijas lauka kvants (gravitons), kodol- lauka kvants (mezons).

#### 4.33.

Ja atoms absorbē fononu, atoma enerģija pieaug: viens tā elektrons no savas normālās orbītas, kur tā

enerģija bija  $E_1$ , pāriet uz augstāku orbītu, kur tā enerģija ir  $E_3$ .

Noteiktas vielas apstaro-

got ar speciālu uzšūpošanas signālu, daudzu atomu elektronus no līmeņa  $E_1$  varam «pacelt» līmenī  $E_3$ . Šādu procesu sauc par atomu ierosināšanu.

Atoma absorbētais fotons sevī nes precīzi tik daudz enerģijas, cik nepieciešams, lai elektrons no līmeņa  $E_1$  «pakāptos» līmenī  $E_3$ .

No šiem fotoniem sastā-

vošā uzšūpošanas signāla frekvenci nosaka šis pats «pakāpiens» jeb enerģiju starpība: jo «augstāki» ir «pakāpieni» (starpība  $E_3 - E_1$ ), jo augstāka ir arī frekvence.

Enerģiju starpības un frekvences proporcionalitātes koeficients ir slavenā *Planka konstante*, viena no universālajām fizikālajām konstantēm.

### 4.34.

Atšķirībā no stabilā stāvokļa, kam atbilst līmenis  $E_1$ , ierosinātais stāvoklis ir nestabils: atomi no līmeņa  $E_3$  tūlīt pāriet stabilākā līmenī, piemēram,  $E_2$ . (Precīzāk, protams, būtu teikt, ka šo atomu elektroni no augstākām orbitām, kurām atbilst enerģijas līmenis  $E_3$ , «pārlec» uz zemākām.)

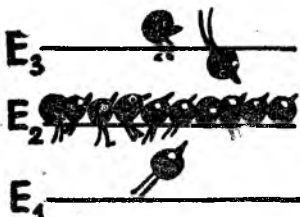
Līmeni  $E_2$  sauc par metastabīlo līmeni, un elektroni tajā paliek samērā ilgi.

Izstarošana notiek, daudzu atomu elektroniem «sinhroniski» un «sinfāziski» un turklāt spontāni

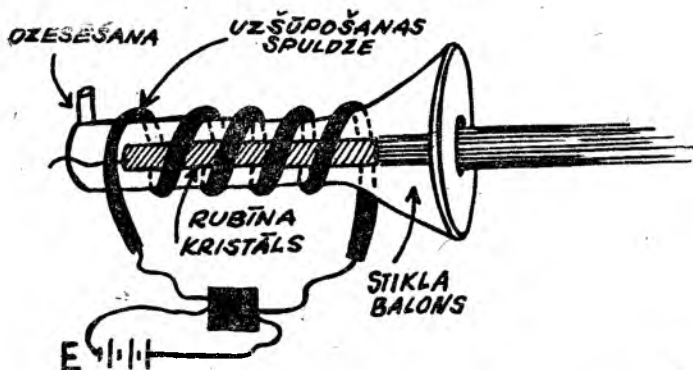
«pārlecot» no līmeņa  $E_2$  uz līmeni  $E_1$  (sk. arī 4.37.).

Ja atomus uzšūpo atkārtoti, tie atkal «pakāpjas augstāk», līmenī  $E_3$ ; pēc tam atkal izstaro gaismas impulsu. Uzšūpošanas laiks ir daudz reižu ilgāks nekā izstarošanas laiks.

Ir tādi lāzēri, kuri izstaro tikai dažas milisekundes ilgu impulsu. Ilgstošajā uzšūpošanas procesā atomi uzkrāj daudz enerģijas, kas pēc tam dažu milisekunžu laikā no kristāla izlaužas taisna un spilgta stara veidā.



#### 4.35.



Izstarotā viļņa frekvenci nosaka līmeņu starpība  $E_2 - E_1$ , t. i., «pakāpiens», par kādu atoms, fotonu izstarodams, «nokāpj zemāk» (sk. 4.34.). Turpretī uzšūpošanas signāla frekvenci nosaka starpība  $E_3 - E_1$  (sk. 4.33.).

Lāzers, kuram ir rubīna kristāls, izstaro sarkanu gaismu; uzšūpošanas signāls parasti ir zaļā gaisma. Sarkanajai krāsai atbilst zemāka frekvence (un attiecīgi lielāks viļņa garums) nekā zaļajai. Tātad «pakāpiens»  $E_2 - E_1$  nav tik

augsts kā «pakāpiens»  $E_3 - E_1$ .

Atšķirībā no parastā kontūra, kura elementu izmēri ārējo faktoru iedarbības rezultātā var mainīties, «atomkontūrs» un «molekulkontūrs» ir neticami stabili.

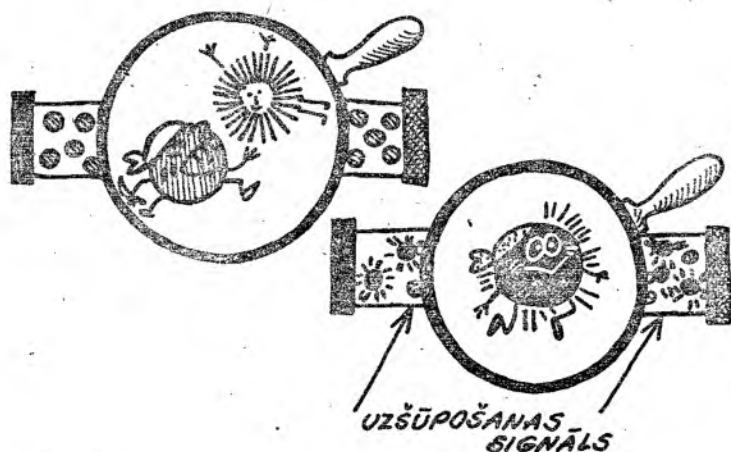
Ja «atomkontūra» svārstību frekvenci izmantotu laika mērīšanai (un šādi «atompulksteņi» jau eksistē), tad laika noteikšanas kļūda nepārsniegtu vienu sekundi... trīstūkstoš gados!

#### 4.36.

Rubīna kristāls satur hroma atomus. Kamēr uzšūpošanas signāla vēl nav, visi hroma atomi atrodas uz apakšējā «pakāpiena»,

t. i., stabilā, neierosinātā stāvoklī, kam mūsu ilustrējošajā attēlā atbilst «gandrīz melna» krāsa. Uzšūpošanas signāls rubīnam pie-





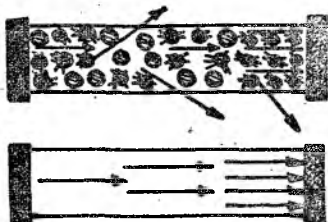
gādā fotonus, un hroma atomi ierosinās — «paceļas» līmenī  $E_3$  (ierosināto atomu esam uzzīmējuši pe-

lēku — tomēr gaišāks nekā «melns» atoms!) un tūlīt pāriet uz līmeni  $E_2$ .

#### 4.37.

Ierosinātais atoms jebkurā brīdī var izstarot fotonu. Šis fotons sasniegs kādu citu ierosināto atomu un to «nogrūdis» līmenī  $E_1$ , atbrīvoto fotonu paņemsdam sev līdzī. Divi fotoni tūlīt pat līdzīgā veidā pārvērtīsies četros, četri — astoņos utt. Sāksies fotonu «lavīna», un turklāt visi fotoni «soļos kopsolī»: svārstību fāzē un frekvencei tiem visiem būs viena un tā pati.

Daži fotoni var novirzīties sānis no kristāla ass virziena (attēlā to ceļš parādīts ar slīpi vērstajām bultiņām). Atomus savā ceļā nesastāpuši, tie ļoti drīz no kristāla iziet ārā.



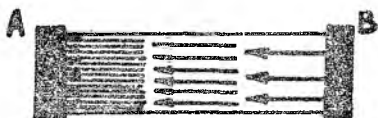
Toties «nenomaldījušies» fotoni, skriedami ass virzienā, sastop aizvien jaunus un jaunus ierosinātus atomus, kuriem tie liek atgriezties stabilā stāvoklī, kā «sasmaksu par savu pakalpojumu» allaž līdzī paņemdami atbrīvojušos fotonu.

Tādējādi kristāla ass virzienā izveidojas intensīva fotonu plūsma.

#### 4.38.

Ir pienācis laiks lāzera konstruktīvo shēmu precizēt: abos kristāla galos atrodas spoguļi.

Fotonu lavīna «gāzas» garenvirzienā pa rubīna kristālu, «lidzi pakerto» fotonu iesaistīšanās rezultātā kļūstama aizvien intensīvāka. Sasniegusi spoguļi *B*,

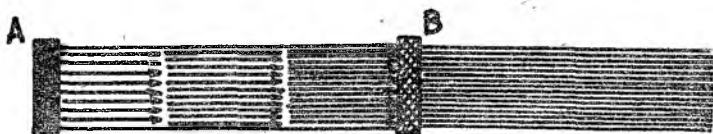


lavīna atsitas un, turpinādama pieņemties spēkā, «velas» virzienā uz spoguļi *A*, pēc tam atkal uz *B* utt., nepārstādama augt.

#### 4.39.

Konstruktīvā shēma jāprecizē vēlreiz: \* spoguļis *B*, atšķirībā no spoguļa *A*, ir puscaurspīdīgs. Tomēr sākotnējā fotonu plūsma bija pārāk vāja, lai tam izkļūtu cauri. Ar katru no-

skrējienā pa kristālu (turp un atpakaļ) lavīna kļūst jaudīgāka; beigu beigās tā «izsitas cauri» puscaurspīdīgajam spoguļim *B* un kā smalks, intensīvs stars pāršķel telpu.



#### 4.40.

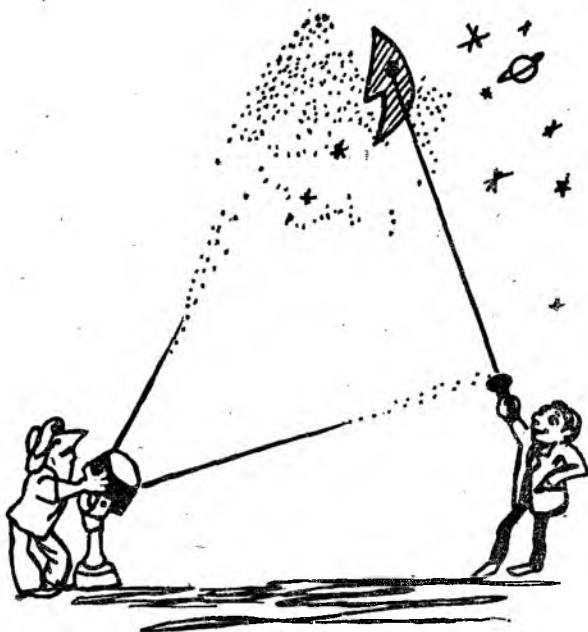
Lāzera izstarotā gaisma no parastās atšķiras ar to, ka tās ierosinātājs ir bijis speciāls signāls un tāpēc visi tās fotoni «iet kopsolī»: tiem visiem ir viena un tā pati frekvence un, galve-

nais, arī fāze (jeb, precīzāk sakot, sākumfāze).

Speciālisti mēdz teikt, ka lāzera starā norisējošās svārstības ir *koherentas*.

Tā ir galvenā fotonikas radīto viļņu priekšrocība

\* Šādu pakāpenisku precizējumu izmantojam uzskatāmības un vieglākas izprotamības labad. Protams, arī mūsu izklāsta «galīgais variants» ir vienkāršots; spoguļim *B* nav nelineāras raksturliķnes, utt.



salīdzinājumā ar parasto gaismu. Pēdējā allaž «izplūst» uz visām pusēm, turpretī lāzera stars ir vienmērīgs un taisns, un «smalks kā adats».

Ja lāzeru papildina ar speciālu teleskopisku lēcu, tad no Zemes uz Mēness ir

iespējams radīt «gaismas zaķīti», kura diametrs ir tikai trīs kilometri. Turpretī parastā prožektora izstarotais gaismas kūlis tādā attālumā izklīdis vienpadsmit Mēness diametru platumā un, protams, nebūs pamatnāms.

## KAS JAU NOTICIS, KOPŠ RADĪTS HIPERBOLOĪDS

Vairāk nekā pirms piecdesmit gadiem Alekseja Tolstoja fantastiskā romāna lappusēs parādījās mulsoši skaists vārds — «hiperboloīds». Hiperboloīda izgudrotājs, dēkainis inženieris Garins, bija radis iespēju iegūt neredzēti spēcīgu gaismas staru un nolēmis, to izmantojot par ieroci, pakļaut sev visu pasauli.



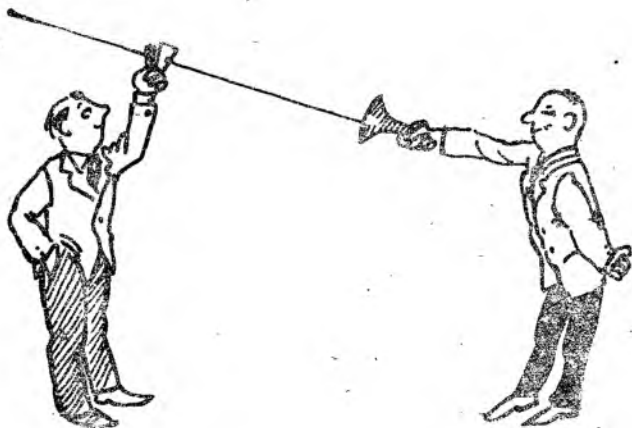
Laikam gan bērnībā mēs visi esam turējuši rokā katrs savu hiperboloīdu — parasto lēcu. Tās koncentrētie stari gan nebija tik fantastiski intensīvi kā inženiera Garina hiperboloīda stari, tomēr principā tā veica to pašu: Saules stari, sakopotī mazā «zaķītī», spēja atstāt pārogļojušos vadziņu uz sola vai apdegumu uz rokas.

Bet līdz ar lāzeru izgudrošanu Tolstoja fantastiskā ideja kļuva par realitāti. Lielaudas lāzera «zaķītis» ir ļoti, ļoti bīstams: tā radītais apgaismojums ir apmēram tāds, kādu pa visām kopā dotu tūkstošiem sauļu. Visi metāli tik intensīva starojuma iedarbībā gluži vienkārši iztvaiko.

Lāzeru radītāji, sākdami tos pētīt, ieviesa visai savdabīgu paņēmieni, kā novērtēt stara jaudu un koncentrētību. Šo lielumu mērvienība bija ... žilete.

Kā tā?

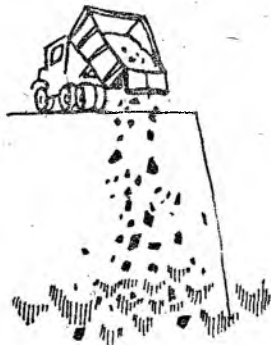
Ļoti vienkārši. Ja uz žileti vērš lāzera staru, tas žiletē izdedzina caurumu. Turklāt spēj «izurbties cauri» arī vairākām žiletēm; to skaits var sniegties desmitos. Vai šāda «mērvienība» nav uzskatāma? Un ar ko lāzers ir sliktāks



par hiperboloīdu? Vai kāds iedrošināsies stāties ceļā tā staram?

Bet kāpēc hiperboloīda ideja realizējusies tikai lāzerā? Lāzera «šāviņi» ir tikai fotoni, t. i., parastā redzamā gaisma. Un ir pazīstami arī dažādi citi intensīvi gaismas avoti, ne tikai lāzers vien. Kāpēc nevar «šaut» ar šiem avotiem?

Parasto avotu gaismas viļņiem, atšķirībā no lāzera izstarotās gaismas, ir ļoti plats spektrs. Citiem vārdiem sakot, parasto gaismu veidojošo viļņu garums ir ļoti dažāds. Aplūkosim uzskatāmu analogiju. Pieņemsim, ka ezerā tiek iemesti akmeņi, turklāt dažādi — lieli, vidēji un mazi. Tie izraisa dažāda garuma viļņus, kuri cits ar citu summējas. Tomēr viļņu garuma dažādības dēļ to summa ir neregulāra; vienmērīgi izvietotas kores un ieplakas neveidojas; ezera virsmu klāj nekārtīgas trīsas.



Līdzīgi nav arī iespējams izveidot šaurus («smalkus kā adatu») kūļus, par «izejmateriālu» izmantojot parasto gaismu. Vietām sakrīt kores ar korēm, bet vietām — kores ar ieplakām utt. Tāpēc kopējā aina ir vēl sarežģītāka nekā gadījumā, kad ezerā iemetam dažāda lieluma akmeņus. Šī iemesla dēļ speciālisti lāzera izstaroto gaismu sauc par signālu, bet pa-

rasto gaismu, piemēram, to, ko izstaro kvēlspuldze, par ... troksni. Protams, neviens nekad nav dzirdējis, ka elektriskā spuldze trokšņotu. Un tomēr to — kā gaismas avotu — var uzskatīt par trokšņu generatoru, jo no speciālistu viedokļa jebkurš neregulārs signāls ir troksnis.

Tāda signāla spektra platums parasti ir liels (vai pat ļoti liels), bet frekvenčkomponentu — atse-



višķo sinusoīdu — amplitūdas var būt tā sauktie gadījumlielumi. Tomēr «baltās gaismas» (kvēlspuldzes, Saules utt. gaismas) intensitāte ir noteikta (un ļabi izpētīta) frekvences (resp., viļņa garuma) funkcija. Tās veidu nosaka avota temperatūra, un, piemēram, kvēlspuldzes gaismā relatīvi ir daudz vairāk sarkano staru nekā Saules gaismā, jo spuldzes kvēldiega temperatūra ir būtiski zemāka nekā Saules virsmas temperatūra.

Par spektru un tā platumu bija runa arī 4. nodaļas paragrāfā «Impulsi un Buratīno».

Elektriskā strāva spuldzes kvēldiegu sakarsē līdz baltkvēlei. Ierosinātie kvēldiega atomi atrodas dažādos enerģētiskajos līmeņos. «Veldamies» lejup pa līmeņu kāpņu pakāpieniem (kā nu kurš prot), tie izstaro ārkārtīgi daudz fotonu. Tā kā pakāpieni ir dažādi, tad arī izstaroto viļņu frekvence ir «gandrīz vai» katram atomam sava.

Kārtējo reizi uzskatāmības un vienkāršības vārdā esam spiesti upurēt zinātniskumu. Patiesībā tā sauktā absolūti melnā ķermenī (par kādu ar labu tuvinājumu var uzskatīt gan kvēlspuldzi, gan Sauli) starošanas likumi ir vieni no vislabāk izpētītajiem un pama totajiem fizikas likumiem. To atklāšana bija tas mezglpunkts, kas iezīmēja kvantu mehānikas sākumus un līdz ar to — vienu no 20. gs fizikas revolūcijām. Tiesa, starošanas likumsakarības ir statistiskas. Jo starotāju — atsevišķo atomu — ir ļoti, ļoti daudz. Bet statistika

nav identiska ar gadījumiem, ar nejaušībām. Arī nejaušībās ir savi — statistiski — likumi, un viena nejaušība no otras atšķiras tāpat, kā savā starpā var atšķirties regulāras sinusoīdas (pēc amplitūdas, frekvences, sākumfāzes).

Visi atomi kopā izstaro gaismu, kurai ļoti plats spektrs; turklāt, kā jau teikts, katram viļņa garumam atbilst pilnīgi noteikta vidējā gaismas intensitāte, un šī atbilstība kopumā savukārt ir atkarīga no starojošā ķermeņa temperatūras.

Arī Saule ir trokšņa generators; salīdzinot ar kvēlspuldzi, vairāk enerģijas tā izstaro īsāku viļņu diapazonā (izstarojuma maksimums tai ir, kā mēdz teikt, «zaļajā gaismā», turpretī kvēlspuldzei — infrasarkanajos staros). Katrs Saules virsmas kvadrātcentimetrs raida «signālu», kura jauda ir ap 7 kilovati. Bet, ja ar atbilstošu filtru no šī starojuma atdalītu tādu spektra daļu, kuras platums būtu 1 MHz, tad no septiņiem kilovatiem pāri paliktu tikai 0,00001 vats — jauda būtu samazinājusies 700 miljonus reižu! Tas nozīmē, ka vienu megahercu platā joslā ietilpst tikai viena septiņsimtmiljondaļa enerģijas, kamēr pārējā enerģija ir sadalīta pa citām frekvenčkomponentēm, pa viļņiem, kuriem ir cits garums (bet kuri visi kopā, ieskaitot atdalīto joslu, veido Saules gaismu).

Ar prizmu, kas šos viļņus lauž dažādi (jo prizmas materiālā dažāda garuma viļņi izplatās dažādā ātrumā), var iegūt «krāsainu Saules attēlu», t. i., balto gaismu sadalīt sarkanajā, oranžajā, dzeltenajā, zaļajā, gaišzilajā, zilajā un violetajā.

Turpretī lāzera stars ir vienkrāsains.

Speciālisti saka: *monohromatisks*.

Lāzers izstaro gaismu, kurai ir tikai viens viļņa garums. Tā ir visvērtīgākā no lāzera īpašībām; tā kā vienāda ir arī visu atomu izstaroto viļņu fāze, tad lāzera stars ir vērsts (orientēts), tā viļņi neizkliet uz visām pusēm, cits citu nevājina; tie visi izplatās vienā virzienā, veidodami tievu (smalku) kūli.

Lāzera staru var padarīt vēl smailāku, ja to fokusē. Nekādi lieli reflektori vai lēcas šim nolūkam nav nepieciešami. Gaismas viļņu garums, kā atceraties, ir 0,4 līdz 0,7 mikrometri. Paļ ļoti maza lēca ir daudzreiz lielāka.

Ar vienā virzienā vērstu un fokusētu lāzera staru var «apšaudīt» jebkuru tālu objektu.

Lāzers izstaro īsus gaismas impulsus, kuru ilgums parasti ir dažas milisekundes. Impulsa laikā jauda var sasniegt vairākus kilovatus. Aģentūra «Associated Press» paziņojusi, ka Amerikas Savienotajās Valstīs grib uzbūvēt tādu lāzeru, kas divu kilometru attālumā varētu «sašaut» lidojošu lidmašīnu vai kādu citu mērķi. Bet kosmosā tā stars būs iedarbīgs pat vairāku simtu kilometru attālumā, jo tur nav atmosfēras, kas gaismas starus vājina. Ierīces svars un gabarīti būs iespaidīgi. Inženieris Garins savu hiperboloīdu varēja ielikt čemodānā, turpretī amerikāņu iekārta svērs ap 14 tonnu.

Kādus lāzerus būvēs pēc divdesmit gadiem? Protams, tie būs vieglāki un efektīvāki. Bet vai ar lāzera «zakīti» būs iespējams izdedzināt caurumu, piemēram, raketē?

Lai tas būtu iespējams, stars pie straujās raķetes cieši «jāpiesien». Sai nolūkā staru jāvar, raķetes trajektorijai sekojot, pārfokusēt.

Bet kādam jābūt pašam «zakītim»?

Vācu zinātnieks Tīrings ir izdarījis orientējošu aprēķinu. Lai vienā minūtē varētu izkausēt raķetes korpusu, nepieciešama ap 800 kilovatu liela jauda. Pat tad, ja stars izklīstu tikai vienu loka minūti lielā leņķī (salīdzināšanai atgādināsim, ka Saules un Mēness diska redzamais leņķiskais diametrs, t. i., leņķis, kurā tie redzami, ir ap 30 loka minūtēm) un raķete lidotu tikai 50 km augstumā, «zakīša» šķersgriezuma laukums būtu apmēram 200 reizes lielāks par raķetes galviņas laukumu. Tāpat raķete saņemtu tikai vienu divsmito daļu no lāzera enerģijas. Lāzeram veselu minūti būtu jāizstaro  $800 \cdot 200 = 160\,000$  kilovatu liela jauda.

Bet pagaidām lāzeru izstarotā jauda ir mērāma tikai... milivatos. Secinājums nav sevišķi iepriecinošs: lai ar lāzeru varētu «sašaut» raketē, tā jaudai jāpieaug vairākkārt nekā 100 miljonu reizi! Šis aprēķins ir vienkāršs, bet pārlicinošs. Maz ticams, ka tuvākajā nākotnē izdosies radīt hiperboloīdu, kas varētu nodarēt par efektīvu līdzekli pret raketēm.\*

---

\* Gados, kas pagājuši kopš grāmatas pirmizdevuma nākšanas klajā, lāzertechnikā sasniegts liels progress. Plaši tiek izmantoti dažādi gāzes lāzeri, kas gaismu izstaro nepārtrauktā režīmā. Militārām vajadzībām (pēc dažām ārzemju preses ziņām) lietoto lāzeru jaudas kārtā ir 1 MW. Kā jau aizrādīts (sk. 4.6.), modernie lāzeri viļņus var izstarot daudz plašākā diapazonā nekā redzamās gaismas diapazons.



## KĀ LAI MODULĒ GAISMUI

Pastāv vilinoša iespēja — vērsto lāzera staru pārvērst par nesējsignālu! Ja tas izdotos, tad optiskajā diapazonā varētu pārraidīt 40 miljonus televīzijas programmu.

Bet, lai ar lāzeru varētu pārraidīt informāciju, «pamataudumā» «jāizšuj raksts», t. i., lāzera stars jāmodulē ar kodētiem («šifrētiem») impulsiem, televīzijas attēla signālu, skaņas spektru utt.

Tā ir vesela problēma. Kā lai modulē gaismu? Elektronikas «greizie spoguļi» šeit neder: to pamatā ir stūrētājtiliņa lauka iedarbība uz elektronu plūsmu. Bet kā lai iedarbojas uz fotoniem? Lādiņa tiem nav, tātad nekāds lauks tiem neko nevar padarīt. Ko lai iesāk?

Izanalizējuši, kā lauks ietekmē vielas optiskās īpašības, fiziķi intuitīvi izvēlējās pareizo ceļu.

Lūk, kā viņi sprieda un rikojās. Skaņu, impulsus, attēlu var pārvērst elektriskajā strāvā. Strāva rada lauku. Lauks iedarbojas uz kristālu, izmainīdams tā optiskās īpašības. Bet lāzera stars var izplatīties pa kristālu vai arī tikt no tā atstarots. Ja uz kristālu esam iedarbojušies ar mainīgu lauku, tad arī lāzera stars savu intensitāti var mainīt šī lauka ritmā jeb, respektīvi, tikt modulēts — pārvērsties par nesējsignālu, kas sev līdzī nes atbilstošo «rakstu». «Greizie spoguļi» te vairs nav tikai «līdzība», uzskatāma analogija. Gaismas modulācijai ir vajadzīgi īsti spoguļi, kam patiešām jābūt «greiziem» — lauka iedarbībā gaisma «jāizkropļo».

Fizikā ir pazīstamas dažnedažādas parādības (jeb, kā mēdz teikt fiziķi, efekti), kuru būtība ir lauka iedarbība uz gaismu, tās izplatīšanos utt. To vidū, piemēram, ir Faradeja efekts, kura būtība ir tā, ka magnētiskais lauks pagriež gaismas polarizācijas plakni.

Ar polarizācijas jēdzienu īsi iepazīsāmies 3.17. un 3.18. paragrāfā.

Tālāk. Ir pazīstams Zēmaņa efekts: magnētiskā lauka ietekmē mainās starojuma spektrs. Šo efektu izmantojot, lāzera signālu var modulēt pēc frekvences.

Ir arī Kerā efekts — staru lūšana un polarizācijas plaknes pagriešanās elektriskā lauka iedarbības rezultātā. Lai izmantotu šo efektu, modulējošais signāls vispirms jāpārvērš atbilstošā elektriskajā laukā.

Gaismu var modulēt ar skaņu. Šai gadījumā skaņas viļņi deformē kristālrežģi un līdz ar to pārveido gaismas izplatīšanās vides optiskās īpašības.

Visbeidzot, pašā lāzerā var mainīt uzšūpošanas signāla intensitāti un tādējādi noteiktās robežās ietekmēt lāzera stara intensitāti un frekvenci.

Tagad aplūkosim modulētā lāzestara uztveršanas problēmas. Kā zināms, signāls jādetektē, t. i., «raksts» jāatdala no «pamatauduma». To, piemēram, var izdarīt, izmantojot fotoefektu: fotoelementa strāva ir atkarīga no apgaismojuma intensitātes. Tātad principā detektēšana ir ļoti vienkārša: mainās modulētā stara intensitāte un vienā ritmā ar to — arī fotoelementa strāva.

To pašu efektu izmanto gaismas signāla frekvences pārveidošanai (transponēšanai). Fotoelementā tiek sajaukti divi signāli — raidītājlāzera (t. i., uztvertais) un heterodīnlāzera signāls, bet izejas ķēdē parādās starpfrekvences signāls.

Par heterodīnu stāstījām 3. nodaļas paragrāfā «Greizo spoguļu karaļvalsts», kurā lasītājs iepazīs arī ar starpfrekvences jēdzienu un ar superheterodīniem vispār.

Shēmas pārējā daļa neatšķiras no atbilstošajām parasto superheterodīnu shēmu daļām: jāucēja pakāpē optiskā frekvence tiek tiktāl pazemināta, ka starpfrekvence jau ietilpst radiofrekvenču diapazonā.

Pētījumi, kas saistīti ar lāzera signāla modulāciju un detektēšanu, izvērsas plašā frontē. Fizikāli eksperimentē. Rezultātus analizē un salīdzina. Tiek novērtēts, kura no minētajām metodēm — un kāpēc — attiecīgajos modulācijas gadījumos būtu labāka par citām. Priekšā vēl ir daudz darba: visu pazīstamo efektu vidū jāatrod konkrētām vajadzībām «visefektīvākie efekti», utt.

## AKTUALITĀTES

... Slimnīcā atvests slimnieks. Rentgenogrāfija liecina, ka nepieciešama steidzama operācija. Ķirurgs ir gatavs to sākt. Bet rokā viņam nav neviena instrumenta, ar ko varētu griezt vai vismaz iedurt. Skalpeļa vietā viņš paņem neparastu instrumentu, vēlreiz rūpīgi aplūko rentgenuzņēmumu, pēc tā izmēra attālumu no slimnieka ķermeņa virsmas līdz operējamajiem audiem un attiecīgi ieregulē instrumentu. Tad ķirurgs nospiež pogu un slimnieka ķermenī ieurbjas smalks gaismas stars.

Operācija ir beigusies. Tomēr nav nopilējis neviens asins piliens, un vispār uz slimnieka ķermeņa nav nekādu operācijas pēdu. Izrādās, ka stars organismā ir iekļuvis,

audus nebojādams un tos piededzinādams tikai tur, kur tas bija nepieciešams saskaņā ar diagnozi.

Fantastika? Pagaidām jā. Bet nāv izslēgts, ka jau vis-tuvākajā nākotnē šeit attēlotais kļūs par realitāti.\*

Lāzera jaudu taču var izraudzīties tā, ka uz audiem stars spēj iedarboties tikai tajā vietā, kur tas ir fokusēts, turpretī visur citur nav bīstams. Stara fokusēšanas vieta šādā gadījumā ir līdzīga asas adatas smailei. Turklāt adata nav jāizvada cauri slimnieka ķermenim: adatas «smaile» vajadzīgajā vietā ir «pati no sevis».

Līdzīgi eksperimenti jau ir tikuši izdarīti: ar lāzera staru ir izdevies «piemetināt» atlobījušos acs tikleni, nesabojājot zilītes jutīgos audus.

Par iespējām, kuras pavēruši lāzeri, var stāstīt daudz. Fotons ar elektronu sācis konkurēt ne vien lokācijā un sakaru tehnikā, bet arī daudzās ražošanas nozarēs. Metālus un citus materiālus turpmāk varēs apstrādāt ne tikai ar elektronu kūli, bet arī ar fotonu staru. Smailais lāzera stars palīdzēs «aptaustīt» un precīzi izmērit mikroskopiskas detaļas.

Vēl vairāk: izrādās, ka ir tādas vielas, kuru molekulu ķīmiskā aktivitāte lāzera stara iedarbības rezultātā palielinās. Ar dažādas frekvences starojumu var ierosināt dažādu vielu molekulas. Tas nozīmē, ka sarežģītus ķīmiskos procesus ir iespējams «izkorģēt» tādējādi, ka vienas reakcijas paātrinās, bet ar pārējām nekas nenotiek. Ar lāzera staru var arī pārraut saites starp molekulām, t. i., pēc patikas mainīt dažādu vielu struktūru.

Pastāv vēl viena perspektīva: ar lāzeriem var pārvadīt enerģiju, vadus neizmantojot. Smalks staru kūlis pats par sevi jau ir vads: tajā koncentrēta visa enerģija, ko tam piešķir raidītājlāzers, un šo enerģiju var nogādāt patērētājam ar samērā maziem zudumiem.

Ir arī citi projekti. To, ka pastāv gaismas spiediens, krievu zinātnieks P. Ļebedevs tika pierādījis vairāk nekā pirms 80 gadiem. Parastās gaismas spiedienu var konstatēt tikai ar ārkārtīgi jutīgiem instrumentiem; bet cik liels gaismas spiediens ir smalkā lieljaudas kūlī? Ir aprēķināts, ka lāzera staru spiediens var būt miljoniem atmosfēru liels.

---

\* Par operācijām, kas Padomju Savienībā izdarītas ar lāzera staru, var izlasīt, piemēram, gadagrāmatas «Наука и человечество» 1984. gada izdevumā (O. K. Скобелкин, E. И. Брехов, В. И. Корепанов. Лазеры в хирургии, с. 56—65). Tiesa, teikt, ka tajās «nav nopilējis neviens asins piliens», gluži vis nevar, bet tas šoreiz nav galvenais.

Viena no interesantākajām iespējām, kā šo spiedienu izmantot, paveras sakarā ar kodolsintēzes reaktoru projektēšanu. Vienā no to pa-veidiem kodoldegvielu — smagā un supersmagā ūdeņraža «ledus» lo-  
dīti, kas ievietota speciāla stikla čaulā, — paredzēts no visām pusēm saspiest ar lieljaudas lāzeru staru kūļiem, kuru iedarbības rezultātā lodītē attīstās vajadzīgā temperatūra un spiediens. Darbi šādu reak-  
toru radīšanā ir jau pārvirzījušies samērā tālu uz priekšu (sk., pie-  
mēram, krājumu «Наука и человечество», 1981: Велихов Е. П.,  
Кадоццев Б. Б. Лазерный термоядерный синтез, с. 242—251).

Lāzeru izgudrošanas rezultātā ir radusies vēl viena jauna zinātnes un tehnikas nozare — *hologrāfija*. Kas tā ir?

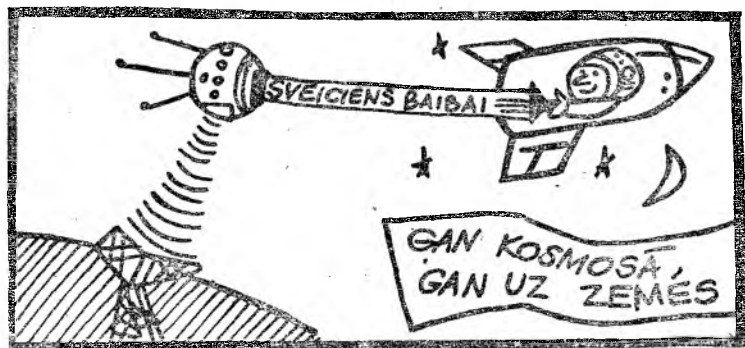
Aptuveni un neprecīzi, bet uzskatāmi var teikt, ka tā ir «telpiska fotografēšana». Fotografējamo objektu un speciālu fotoplati apstaro ar lāzera staru, ko virza ar īpašu spoguļu sistēmu. Platē paliek viļņu mijiedarbības pēdas — hologrammas. Objekta attēlu tajās nav ko meklēt: redzams tikai divainu līniju sapinums, kam ar tikko nofotogra-  
fētā priekšmeta apveidiem nav nekā kopīga. Ja turpreti priekšmetu aiznesam prom, bet hologrammu «apgaismo-  
jam» (t. i., apstarojam) ar lāzera gaismu, priekšmets pa-  
rādās atkal. Nē, tas taču nav pats priekšmets, tā ir priekš-  
meta «viļņu kopija» — nereāla, «nemateriāla», bez svara, tomēr ar noteiktu tilpumu. Jūs varat tai apiet apkārt, pa-  
skatīties uz to no aizmugures; ja hologrammā, piemēram, redzamas divas šaha figūras, tad noteiktā rakursā, tāpat kā dabā, viena no tām «paslēpjas» aiz otras.

Šāds hologrāfisks «portrets» atšķiras no visu veidu ste-  
reofotogrāfijām, kādas vien ir tikušas līdz šim uzņemtas. Tajās labākajā gadījumā tika radīta tikai telpiskuma un perspektīvas ilūzija. Bet hologramma nav ilūzija: tā ir objekta pilnvērtīga kopija, kuras «būvmateriāls» nav vis-  
viela, bet gan viļņi.

Var domāt, ka ar laiku hologrāfija ieņems stabilu vietu stereotelevīzijā un stereokinematogrāfijā.\*

---

\* Par jaunāko hologrāfijā vēsti, piemēram, grāmata: Svarcs R., Ozols A. Hologrāfija — revolūcija optikā. R., 1975. 207 lpp. Tulk. piez.



PAMATS IR ŠĀDS

#### 4.41.

Lāzeru smalkie, koncentrētie un precīzi orientētie stari tiks izmantoti daudzās zinātnes un tehnikas nozarēs. Plašs darbalauks tiem būs kosmosā. Tiesa, uzturēt sakarus starp Zemi un kos-

mosu ir grūti: gaismu izkliedē gan mākoņi un migla, gan arī sniegs un lietus. Lāzerus varēs iekārtot Zemes mākslīgajos pavadoņos, kurus ar Zemi sasaistīs parastās radiostacijas,

#### 4.42.

Lāzera raidītais stars precīzi sasniegs savu kosmisko mērķi.

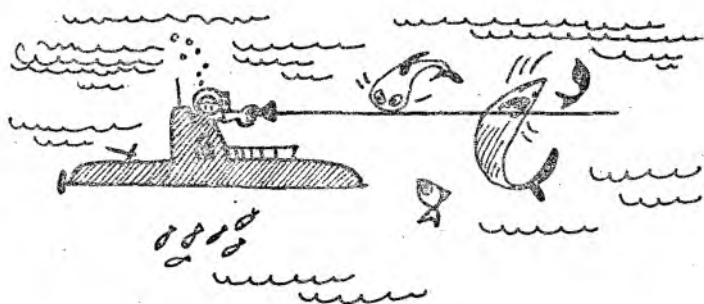
Lai varētu nodibināt sakarus ar Marsu, parastās radiostacijas jaudai jābūt

daudzus tūkstošus kilovatu lielai, bet lāzeram pietiek ar vienu vatu — ar mazāku jaudu, nekā patērē kabatas lukturītis!

#### 4.43.

Lāzeri var būt ļoti noderīgi ne vien kosmiskajos, bet arī zemūdens sakaros. Parastie radioviļņi jūras ūdenī stipri vājinās, tāpēc

zemūdens sakariem un zemūdens lokācijai izmanto ultraskaņu. Ūdens vājina arī gaismas viļņus: tomēr gaismas viļņi, kuru garums at-



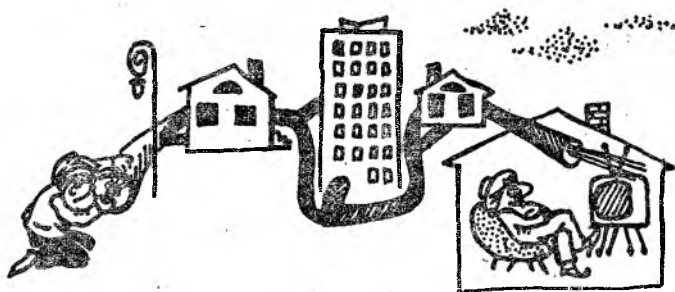
bilst gaišzilajai un zaļajai krāsai, jūras ūdenī izplatās labi. (Ar to, starp citu, izskaidrojama jūras ūdens specifiskā krāsa.)

#### 4.44.

Gaismas signālus, ko izmantos par telefonijas un televīzijas kanālu nesējsignāliem, nāksies aizsargāt no atmosfēras ietekmes. Viena no iespējām būtu lietot caurules, kuru pagriezienos iemontēti spoguļi vai

Zemūdens sakariem un zemūdens lokācijai jau izmanto lāzera starus, kuri ir «jūras viļņu krāsā».

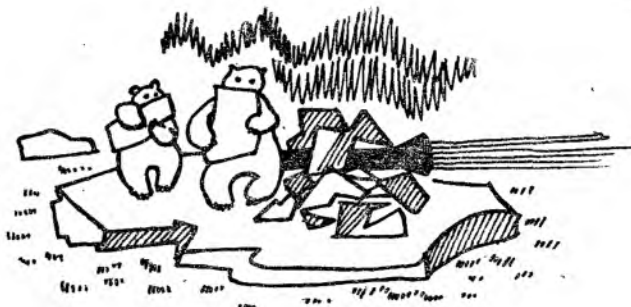
prizmas. Tomēr daudz perspektīvāki ir izrādījušies speciāli stikla šķiedru gaismvadi. Gaismas signāla pārraide pa tiem balstās uz pilnīgu iekšēju atstarošanu.



#### 4.45.

Elektronika savas «bērnu slimības» jau ir pārslimojusi, bet fotonikai tās tik tikko vēl sākas.

Jūs taču atceraties, cik grūti no dzirksteļraidītājiem bija pāriet uz raidītājiem, kuri strādā ar nerim-



stošajiem (sinusoidālajiem) viļņiem? Līdzīgas grūtības savā laikā pārdzīvoja arī lāzertehnika. Uzšūpošana pārtraukumainas darbības lāzeros notiek periodiski, «uzliesmojot» uzšūpošanas lampai. Pēc kārtējā uzliesmojuma lāzers izstaro dažas milisekundes ilgu im-

pulsu. Nepārtrauktu uzšūpošanu ir grūti nodrošināt: uzšūpošanas jaudu palielinot, lāzers sāk stipri silt; tas jādzesē, bet dzesēšanas sistēmas ir sarežģītas.

Par spīti visam, ir radīti daudzi lāzeru tipi, kuri darbojas nepārtrauktā režīmā.

#### 4.46.

Kosmosa izpētē būtiski palīdz molekulārie un paramagnētiskie pastiprinātāji. Darbības princips tiem daudzējādā ziņā ir tāds pats kā lāzeram. Arī šajos pastiprinātājos īpašas vielas («darba vides») molekulas tiek ierosinātas un no līmeņa  $E_1$  «paceļas» līmenī  $E_3$  (sk. 4.33.), t. i., «kāpņu pakāpiena» augstums ir  $E_3 - E_1$ . Ierosmei tiek izmantots ārējais svārstību avots.

Tomēr šo ierīču darbībā ir arī būtiskas atšķirības: lāzerā atomi, kas tikuši ierosināti, fotonus izstaro

un pāriet zemākā līmenī patstāvīgi (jeb, kā pieņemts teikt, spontāni) un uzreiz, turpretī pastiprinātājā (kā molekulārajā, tā paramagnētiskajā) — tikai pēc tam, kad sistēma saņēmusi jaunu «grūdienu» — kādu ārējo iedarbi. Šī iedarbe ir pastiprināmais signāls.

Pastiprināmā signāla frekvencei jāatbilst tam, no cik augsta pakāpiena «nokritīs» signāla «grūdienu» saņēmusī vielas molekula (t. i.,  $E_2 - E_1$ ). Tātad pastiprinātāja «kontūrs» (t. i., molekula) ir noskaņots re-

zonansē ar pastiprināmo signālu.

Gan molekulārajos, gan arī paramagnētiskajos pastiprinātājos darba vidi (kristālu, šķīdumu, gāzi) ierosina ārējie elektromagnētiskie lauki.

Abi pastiprinātāji viens no otra atšķiras pēc fizikālajiem procesiem, kuri tiem ir ierosmes pamatā. Molekulārajos pastiprinātājos elektroni ierosināšanas pro-

cesā pāriet no orbītas uz orbītu, turpretī paramagnētiskajos — paliek līdzšinējās orbītās, bet mainās apstarojamās paramagnētiskās vielas molekulu magnētiskais stāvoklis.

Abus pastiprinātājus sauc par kvantpastiprinātājiem, jo to darbības pamatā ir kvantmehāniskie efekti (enerģiju starpība ir proporcionāla frekvencei, utt.).

#### 4.47.

Kvantpastiprinātāju galvenā priekšrocība ir tā, ka tie var darboties tikpat kā bez iekšējiem trokšņiem (paštrokšņiem). Lampu pastiprinātājos un tranzistorpastiprinātājos paštrokšņus rada elektronu termiskā kustība (siltumkustība) — haotiska šaudīšanās šurpu turpu (sk. arī 1.10.). Bet paramagnētiskie pastiprinātāji darbojas ļoti zemā temperatūrā — minus 269 grādi pēc Celsija, kas jau ir gandrīz absolūtā nulle. Šādā temperatūrā termiskā kustība praktiski izbeidzas. Bez tam katra atsevišķa fotona enerģija ir tik maza, ka pat gadījumā, ja tas piedalītos haotiskajā siltumkustībā, tam neizdotos radīt jūtamus paštrokšņus. Visa tā rezultātā paramag-



nētiskajiem pastiprinātājiem ir simtiem un tūkstošiem reižu lielāka jutība nekā parastajiem lampu pastiprinātājiem. Moderns lampu pastiprinātājs signālu var pastiprināt ap  $10^{14}$  (t. i., 100 000 000 000 000 jeb simt miljonu miljonu) reižu, turpretī uztvērējs, kura ieejā darbojas kvantpastiprinātājs, dod iespēju šo skaitli vēl palielināt vairākus tūkstošus reižu: turklāt nav jābaidās, ka signāls «nosliks» trokšņos.



## RUNĀ VISUMSI...

Pēdējos gadu desmitos elektronikas speciālistus aizvien vairāk un biežāk nodarbina kosmosa problēmas.

Tas ir saprotams: progress jebkurā zinātnes un tehnikas nozarē vienmēr veicina arī blakusnozaru attīstību.

Kosmosa apgūšanas vajadzībām tika izstrādāti ārkārtīgi jutīgi uztvērēji un drošas elektroniskās shēmas, kas bija nepieciešamas kosmisko kuģu ievadīšanai orbītās, kā arī sakaru uzturēšanai ar tiem.

Prasmīgi izmantodams elektronikas sasniegumus, cilvēks bija apguvis neticami plašu viļņu garuma diapazonu — no mikrometra daļām līdz desmitiem kilometru. Un tad viņš sev nevarēja neuzdot jautājumu: vai šie viļņi nebūtu izmantojami sakariem ar citu pasauli iemītniekiem?? Kaut kur Visuma bezgalīgajās tālēs taču ir jādzīvo mūsu saprāta brāļiem, kas signālus prot raidīt un uztvert ne sliktāk kā mēs pašī!...

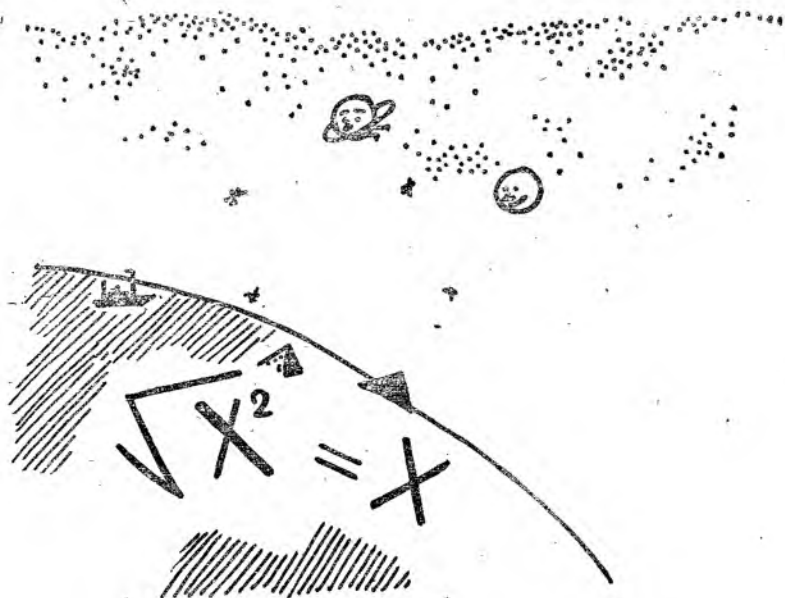
Nav vārdam vietas — sazināties ar viņiem būtu ļoti vilinoši. Varbūt izdotos iepazīties ar civilizāciju, kas mūsējo apsteigusi, teiksim, par vairākiem tūkstošiem gadu!

Nākotnē varbūt pat izdotos aizlidot ciemos pie kaimiņgalaktiku iemītniekiem. Bet pirmajā laikā būtu jauki kaut vai saņemt mazu vēstījumu, teiksim, šādu atbildes signālu: nu, dārgie, mēs zinām, ka jūs eksistējat, un gribam ar jums draudzēties.

Sis sapnis ir daudz vecāks par elektroniku. Savā laikā ir tikuši apspriesti dažādi paņēmieni, kā nodibināt sakarus. Ir pastāvējis projekts uzbūvēt milzu spoguli, kas aizraidītu gaismas «zaķīti» uz Marsu. Pēc autoru ieceres, ar šo «zaķīti» Marsa virsā jāiededzina kāda matemātiska zīme. Ir bijuši arī citādi projekti, piemēram, iecere radīt milzu zīmi uz Zemes. Ievērojamais matemātiķis K. Gauss uzskatīja, ka labi to varētu izdarīt Sibīrijā. Viņš izteica domu, ka zīme jāapsēj ar kviešiem, kuri, būdami dzeltenī, spilgti izcelsies uz taigas zaļā fona. Bija arī tādi, kas domāja, ka zīme jāiekārto Sahāras tuksnesī.

Nevienam no šiem projektiem nebija lemts realizēties. Jaunu sparū vecajam sapnim deva radio. Izgudrošana. Sāka cerēt, ka Visuma iemītnieki par savu eksistenci paziņos pa radio. Un pēkšņi...

Sensācija! Signāli no kosmosa! Amerikāņu inženieris Karls Janskis uztvēris signālus, kas atkārtojas precīzi ik pēc 23 stundām un 56 minūtēm!...



Diemžēl, tad, kad šie signāli bija izpētīti, visiem, kas tā cerēja atklāt starpplanētu radiolinijas, nācās vilties. Izrādījās, ka šos signālus neraida cilvēki. Elektromagnētiskos viļņus izstaro Mēness un Saule, Merkurs, Jupiters, Saturns. Vēlāk izdevās uztvert tādu dabisko «radiostaciju» signālus, kuras no mums atrodas pat miljardiem gaismas gadu lielā attālumā.

Bet vēlēšanās sazināties ar Visuma iemītniekiem tā ij palika neapmierināta. Toties elektronika ieguva jaunu darbības sfēru — radioastronomiju.

### «ESMU ZEME! KĀ MANI DZIRDATI!»

Ko lai dara: ja jau mūsu saprāta brāļi nesteidzas ziņot par sevi, varbūt mums pašiem ir vērts parādīt iniciatīvu?

1960. gadā no Amerikas tika raidīts signāls, kura viļņa garums bija 21 cm. 1971. gadā, pārvarējušam ap. 11 gaismas gadu (nedaudz vairāk par  $10^{14}$ , t. i., simt miljonu miljonu kilometru) lielu attālumu, tiem bija jāsasniedz Valzivs zvaigznāja  $\tau$  un Eridāna  $\epsilon$  zvaigžņu sistēmas. Ja

saprātīgās būtnes, kas mīt kādā no tām, signālu uztvers un vēlēties mums atbildēt, tad atbildi mēs saņemsim 1982. gadā. Kā redzat, pat īsa «saruna» ar Visuma iemītniekiem — viens jautājums un viena atbilde — ir visai ilga: veseli 22 gadi.

Vai ir cerības, ka tāda saruna varētu notikt? Ja «tur» arī ir saprātīgas būtnes, vai viņu rīcībā ir pietiekami jutīgi uztvērēji? Un, ja ir, vai tie būs noskaņoti uz šo frekvenci un to antenas būs vērstas uz mums?

Atbildēt uz šādiem jautājumiem ir grūti. Bet 21 centimetru garš vilnis nebija izraudzīts nejauši. Tas ir vilnis, kuru «raida» ūdeņraža atomi. Tie to dara ikreiz, kad mainās tajos esošo daļiņu magnētiskais moments. Ja aplūkojam vienu atomu, tad tajā šāda parādība notiek vidēji vienu reizi 11 miljonus gadu. Tomēr Visumā ir izkliedēts tik daudz ūdeņraža, ka ik brīdī kaut kur šī retā parādība «ņem un notiek». Tāpēc, lai arī kurp mēs pavērstu uztvērēja antenu, vienmēr — no debess sfēras jebkuras daļas — varam uztvert atbilstošās frekvences (tā sauktās «neitrālā ūdeņraža frekvences») vilni.

Visa starpzvaigžņu telpa ir pilna ar ūdeņradi. Zinātnieki pēc uztvertā signāla var izdarīt secinājumus par notikumiem Visumā. Starp citu, ir izdevies novērot divu lielu galaktiku «avāriju»; tika izvirzīta hipotēze, ka tur sadūrušās divas antipasaules.

Lai nu tā būtu. Bet kāds tam visam ir sakars ar ārpuszemes civilizācijām? Kāpēc zinātnieki nosprieda, ka «viņi» mūs varētu sadzirdēt tieši pa šo vilni?

Viņi sprieda tā: neviena civilizācija, kas sasniegusi vai pārsniegusi mūsu attīstības līmeni, nevar neinteresēties par Visumu un ūdeņraža signālu, kura viļņa garums ir 21 cm. Tātad «viņu» rīcībā ir uztvērēji, kas noskaņoti uz šo vilni. Pietiek, ka signālam piemodulējam noteiktu «no-krāsu», lai tas būtu atšķirams no dabiskā signāla. «Turietnieši» sapratīs, ka viņus izsauc, un raidīs atbildi.

Vai šie pieņēmumi apstiprināsies? Dzīvosim — redzēsim. Gaidīt vairs nav atlicis ilgi — vēl tikai divpadsmit gadus.\*

---

\* 1982. gadā nekāda atbilde netika saņemta. Tomēr grāmatas autors to nevarēja zināt. Mums šķiet, ka vieglā ironijā, ar kādu autors traktē cerības nodibināt sakarus ar ārpuszemes civilizācijām, ir pamatota. *Tulk. piez.*

## ASTRONOMIJAS «OTRĀ ELPA»

Sportistiem reizēm liekas, ka nupat, nupat izsīks pēdējie spēki. Bet tad sākas «otrā elpa».

Līdzīgi bija ar astronomiju. Viss, ko varēja saskatīt optiskajos teleskopos, jau bija sīki un rūpīgi izpētīts. Tomēr Visuma bezgalīgās tāles joprojām vilināja: tajās taču vēl ir tik daudz neizzināta! Bet ko lai dara, ja visas teleskopu iespējas jau ir izsmeltas un tālāk Visuma dzīlēs ielūkoties nevar? Un te pēkšņi — otrā elpa. Vai, labāk sakot, otrā redze.

Optiskajam teleskopam talkā ieradās radioteleskops.

Kosmiskā telpa izrādījās esam pilna ar visdažādāko frekvenču viļņiem. Sos signālus raida neskaitāmas dabiskās «radiostacijas». Piemēram, Saule izstaro viļņus, kuru garums ir no 8 milimetriem līdz 12 metriem. Mēness «strādā» ar 1,25 centimetru vilni. Grandiozi ūdeņraža mākoņi nepārtraukti ģenerē 21 centimetra viļņu plūsmu. Visi viļņi, kuru garums ir robežās no dažiem milimetriem līdz dažiem metriem, tiek cauri Zemes atmosfērai.\*

Radioteleskopu antenu grandiozie spoguļi, kuru diametrs var sasniegt pat simt metru, nepārtraukti iztausta kosmisko telpu, «vērodami», kas tajā notiek. Tomēr šo spoguļu izskats daudzus var saimulsināt: ir nu gan spoguļis — vieni caurumi! Protī, lai spoguļi būtu vieglāki (un lai vēja spiediens uz tiem būtu mazāks utt.), tos konstruē režģa («sietā») veidā. Kāpēc gan uztvertais vilnis neizsūcas šī režģa «acīm» cauri?

Par spoguļi mēs esam pieraduši saukt parasto optisko spoguļi, kas atstaro gaismas viļņus. Lai tas veiktu savu uzdevumu, tā virsmai jābūt ļoti gludai: negludumu vidējam izmēram jābūt mazākam par atstarojamo viļņu ga-

---

\* Ir iespējams uztvert tikpat kā jebkura garuma kosmiskās izcelsmes radioviļņus jeb, runājot vispārīgāk un precīzāk, elektromagnētisko starojumu (tiesa gan, ne visai regulāri un ne vienmēr ar Zemes tehniku — jāizmanto arī kosmosā paceltie novērošanas līdzekļi). Daudz uzmanības tiek pievērsts kosmiskajam starojumam ultravioletajā un rentgenstarojuma diapazonā. Pēdējos gadu desmitos daudz unikālas informācijas par Visumu ir iegūts, uztverot un analizējot relatīvi zemo frekvenču signālus, ko nes dekametru viļņi, kas ilgu laiku šķita esam tikai «biljarda bumbiņa», kuras «galdu» veido jonosfēra un Zemes virsma (sk. 3. nodaļas paragrāfu «Jonosfēra un biljards»). Par to var izlasīt, piemēram, krājumā «Наука и человечесство», 1981 (С. Я. Брауде, Космическое радиоизлучение на декаметровых волнах, с. 204—221), *Tulk. piez.*

rumu, kas, kā zinām, mērāms mikrometra daļās. Principā jebkura virsma, kas šo prasību apmierina, var būt spogulis.

Bet radioteleskopa tvērtie viļņi ir vismaz simttūkstoš reižu garāki par gaismas viļņiem. Un, tā kā režģa «acis» tomēr ir mazākas par šo viļņu garumu, radioteleskopa spogulis tiem «šķiet» gluds un necaurīdīgs.

Spoguļis uztvertos viļņus atstaro un fokusē nelielā telpas apgabalā, kur novieto antenu.

Ar radioteleskopiem, piemēram, ir izdevies atklāt daudz līdz šim nezināmu galaktiku pat sešu miljardu gaismas gadu attālumā.

Radioastronomija spēj redzēt ne vien ļoti tālu, bet arī «cauri miglai». Proti, ir tādi Visuma stūriši, kas mūsu skatīenam noslēpušies (t. i., optiskajos teleskopos nav saskatāmi) aiz kosmisko putekļu mākoņiem. Radioviļņiem šis aizkars ir caurspīdīgs.

Ar radioteleskopiem tika atklātas agrāk nezināmas zvaigžņu kopas mūsu Galaktikas centrā un noskaidrots, ka Galaktikai ir spirālveida struktūra, kādu jau iepriekš bija paredzējusi teorija.

Ļoti liela loma radioastronomijas attīstībā bija kvantpastiprinātājiem (divus no to paveidiem — molekulāros un paramagnētiskos — īsi raksturojām 4.46. un 4.47. paragrāfā). Ar tiem labi var uztvert ārkārtīgi vājo signālu, kas ieradies no tālā kosmosa. Vispār šie pastiprinātāji arī der tikai radioastronomijā; parastajiem radiosakariem tie ir ... pārāk labi.

Izklausās dīvaini, un tomēr speciālistu secinājums ir tieši šāds. Izrādās, ka šie pastiprinātāji ir tik jutīgi, ka jebkurš ķermenis, kas izstaro infrasarkanos viļņus (siltumstarojumu), ģenerē arī traucējumsignālu, kas šiem pastiprinātājiem neļauj normāli strādāt. Efektīvi izmantot visu pastiprinājumu, ko tie piedāvā, izdodas tikai gadījumā, ja uztvērēja antena ir vērsta auksto kosmosa dziļu virzienā.

ASV pilsētā Sanfernandā samontēja radioteleskopu, kas bija paredzēts parastajā teleskopā nesaskatāmo nodzisušo zvaigžņu novērošanai. Tas bija tik jutīgs, ka konstatēja visu garām lidojošo kukaiņišu ķermeņa siltumu. Piecpadsmit metru rādiusā ap teleskopu nedrīkstēja aizsmēķēt: cigaretes izstarotais siltums to traucēja.

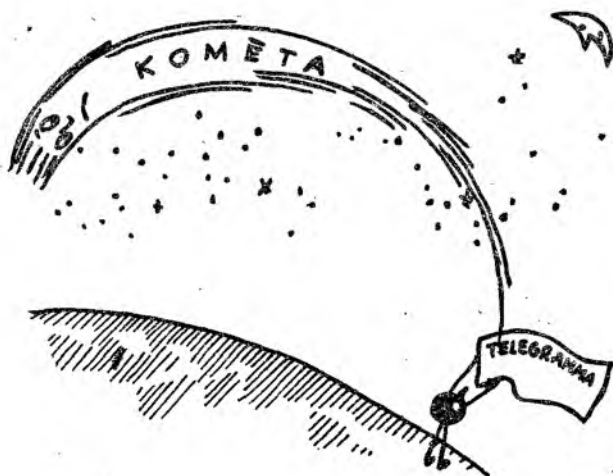
Kosmiskos objektus, kas paši viļņus neizstaro, var «notaustīt» ar atstarotiem viļņiem. Tā dzima kosmiskā radio- lokācija, kas teicami tika galā ar saviem uzdevumiem, lai



gan mērķi izrādījās ļoti tāli un ne visai parasti. Vajadzēja radīt speciālas stacijas, impulsus raidīt ļoti reti, toties tiem piešķirot lielāku jaudu. Tā tika precizēts Mēness un Venēras sastāvs, kā arī izmērīts attālums līdz tiem. Taču viens no galvenajiem radiolokācijas uzdevumiem ir ar maksimālo iespējamo precizitāti mērīt attālumus līdz tāliem objektiem (šai gadījumā precizitāte bija daži metri). Bet P. Lebedeva Fizikas institūtā tika radīts speciāls lāzers, ar ko Krimas Astrofizikas observatorijā veica Mēness optisko lokāciju.

### **METEORU PĒDĀS**

Elektronika palīdzēja astronomijai. Un astronomija nepalika parādā. Starp citu, tā palīdzēja noskaidrot, kā elektromagnētisko viļņu izplatīšanās apstākļi atkarīgi no Saules un citu debess ķermeņu stāvokļa un no procesiem, kas tajos notiek: astronomija arī ieteica ko jaunu, kas noderēja drošiem sakariem lielos attālumos. Sen jau ir zināms, ka



kosmos Zemi nepārtraukti bombardē ar meteoru krusu. Iedrāzdamies atmosfērā, tie ātri sadeg, bet jonizētās pēdas to trajektoriju apkaimē kādu brīdi saglabājas. Ja meteora svars ir bijis kaut vai grama simttūkstošdaļa, pēdu blīvums ir pietiekams, lai tās varētu atstarot radioviļņus. Bet vai šo pēdu atstarotos radioviļņus nevar arī uztvert? Vai šādi sakari varētu būt nepārtraukti, jeb vai nāksies katru reizi gaidīt, kad beidzot izdosies «noķert meteoru aiz astes»?

Meteoru lietus līst visu laiku. Ik diennakti atmosfērā sadeg ap 10 miljardu meteoru, kuru svars mērāms grama simttūkstošdaļās.

Tomēr ne jau katrs kosmosa sūtnis der sakaru nodibināšanai. Tie taču principā var lidot jebkurā virzienā: to pēdu izvietojums ir atkarīgs no trajektorijas. Jāsagaida tādas pēdas, kuru atstarotie viļņi izplatīsies virzienā, kur tos gaida uztvērējstacija.

Kamēr šādu apstākļu nav, tālo sakaru stacijā ziņojumi automātiski ierakstās magnētiskajā lentē: bez tam aparātūra visu laiku seko procesiem atmosfērā un gaida, kad debesīs parādīsies sakariem piemērotas pēdas. Tiklīdz tās parādās, stacija steidzas pārraidīt visus uzkrātos ziņojumus. Parastajos radiotelegrāfa sakaros pārraida ap simt vārdu minūtē: šeit to skaits sasniedz ap pusotra tūkstoša. Tāda «ātrruna» ļauj īsā brīdī pārraidīt visus ziņojumus, kas stacijā saņemti pauzes laikā (kamēr nav bijis piemērotu meteoru pēdu).

## AIZ TELEVĪZIJAI AIZLIEGTĀS ROBEŽAS

Mēs jau redzējām, ka kosmoss elektronikai palīdz risināt daudzas «Zemes problēmas». To vidū ir arī tālās televīzijas problēma. Televīzijas signāla izplatīšanās tālumam ierobežo tiešā redzamība. Horizonts ir «lieguma līnija». Kā tai tikt pāri?

Drošs paņēmieni ir retranslācija. Tiešās redzamības robežās tiek būvētas retranslācijas stacijas, kas signālu uzver un pastiprinātu izstaro no jauna.

Uzreiz ir skaidrs, ka lēti tas nav: apmēram ik pēc 100 kilometriem jābūvē stacija. Desmittūkstoš kilometru garā posmā to būs ap simtu. Un ko lai dara, ja ceļu aizsprosto okeāns?

Signālu var pārraidīt arī pa kabeli: tomēr kabeli tas samērā stipri vājinās. Tāpēc ik pēc noteikta attāluma jāiekārto pastiprinātāji. Bet atšķirībā no retranslācijas stacijām, ko būvē ik pēc 100 kilometriem, pastiprinātāji kabelīnijā jāieslēdz ik pēc 25—30 kilometriem. Arī tas nav lēti: turklāt arī drošums nav apmierinošs.

Sakaru tālumam var palielināt, retranslācijas stacijas (vai arī raidītāja) antenu paceļot tik augstu, cik vien tas ir iespējams. Tādā gadījumā tiešās redzamības robežas attālināsies, horizonts atvirzīsies tālāk un stacija varēs apkalpot plašāku rajonu. Ne velti francūži retranslācijai izmanto savu visaugstāko celtni — slaveno Eifeļa torni.

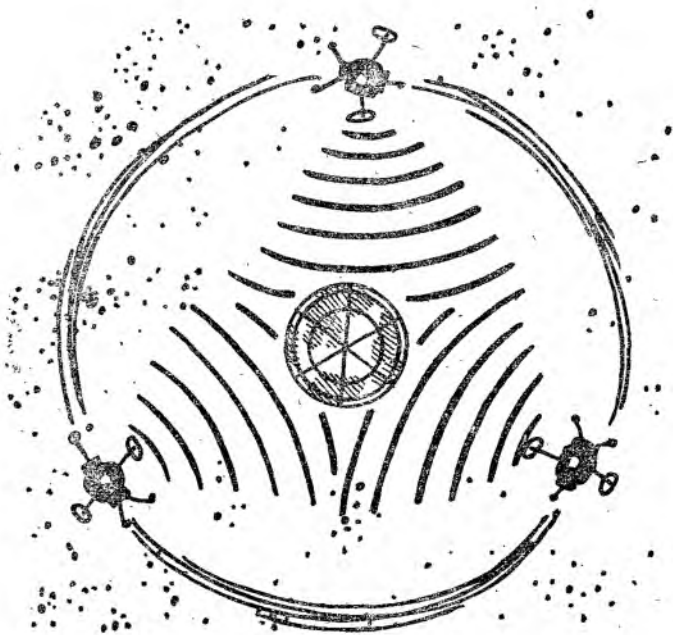
Turpretī Itāliju un Šveici saista līnija, kas iet pāri Alpiem: retranslācijas antenas ir samontētas kalnu (Jungfravas, 4166 m, un Montegenerosas, 1701 m) virsotnēs, kā arī kalnu pilsētā Saserelā, kas atrodas vairāk nekā 1600 metru virs jūras līmeņa.

Amerikāņi tālās televīzijas problēmu tika mēģinājuši atrisināt citādi — ar speciālām raketēm izveidojot «mākslīgu jonosferu». 100 kilometru augstumā viņi rādīja sprādzienu, kurā izveidojās atomārā kālija mākonis. Tas, Saules staru jonizēts, pusotru līdz divas stundas ilgi apmierinoši atstaroja televīzijas signālu. Acimredzot speciālos gadījumos šāds paņēmieni ir pieņemams. Tomēr ikdienas pārraides tā diez vai var nodrošināt. Paņēmieni šķiet jo apšaubāmāks tāpēc, ka arī mākoņa jonizācija nav pastāvīga: ja, piemēram, Saule noriet, sakaru vairs nav.

Bet Zemes mākslīgie pavadoņi šo problēmu ļauj atrisināt kardināli. Ar televīzijas raidījumu var aptvert pat visu pasauli: vajag tikai retranslatorus iekārtot trijos pavadoņos, kas riņķo ap Zemi regulāra trijstūra virsotnēs (t. i., izvietoti ap Zemi ik pa  $120^\circ$ ). Ja pareizi izraugāties orbītu (tās nominālais augstums ir 35 800 kilometru, un tai jābūt riņķveidīgai, nevīs eliptiskai), tad visi pavadoņi tiks «piesaistīti» noteiktiem ekvatora punktiem: šādi pavadoņi Zemi apriņķos precīzi vienā diennaktī.

Orbītu, kam piemīt šādas īpašības, sauc par *geostacionāru*. Orbītai jāatrodas ekvatora plaknē. Pavadoņiem, protams, jāriņķo tajā pašā virzienā, kādā Zeme griežas ap savu asi,





Padomju «Molņija» sērijas pavadoņi deva iespēju Maskavas televīzijas raidījumus translēt uz Tālajiem Austrumiem.

Te nākas saskarties ar daudzām problēmām. Kā lai, piemēram, uz tādu zemeslodes vietu, kur pašreiz ir nakts, pārraida koncertu, kas notiek tur, kur pašreiz ir vakars?

Sādos gadījumos raidījumu ieraksta magnētiskajā lentē un translē vēlāk, kad jau iestājusies jauna diena.

Pavadoņi lieti noder ne vien televīzijā, bet arī parastajos radiosakaros. Protī, diapazonā, kurā ietilpst viļņi ar garumu no 10 līdz 2000 metriem, ar katru gadu kļūst «neērtāk» (lai gan diapazons liekas tik plašs!). Tāpēc dabiska un saprotama ir vēlēšanās šo diapazonu paplašināt līdz pat centimetru viļņiem. Tomēr šī tendence «atduras» pret vairākkārt jau pieminēto apstākli: viļņus, kas īsāki apmēram par desmit metriem, jonosfēra neatstaro, un horizonts ir «aizliegtā robeža», kam tie «netiek pāri». Lūk, kāpēc pavadoņi ir neaizstājami. Ja retranslatoru iekārto Zemes mākslīgajā pavadoņī, tad ar tā starpniecību pat uz vistālākajiem zemeslodes nostūriem visu, ko sirds vēlas, var noraidīt pa centimetru viļņiem...

5. NODAĻA

# GUDRO MAŠĪNU ELEMENTI

Par to, kā no  
vienkāršām  
elektroniskajām  
«šūniņām» veidojas  
sarežģītās gudro  
mašīnu shēmas.



PAMATS IR ŠĀDS

## 5.1.

Triode slavena bija kļuvusi jau sava mūža pašā sākumā, visagrākajā bērībā (apmēram tāpat kā, piemēram, Robertino Loreti). Bet toreiz tās slava bija vienpusīga: par galveno tās vērtīgo īpašību to lauk uzskatīja spēju darboties elektroniskā slēdža lomā. Ja Jūs atceraties, iesākumā cilvēki to pat kautrējās saukt par lampu; tā bija pazīstama ar vārdu «vakuumrelejs». Ar laiku triodes «talanti» atplauka nesalīdzināmi daudzpusīgāk: tā kļuva par pastiprinātāju, ģeneratoru, modulatoru, detektoru, jaudēju jeb, vārdu sakot, tika galā ar



visiem uzdevumiem (no teiktā frekvenču diapazonā), kurus tai izvirzīja radiosakari.

Kad sāka attīstīties impulsu tehnika, atkal nācās atcerēties slēdžtriodes. Tagad tās darbojas visās lokatoru shēmās. Bet elektroniskajos skaitļotājos izmanto simtiem tūkstošu slēdžtriožu.\*

\* Tā bija grāmatas oriģinālizdevuma sarakstīšanas laikā. Pašreiz triožu vietā ir stājušies tranzistori, integrālās shēmas, mikroprocesori. ESM attīstība turpinās; šeit par to sniegt kaut vai tikai konceptīvu pārskatu praktiski nav iespējams. *Tulk. piez.*

## 5.2.

Visi zina, ka elektroniskais skaitļotājs ir «gudro» mašīnu saimes ciltstēvs. Tāpēc arī atslēgām\*, ko tas izmanto, jābūt «gudrām». Lai neatpaliktu no dzīves, triodei nācās piemācīties klāt: tā apguva loģikas pamatus un ielauzījās skaitīt binārajā (diviskajā, divnieku) sistēmā.

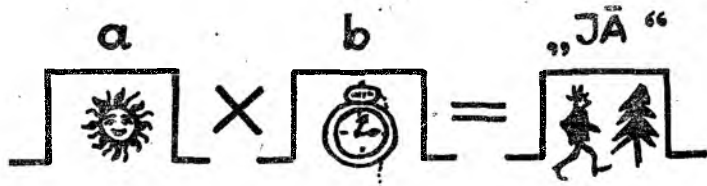
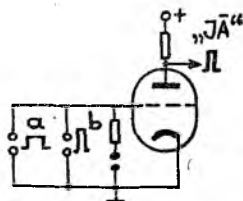
Triodei, ko izmanto par slēdzi, ir gaužām vienkārša loģika: vai nu tā ir vaļā, vai ciet. (T. i., anodstrāva vai nu plūst, vai nepļūst; «starpstāvokļu» nav.) Pirmais gadījumā triode atbild ar «jā», otrajā — ar «nē».

Pieņemsim, ka triode ir «ciet» («slēgta»). Tās tīkliņam pievadīti reizē divi impulsi (*A* un *B*). Triode atveras un atbild ar «jā». Šī atbilde apstiprina, ka impulsi tīkliņam patiešām ir tikuši pievadīti — un turklāt abi reizē. Bet kas notiks, ja uz tīkliņa nonāks tikai viens impulss (tikai *A* vai tikai *B*)? Izrādās, ka

tas ir atkarīgs no tā, kāda ir shēma. Mūsu shēma ir tāda, ka ar vienu impulsu (ne ar *A*, ne ar *B*) nepietiek, lai triode atvērtos. Tā tas ir tāpēc, ka tīkliņam ir pievadīts negatīvs potenciāls, tā sauktais priekšspriegums.

Impulss (resp., tas, ka impulss *ir*) var atbilst visam kam, t. i., jebkuriem notikumiem *A* un *B*. Piemēram, ja ir jauks laiks (*A*) un vaļas brīdis (*B*), var iziet pastaigāties («jā»). Bet, ja viens no šiem nosacījumiem nav izpildīts, no pastaigas nekas neiznāc («nē»).

Automātiskajās elektroniskajās shēmās triodes pa-



\* Autors šeit izmanto vārdu spēli: vārdam «atslēga» krievu valodā atbilst vārds «ключ», kas šai gadījumā nozīmē arī «slēdzis». Tulk. piez.

rasti risina citādus uzdevumus. Piemēram, ja detaļa darbgaldā iestiprināta pareizi (A) un tai pievirzīts vajadzīgās formas grieznis (B), darbgalds var tikt ieslēgts («jā»).

Shēmās, kas satur daudz triozu, var paredzēt daudz

dažādu nosacījumu un, ja tie visi ir apmierināti, no pēdējās triodes («izejas») saņemot kopējo atbildi «jā». Tādējādi, izmantojot tikai tās pašas slēdztriodes, var sagatavot programmas, ar ko darbināt automātus un elektroniskos skaitļotājus.

### 5.3.

Ja triodi izmanto skaitīšanai un rēķināšanai, tad atvērts tās stāvoklis («vajā») atbilst vieniniekam, bet slēgts («ciet») — nullei. No vieniniekiem un nullēm, lietojot bināro skaitīšanas sistēmu, var izveidot jebkurus skaitļus. Binārās sistēmas princips ir vienkāršs. Atšķirībā no decimālās sistēmas, kuras pamats ir skaitlis desmit, binārās sistēmas pamats ir skaitlis divi.

Jebkurš skaitlis, kas uzrakstīts decimālajā sistēmā, ir summa, ko veido skaitļa desmit secīgās pakāpes, kas reizinātas ar attiecīgajās pozīcijās esošajiem skaitļa cipariem, piemēram,

$$1307 = 1 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 = 1000 + 300 + 0 + 7.$$

Bet to pašu skaitli var iegūt, par pamatreizinātājiem izmantojot dažādās pakāpēs kāpinātu divnieku. Atšķirībā no iepriekšējā gadījuma, kur koeficienti varēja

būt jebkuri skaitļi no nulles līdz devītniekam, binārajā sistēmā var būt tikai divējādi koeficienti — viens un nulle. Piemēram,

$$\begin{aligned} 1307 &= 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + \\ &+ 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + \\ &+ 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + \\ &+ 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = \\ &= 10\ 100\ 011\ 011. \end{aligned}$$

Lai lasītājs varētu pārlicināties, ka aprēķins izdarīts pareizi, to pašu skaitli (1307) vēlreiz uzrakstām kā divnieka pakāpju summu — tikai decimālajā pierakstā:

$$1307 = 1024 + 256 + 16 + 8 + 2 + 1.$$

Iespējams, ka lasītājs var šaubīties, vai tā iespējams izteikt jebkuru skaitli. Bet tā tas tiešām ir (protams, ja pietiek divnieka pakāpju). Šis apgalvojums ir līdzvērtīgs, piemēram, šādam: ja mūsu rīcībā ir atsvari, kuru svars ir 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 un 1024 grami, tad, liekot tos turklāt tikai uz viena svaru kausa, var (ar precizitāti līdz 1 g) nosvērt jebkuru ķermeni svarā līdz 2047 g ieskaitot.

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 13 = 1 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

$$1101 = 13$$

«Nelaimīgais» skaitlis 13 izskatās tā:

$$13 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1101 (= 8 + 4 + 1).$$

Ar bināro skaitīšanas sistēmu un loģiskajām operācijām lasītājs tuvāk var iepazīties daudzās grāmatās.

#### 5.4.

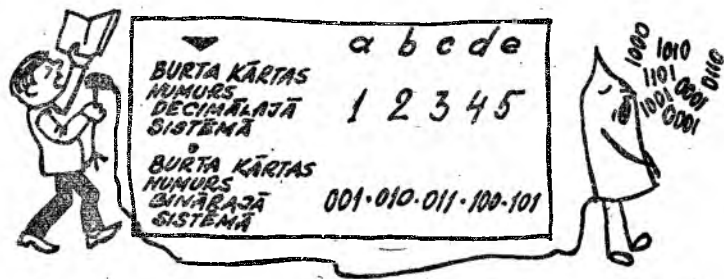
Ja visiem alfabēta burtiem piešķiram kārtas numurus, kurus uzrakstām binārajā sistēmā, jebkuru tekstu varam pārveidot atbilstošā veidā sakārtotu vienienu un nulļu virknē.

Triode aizvērdamās un atvērdamās savā «lampas valodā» var nodeklamēt Puškina vārsmas vai Turgeņeva prozu.

Sādas valodas sauc par kodiem. Ja iedziļināsimies jautājuma būtībā, konstatēsim, ka jeb-

kura valoda — gan dzīvā (latviešu, krievu, angļu), gan mirusī (latīņu), gan mākslīgā (esperanto) — līdz ar savu gramatiku un alfabētu — arī ir tikai... savdabīgs kods (norunātu zīmju kopa), vienīgi daudz sarežģītāks nekā nupat aplūkotais binārais kods.

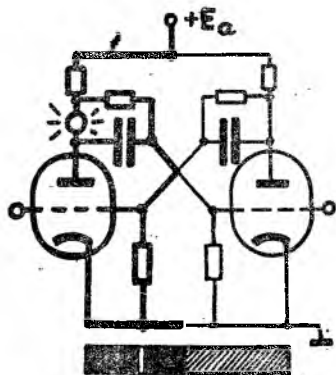
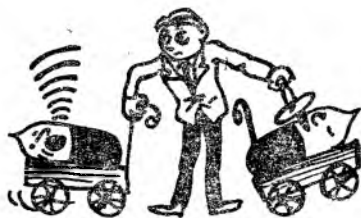
«Īsta» valoda ir tik sarežģīts kods ne jau tikai un ne jau galvenokārt vārdu un citu elementu lielā skaita dēļ, bet gan ik uz soļa sastopamās daudznozīmīgās atbilstības dēļ, kā arī tādēļ, ka ikviena dzīva valoda atrodas nepārtrauktā dinamiskā attīstībā un mijiedarbībā ar citām valodām, ar sociālo attīstību utt.



## 5.5.

Ja jārikojas ar bināro sistēmu, tad ļoti ērta ir no divām triodēm izveidota shēma, ko sauc par *triggeru* (no angļu *trigger*, kas nozīmē «svira kādas atsperes atbrīvošanai», bet vienkāršāk — «ieroča gailis (mēlīte)»; *to trigger* — «izraisīt» («būt par iedarbinošo jeb izraisošo cēloni»)). Ja atļaujamies mazu valodisku vaļību, triggeru varam saukt par «knikšķi».

Sākumā triggerus izmantoja lokācijā, bet pēdējā laikā tie masveidā ieviešas elektronisko skaitļotāju shēmās.



## 5.6.

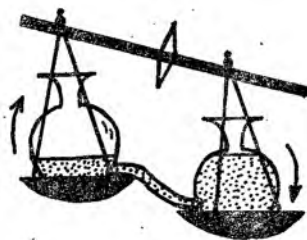
Pēc darbības principa triggers mazliet atgādina svarus, uz kuru kausiem atrodas ar šķidrumu pildīti savienotie trauki. Ja, piemē-

ram, labo kausu pagrūžam lejup, tas «pastiprināti» virzās uz leju, jo šķidrums tiecas pārtecēt traukā, kas atrodas uz šī kausa.

Trigramam ir divi stabili stāvokļi. Ja kreisā triode ir vaļā, tad labā katrā ziņā ir ciet, un otrādi. Ja atvērta ir, piemēram, kreisā triode, tad spuldzīte, kas ieslēgta tās anodķēdē, deg, kas saskaņā ar norunu nozīmē vieninieku.

Trigramam esot otrā stāvoklī, spuldzīte nedeg («nulle»).

Tāpēc tāds svaru stāvoklis, kur lielākā daļa šķidruma atrodas zemākajā traukā, ir pilnīgi stabils. Lai mūsu sistēma vairs neatrastos šajā stāvoklī, nepieciešams ar pietiekami lielu spēku — pārvarot smaguma spēku starpību — pagrūst lejuļ kreiso kausu. Kad svaru kausi pāries pāri līdzsvara stāvoklim, šķidrums sāks līt no labā trauka kreisajā. (Patiesībā šķidrums sāks tecēt jau agrāk.) Piepildoties kreisajam traukam, sistēma ieņems jaunu — otro — stabilo līdzsvara stāvokli. Lai no tā «izietu», nepieciešams jauns «spēka impulss» — labais



svaru kauss jāpagrūž lejuļ. Utt.

Trigers no šī modeļa principiāli atšķiras ar to, ka triggeram nav nepieciešams «spēka impulss», bet gan tikai «sprieguma impulss», kura jauda var būt naza — daudz, daudz mazāka nekā jauda anodķēdē. Tā tas ir tāpēc, ka triode spēj pastiprināt signālu, turpretī modeli ar svariem un savienotajiem traukiem šāda pastiprinātāja nav.

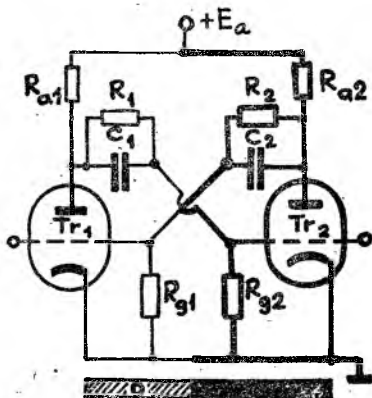
## 5.7.

Trigers ir mazliet līdzīgs mūsu modelim: trauku vietā ir triodes, ātri tekošā šķidruma vietā — vēl ātrākā elektriskā strāva. Aizvērtā lampā strāvas nav — tā ir analogiska tukšam traukam.

Pieņemsim, ka sākumā kreisā triode  $Tr_1$  ir ciet un triggers līdz ar to atrodas stāvoklī «nulle». Kādā noteiktā brīdī šīs triodes tīkliņam tiek pievadīts pozitīva sprieguma impulss — mūsu «svari» tiek pagrūsti. Kamēr lampa  $Tr_1$  bija aizvērtā, strāva tai plūda «garām» pa «apkārtceļu»  $R_{a1}$ ,  $R_1$  un  $R_{g2}$ . Šī ķēde ir sprieguma dalītājs. Katrā no minēta-

jām pretestībām «krit» kāda daļa anodsprieguma  $+E_a$ .

Impulss atver lampu  $Tr_1$ , un lampa sāk vadīt strāvu; līdz ar to samazinās tās





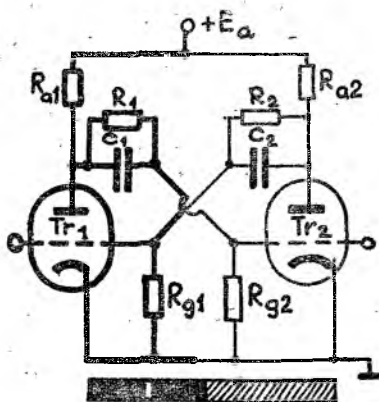
prétestība un samazinās arī tās anodspriegums, jo sprieguma kritums anodpretestībā  $R_{a1}$  tagad ir pieaudzis. Tomēr svarīgākais ir tas, ka samazinās sprieguma kritums dalītāja «apakšējā plecā»  $R_1 - R_{g2}$ , kas pieslēgts paralēli lampai  $Tr_1$ , kuras pretestība ir samazinājusies. Otrās triodes  $Tr_2$  tīkliņspriegums (t. i., tīkliņa potenciāls attiecībā pret katodu) līdz ar to ir kļuvis «negatīvāks», nekā tas bija līdz šim, un, tā kā pirmā triode *pastiprina* sig-

nālu, tad — krietni vien lielākā mērā «negatīvāks», nekā pirmās — kreisās — triodes tīkliņš sākotnējā impulsa iedarbības rezultātā tika kļuvis «pozitīvāks». Triode  $Tr_2$  sāk aizvērties. Bet šī lampa savukārt ir pieslēgta paralēli dalītāja  $R_{a2} - R_2 - R_{g1}$  «apakšējam plecam»  $R_2 - R_{g1}$ ; tāpēc spriegums uz  $R_{g1}$  sāk (un turklāt «pastiprināti») pieaugt; lampa  $Tr_1$  atveras vēl vairāk, nekā to bija atvēris pienākušais impulss.

### 5.8.

Tātad trigera shēmas būtība ir tā, ka starp lampām pastāv «savstarpēja palīdzība un atbalsts». Tās viena otrai palīdz pāriet jaunā stabilā stāvoklī, turklāt abos virzienos — no nulles uz vieninieku un otrādi — vienādā mērā. Tāpēc pārejas process noris ļoti ātri. To vēl paātrina kondensatori  $C_1$  un  $C_2$ . (To darbību detalizēti neaplūkojam.)

Atgriezīsimies pie iepriekšējā paragrāfā iztīrītā procesa. Tā rezultātā triode  $Tr_1$  pilnīgi atveras, bet  $Tr_2$  — tikpat pilnīgi aizveras: viss šķidrums no labā svaru kausa pārtek kreisajā, svāri «pārmetas» uz otru pusi un



gaida, kamēr pienāks jauns impulss. Trigers atrodas stāvoklī «viens».

Piebildīsim, ka trigera shēmā uz «svaru kausu» iedarbojas ne jau «elek-

tronu šķidrums» svārs — elektroni taču sver ļoti maz —, bet gan elektriskie lādiņi. Šo lādiņu plūsma ir strāva, tai skaitā arī strāva pašās triodēs. Strāvas im-

pulsi izraisa sprieguma impulsius, kas savukārt iedarbojas uz trigeru «otrās pusēs» tiklīņu un tādējādi «pārsviež» «svarus» uz otru pusī.

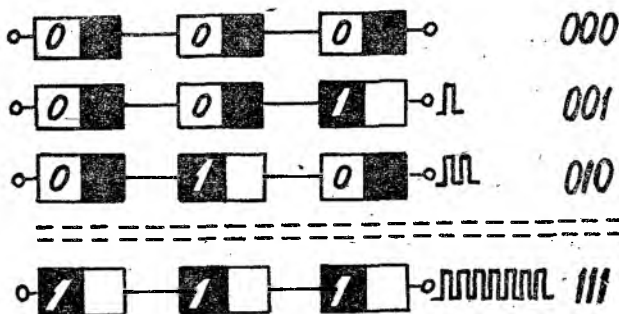
### 5.9.

Viena trigeru izejā pie- slēgsim otru, bet tā izejā — trešo. Tādu slēgumu var saukt par kaskādslēgumu. Kad trigers būs nosvārstī- jies «turp un atpakaļ», lik- sim, lai tas «pagrūž» nā- kamo «svaru kausu». Šāds slēgums var saskaitīt pie- nākošos impulsus. Pirmais impulss «apsviedīs otrādi» pirmo trigeru. Otrais im- pulss tam tiks atgriezties sākumstāvoklī un — atbil- stoši principiem, saskaņā ar kuriem esam saslēguši shē- mu, — «uz otru pusī pār- metīs» otru «svaru kausu» (otro trigeru).

Nākamais impulsu pāris ieejas (pirmajam) trigeram

vēlreiz tiks «nosvārstīties» turp un atpakaļ; rezultātā otrajam trigeram tiks pie- vadīts kārtējais impulss, un tas atgriezīsies sākumstā- voklī; bet, atkal saskaņā ar shēmas principiem, impulss «aizceļos» uz trešo — mūsu shēmā pēdējo — trigeru un pirmo reizi otrādi «pārsvie- dīs» to, utt.

Tātad pirmo trigeru «pār- metīs» katrs impulss, otro — katrs impulsu pāris, trešo — ik četri impulsi. Lai trešais trigers «pār- sviestos» «turp un atpakaļ», vajadzīgi astoņi, t. i.,  $2^3$ ; im- pulsi. Līdz ar to visa shēma būs atgriezies izejstā- voklī.



Ja mūsu «kaskādslēgumā» ietilps četri trigeri, «pilnu ciklu» tas būs veicis pēc 16 (t. i.,  $2^4$ ) impulsu ierašanās; ja pieci — pēc

32 ( $2^5$ ) impulsiem, bet, ja  $n$ , — pēc  $2^n$  impulsiem.

Bet, ja nu jāsaskaita impulsu miljoni un miljardi, vai trigeru nevajadzēs pārāk daudz?

## 5.10.

Plaši pazīstama ir indiešu leģenda par to, kā šaha spēles izgudrotājs Seta ķēniņam Seramam lūdzta atalgojumu par savu veikumu un kas no tā iznāca.

Ķēniņam izgudrotāja lūgums likās ļoti pieticīgs: Seta vēlējās saņemt kviešus, turklāt ar nosacījumu, ka uz katra nākamā šaha galdiņa lauciņa būs divas reizes vairāk graudu nekā uz iepriekšējā.

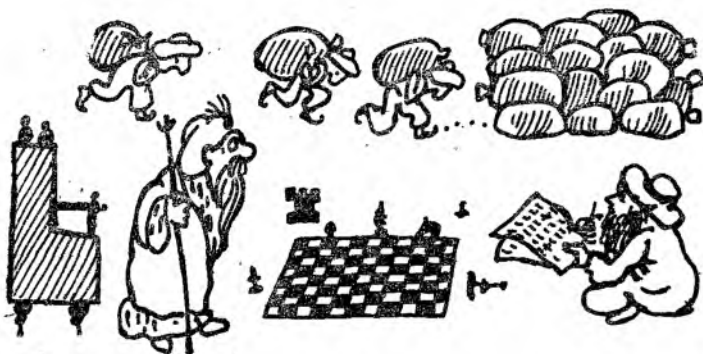
Galdiņam ir 64 lauciņi. Ja uz pirmā uzliekam divus graudus, tad uz pēdējā to skaitam jābūt  $2^{64}$ .

Leģendu mēs šeit nedaudz modificējam, lai tā labāk atbilstu uzdevumam par trigeru skaitu.

Ķēniņš izgudrotāju atalgot nespēja. Izrādījās, ka uz pēdējā lauciņa jābūt... 18 446 744 073 709 551 616 graudiem!

Ja uz pirmā lauciņa uzliktu vienu graudu, nevīs divus, tad tik liels būtu graudu kopskaits. (Patiesībā tas būtu par vienu graudu mazāks, kam, protams, nav nozīmes.)

Tik daudz graudu varētu ievietot tikai divās fantatiskās klētīs, kuru garums



būtu vienāds ar attālumu no Zemes līdz Saulei.

Tātad, lai veiktu operācijas ar ļoti lieliem skaitļiem, tik sevišķi daudz trigeru ne-

maz nevajag. Jau 64 trigeri var saskaitīt  $2^{64}$  impulsu, t. i., to skaits var būt iepriekš minētais neaptvērami lielais skaitlis.

## KIBERNĒTIKA UN ELEKTRONIKA

Kas gan nav dzirdējis par «gudrajām mašīnām»? Tādu cilvēku laikam vairs nav. Visi zina, ka ir mašīnas, kas tulko no svešvalodām, vada sarežģītus procesus, bet brīvajos brīžos «kulturāli atpūšas», spēlēdamas šahu, komponēdamas vai dzejojamas.

Kas tām to visu ir iemācījis? Protams, visas mašīnas, «gudrās» un «ne tikai gudrās», ir radījis cilvēks. Bet tagad arī pašas mašīnas — augstākie automāti — darba gaitā labo savas kļūdas un uzkrāj pieredzi, ar katru darba ciklu kļūdamas «gudrākas» un «gudrākas». Cik tad vēl trūkst, lai tās taptu tik «gudras», ka sāktu mācīt pat savus radītājus! Tās tiešām ir pārsteidzošas mašīnas. Par izejmateriālu tās izmanto dažādus no ārienes nākošus datus un ziņas jeb, kā pieņemts teikt, informāciju. Bet to produkcija ir lēmumi, kas radušies elektroniskajās ķēdēs.

Mēs par tām esam sajūsmā. Bet vēl vairāk cieņas pelna tās radījušais cilvēka ģēnijs. Engels cilvēka saprātu tika nosaucis par dabas augstāko ziedu. Bet elektronikas augstākais zieds ir «domājošās» elektroniskās mašīnas.

Tomēr būtu netaisnīgi visus šo mašīnu radīšanas nopelnus piedēvēt tikai elektronikai. Nav nejaušība, ka visas «gudrās» mašīnas un automāti tiek pieskaitīti pie *kibernētiskajām* elektroniskajām ierīcēm. Tieši kibernetikai — mācībai par vadību šī vārda visplašākajā nozīmē — pienākas visi «lauri», jo visi «gudrie» automāti (un mašīnas utt.) ir uzbūvēti, par pamatu izmantojot kibernetikas metodes un idejas.

Varētu likties, ka elektronikas loma te patiešām ir ļoti pieticīga: tā ir radījusi tikai bāzi kibernetikas ideju pārņemšanai par realitāti. Un tomēr elektroniku nedrīkst atvirzīt pārāk tālu «otrā plānā»: ja nebūtu bijis augsnes, nebūtu dzimušas arī idejas. Elektronika eksistēja arī pirms kibernetikas rašanās, turpretī kibernetika bez elektronikas nemaz nav iedomājama. Kibernetika ir ieteikusi izmantot jaunas, asprātīgas shēmas. Bet, lai šīs shēmas būtu kādas būdamas, neviena mašīna nevarētu izdarīt ar skaitļiem

simtiem tūkstošu darbību, ja tajā nestrādātu mūsu grāmatas «galvenais varonis» — žiglais un čaklais elektrons.

Jaunāko tipu skaitļotājos darbības ātrums sasniedz simt miljonu operāciju sekundē — un arī tā nav galējā robeža.

Un vai vispār ir jācenšas nospraust kādu robežu («ūdensšķirtni») starp abām jaunajām zinātnes un tehnikas nozarēm — kibernetiku un elektroniku? Nekādu nesaķaņu un strīdu starp tām nekad nav bijis; ir bijusi un joprojām pastāv tikai cieša un auglīga sadarbība.

Tomēr tas, ko tūlīt teiksim, daudziem droši vien liksies aplamība: elektronika netika pielikusi ne vismazākās pūles, lai rastos pirnie elektroniskie skaitļotāji. Viss, kas tiem bija nepieciešams, elektronikā jau bija gatavs: ij īsi impulsi, ko izmantoja lokatoru shēmās, ij magnētiskās lentes, kas spēja «atcerēties» aprēķina datus, ij izsenis, jau kopš pirmo triožu radišanas gadiem, pazīstamās stūrējamās lampas — slēdži. Vēl tikai jāpiebilst, ka uz elektronikas toreizējā bagātā ierīču un metožu «arsenāla» fona tas viss pat ir ļoti vienkārši.

Tiešām, kas gan tai bija kādi trigeri, ja tā jau bija radījusi magnetronus, klīstronus, daudzus un dažādus augstfrekvences pastiprinātājus, heterodīnus un jaucējus, impulsģeneratorus un impulsu formēšanas ierīces, kā arī neskaitāmas citas visdažādākās shēmas! Lai tas būtu cik pārsteidzoši būdams, fakts paliek fakts: rodoties lokācijai un televīzijai, elektronika pārdzīvoja daudz lielākas grūtības nekā tad, kad tika uzbūvētas pirmās elektroniskās skaitļošanas mašīnas, kas iezīmēja jaunu elektronikas attīstības posmu, tās «augstāko ziedu».

Elektronikai šai gadījumā bija viegli. Kibernetika paņēma lampas un jau gatavās shēmas un sāka tās kombinēt pēc sava prāta. Un radās kibernetiskās shēmas. Tās principiāli atšķīrās no agrākajām elektroniskajām shēmām: tās spēja «spriest», rēķināt, vispārināt, izdarīt secinājumus. Tās it kā sāka patstāvīgi «domāt», kamēr agrākās shēmas prata tikai izmantot «svešu saprātu». Kibernetisko shēmu «domāšana» ir īpatnēja: jebkuru, pat visarežģītāko aprēķinu vai loģisko pārsprīdumu tās sadala tiktāl, ka tas reducējas uz diviem vienkāršiem elementiem — «jā» vai «nē», «1» vai «0». Lai to izdarītu, nav vajadzīgas nekādas «pārgudras» lampas vai citas ierīces. Tā darbojas pati vienkāršākā triode. Ja tā ir aizvērtā (t. i., ja anodstrāvas nav), triode atbild «nē», «nulle». Ja tās tīkliņam pievada impulsu, kas to atver, triode atbild

«jā», «vieninieks». Un no šīm divām atbildēm var izveidot jebkuru programmu, izdarīt vissarežģītākos aprēķinus un pat sintezēt jebkuru cilvēka domu.\*

Jūs taču atceraties bērnu dienu rotaļu: viens no dalībniekiem meklē kādu noslēptu priekšmetu, bet pārējie viņam sauc «karsts», «auksts». Lūk, arī «karsts» un «auksts» principā ir tādi paši signāli — nulle un vieninieks, «nē» un «jā». Spēles dalībnieks pēc tiem atrod paslēpto priekšmetu, jo no pārējiem viņš ir saņēmis šifrētu («kodētu») instrukciju, kuras saturs, piemēram, var būt šāds: «Priekšmets, kuru tu meklē, atrodas tur tajā istabas stūrī, skapī, kas stāv pretī divānam, trešajā atvilktnē no apakšas, kreisajā pusē.»

Līdzīgus norādījumus var dot arī elektroniskajam skaitļotājam; principā tas «klausā» jebkurai impulsu secībai, ko «pazīst», — atsevišķām komandām, kas uzrakstītas tā sauktajos mašīnas kodos, vajadzīgajā secībā nospiešām vadības pogām un slēdžiem, mašīnai «saprošanā» valodā sastādītai programmai.

---

\* Mūsdienu zinātnē autora uzskats nav vispārpieņemts. Cilvēka smadzenēs ir ap  $10^{10}$  neironu; savā starpā tos saista īpašas saites; kuru katram neironam ir  $10^2$ — $10^5$ . Iespējams, ka šīs neaptverami liels elementu skaits («kvantitāte pāriet kvalitātē») cilvēka domāšanai (arī tēlu radīšanai, atmiņai, emocijām utt.) piešķir tādas īpatnības, par kādām nevarēs runāt pat tad, kad būs radītas sestās, septītās (utt.) paaudzes ESM. Viss, ko autors sauc par «kibernētisko domāšanu» (utt.), gluži vienkārši ir spēja pakļauties programmēšanai, kas izriet no tā, ka mūsdienu ESM sastāvā ietilpst ļoti liela apjoma operatīvā atmiņa (un arī citi atmiņas veidi), kā arī ātrdarbīgi procesori un daudzpusīgas vadības iekārtas. Visas šīs īpatnības, piemēram, ir izpaudušās programmēšanas valodu izstrādāšanā. Autors tās nepiemin; tolaik, kad grāmata tika sarakstīta, tās tik tikko sāka veidoties. Pašreiz šo valodu skaits jau sasniedz daudzus desmitus un joprojām aug. Daudzas no tām ir apbrīnojami pilnīgas un «lokanas». Tomēr līdz «īstai» valodai vēl ir tālu (sk. arī 293. lpp.). Pat vispilnīgākā programmēšanas valoda satur tikai to, ko tajā ir «ielicis» cilvēks, tās radītājs, un tajā sarakstīta programma — tāpat (pat tad, ja šī programma māca mašīnu «domāt»), *Tulk. piez.*



PAMATS IR SĀDS

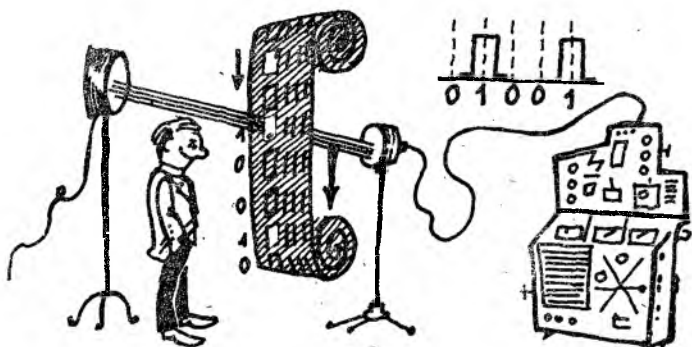
### 5.11.

Kibernētiskajā elektroniskajā mašīnā datus apstrādā, ik uz soļa izmantojot dažādas elektroniskās ierīces un ķēdes. Pirmais apstrādes posms («pirmais solis») ir apstrādājamo datu ievade mašīnā.

Parasti ievadāmos datus vispirms «ieraksta» perforē kartē. Tā ir noteikta formāta kartona karte, kurā — precīzās rindīņās un kolon-

nās — ir izkārtoti binārā koda simboli: vieniniekam atbilst caurums (tas ir neliels, un tam ir taisnstūra forma), ko izsitis attiecīgs puansons, bet nullei — tas, ka cauruma nav.

Simbolus mašīnā ievada, karti vienmērīgi velkot gar gaismas avotu. Pa caurumiem gaisma krīt uz fotoelementa, tajā radīdama fotoefektu, t. i., ierosinādama



strāvu. (Par fotoefektu bija runa 3. nodaļas paragrāfā «Kur lai ņem simt saulū?».) Strāva parādās, ja perfo-

kartē ir caurums. Tātad impulss atbilst vienīniekam, bet pauze («impulsa neesamība») — nullei.

## 5.12.

Daudzām mašīnār perfokaršu lasīšanas iekārta ir vienīgais «maņu orgāns», kas tām aizstāj acis, ausis utt. Mašīna taču «jūt» tikai skaitļus, kas caurumu un «necaurumu» veidā ir «ierakstīti» perfokartē. (Patiesībā perfokartēs pēc standartkoda «ieraksta» ne vien skaitļus, bet arī alfabēta burtus un darbību zīmes, kā arī «pieturas» un citas zīmes; skaitļus ieraksta decimālajā, nevis binārajā sistēmā.)

Tāda mašīnas īpatnība var būt neērta. Proti, lai mašīna darbotos, kādam citam tās vietā ir jāredz, jādzird utt. un savi novērojumi jāpaziņo mašīnai, izmantojot perfokartes.

Bet vai nav iespējams radīt mašīnu, kura novēro-



jumu datus varētu savākt patstāvīgi?

Ār pasaules uztveršanai daba cilvēku ir apveltījusi ar pieciem maņu orgāniem. Bet ko lai darām ar elektronisko mašīnu? Diez vai drīkst iedomāties, ka paši elektroni varētu redzēt, dzirdēt, kaut ko saost vai aptaustīt.

## 5.13.

Vienam elektronam patiešām nav ne redzes, ne dzirdes. Toties to kolektīvam var būt ne vien redze un dzirde, bet pat vēl vairāk: tam var piemist spēja sajaukt temperatūru, spiedienu

utt., un ar laiku tas var iemācīties arī atšķirt smaržas un garšas.

Mikrofons mašīnai aizstāj ausis: ār pasaules skaņas tas pārvērš elektriskajā strāvā. Elektronstaru lampa





(piemēram, televīzijas pār-  
raides lampa) mašīnai var  
būt acu vietā: attēlu tā pār-  
vērs attēla signālā. Sos sig-  
nālus speciāli apstrādājusi,  
mašīna principā var atšķirt  
kaķi no suņa, lasīt dažādā  
rokrakstā uzrakstītu tekstu  
utī.

Ja mašīnai esam piešķi-  
ruši redzi un dzirdi, tad tai  
varam likt vienlaikus vai-  
rākās valodās mašīnrakstā  
uzrakstīt referenta runāto  
tekstu vai arī, piemēram,  
kādu žurnāla rakstu.

## 5.14.

Bet tagad iepazīsimies ar  
mašīnas «taustes» orgā-  
niem. Tos sauc par senso-  
riem, reizēm arī par devē-  
jiem,\* un mašīnai tie dod  
iespēju «sataustīt» siltumu,  
spiedienu, dažādu šķīdumu

Lai mašīna darbotos sa-  
skaņā ar «dzirdēto», jārada  
sarežģītas shēmas, kas  
spētu atrast katrai valodas  
skaņai (neatkarīgi no runā-  
tāja) atbilstošos burtus un  
to kombinācijas. Ja radītu  
shēmas, kas, otrādi, pēc  
burtiem un to kombināci-  
jām «sintezētu» atbilstošās  
skaņas, mašīnu varētu iemā-  
cīt arī «runāt».

Pirmie rezultāti šajos  
virzienos jau ir iegūti sa-  
mērā sen.

koncentrāciju, elektrisku  
signālu iedarbību jeb, īsi  
sakoļ, visu, ko var sajūst  
dzīvs cilvēks.\*\* Mašīna vi-  
sas šīs iedarbības pārvērs  
elektriskajos signālos.

Jāpiebilst, ka uz ārējo

\* Šis termins darināts atbilstoši krievu *датчик* un vācu *der Geber*.

\*\* Sensori var «sajust» daudz vairāk — un nesalīdzināmi plašā-  
kās (cilvēkam nereti bīstamās) kvantitatīvās robežās — dažneda-  
žādu fizikālu lielumu, nekā to spēj izdarīt «dzīvs cilvēks».

faktoru (koncentrācijas, temperatūras, spiediena utt.) maiņu mašina reaģē daudz jutīgāk nekā cilvēks. Jutību paaugstina, signālus sensoru izejās (t. i., pirms to ievadīšanas mašīnā) ar elektroniskajām ierīcēm pastiprinot.

Pašu sensoru konstrukcija parasti ir samērā vienkārša. Piemēram, lai «sajustu» kāda ķermeņa temperatūru, tam tikai jāpieskaras ar tā saukto *termorezistoru*. Tā elektriskā pretestība ir atkarīga no temperatūras. Tai augot, pretestība mainās; līdz ar to mainās strāva tā ķēdē.

Plaši lieto arī dažādus *termopārus*: ja sasilst divu dažādu metālu savienojuma vietu, tad ķēdē rodas EDS, ko var ērti izmērīt.

Spiediena sensors var būt izveidots kā kondensators,



kura viens klājums ir elastīga membrāna. Ja spiediens palielinās, membrāna ieliecas, attālums starp klājumiem samazinās un strāvas stiprums ķēdē izmainās.

Mikrofons un televīzijas pārraides lampa arī ir sensori. Mikrofons ir skaņas, bet lampa — attēla sensors.

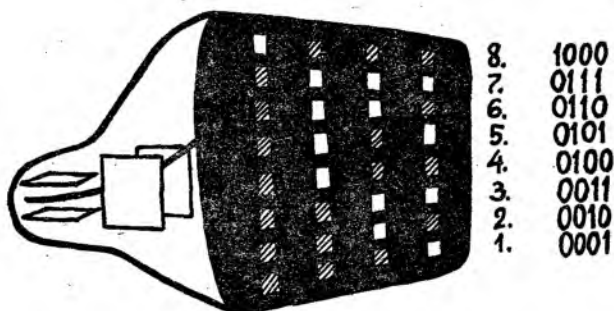
Protams, ja lietotu terminu «devējs», varētu pat izfantazēt, ka skaņas «devējs» ir *skafrunis* (1), bet mikrofons ir tās «ņēmējs».

## 5.15.

Sensori mašīnai palīdz izdarīt «novērojumus». Bet ar to ir par maz. Mašīnai novērojumu rezultāti arī jāapstrādā un jāsalīdzina un jāpieņem attiecīgi lēmumi, kas vai nu jāpaziņo cilvēkiem (recepšu un ieteikumu veidā), vai arī jāizmanto savā patstāvīgajā darbībā, iedarbojoties uz procesiem, kurus tā ir uzticēts vadīt,

regulēt utt. Citiem vārdiem sakot, kad mašīna no daudzajiem sensoriem saņēmusi signālus, tai jāveic aprēķini.

Aprēķinus parasti izdara binārajā sistēmā. Tāpēc visi signāli, kuri sensoru izejās pienāk nepārtraukti mainīgu (t. i., tādu, kuriem attiecīgajā pārmaiņu diapazonā principā var būt jebkura skaitliskā vērtība)



spriegumu veidā, jāpārveido binārā skaitlī — tādā, kas sastāv tikai no vieniniekiem un nullēm.

Sis uzdevums nav tik jauns, kā varētu likties; tas atrisināms, piemēram, šādi.

Piebildīsim, ka šo variantu analizējam tikai uzskatāmības labad. Praktiski ciparu voltmetros un citos līdzīgos mēraparātos lieto nesalīdzināmi ērtākas shēmas, kur mērāmais spriegums tiek salīdzināts ar etalonspriegumu, izmantojot «bināro dalītāju» ar automātisku vadību. Lieto arī citus principus.

Elektronstaru lampas ekrānā ir izvietots režģis; katra tā rinda (jeb «kāpņu pakāpiens», limenis) ir «sannurēta» binārajā sistēmā: vieniniekam atbilst caurums, nullei — necau-

rums jeb tas, ka cauruma nav. Sensora signālu (protams, pastiprinātu) pievada vertikālās noliēces platēm, tā ka elektronu kūlis paceļas uz augšu, turklāt, jo lielāka ir signāla skaitliskā vērtība, jo augstāk. Pēc tam kūlim liek skriet pa rindu, un fotoelements rindas «zīmējumu» pārtulko bināro impulsu secībā. Piemēram, attēlā kūlis skrien pa septīto rindu (septīto «kāpņu pakāpienu»); atbilstoši tam fotoelementa impulsu secība ir 0111 («septiņi» binārajā sistēmā). Ja sensora signāls kļūst stiprāks, palielinās arī «kāpņu pakāpiena» kārtas numurs (kūlis skrien pa augstāku rindu).

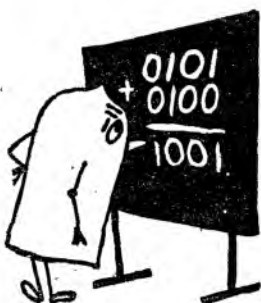
## 5.16.

Binārajā skaitīšanas sistēmā visus skaitļus izsaka ar vieniniekiem un nullēm, bet visas operācijas ar

skaitļiem reducē uz operācijām ar «1» un «0». Slēdztriodes bināros skaitļus var saskaitīt, atņemt, reizināt

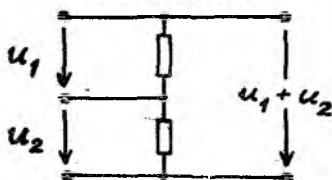
un dalīt pēc programmām, kuras arī ir vieninieku un nulļu secība.

Tāds ir diskrētās (pārtraukumainās) darbības elektronisko skaitļotāju princips. «Diskrētība» nozīmē to, ka visi lielumi «jāsāļiek pa kāpņu pakāpieniem», kā redzams 5.15. paragrāfa attēlā.

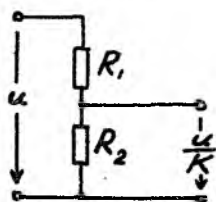


### 5.17.

#### SASKAITĪŠANA

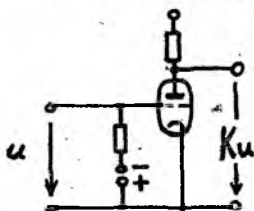


#### DALĪŠANA

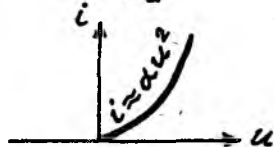


$$K = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

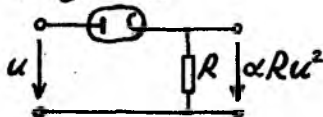
#### REIZINĀŠANA



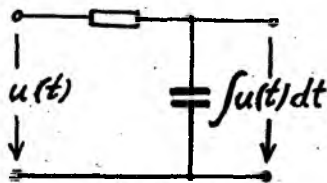
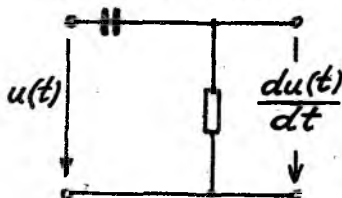
$K$ -PASTIPRINĀJUMA KOEFICIENTS



$$i = \alpha u^2$$



#### DIFERENCĒŠANA



#### INTEGRĒŠANA



Mašīna darbojas saskaņā ar vienādojumiem, bet vienādojumi savukārt atspoguļo kādu noteiktu procesu. Piemēram, svārstību kontūrā plūst strāva, kuras vienādojums pēc formas var atbilst svārstu vai stīgas kustības vienādojumam. Tātad ar šīs strāvas vienādojumu var modelēt mehānisko svārstību procesu (sk. arī 3.4.).

Ir arī nepārtrauktas darbības mašīnas. Sensoru signālus tās apstrādā, binārajās skaitļos nepārtulkotus.

Diodes, triodes, kondensatori un rezistori, ja tos pienācīgā veidā saslēdz, var saskaitīt, reizināt un dalīt elektrisko spriegumu. Ar vienkāršām RC shēmām var veikt pat tik sarežģītas matemātiskās operācijas kā diferencēšanu un integrēšanu.

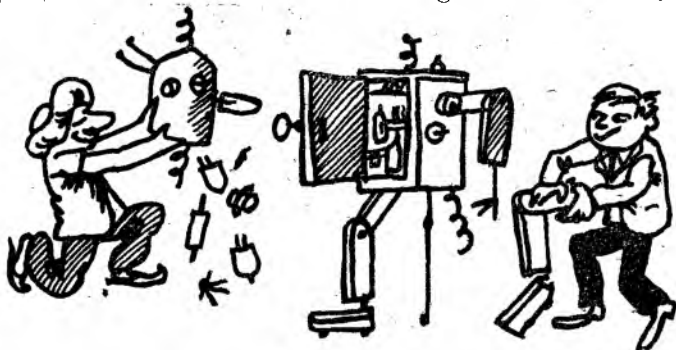
Izmantojot strāvas atkarību no laika kādās citās ķēdēs, var modelēt arī sarežģītākus procesus (piemēram, lidmašīnas vai šaiņa kustību, šķidrums vai gāzes plūsmu, kādu ķīmisko reakciju utt.).

Tāpēc nepārtrauktās darbības mašīnas pieder pie tā sauktajām modelējošajām mašīnām. Tās sauc arī par analogmašīnām.

## 5.18.

Tātad vēlreiz esam pārliecinājušies, ka elektronika «gudro» mašīnu radīšanai

bija labi sagatavota: ir ļoti daudz tādu uzdevumu, kurus tagad var atrisināt, iz-



mantojot tikai līdzekļus, kas elektronikā izstrādāti un apgūti jau sen. Mašīna var būt pārsteidzoši «gudra»: tā var tulkot, «rakstīt dzejoļus», spēlēt šahu, aprēķināt sarežģītu kustību trajektorijas, vadīt ražošanu, mācīties un uzkrāt pieredzi un pat pazīt Jūs pēc izskata. Tomēr, kad izjauksit mašīnu «pa skrūvī-

tēm», Jūs pārlicināsities, ka tās elementi ir gluži parasti — tās pašas diodes, triodes, tranzistori, integrālās shēmas, elektronstaru lampas, magnēti, kontakti, vadi, releji. Un tikai šo vienkāršo elementu kopdarbības rezultātā tiek iegūtas, par ko pirms 30—40 gadiem vēl nesapņoja pat visdrosmīgākie fantasti.

## GRĒKU PLŪDI

### UN ELEKTRONISKAIS NOĀSA ŠKIRSTS

Senos laikos cilvēki savas zināšanas iekala granītā vai ar ķīļu rakstu «iespieda» māla plātnēs. Vēlāk minerālus aizstāja papirusa rulli; uz papirusa jau rakstīja un zīmēja ar rokām.

Līdztekus attīstījās arī rēķināšanas līdzekļi («matemātikas materiālā bāze»): mezglī, kas iesieti auklās; robiņi nūjās un birkās; akmentiņi un kauliņi, kurus varēja pārvietot pa stieniņiem vai renēm.

Krievijā jau izsenis izmantoja «rēķindēli» — grāmatvežu skaitīkļu prototipu. Tajā pa aukliņām tika bīdīti kauliņi. «Bet smukāk būs,» rakstīja viens no pirmo instrukciju autoriem, «ja šņoruka vietā būs kapara vai dzelzs stiepe.» Kā redzat, nekā īpaši gudra šajās «mašīnās» nebija.

Un tad Informācijas plūsma pirmo reizi pārrāva aizsprostu: tika izgudrota grāmatu iespiešana. Informācijas strautiņi nu satecēja kopā un izveidoja platas upes. Zinātnes attīstība dienaskārtībā izvirzīja datu automātisko apstrādi.

Jau 17. gadsimtā, izmantodams viņam pieejamos mehāniskos līdzekļus, šo uzdevumu mēģināja atrisināt izcilais matemātiķis un filozofs Leibnics. Mašīna iznāca liela un sarežģīta. Nekādu skaitļošanas tehnikas revolūciju tā neizdarīja, tāpat kā to nebija izdarījusi arī jau agrāk uzbūvētā Blēza Paskāla mašīna. Šis uzdevums nebija pa spēkam arī vēlākajām mašīnām, kuras bija konstruējuši krievu akademiķis P. Čebišovs un anglis Č. Babidžs. Cēlonis tam visos šajos gadījumos bija viens un tas pats.



Rēķināšanas process jau tāpat ir pietiekami sarežģīts. Ja gribam iegūt laiku, tad rēķināšanas automātam jādarbojas moderno ESM ātrumā. Bet to var sasniegt, tikai izmantojot elektroniskās ierīces, kur vienīgā «kustīgā detaļa» ir mazais, žiglais elektrons, kura masa un inerce ir nejūtami niecīga.

ESM ik sekundi veic desmitiem un simtiem tūkstošu\* operāciju ar daudzzīmju skaitļiem, bet jau minūtē tā izdara tik daudz aprēķinu, cik vesels birojs simt cilvēku sastāvā varētu veikt, strādādams vairākas dienas.

Vai gan tas ir pa spēkam mehānikai! Starp tās zobrautiem pastāv berze, un tās svirām piemīt inerce, tāpēc jebkura to kustība ilgst vismaz sekundes daļas!

Pašreiz zinātnes un tehnikas progress vairs nav domājams bez ļoti ātru un automatizētu skaitļošanas metožu ieviešanas.

Prese, telegrāfs, radio no visām pasaules malām nes informāciju par gadsimta sasniegumiem. Pētniecības darbs ir izvērsts ārkārtīgi plaši. Tūkstošiem institūtu visās valstīs risina dažādas problēmas. Veikums ik mēnesi tiek rezumēts piecdesmit tūkstošos zinātnisku žurnālu, kas iznāk 100 valodās. Viena cilvēka vai kolektīva iegūtie rezultāti ātri kļūst par visas cilvēces ieguvumu.

\* Moderno ESM ātrums ir vēl daudzkārt lielāks. *Tulk. piez.*

Tehniskie objekti ir kļu-  
vuši par sarežģītiem kom-  
pleksiem, kuros apvienojas  
mehānikas, enerģētikas, ķī-  
mijas, fizikas, elektronikas  
un daudzu citu nozaru rezul-  
tāti. Neviens inženieris vairs  
nespēj izsekot visiem tehni-  
kas jaunumiem, kas nepiecie-  
šami, lai radītu modernas  
un pilnvērtīgas mašīnas. Ap-  
rēķinā kļūst aizvien sarežģī-  
tāki. Lai sastādītu laika  
prognozes, aprēķinātu kos-



Bet cik daudz vienādojumu  
cilvēcei jāatrisina vispār?

Mūsu parastās mērauklas  
ir pārāk ikdienišķas, lai, pie-  
tām pieraduši, mēs spētu  
kaut aptuveni aptvert, cik  
daudz informācijas jāap-  
strādā, risinot mūsdienu zi-  
nātnes problēmas. Par pie-  
mēru, izvēlēsimies olbaltum-  
vielu pētniecību. Olbaltum-  
vielu molekulas ir veidotas  
no 20 dažādu aminoskābju  
molekulām, kas sarindojušās  
garās virknēs. Samainīdami  
ar vietām kaut vai divas at-  
šķirīgas aminoskābju mole-



misko kuģu trajektorijas vai  
izpētītu olbaltumvielu mole-  
kulas, jāatrisina simtiem un  
tūkstošiem vienādojumu. Ja  
nebūtu ESM, to risināšanai  
būtu jāpatērē neiedomājami  
ilgs laiks. Simt vienādojumu  
sistēmu viens matemātiķis ri-  
sinātu apmēram četrus ga-  
dus. Tūkstoš vienādojumu  
sistēmu risināšanai vajā-  
dzētu sešdesmit matemātiķu  
paaudzes, kurām būtu jāno-  
pūlas 4000 gadu.







kulas, iegūstam jaunu olbaltumvielu. Ja būtu iespējams izveidot virkni, kas sastāvētu no olbaltumvielu molekulām, turklāt tikai pa vienai molekulai no katras iespējamās olbaltumvielas, ij tad virknes garums būtu 75 gaismas gadi, t. i., gaisma, kas noskrien 300 000 km sekundē, no virknes viena gala līdz otram ļoņotu veselus 75 gadus.

Zināšanu okeāns ir bezgalīgs. Visa iegūtā informācija jāapstrādā, jāsalīdzina, jāvispārina, jāklasificē — citādi turpmākais progress nav iespējams. Bet varbūt jāapstājas?





Nē, dabas radītais saprāts cilvēku nekad neatstās mierā; vienmēr tas viņu urdīs iegūt arvien jaunas zināšanas, atklāt aizvien jaunus Visuma noslēpumus, pētīt Metagalaktikas struktūru un  $\pi$ -mezonu (pionu) uzbūvi, iet gan plašumā, gan dziļumā.

Cilvēceš atziņu okeānā ieplūst aizvien vairāk «informācijas upju». Informācijas okeāns kļūst plašāks un plašāks, cilvēcei draud jauni «grēku plūdi».

Lūk, kāpēc cilvēki būvē mašīnas, kas varētu apstrādāt visas iegūtās zināšanas, visus iegūtos datus, — mašīnas, kas pašas varētu tikt pie šīm zināšanām un šiem datiem, tos savstarpēji salīdzināt, vispārināt, klasificēt un paziņot gatavu rezultātu.

Saprāta vara ir neierobežota. Gluži kā legendārais Noāss, cilvēks pa savu radīto okeānu drosmīgi kuģo paša uzbūvētajā glābjošajā elektronikas šķirstā.

## NO KĀ SASTĀV ATMIŅA



PAMATS IR SĀDS

### 5.19.

Visi zina, ka spēja atcerēties piemīt cilvēkiem un daļēji arī dzīvniekiem. Tomēr kibernetika māca, ka kaut kas līdzīgs atmiņai var būt arī priekšmetiem. Piemēram, māla plātne līdz pat šodienai «atceras» notikumus, kas tajā ierakstīti ķīļrakstā. Pilnīgi tāpat notikumus «atceras» arī grāmata; birka, kurā iegriezti robiņi, «atceras» zirgu vai aunu skaitu. Tās visas ir ilgstošās atmiņas sistēmas.

Turpretī skaitīkļi skaitļus «atceras» īsu brīdi — tik ilgi, kamēr tiek izdarīts aprēķins. Arī cilvēka atmiņā ir dažādi «plauktiņi». Vienos ierakstīti seni notikumi,

### 5.20.

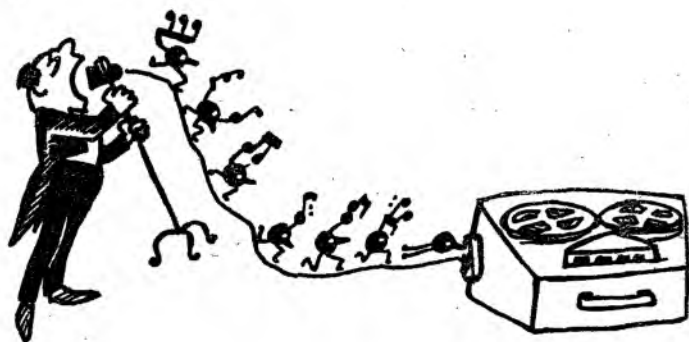
Izrādās, ka elektronika arī «atmiņu» ir radījusi jau ilgi pirms ESM. Iegaumēt

citos — tas, kas būs vajadzīgs tikai šodien un rīt: kinoseansa sākums, vilciena, vagona un vietas numurs. Ļoti bieži, uz savu atmiņu nepaļaudamies, mēs tāpat nemam talkā nedzīvus priekšmetus, piemēram, kabatas grāmatiņu vai kalendārīti ar draugu adresēm un telefoniem, bet svarīgos, unikālos gadījumos — arī mezglus kabatlakatiņā.

Arī ESM atmiņa ir divējāda. Starpaprēķinus apkalpo «īsā» operatīvā atmiņa. Galarezultāti glabājas ilgstošās atmiņas sistēmā.

Bet kas īsti ir mašīnas «atmiņa»? Kā tā izveidota?

spēj, piemēram, skaņu ierakstes iekārtas. Ja mēs vēlamies «paturēt atmiņā»



iemīļoto operas āriju, mēs izmantojam magnetofonu. Melodiju, solista balsi un pavadījumu tas «iegaumē»

daudz precīzāk nekā mēs paši. Un turklāt mēs varam būt droši, ka lente savu ierakstu neaizmirsīs ilgi.

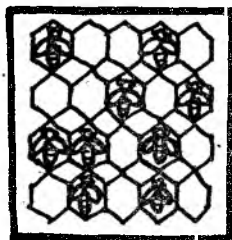
### 5.21.

Atmiņa ir arī elektronstaru lampai. Impulsa pēdas («grafiks»), ko savā pirmajā «gājienā» (patiesībā: skrējienā) uzzīmē elektronu kūlis, vienmēr kādu laiku saglabājas un izgaist tikai vēlāk. (Ir tādas elektronstaru lampas, kuras izmanto speciālos oscilogrāfos un kurās pēdu saglabāšanās ilgums, tā sauktais *pēcspīdēšanas laiks*, «tišām» ir izveidots liels — dažas sekundes.) Kad elektronu kūlis pa ekrānu skrien turpmākās reizes, tas atjauno pats savas pēdas. Par to bija runa 1. nodaļas paragrāfos «Neredzamo daļiņu pēdas» un «Par zāģi, kūli un slēdzi».

Pēcspīdēšanas ilgums parasti ir sekundes daļas. Kūlis skrien daudz ātrāk nekā

magnetofona lente; tāpēc lampa, piemēram, lielu bināro impulsu skaitu spēj «iegaumēt» daudz īsākā laikā nekā magnetofona lente. Tāda nu ir «īsā» (operatīvā) atmiņa: tajā var ierakstīt daudz datu, bet uz īsu laiku.

Atmiņas lampās nav visvienkāršs ekrāns, bet gan mazliet bišu šūnām līdzīgs kapacitatīvu «šūnu» režģis. (Atmiņas elementus ir pie-



10010  
00101  
11010  
01010

ņemts saukt par *šūnām*; tas ir oficiāli atzīts termins.) Kūlis, pa ekrāna rindām skriedams, šajās kapacitatīvajās šūnās ieraksta atbilstošo bināro skaitli. Katrā šūnā glabājas viena no binārās sistēmas zīmēm — vieninieks vai nulle. Kūļa ātrums ir tāds, ka ik uz kārtējās šūnas tas uzvirzās

brīdī, kad modulējošajam elektrodam ir pievadīts atbilstošais binārais impulss (izsakoties nedaudz tēlaini, pievadīts tiek «impulss» vai «neimpulss», kam atbilst «lādiņš» vai «nelādiņš» šūnā un atbilstu «caurums» vai «necaurums» perfokartē vai perfolentē, ja binārie skaitļi tiktu ierakstīti tajās).

## 5.22.

Iepazīdamies ar bināro impulsu apstrādes shēmām, mēs jau sastapāmies ar vēl vienu atmiņas veidu — ar trigeru kaskādi (ķēdīti). Par to bija runa 5.9. paragrāfā.

Sāds slēgums taču «atceras» impulsu skaitu, jo šie impulsi skaitīšanas laikā ir «apsvieduši otrādi» atbilstošos trigerus. Tomēr par atmiņu izmantot šādu trigeru nav izdevīgi, jo vajag milzum daudz trigeru.

Tāpēc trigeru darbības rezultātā iegūtos bināros skaitļus iesūta elektronstaru lampās — šajās «īsa-īsa» atmiņās, kurās, kā jau



teikts, uzkrājas tikai starprezultāti, apmēram tādi: «divi rakstām, trīs — prātā».

## 5.23.

Bet atmiņas lampas šūnās skaitļi nevar glabāties ilgi. Kad aprēķins ir izdarīts, rezultāts jāiesūta ilgstošajā atmiņā. Elektronu kūlis, pa režģa rindām

skriedams, šūnās «ierakstītos» (saglabātos) lādiņus «novāc» un pārvērš strāvas impulsos. Tie savukārt, plūzdami pa magnētiskās ierakstēs galviņas tinumu,

magnētiskajā lentē atstāj apstrādājamajai vieninieku un nulļu (impulsu un «neimpulsu») virknei atbilstošas pēdas, t. i., bināro informāciju. Tad, kad šī informācija būs vajadzīga, lentes magnetizāciju atkal (ar to pašu galviņu) viegli varēs pārvērst atpakaļ strāvas impulsos.

Tomēr šādai atmiņai piemīt nepatīkama īpašība: ja vajadzīgais skaitlis ir ierakstīts lentes beigās, tad, lai šo skaitli no tās izdabūtu, visa lente jāpārtin. Tāpēc datu atrašana ilgstošas at-



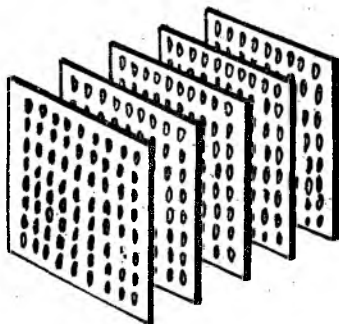
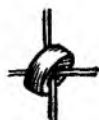
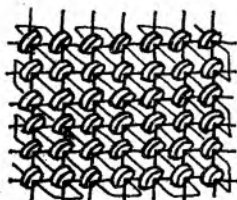
miņas sistēmā ir ilgs process, un magnētiskā atmiņa ir kaut kas līdzīgs bibliotēkai: tajā glabājas viss, kas nav vajadzīgs pārāk bieži; toties glabāšanas ilgums ir liels.

## 5.24.

Plaši tiek izmantoti ferītu atmiņas bloki. Atšķirībā no lampas un magnētiskās lentes, šī atmiņa tika speciāli radīta ESM vajadzībām.

Ferīts ir dzelzs un citu metālu oksīdu maisījums; tā izgatavošanas tehnoloģija ir diezgan sarežģīta. Ferītam ir labas magnētiskās īpašības, turklāt praktiski tas ir dielektriķis, t. i., nemaz nevada elektrību. Tāpēc tajā neinducējas virpuļstrāvas (sk. arī 4.27. un 4.28.), un to var izmantot ļoti augstu frekvenču strāvām un laukiem: tā kā virpuļstrāvu nav, zudumi ferītā ir mazi.

No ferīta gredzeniem izveido speciālu režģi. Atmi-



ņas princips ir šāds: ja signāls reizē tiek pievadīts kādai vertikālajai un horizontālajai kopnei, tad ferīta gredzens, kas atrodas šo kopņu krustpunktā, pār-magnetizējas («nulles» vietā stājas «vieninieks»). (Tikai vienas kopnes impulss ir «par vāju», lai veiktu šo uzdevumu.)

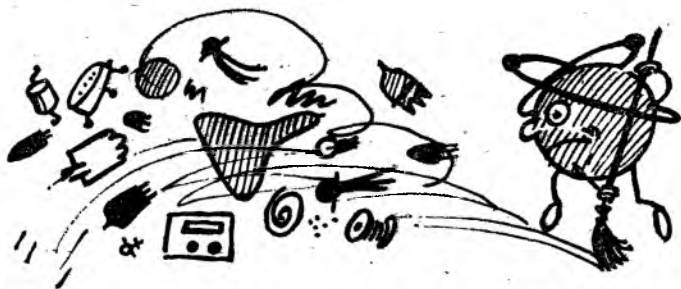
Impulsus «nolasa» trešā kopne — vads, kas iet pa režģa diagonāli (un blakus-diagonālēm).

Pēdējā laikā\* tiek izstrādātas tādas ferītu atmiņas, kuru galvenais elements ir režģveida caurumota ferīta plāksne. Caur caurumiem izver kopnes. Attālums starp caurumiem ir izraudzīts tā, ka viena cauruma apkaimē esošais magnētiskais lauks citu caurumu apkaimes laukus neietekmē. Šāds konstrukcijas princips ir ļāvis vairākas reizes samazināt atmiņas izmērus.

## 5.25.

Viens no konstruktoru radošās domas virzieniem kompakto atmiņu radīšanā ir šāds: skaitīt binārajā sis-

tēmā jāiemāca... dažādu vielu atomiem. Ierosinātam atomam atbilstu vieninieks, neierosinātam — nulle.



## KO MĒS GAIDĀM NO ELEKTRONIKASI

Iepazīdamies ar «gudro» mašīnu elementiem, mēs ne reizi vien esam secinājuši: elektronikas rīcībā ir viss, kas nepieciešams šādu mašīnu radīšanai. Vēl vairāk: ne tikai ir, bet jau sen ir bijis, jo, piemēram, lokācijā jau desmi-

\* Autora teiktāis pieder pagātnei. Moderno atmiņas ierīču principi ir citādi. *Tulk. piez.*

tiem gadu izmanto gan elektronstaru lampas, gan arī impulsus, diodes, triodes, triggerus un vēl daudz ko citu.

Tomēr lasītājam var rasties maldīgs iespaids, ka, «izplaucējusi» savu «daiļāko ziedu», elektronika var atdusēties uz lauriem. Visu, kas tai ir, elektronika atdevusi kibernetikai: sak, tagad nu tikai izmanto šīs ierīces pēc iespējas efektīvāk, veido programmas un programmēšanas valodas, gudro, kā jāsaslēdz elementi, lai tie šīs programmas izpildītu.

Patiesībā viss bija un arī ir gluži otrādi: ESM rašanās tik spēcīgi rosināja pašu elektronikas attīstību, ka visi iepriekšējie tās veidošanās posmi tagad liekas esam tās agrīnā bērnība.

Bet ko īsti mēs vēl gaidām no elektronikas, ja tās rīcībā jau sen ir visi ESM attīstībai nepieciešamie elementi?

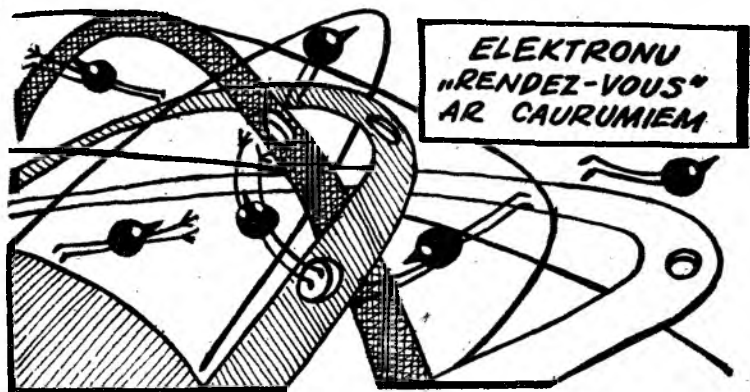
Ir jau gan — bet elementi ir dažādi. Protams, ESM var uzbūvēt, izmantojot lampas; tomēr visa modernā skaitļošanas tehnika izmanto nevis lampas, bet pusvadītājiērces. Lampu gabarītmēri ir pārāk lieli, tās patērē pārāk daudz jaudas, pārāk bieži bojājas. Kamēr elektronika tika radījusi radiouztvērējus (gan sadzīves, gan speciālos), raidītājus, mēraparatūru utt., kur bija nepieciešami, augstākais, daži desmiti lampu, ar to trūkumiem vēl varēja samierināties. Bet, kad parādījās ESM, kuru shēmās bija vajadzīgi lampu tūkstoši, desmittūkstoši un simttūkstoši, to sliktās īpašības sāka būtiski kavēt skaitļošanas tehnikas attīstību.

Ja, piemēram, lampas vidējais darbmūžs ir daži simti stundu, bet ESM shēmā darbojas vairāki tūkstoši lampu, tad šāda mašina sabojāsies ik pēc dažiem desmitiem minūšu; tā gandrīz visu laiku tiks labota un nespēs pabeigt nevienu kaut cik sarežģītu aprēķinu. Tiesa, mašīnas darbības drošumu var palielināt, ja iekārto dublējošus blokus un rīkojas tā, kā pieņemts solīdā teātrī: ja lomas pamatizpildītājs saslimst, viņa vietā spēlē dublieris. Bet arī tā nav izeja: ja mašina, kurā izmantotas lampas, aizņem vairākas istabas, cik liela platība tai būs vajadzīga šādas dublēšanas gadījumā? Un kas gan tos «dublierus» pārslēgs, t. i., iesaistīs darbā?

Un kā ar patērēto jaudu? Arī tā taču būs ļoti liela!

Ir tikai viena izeja: ESM jābūvē, izmantojot pusvadītājiērces.



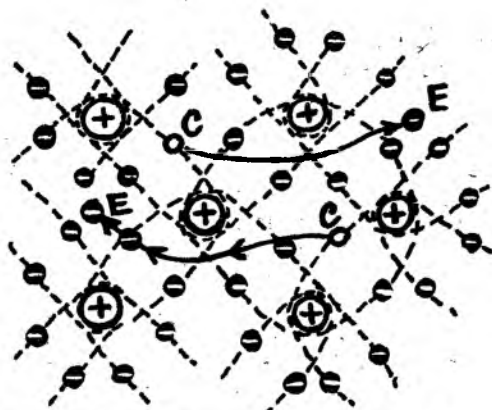


PAMATS IR SĀDS

### 5.26.

Jau daudzreiz mēs lasījām tikām atgādinājuši, ka metālos ir brīvie elektroni. Bet izolatoros, kā arī pusvadītājkristālos, ja temperatūra ir zema, tādu elektronu nav. Šeit visi elektroni ir saistīti ar atomiem.

Piemēram, germānija atoma ārējā čaula satur četrus saistītos elektronus. Kristālā uz tiem visiem iedarbojas kaimiņatomu izraisītie spēki. Četri kaimiņatomi no četrām pusēm katru elektronu «sakaļ važās».



E - ELEKTRONS

C - CAURUMS

### 5.27.

Bet tagad pieņemsim, ka šīnī struktūrā ir «ielavījies» kāds sveša piemaisījuma atoms, kura ārējā čaulā ir nevis četri, bet pieci elektroni. Šis atoms iekārtojas kristālrežģa mezglā, un turklāt tā četriem elektroniem struktūrā uzreiz atrodas vieta, kamēr piektais ir «lieks». Piemaisījumus, kuru atomiem ir šādi «lieki» elektroni, sauc par *donorpiemaisījumiem*. Germānija



un silīcija donorpiemaisījumi var būt arsēns un antīmons.

### 5.28.



«Asins pārliešana» germānija vai silīcija kristāliem piešķir daudz brīvo

elektronu; proti, «asins» dod daudzi donortomi. (Jāuzsver, ka absolūti to skaits ir ļoti liels, bet relatīvi — attiecībā pret kristāla pamatatomu skaitu — ārkārtīgi mazs.) Ja kristālam pieslēdzam ārēja avota spriegumu, šī «asins» pa kristālu sāk cirkulēt — sāk plūst elektriskā strāva.

### 5.29.

Citāds piemaisījums ir, piemēram, indijs. Tā atomu ārējā čaulā ir nevis pieci un arī ne četri elektroni, bet gan tikai trīs.

Visi trīs indiņa atoma elektroni ērti iekārtojas kristāla struktūrā; viena elektrona tik un tā pietrūks.

Speciālisti šo «tukšo



vietu» tika nosaukuši par *caurumu*.

Piemašījumu, kas kris-

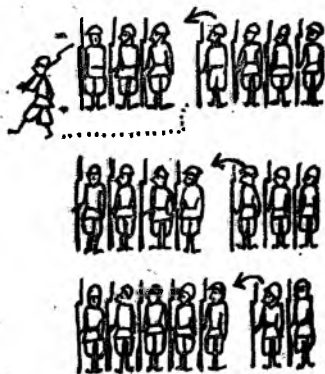
tāla struktūrā rada *caurumu*, sauc par *akceptorpie-*  
*mašījumu*.

### 5.30.

Tur, kur radies caurums, atoma kodola lādiņš vairs nav līdzsvarots (neitrālizēts); šim atomam ir lieka pozitīvā lādiņa porcija. Tāpēc no visām pusēm uz to cenšas nokļūt elektroni. Vakantajā vietā nokļūs tuvākais no tiem. Tad cauruma vairs nebūs. Tomēr nebūs tikai šī viena cauruma, jo atomā, no kura tikko ir «aizmucis» elektrons, tālīt radīsies jauns caurums.

Bet ar to drīz vien notiks tas pats, kas ar iepriekšējo: aizbēgušā elektrona vietā stāsies cits. Caurums būs pārvietojies uz nākamo, trešo atomu. Bet no kaimiņa — no ceturtā atoma — atkal atskries kāds elektrons. Elektroni cits pēc cita aizņems vakanto vietu, kura tiem savukārt visu laiku virzīsies pretī.

Ja ārējā elektriskā lauka nav, t. i., ja kristālam nav pievadīts spriegums, šī kustība, protams, ir



haotiska — nav vērsta nekādā noteiktā virzienā. Procesa detalizēta analīze lai paliek speciālistiem.

### 5.31.

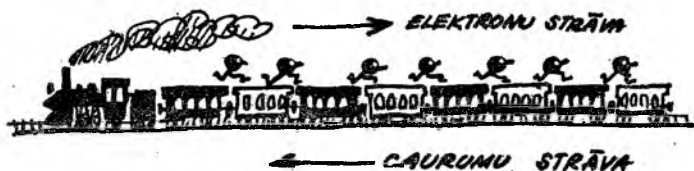
Kaut kas līdzīgs notiek arī tad, kad viens no kareivjiem pamet ierindu, bet pārējie pēc komandas «līdz-

nāties!» sāk ierindu atjaunot. Kareivji pēc kārtas sper soli pa labi, bet «tukšā vieta» virzās pa kreisi.

Protams, atšķirība ir tā, ka aplūkotā kareivju kustība ir vērstā kādā noteiktā virzienā, turpretī caurumu kustība kristālā, kā jau teikts, — ne,

Tāpat caurumi kristālā pārvietojas līdzīgi «tukšajai vietai» kareivju ierindā.

### 5.32.



Pašam caurumam lādiņa nav. Tomēr vietā, kur tas ir radies, atoma lādiņš, kā jau teikts, nav līdzsvarots; šajā vietā pastāv pozitīvā lādiņa porcija. Ja caurumi pārvietojas, tad līdz ar tiem («kā ēnas, kā rēgi») pārvietojas arī pozitīvie lādiņi. Rodas savdabīga tā sauktā *caurumstrāva*.

kristālā rodas pievadītā sprieguma iedarbības rezultātā, šo kustību regulē — vērs vienā virzienā: elektroni dodas uz pozitīvās spaiļes pusi, piepildīdami ceļā sastaptos caurumus. Turpretī caurumi (kā jau «pieklājas» pozitīvajam lādiņam) dodas pretējā virzienā — uz negatīvās spaiļes (elektroda) pusi.

Elektriskais lauks, kas

### 5.33.



Ir pieņemts teikt, ka kristālam, kuram kāds donorpiemaisījums piešķir lielus elektronus, piemīt  $n$ -vadītspēja. Burts  $n$  nozīmē, ka vadītspējas cēlonis ir negatīvie lādiņi (precīzāk ru-

nājot, negatīvie lādiņnesēji).

Bet, ja kāds akceptorpiemaisījums kristālam piešķir caurumus (pozitīvos lādiņus), tad saka, ka kristālam piemīt  $p$ -vadītspēja,

## NE ŠIS, NE TAS

Vai gan būtu vēlreiz jāatkārto, ka tagad ārkārtīgi daudz jeb, gribas pat teikt, gandrīz visos gadījumos elektroniskajās ierīcēs lampu vietā lieto pusvadītājus? Šī tēze jau ir gluži vai apnikusi. Par to vairs pat nerunā. Vilcienos, parkos, uz ielām un pludmalē var sastapt jauniešus ar pārnēsājamiem radiouztvērējiem, kas, piemēram, iesieti siksniņā, kura nevēriģi pārņemta pār plecu. Tautā šādu uztvērēju dēvē par tranzistoru, lai gan būtībā tranzistors ir nevis pats uztvērējs, bet gan pusvadītājerīce, kas tajā izmantota lampas vietā; tranzistori, tāpat kā savā laikā lampas, uztvērējā ir vairāki; parasti to ir nedaudz mazāk par desmit, bet var būt arī vairāk. Nereti var redzēt arī sarežģītākus «kombainus».

Tas viss ir skaidrs un turklāt jau samērā ilgus gadus, ap divdesmit. Bet kāpēc tieši pusvadītājerīces veica tādu revolūciju? Kādas ir tās izcilās īpašības, kas tām ļāva «uzvarēt» lampas? Un kāpēc tieši pus-

Kopš zinātne un tehnika nodarbojas ar elektrību, galvenokārt tiek izmantoti divu kategoriju materiāli — vadītāji un nevadītāji (izolatori). Pa vadītājiem plūst strāva: elektriskos vadus, piemēram, izgatavo no materiāliem, kam ir maza īpatnējā pretestība (no vara, alumīnija u. tml.). Bet, lai nerastos īsslēgumi un strāva plūstu, kurp vajadzīgs, vadu ieskauj izolators, t. i., materiāls, kas elektrību neveda. (Gaisvadu līnijām tas ir gaiss un kaut kādā mērā, protams, arī to izolatoru materiāls, ar kuriem vadus nostiprina balstos, kurus tautā bieži dēvē par stabiem.) Nav šaubu, ka abu veidu materiāli elektrotehnikā ir absolūti nepieciešami.

Elektrību vada ne vien metāli, bet arī sāļu šķīdumi un — noteiktos apstākļos — gāzes (sk. 1.12., 1.13.). Nevadītāji ir porcelāns, keramika, stikls, gumija, dažādi sveķi (arī dzintars) un sintētiskie materiāli, sauss papīrs, minerāleļļas utt.

Jau sen bija pazīstami arī tādi materiāli, kuru īpašības tos neļāva ierindot ne vienā, ne otrā minētajā kategorijā. Tos nosauca par pusvadītājiem, kaut gan tikpat labi būtu varēts nosaukt arī par pusizolatoriem. Elektrību tie vada labāk nekā izolatori un sliktāk nekā vadītāji; īsi sakot, tie ir slikti vadītāji un slikti izolatori. Pusvadītāji, piemēram, ir vairāki



Mendeļejeva periodiskās sistēmas vidējo grupu (vidējo — tāpēc arī «pus-») elementi: silīcijs, selēns, germānijs, telūrs. Ir arī ar šādām īpašībām apveltīti ķīmiskie savienojumi, piemēram, dažu metālu oksīdi, savienojumi ar sēru (sulfīdi) vai selēnu (selenīdi). Pie pusvadītājiem pieder arī daži metālu sakausējumi.



Tāpat kā nevadītājos, arī pusvadītājos praktiski visi elektroni ir cieši saistīti ar atomiem (sk. 5.26.). Ja pusvadītājmateriālu sasildām, tad dažiem elektroniem no atomu gūsta izdodas izrauties un kristāls sāk kaut cik vadīt elektrību.

Tas viss bija zināms jau samērā sen. Piemēram, vēl neatklātā germānija īpašības paredzēja Mendelejevs; viņš šo elementu nosauca par ekasilīciju, tādējādi uzsvērdams, ka tas ir radniecīgs silīcijam.

Vācu zinātnieks Klemenss Vinklers šo elementu atklāja, sīki izpētīja germānija īpašības un par godu savai dzimtenei to nosauca šajā vārdā, kas ieviesās vispārējā lietošanā.

Protams, ķīmiķiem gan germāniju, gan silīciju izpētīt «bija licis pats dievs». Turpretī elektrotehnika un elektronika par tiem ilgi jo ilgi vispār neinteresējās. Un kam gan tiešām vajadzīgs materiāls, kurš nespēj nedz lāgā izolēt vadus, nedz arī pats vadīt elektrību?

Istenībā vadītāji, pusvadītāji un nevadītāji (izolatori, dielektriķi) cits no cita atšķiras ne vien kvantitatīvi (t. i., pēc īpatnējās vadītspējas skaitliskās vērtības, kas pamatos atkarīga no brīvo elektronu koncentrācijas), bet arī kvalitatīvi — pēc mehānisma, kā elektroni nokļūst tā sauktajā vadītspējas zonā, līdz ar to iegūdami spēju relatīvi brīvi pārvietoties pa vielu. Vadītājos tie šai zonā vienmēr ir (viens vai pāris elektronu ik uz atomu), pusvadītājos — var nokļūt, nevadītājos — praktiski nevar. Turklāt būtiski dažāda šajās vielās ir vadītspējas atkarība no temperatūras.

## MAĢISKĀ PUNKTA NOSLĒPUMS

Un tātad elektronika par silīciju un germāniju sāka interesēties stipri vēl. Sākumā tika izmantoti citi pusvadītāji, proti, daži oksīdi, to vidū divas kristāliskas vielas — cinkīts un halkopirīts. Tika konstatēts, ka šiem kristāliem piemīt brīnumaina īpašība: tie var darboties par ventiļiem, t. i., taisngriezti elektrisko strāvu.

Par ventiļiem (resp., par diodi ventiļa lomā) runa bija 1.16. paragrāfā.

Tātad šos kristālus var izmantot detektēšanai, t. i., «raksta» (piemēram, runas vai mūzikas signāla) «atdališanai» no «pamatauduma» — nesējsignāla,

Vārds «atdalīšana» ir pēdējās tāpēc, ka patiesībā tē ir runa par samērā sarežģītu signāla spektra pārveidošanu. No kaut kā atdalīt taču var tikai ko tādu, kas pats tajā *ietilpst*. Bet toņfrekvences signāls pārraidāmajā augstfrekvences signālā neietilpst, zemfrekvences komponentu šajā signālā nav; ja tādas būtu, tad signālu nevarētu nedz pastiprināt augstfrekvences (rezonanses) pastiprinātājā, nedz pārraidīt «ēterā» *utt.* Toņfrekvences signāla pārraides pamatā («jāšus uz nesējsignāla») ir fakts, ka tas ir «ieklausēts» augstfrekvences signālā kā tā sāņjoslas; arī šo «sāņsignālu» frekvence ir augstfrekvence, kas no nesējfrekvences atšķiras par toņfrekvences tiesu (uz vienu un otru pusi).



Runāts — darīts. Un, lai cik dīvaini, pašos pirmajos radiouztvērējos detektēšanai izmantoja nevis diodes, par kurām mēs tik daudz esam runājuši, bet gan visistākos pusvadītājkristālus. Bet kā ar tiem bija jānomokās!

Ar smalku, smalku adatiņu, kuras gals bija nosmailināts tā, ka tā caurmērs bija tikai mikrometra daļas, vajadzēja sataustīt kristāla virsmas «brīnumpunktu». Ja adatiņa aizslidēja no tā projām, skaņa pazuda. Un bija jāpatērē krietns laiciņš, kamēr šo kristāla punktu atkal izdevās atrast. Kur šim punktam īsti jābūt, kur slēpjas tā maģiskais «spēks», neviens nezināja. Un dies pas, ja šo punktu pēkšņi gadījās ar adatiņu galīgi sabojāt: otra tāda punkta kristālam varēja nebūt.

Detektora darbību uzlaboja, adatiņu piestiprinot atsperītes galā, lai kristālam ar to varētu pieskarties pēc iespējas maigāk.

Apieties ar šo kaprīzo ierīci mācēja tikai nedaudzi. Ar miju štābos «klausonus» — vīrus, kuri bija apguvuši «elles mākslu» tikt galā ar šo noburto punktu, — vērtēja zelta cenā. Un beigu beigās, kad elektronika šo niķīgo kristālu vietā piedāvāja diodi, visi atviegloti uzelpoja.

Bet neilgi pēc tam vēl parādījās arī triodes, ar kurām varēja pastiprināt no ļoti tālām stacijām pienākušos un tāpēc stipri pavājinātos signālus. Lamps ieviesās visur, kristālus aizmīrsa.

Un tolaik arī palika nenoskaidrots, kāpēc tikai atsevišķi kristāla punkti detektēja labi, pat vairāk — kāpēc šie kristāli vispār derēja par detektoriem.



## VIENS NO SPIRĀLES VIJUMIEM

Dialektika māca, ka attīstība notiek pa spirāli, pa kuras vijumiem virzāties no lejas augšup. Iestājas brīdis, kad senas idejas iegūst jaunu skanējumu, jo zinātne ir nogājusi kārtējo «vijumu», reizē paceldamās augstāk. Tā notika arī ar kristāliem.

Ilgu, ilgu laiku vakuumdiodes apmierināja visas tehnikas prasības. Bet, nemitīgi paaugstinoties lokācijā lietoto signālu frekvencēm, paaugstinājās arī diodēm izvirzāmo prasību līmenis. Vakuumdiode šīs prasības apmierināja aizvien mazākā un mazākā mērā. Starp tās anodu un katodu ir mums jau pazīstamā parazitiskā kapacitāte. Atkārtojās tas pats, kas jau bija noticis ar triodi: jo augstākas ir frekvences, jo jūtāmāka kļūst kapacitātes ietekme; centimetru viļņu diapazonā šāda diode vispār vairs nedarbojās. Un tad atcerējās kristālus.

Jāpiebilst, ka vēl atgadījās kaut kas tāds, kas kristālus padarīja populārus. 1924. gadā Ņižņijnovgorodas Bonča-Brujeviča radiolaboratorijas līdzstrādnieks Oļegs Losevs pirmo reizi elektronikas vēsturē ieguva signāla pastiprinājumu bez lampām. Ierīces pamatā bija pusvadītājkristāls; tāpēc Losevs šo ierīci nosauca par kristodīnu. Notikums izraisīja daudz atsauksmju. Amerikāņu žurnāls «Radio News» par to rakstīja korespondencē ar virsrakstu «Sensacionāls izgudrojums». Citi žurnāli kristodīnu nosauca par «izgudrojumu, kas rada veselu laikmetu», un pareģoja, ka ar laiku kristāli aizstās vakuumlampas.

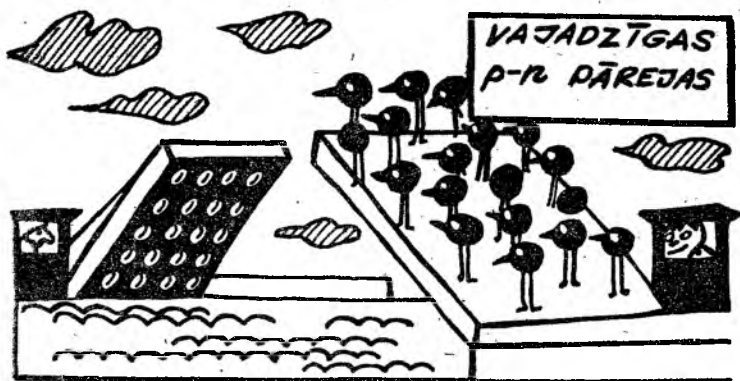
Tomēr tajos gados tas vēl nenotika. Lampa apmierināja jebkuras prasības, vakuumtehnikas uzplaukuma periods tikko sākās, un ik gadus atklājās aizvien jaunas un negaidītas vakuumlampu priekšrocības un iespējas.

Kas attiecas uz pusvadītājkristāliem, tad jāteic, ka zinātne tolaik tikko bija sākusi tos pētīt, bet tehnika savukārt elektronikai vēl nevarēja piedāvāt tīrus bezpiemaisījumu kristālus. Vispārīgi runājot, pusvadītāju kristālu tehnikas attīstība, kas bija sākusies ar pirmo radiouztvērēju kaprīzajiem detektoriem, pirmo spirāles loku vēl nebija veikusi.

Divdesmit gadus vēlāk lokācija izvirzīja jauna veida prasību: jārada kristāldetektors supraugsto frekvenču diapazonam! Tai laikā zinātne jau bija sakrājusi svarīgus datus par kristālu struktūru. Fizikāli bija sapratuši, ka kris-

tālos var pastāvēt divējāda strāva: vai nu negatīvo elektronu plūsma, vai arī tāda pozitīvo lādiņu plūsma, kuras pamatā ir caurumu pārvietošanās (sk. 5.27.—5.32.).

Un tikai tad kļūva skaidrs, ar kādu spēku ir apveltīts «magiskais punkts», kuru tik grūti bija uztaustīt pat ļoti veikliem «klausoniem».

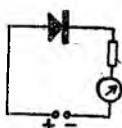


PAMATS IR ŠĀDS

### 5.34.

Lai rastos pusvadītājdīode, jāsaliek kopā divi kristāli: viens ar  $n$ -vadītspēju, otrs — ar  $p$ -vadītspēju (sk. 5.33).

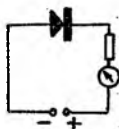
Tāda ierīce ne sliktāk kā vakuumdīode darbosies par ventili (sk. 1.16.). Gaurlai-des likums ir šāds: ja sprieguma avota «plusu» pieslēgsim kristālam, kuram piemīt  $p$ -vadītspēja, bet «mīnusu» — tā pāriniekam,



tad cauri abu kristālu robežslānim (robežai, pārejas slānim) — un līdz ar to arī visā ķēdē — strāva plūdis.

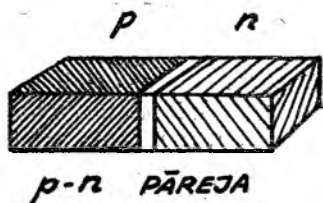
### 5.35.

Bet, ja «plusu» un «mīnusu» apmainīsim vietām (t. i.,  $p$ -vadītspējīgajam kristālam pieslēgsim «mīnusu»), ventilis aizvērsies, diode ķēdi pārtrauks. Kāpēc?



### 5.36.

Abu kristālu —  $n$ -vadītspējīgā un  $p$ -vadītspējīgā — saskares vietā izveidojas īpaša zona, tā sauktā  $p$ - $n$  pāreja. Tās biezums mērāms tikai mikrometra desmitdaļās; tomēr tieši šis plānais slānītis ir vissvarīgākais pusvadītāju tehnikas objekts.



### 5.37.

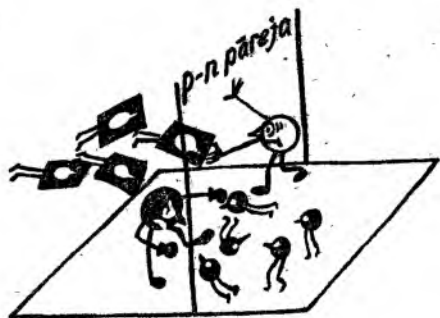
Izrādās, ja spriegumā nav un tātad arī strāva neplūst,  $p$ - $n$  pāreja ir «tukša» — lādiņnesēju tajā nav. Kāpēc?

Lai tas būtu saprotams, atcerēsimies, kā tiek radīti pusvadītājkristāli ar  $n$ - un atbilstoši  $p$ -vadītspēju (sk. 5.27.—5.33.). Paši no sevis tie nerodās; tos rada cilvēks, pēc iespējas tīrā pusvadītājā ievadīdams donorpiemaisījumu (rodas  $n$ -vadītspēja) vai akceptorpiemaisījumu ( $p$ -vadītspēja).

Donorpiemaisījuma atoms jeb, izsakoties uzskatāmāk,

donors, savu «lieko» elektronu atdodams, pats kļūst par pozitīvu jonu;  $n$ -vadītspējīga kristāla iekšienē starp šo jonu un tā atdoto elektronu realizējas «mierīga līdzāspastāvēšana»; elektrons, klaiņodams pa kristālu, šad un tad «joka pēc» apmainās vietām ar kādu pamatreizīga atoma elektronu, utt.

Bet pašā  $p$ - $n$  pārejas tuvumā pozitīvais jons «jūt» «naidīgu spēku» —  $p$ -vadītspējīgā kristāla caurumus, arī pozitīvus lādiņus, kurus jons tātad atgrūž. Attālums,



kurā jons spēj tos «sajust» un tātad arī atgrūst, ir neliels — tāpat mērāms mikrometra daļās.

Analoģiski akceptorpie-maisījuma atoms (jeb akceptors), kristālam atdo-dams savu caurumu, pats kļūst par negatīvu jonu, kas kristāla iekšienē jūtas «labi un mierīgi», bet pie  $p$ - $n$  pārejas «jūt» viņā pusē «naidīgu spēku» —  $n$ -vadīt-spējīgā kristāla, «liekos» elektronus, kurus tas — tā-pat ļoti nelielā attālumā — atgrūž.

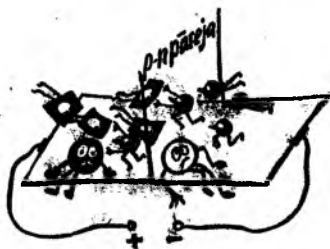
Protams, joni «neklejo» pa kristālu. Mūsu pieminētie joni kristāla iekšienē un  $p$ - $n$  pārejas tuvumā ir dažādi joni. Kristāla jonu ir ļoti daudz, lai gan to relatīvais saturs ir ļoti mazs.

### 5.38.

Jau runājām (sk. 5.34.) par «caurlaides likumu». Caurlaides virzienu sauc arī par tiešo virzienu; ārējo sprieguma avotu pieslēdzot tā, ka «+» ir savienots ar  $p$ -vadītspējīgo kristālu, bet «-» ar  $n$ -vadītspējīgo kris-tālu, strāva plūst, jo elek-triskais lauks, ko ārējais avots rada diodē, «robež-sargu» darbību šai gadī-jumā «paralizē» jeb «neitra-lizē», un gan elektroni, gan arī caurumi barjerai tiek pāri (jeb, labāk sakot, cauri).

Tā tas ir tāpēc, ka sprie-guma avota «pluss», pie-

Tādējādi tie abu kristālu joni, kas gadījušies  $p$ - $n$  pār-ējas tiešajā tuvumā, «strā-dā» kā «robežsargi»: at-grūzdami «pretējās puses» lādiņnesējus, šie joni tiem neļauj pienākt «par tuvu ro-bežai»: Tāpēc  $p$ - $n$  pāreja ir «tukša». Speciālisti šo «tukšo slāni» sauc par *bar-jeru*. Tai, kā jau katram ne-vadītājam (dielektriķim), piemēram, ir sava kapaci-tāte. To, izrādās, var pat izmantot lietderīgi, un tā arī dara: barjeras kapacitā-tes izmantošana ir pamatā veselai svarīgai pusvadītāj-ierīču klasei. Tomēr stāsts par tām mūs novirzītu no tēmas.



slēgts  $p$ -vadītspējīgajam kristālam, caurumus (pozi-tīvos lādiņus) «grūž» cauri barjerai ( $p$ - $n$  pārejai), pār-varēdams «robežsargu» pre-tošanos.

Glūzi tāpat avota «mī-nuss» palīdz pārvietoties elektroniem.

Divas pēc zīmes pretējas lādiņu plūsmas «draudzīgi» dodas viena otrai pretī — nu, tā taču ir elektriskā strāva, tas nevar būt nekas cits (sk. 5.34.).

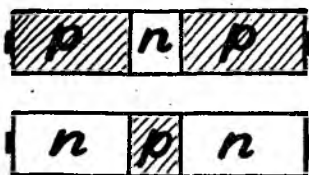
Bet sprieguma avots, kas ieslēgts pretējā virzienā (to sauc arī par sprostvirkieni), palīdz «robežsargiem»; elek-

troni un caurumi tiek vilkti katri savā virzienā, barjeras platums (patiesībā: biežums) palielinās, strāva caur diodi neplūst (sk. 5.35., 5.37.). (Nelielo strāvu, kura pamatā ir tā saukto mazākumlādiņnesēju pārnese, šeit ignorējam.)

### 5.39.

Tagad īsi aplūkosim pusvadītājtroides jeb tranzistora uzbūvi un darbības principu.

Tranzistors satur divas  $p$ - $n$  pārejas. Kristāli ar  $n$ - un  $p$ -vadītspēju var būt dislocēti dažādi; tāpēc ir iespējami divējādi tranzistori:  $p$ - $n$ - $p$  un  $n$ - $p$ - $n$ .



Attēls ir tikai ilustrējošs: vidējais kristāls ir ļoti plāns.

### 5.40.

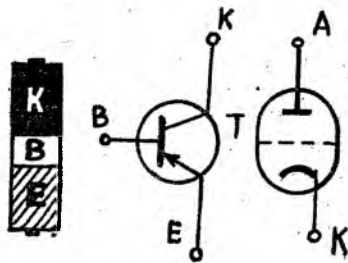
Katoda lomā tranzistorā ir emitters E — avots, kas dod visus lādiņus, kuru pārvietošanās ir strāva. Bet kolektors K ir anoda analogs («līdzinieks»). Tikliņa lomā ir bāze B.

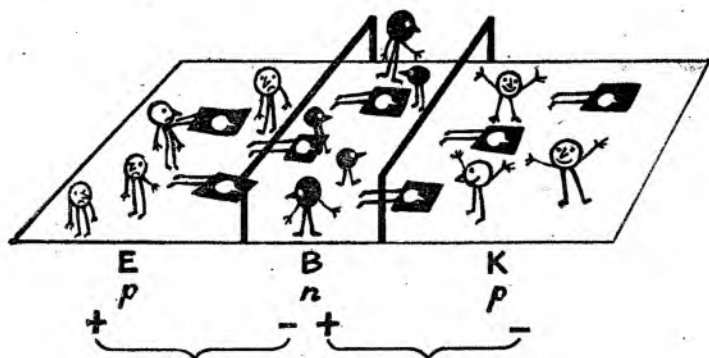
Ir iespējami dažādi tranzistora slēgumi. Aplūkosim tikai vienu no tiem — slēgumu ar kopīgu emiteru jeb kopemitera slēgumu, kas tiek izmantots visplašāk. Iztirzājums, tāpat kā viscaur grāmatā, būs vienkāršots.

Pastiprināmo signālu pievada posmam B—E (starp bāzi un emiteru). Ja slodzi

(rezistoru, kas ieslēgts barošanas avota ķēdē) pieslēdzam posmam K—E (kolektors—emitters), varam iegūt pastiprinātu signālu.

Kā notiek pastiprināšana?





Posms E—B ir tiešajā (caurlaides) virzienā pieslēgts samērā neliela sprieguma avotam: avots paralizē «robežsargu» aktivitāti un palīdz elektroniem un caurumiem pārvarēt barjeru (sk. 5.34. un 5.38.).

Posms B—K ir sprostvirzienā pieslēgts samērā augsta sprieguma avotam: barošanas avots palīdz «robežsargiem», strāva caur  $p$ - $n$  pāreju neplūst (sk. 5.35. un 5.38.).

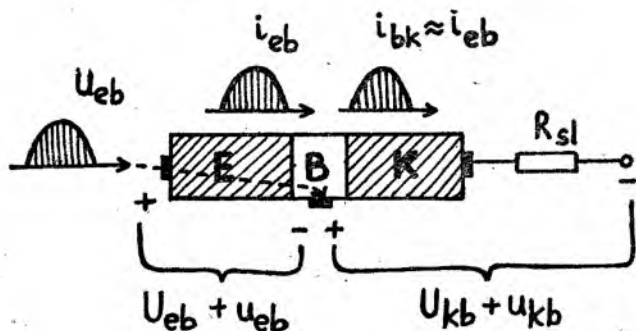
Patiesībā kolektora barošanas avots ir pieslēgts posmam E—K. Bet bāzes potenciāls maz atšķiras no emitera potenciāla, jo emitera—bāzes pāreja ir vaļā.

Ja barošanas avoti tranzistoram ir pieslēgti šādi, tad posma E—B pretestība ir maza, turpretī posma B—K pretestība — ļoti liela.

Tagad seko galvenais. Iedomāsimies, ka posmam E—B pievadām, teiksim, pastiprināmā signāla sinu-

soīdas pozitīvo pusperiodu. (Sinusoīdas amplitūdai salīdzinājumā ar barošanas spriegumiem jābūt mazai.) No emitera bāzē iegāžas (sinusoidāli atkarīgi no laika) vesels bars caurumu. Bāze ir tik plāna (sk. piezīmi 5.39. paragrāfā), ka tiem jeb, pareizāk sakot, apmēram 98—99,5% no tiem izdodas tai izskriet cauri un nokļūt līdz bāzes—kolektora pārejai. Elektroniem pāreja no bāzes puses ir slēgta, turpretī caurumiem vaļā. Tāpēc caurumi šķērso arī to, «robežsargi» tos nevis «atraida», bet, tieši otrādi, «apsveic», caurumi iekļūst ķēdē, kurai ir liela pretestība, jeb, kā bieži saka, augstomīgā ķēdē; ja strāva ir tā pati (ar precizitāti līdz 0,5—2%), spriegums (pastiprinātais, sinusoidālais) var būt liels.

Lūk, tāds ir viss «tranzistora noslēpums».



Emitera—bāzes pāreja, palikdama atvērta, sinusoidas negatīvo pusperiodu uztver kā «caurumu trūkuma pusvilni». (Caurumu «trūkums» jeb to «relatīvā klātneesamība» šai gadījumā nenozīmē «elektronu pārpalikumu» jeb «elektronu pusvilni». Tas it

kā būtu tas pats — un tomēr nav). Šo pusvilni plānā bāzē tāpat «aiznes» līdz slēgtajai B—K pārejai, un «caurumu trūkuma pusvilnis» tikpat elegantā veidā iekļūst ķēdē ar lielu pretestību.

Tā pastiprina tranzistors.

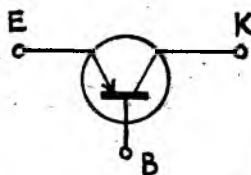
## 5.42.

Attēlotais pastiprināšanas process ir tik svarīgs, ka iztīrājumu atkārtosim no mazliet citāda viedokļa.

Tātad galvenais ir tas, ka strāva, kuras avots ir emitters un kura atbilst pastiprināmajam signālam, gandrīz nemainījusies «izskrien cauri» abām  $p-n$  pārejām — atvērtajiem E—B un slēgtajai B—K.

Bet ko nozīmē «gandrīz» — un ko nozīmē iepriekšējā punktā minētie 0,5—2%?

Tie ir procenti, kas, ilustrē strāvas relatīvo samazināšanos bāzē. Daži caurumi tomēr spēj apvienoties ar elektroniem, (Tas taču bū-



tībā ir viņu «mūža sapnis»!) Tā piepildās kristāla «tukšās vietas». Šo procesu sauc par *rekombināciju*.

Strāvai vienmēr jābūt noslēgtai. Rekombinācijas dēļ arī bāzes ķēdē jāpļūst kaut kādai strāvai (runa ir par strāvu, kas mainās pēc pastiprināmā signāla likuma). Un tie, lūk, ir tie paši «nelaimīgie» 0,5—2 procenti!

Pag, pag, bet kāpēc nelaimīgie?



Izrādās — un turklāt šī fakta izprašana iezīmēja vienu no būtiskajiem pusvadītāju tehnikas attīstības soļiem — izrādās, ka šos 0,5—2% var lieliski izmantot tranzistora stūrēšanai. Tikai stūrēšanas process jāveic no bāzes, nevis no emitera puses. Tad izdodas ietaupīt 98—99,5% stūrējošās strāvas jeb ap 50—200 reižu palielināt tranzistora ieejas ķēdes pretestību, mazāk slogot iepriekšējo pakāpi, kurā var darboties, piemēram, kāds rezonanses kontūrs, kam slogošana ir kai-

tīga, jo «samaitā» tā rezonanses likni (sk. 3.8.—3.9.).

Vēl piebildīsim tikai to, ka pēdējos gadu desmitos ir attīstījušies arī citi pusvadītājiereču veidi. Vieni no ievērojamākajiem to vidū ir tā sauktie *lauktranzistori* jeb *unipolārie tranzistori*, kuru elektrodus visai poētiski sauc par «izteci», «aizvaru» un «noteci» un kuru ieejas pretestība jau tāpat (t. i., uzbūves un darbības principu dēļ) ir ļoti liela.

Par miniaturizāciju runāsim mazliet vēlāk.

## KO CENTĀS UZTAUSTĪT «KLAUSOŅI»!

Tais romantiskajos gados, kad «klausoņi», savām sejām piešķirūši pēc iespējas nopietnu izteiksmi, apguva «magiskā punkta» supernoslēpumus, tika uzskatīts, ka strāvas taisngriešanas process notiek uz kristāla un metāla robežas, vietā, kur adatiņas smaile pieskaras kristālam. Tomēr izrādījās, ka taisngriešanas un detektēšanas process ir citāds. Skābekļa un gaisa mitruma iedarbības rezultātā kristāla virsma pārklājas ar oksīda kārtiņu. Laimīgas nejaušības dēļ dažos gadījumos ne vien pats kristāls, bet arī tā oksīds ir pusvadītājs. Turklāt detektēšana ir iespējama vienīgi tad, ja oksīdam ir cita tipa vadītspēja nekā kristālam: piemēram, ja kristālā pārsvarā ir brīvie elektroni (*n*-vadītspēja), tad oksīda kārtiņai jābūt ar *p*-vadītspēju. Tikai šādā gadījumā kristāls kopā ar oksīda kārtiņu veido pusvadītājventili (sk. 5.34.).

Oksīda kārtiņa bija radusies nejaušu faktoru iedarbības rezultātā; neviens nezināja, ka tā ir vajadzīga, neviens nepētīja, cik vienmērīgs un izturīgs ir kristālu sedzošais slānis utt. Tāpēc uztaustīt vajadzīgo punktu, kurā oksīda kārtiņa ir plāna, pietiekami izturīga un turklāt vēl kopā ar kristālu veido *p-n* pāreju, protams, varēja tikai laimīgas sagadišanās rezultātā. Tiklīdz, piemēram, oksīda kārtiņa tika ar adatiņu saskrāmbāta, *p-n* pāreja pārstāja eksistēt un detektors vairs nedarbojās. Tā arī kļūst skaidrs, kāpēc cilvēki aizdomājās līdz atspērītei un, vadīdamies no intuīcijas un pieredzes, ilgos un rūpīgos meklējumos centās atrast «apburto punktu», lai tad tam iespējami maigi pieskartos ar adatiņas smaile.

Tajos gados tika mēģināts radīt arī ko līdzīgu modernajām virsmas diodēm,\* šai nolūkā lika saskarties diviem dažādiem kristāliem — cinkītam un halkopīritam. Arī šai gadījumā taisngriešanas efektu izdevās panākt nevis pa visu saskarvirsmu, bet tikai dažos punktos, jo  $p$ - un  $n$ -vadītspējīgo oksīda kārtiņu virsma bija neregulāra.

To visu saprast izdevās daudz vēlāk, kad primitīvo detektoruztvērēju vietā jau sen bija stājušies superheterodīni, kas darbojās ar lampām, un «klausoņi» bija kļuvuši par augstākās klases radistiem, kuri prata nodibināt radiosakarus ar jebkuru zemeslodes nostūri. Tajā laikā izvirzījās jaunais un svarīgais uzdevums — radīt centimetru viļņu diapazonā strādājošu kristāldetektoru.

Fiziķi, kas pētīja cietvielas, gan kristālu dabu, gan arī pusvadītājos norisošās elektriskās parādības jau bija paguvuši labi izpētīt. Īpaši lieli nopelni šajā jomā bija padomju zinātniekam akadēmiķim A. Jofem, japāņu zinātniekiem Torikatam un Jokojamam, vācu pētniekam Karlam Braunam un angļu zinātniekam Iklzam.

Tehnika savukārt bija iemācījusies iegūt supertīrus silīcija un germānija kristālus, kā arī tajos ievadīt  $n$ - un  $p$ -vadītspējas radīšanai nepieciešamos piemaisījumus.

Priekšstatu par šī uzdevuma sarežģītību var sniegt šādi skaitļi. Kristālos, ko paredzēts izmantot pusvadītājiēriču ražošanā, ir pieļaujams tikai viens blakuspiemaisījumu atoms uz miljardu germānija atomu vai uz tūkstoš miljardiem silīcija atomu! Tikai no šādiem supertīriem kristāliem, kuriem pēc tam ir piešķirta  $n$ - un  $p$ -vadītspēja, var izgatavot ierīces, kas spēj izpildīt lampu funkcijas, — pusvadītājdiodi (sk. 5.34., kā arī 5.43.) un pusvadītājtīriodi jeb tranzistoru (sk. 5.39.—5.42.). Pirmo pusvadītājtīriodi amerikāņu fiziķi Dž. Bārdīns un V. Brateins uzbūvēja 1948. gadā. Germānija kristālā, kuram bija  $n$ -vadītspēja, viņi ielodēja divus punktveida elektrodus ar  $p$ -va-

---

\* 5.34.—5.42. paragrāfā runa bija par virsmas (jeb plaknes) diodēm un tranzistoriem; tuvāk šis termins netika paskaidrots. Tā sauc pusvadītājiēriēces, kur  $p$ -apgabalu un  $n$ -apgabalu vienu no otra atdala virsma, kuras laukums ir liels — parasti vienāds ar kristāla šķērsriezuma laukumu. Bez tam ir pazīstamas punkta diodes, kur šis laukums ir mazs (līdzīgs «punktam»). Tās var saukt par kristāldetektora (sk. paragrāfu «Magiskā punkta noslēpums») moderno variantu, kas realizēts, zinot, ka vajadzīgi  $p$ - un  $n$ -apgabali, pāreja starp tiem utt. Šādas diodes lieto augsto un ļoti augsto frekvenču diapazonā. (Sk. arī turpmāk.)

diņspēju. Vēlāk šādas triodes, atšķirībā no virsmas triodēm nosauca par punkta triodēm (5.39.—5.42.).

Pirmo virsmas triodi amerikāņu fiziķis V. Šoklijs radīja 1951. gadā.

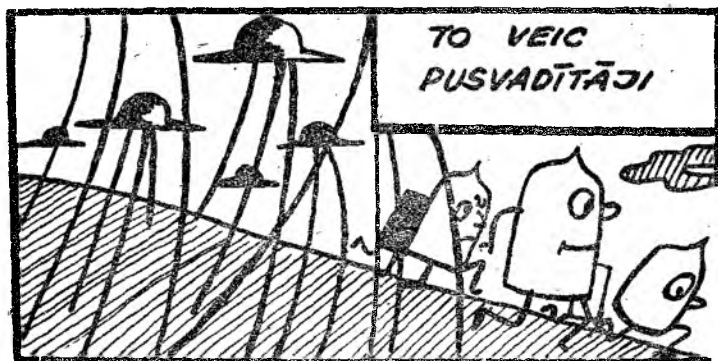
Pasaule novērtēja šo darbu nozīmīgumu. Trim pirmo pusvadītājtriožu radītājiem 1956. gadā tika piešķirta Nobela prēmija.

Kad bija izgudroti tranzistori, visi elektroniskās aparātūras konstruktori centās tos izmantot visur, kur vien iespējams, lampas arvien vairāk aizmirsdami. Tiem bija ļoti daudz dažādu priekšrocību, ne jau tikai mazie izmēri vien. Tranzistori patērē mazāk enerģijas un var kalpot apmēram desmit reizu ilgāk nekā vakuumlampas.

Pusvadītājerīcēm nav vajadzīgs kvēldiegs, kas ir nepieciešams ikvienā elektronu lampā. Šī mazā detaļa ir saistīta ar lielām nepatīkšanām. Vispirms jau tas, ka gandrīz pusi, bet nereti arī vairāk no lampas patērētās jaudas «apēd» kvēldiegs.

Lampu ieslēdzot un atslēdzot, kvēldiegs te sakarst, te atdziest. Šie «nervu satricinājumi» tam ir ļoti kaitīgi (kaitīgāki nekā «mierīgs un nepārtraukts» darbs — gluži kā cilvēkam!), un tāpēc parastais cēlonis, kura dēļ lampa pārstāj darboties, ir kvēldiega pārdegšana.

Pietiek jau ar šo vienu priekšrocību, ar to, ka pusvadītājerīcēm nav vajadzīga kvēle, lai speciālists visur, kur vien iespējams, vakuumlampas censtos aizstāt ar tām. Bet, ja ievērojam arī lielo mehānisko izturību, mazos izmērus un svaru, tad kļūst skaidrs, ka pusvadītājerīču parādīšanās nozīmēja elektronikas otru dzimšanu, jauna, ārkārtīgi daudzpusīga un auglīga attīstības posma sākšanos.

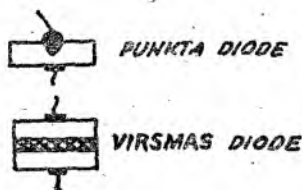


PAMATS IR ŠĀDS

### 5.43.

Pirmajās pusvadītājdiodēs lietotie punktveida elektrodi aizstāja adatiņu un atsperiti, kas savā laikā «klausoņiem» tika sagādājušas tik daudz rūpju un nepatīkšanu.

Punkta diodes labi detektē SAF signālus, jo punktveida elektroda («kontakta») barjerkapacitāte ir ļoti maza. Bet tām ir arī būtisks trūkums: pa mazo kontaktvirsmu nevar plūst slīpa strāva.



Virsmas diodēs šis trūkums ir novērsts. To kapacitāte ir stipri lielāka; toties to strāva var sasniegt divus tūkstošus ampēru (2 kA).

### 5.44.

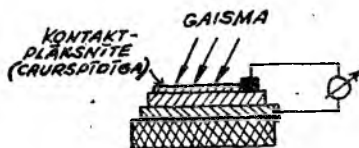
Pusvadītājdiodes tiek izmantotas ļoti daudzveidīgi.

Piemēram, plaši lieto tā sauktās *fordiodes*, ar kurām gaismas staru enerģiju pārvērš elektriskajā.

Tās ir pamatā Saules baterijām, kas dod enerģiju kosmiskajiem kuģiem un Zemes mākslīgajiem pavadoņiem. Tiek pētītas iespējas būvēt rūpnieciskas elektrostacijas, kurās enerģiju iegūtu tieši no Saules gaismas.

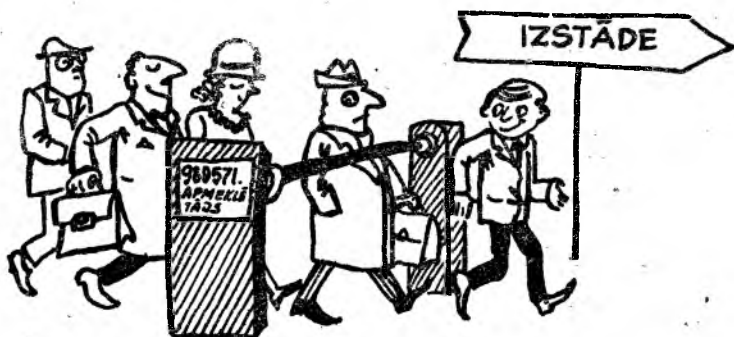
Daudzu rūpnīcu cehos fotodiodes palīdz radīt drošus darba apstākļus. Piemēram, ja strādnieks roku aizizklaidības ievirza bīstamajā zonā, stars izbeidzas un fotodiodes signāls (jeb, labāk sakot, šī signāla pārrūkšana) darbmāšīnu acurmirkli aptur.

Fotodiodes, kas pieslēgtas elektriskajiem impulsu skaitītājiem, var noderēt jebkuras «saskaitāmas» produkcijas skaitīšanai. Var, piemēram, arī saskaitīt metropolitēna pasažierus vai



kādas izstādes apmeklētājus utt.

«Fotoactīva», ja to atbilstoši «apmāca», derīgo produkciju var atšķirt no brāķa (protams, ja brāķa pazīmes ir «redzamas»). Piemēram, ja detaļai nav nepieciešamo caurumu, «actīva» dod komandu automātam, kas šo detaļu novāc no konveijera.



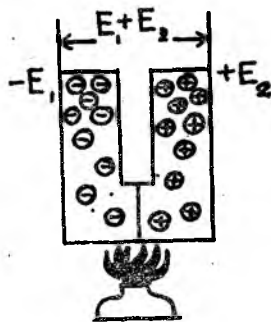
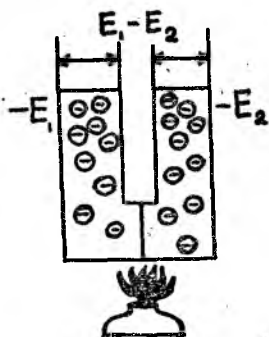
## 5.45.

Pusvadītāji ir pavēruši iespēju siltumenerģiju tieši pārvērst elektriskajā enerģijā.

Metāla termopāri bija pazīstami jau sen. To darbības pamatā ir termoelektriskais efekts, kas izpaužas, ja divu dažādu metālu

savstarpējo savienojumu vietas atrodas dažādā temperatūrā.

Vienu no savienojumu vietām sildīdami, mēs abu metālu elektronus padarām enerģiskākus, un neliela to daļa aizskrien projām no savām orbitām, iegūdami



«kāroto» brīvību (sk. arī 1.8.). Bet, tiklīdz tas ir noticis, «atbrīvojušies» elektroni sāk justies «neērti», jo tie visi ir negatīvi elektrizēti un tātad cits citu atgrūž. Tie dodas prom uz metāla stieņu aukstākajiem galiem.

Tagad seko galvenais. Tā kā metāli ir dažādi, tad dažāda ir arī tajos esošo elektronu «atbrīvotības» pakāpe. Tāpēc starp stieņiem rodas potenciālu starpība: viens «mīnuss» pēc absolūtās vērtības ir lielāks par otru; kurš īsti, tas atkarīgs no izmantotajiem metāliem (un dažreiz arī no temperatūras). Potenciālu starpība ir  $E_1 - E_2$ .

### 5.46.

Dabā noris daudz apgriezamu procesu.

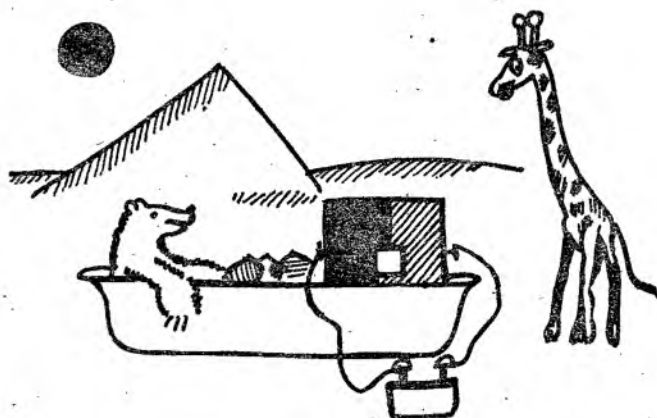
Piemēram, vienos gadījumos strāva ierosina magnētisko lauku, otros — mai-

Attēlā ir parādīta nenoslēgta ķēde un līdz ar to arī tikai viena — «karstā» — savienojuma vieta. Ja ķēdi noslēdzam (parasti to dara ar «trešo» metālu, piemēram, varu), pa to plūst strāva.

Ja metāla stieņu vietā izvēlamies pusvadītājmateriālus ar  $p$ - un  $n$ -vadītspēju, tad ierīces vienā galā sakrājas elektroni, bet otrā — caurumi. Tāpēc potenciālu starpība būs stipri lielāka: tā ir vienāda ar šo potenciālu absolūto vērtību (moduļu) summu  $E_1 + E_2$ .

Tāpēc pusvadītāju termopāriem lietderības koeficients var būt reizes piecdesmit lielāks nekā metāla termopāriem.

nīga magnētiskā lauka iedarbībā inducējas EDS un plūst strāva. Motoros strāvas un magnētiskā lauka mijiedarbības rezultātā ro-



das spēks un mehāniskā jauda; generatoros spēks tiek patērēts, lai pārvarētu magnētiskā lauka un tā inducētās strāvas mijiedarbības spēku un tādējādi ģenerētu elektrisko enerģiju, t. i., mehānisko enerģiju pārvērstu elektriskajā ūt.

Arī termopāri ir apgriezāmi.

Temperatūru starpība tajos izraisa elektrisko potenciālu starpību (sk. 5.45.).

Bet, ja termopārim no ārēja avota pievadām potenciālu starpību, tad starp tā savienojumu vietām rodas temperatūru starpība.

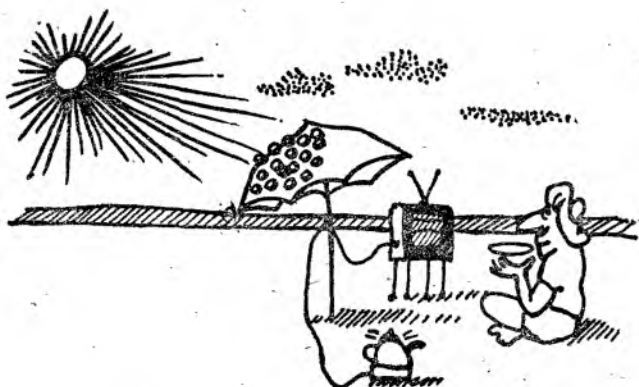
Sāvus eksperimentus savā laikā tika veicis jau akadēmiķis E. Lencs. Viņš tolaik Pēterburgā lasīja lekcijas. Izmantodams metāla termopāri, Lencs pārsteigtās publikas acu priekšā sasaldeja ledū ūdens lāsi.

Tomēr metāla termopāri ir mazefektīvi «aukstuma generatori»: temperatūru starpība tajos ir neliela, parasti tikai daži grādi. Toties pusvadītāju termopāris var nodrošināt pat grādu sešdesmit, lielu temperatūru starpību. Tas jau ir kaut kas.

## 5.47.

Pusvadītāji tika pavēruši iespēju pārvērst elektrībā enerģiju, ko satur dažāds starojums: radioaktīvais,

siltumstarojums (infrasarkanais starojums) un gaisma, tai skaitā arī Saules starojums.



Kā jau tika minēts, Saules baterijas ļoti ērtas ir Zemes mākslīgajos pavadoņos, jo kosmosā nekad nav apmācies: mākoņi paliek lejā.

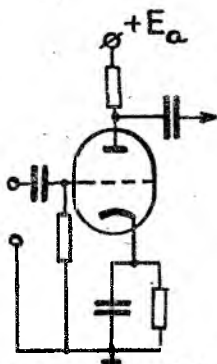
Ja pusvadītājdiodē līdzās novietojam radioaktīvas vielas gabaliņu, iegūstam *atombateriju*, kas var dot elektroenerģiju daudzus gadus no vietas.

### 5.48.

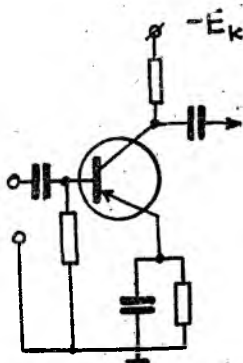
Pusvadītājdiodes (tranzistori) tehnikā ir izdarījušas īstu revolūciju. Par to nav jābrīnās. Jūs taču atceraties, cik bagātas iespējas

savā laikā pavēra vakuumdiodē. Tā ļāva radīt ģeneratorus un pastiprinātājus, jāucējus un modulatorus.

Tranzistors signālu pa-



LAMPU PASTIPRINĀTĀJS



PUSVADĪTĀJPASTIPRINĀTĀJS



stiprina ne sliktāk par va-  
kuumtriodi. Un arī tam rak-  
sturliknēs ir «liki» posmi;  
tāpēc ar signāliem tas var  
veikt visas dažādās operā-

cijas, ar kurām mēs iepazi-  
nāmies, ceļodami pa plašo  
un interesanto zemi, kuru  
nosaucām par «greizo spo-  
guļu karaļvalsti».

## ELEKTRONISKO «SMADZEŅU» PROJEKTS

Pašreiz pusvadītājerīces tiek izmantotas tik daudzās nozarēs, ka šo nozaru saraksts vien jau piepildītu vairākas lappuses. Iepriekšējos paragrāfos tika minēti daži raksturīgākie piemēri. Bet lasītājs var vaicāt: kāda iemesla dēļ saruna par pusvadītājiem risinās nodaļā «Gudro mašīnu elementi»?

Jautājums ir vietā. Pusvadītāji (un uz to pamata radītās integrālās shēmas, mikroprocesori utt.) ir vajadzīgi ne tikai elektroniskajiem skaitļotājiem vien. Par pusvadītājerīcēm interesējas dažādās nozarēs — sākot ar medicīnu un beidzot ar metalurģiju. Interesējas ne tikai speciālisti. Pusvadītājerīces vajadzīgas visiem. Pat gadījumā, ja mājās klausāmie lampu radiouztvērēju, ceļojumā mums gribas paņemt līdzī «mazu tranzistoriņu» (t. i., tranzistoru-tvērēju), kas ir tikai nedaudz lielāks par etviju.

Nav šaubu — tāds uztvērējs ir ērts. Bet, ja sāksim analizēt ESM un automātu darbību, tad redzēsim, ka to izmēri un svars nav tikai ērtības jautājumi: ar tiem saistīts šo iekārtu «būt vai nebūt».

Piemēram, ārkārtīgi vajadzīga ir tāda ESM, kas spētu vadīt lidmašīnu. Lidmašīnu ātrums ir kļuvis tik liels, ka pilots vairs nepaspēj pieņemt nepieciešamos lēmumus. ESM «domā» nesalīdzināmi ātrāk. Tomēr nelaime ir tā, ka ESM «domā» tikai savu programmu ietvaros. Bet lidojumā var atgadīties tik daudz kas, apstākļi var mainīties tik strauji un dažādi, ka to visu iepriekš paredzēt un ieprogrammēt nav iespējams. Tāpēc ESM ir sliktāka par pilotu. Lai tomēr tā nebūtu, lai tās iespējas būtu maksimāli pietuvinātas pilota spējām un prasmei, vajadzīgas ļoti sarežģītas shēmas, liela apjoma atmiņas iekārta, spēja uzkrāt pieredzi un «pašai sevi apmācīt», kļūstot aizvien «gudrākai». Ja izveidotu konstrukciju, kas apmierinātu visas šīs prasības, tad ESM būtu tik liela un smaga, ka to nevarētu dabūt iekšā nevienā lidmašīnā, kur nu vēl pacelt gaisā.

Tātad šeit izvirzās divas pretrunīgas prasības: no vienas puses, ESM jābūt pēc iespējas kompaktākai, no otras — pēc iespējas «gudrākai».

Lai šī pretruna kļūtu uzskatāmāka, aplūkosim šādu piemēru. Pieņemsim, ka ir atradies konstruktors, kas uzņēmis uzbūvēt tikpat pilnīgu ESM, cik pilnīgas ir cilvēka smadzenes. Viņam izvirzās milzum daudz jautājumu. Kādas šūnas lai izvēlas? Kā lai tās saslēdz shēmās? Kādai jābūt programmai?

Bet droši vien jau pirms šo jautājumu risināšanas konstruktors vēlēšies kaut vai galvenajos vilcienos saprast, kādas īsti varētu izskatīties viņa konstruētās «smadzenes».

Pēc jaunākajiem datiem, galvas smadzeņu garoza satur  $10^{10}$  šūnu (neironu). Iespējams, ka īstenībā šis skaitlis ir krietni lielāks: pagaidām taču ir iegūts tikai aptuvens novērtējums.

Bet pieņemsim, ka to patiešām ir «tikai»  $10^{10}$ . Kādas varētu izskatīties «smadzenes», kurās  $10^{10}$  neironu vietā ir, teiksim,  $10^{10}$  triggeru?

Ja konstruktors gribēs izmantot parastās lampas un ķēžu elementus, tad, padarbojies ar modeļiem, viņš novērtēs, ka vienā kubikdecimetrā var izvietot ap simt detaļu (ievērojot to, ka detaļas ir dažāda lieluma, ka jāatstāj vieta paneliņiem, savienotājvadiem utt.).

Katrā triggerā ir 10 detaļu, tātad  $10^{10}$  triggeros to ir  $10^{11}$ . Tātad ESM tilpums būs

$$10^{11}/100 = 10^9 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ m}^3.$$

So tilpumu var diezgan labi iztēloties: gigantiska «kaste» ar 10 reiz 10 metru šķērsriezumu un turklāt vēl 10 kilometrus garā! Solīdas «smadzenes»! Un cik jaudīgu barošanas avotu tām vajadzēs? Labāk jau nerēķināt...

Bet, ja šādu fantastisku iekārtu tomēr uzbūvētu, vai tā spētu darboties — kaut vai aptuveni tikpat labi kā īstas smadzenes? Nē!

Vispirms jākonstatē, ka mašīna būs ļoti nedroša darbā. Pat tad, ja ik triggers sabojātos tikai reizi piecos gados, mūsu «smadzenēs» ik sekundi sabojātos..., 60 triggeri.

Protams, kamēr «mašīna» kopumā un arī katrs triggers atsevišķi nav nolietojušies, šis skaitlis varētu būt arī mazāks. Bet... tam nav nozīmes

Elektroniskās shēmas taču tiek veidotas tā, ka jebkura elementa sabojāšanās dēļ pārstāj darboties visa iekārta. Skaidrs, ka mūsu «smadzenes» visu laiku būs bojātas: strādāšanas vietā — nepārtraukts remonts.

Tomēr pieņemsim, ka laimīgas sagādīšanās rezultātā šīs fantastiskās «smadzenes» kādas 5—10 minūtes ir kārtībā un strādā. Vai tām šajās minūtēs izdotos apliecināt savu «gudrību»? Protams, ka ne. Lieta tāda, ka īstu smadzeņu iespējas nosaka ne jau tikai neironu skaits. Galvenais ir to kopdarbība. Ja pat izdotos uzbūvēt iekārtu, kurā ir  $10^{10}$  trigeru, tad tomēr nevienam vēl nav skaidrs, pēc kādas shēmas tie jāsavieno savā starpā (un, piebūvēsim, arī ar «ārpusauli»; t. i., neviens īsti nezina, kā jāorganizē datu ievade un izvade). Un vispār trigers nemaz neaizstāj neironu. To līdzība ir šāda: kā vienam, tā otram ir divi stāvokļi, kurus var apzīmēt ar binārajiem skaitļiem «1» un «0» (sk. 5.5.—5.8.). Bet trigers uz visiem pienākošajiem impulsiem reaģē vienādi, turpretī neirons «pazīst» to intensitāti un frekvenci un «prot» atšķirt impulsu no impulsa. Trigeram ir tikai viena ieeja, turpretī neirons ir saistīts ar daudziem citiem neironiem, un tā «atbildi» nosaka visi impulsi kopā, kā arī tas, no kurienes tie nāk. Tātad, veidojot neirona modeli, ar vienu trigeru nevar iztikt: «mākslīgā neirona» shēmai jābūt daudz sarežģītākai.

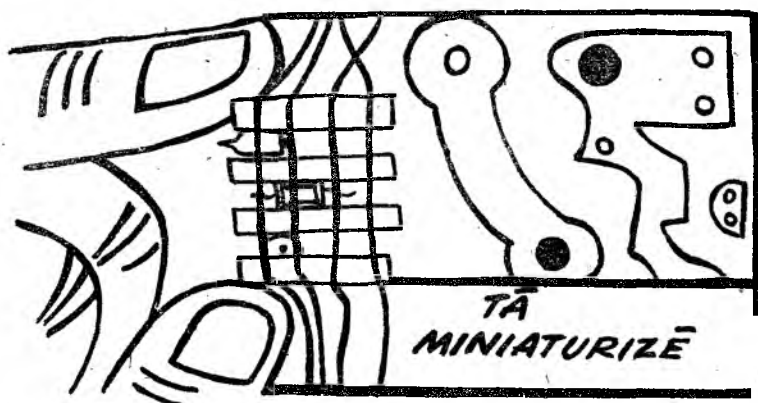
Visu šo iemeslu dēļ šodien diez vai atradīsies konstruktors, kurš gribētu ķerties pie elektroniskajām «smadzenēm» kopumā.

Toties daudzi interesējas par smadzeņu pamatelementu — neironu — un vēlas radīt tā modeli. Ir izveidotas vairāk nekā simt shēmas, kuras darbojas līdzīgi neironam. Uzsvērsim «līdzīgi», tāpēc ka dzīvā neirona īpašības vēl nav līdz galam izpētītas.

«Mākslīgos» neironus sauc par neiristoriem vai arī par artroniem. Tie visi (t. i., visas ieteiktās modelējošās shēmas) ir daudz sarežģītāki par trigeru, un elementu (daļu) skaits tajos ir reizes desmit lielāks.

Ja tātad kādam ienāktu prātā doma no šiem neiristoriem vai artroniem (kuru skaits tātad būtu  $10^{10}$ ) uzbūvēt mākslīgās smadzenes, to tilpums būtu vēl desmit reizes lielāks par iepriekš aprēķināto. Pirmajā brīdī uzdevums šķiet utopisks. Tomēr ar secinājumiem nesteigsimies. Mēs taču neesam ņēmuši vērā nākotnes elektronikas iespējas.

Kāpēc jābūvē «lampu» smadzenes, ja mums ir pusvadītājerīces? Un vēl arī jāievēro, ka tad, kad šīs ierīces bija radušās, speciālisti bija spiesti revidēt visu elementu un bloku konstrukciju, vispirms tās *miniaturizējot*, bet pēc tam arī *mikrominiaturizējot* — to izmērus samazinot tūkstošiem un simtiem tūkstošu reizu.



PAMATS IR ŠĀDS

### 5.49.

Nolikti līdzās lampai, spole, kondensators un rezistors vienmēr ir izskatījušies mazi. Turpretī salidzi-

nājumā ar pusvadītājiem cēm vecās konstrukcijas elementi ir gandrīz vai milži.

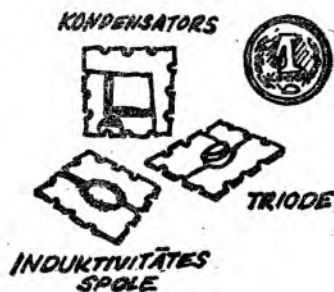
### 5.50.

Reizē ar pusvadītājiem cēm elektroniskās aparatūras ražošanā sāka ieviesties iespīstās shēmas. Uz izolējošas plāksnes (plates), at-

stājot vietu tranzistoriem un pusvadītājdiodēm, «uzzīmē» un iespīē rezistorus, kondensatorus, spoles un savienotājvadus.

### 5.51.

Cenzdamies samazināt elektronisko ierīču tilpumu, konstruktori secināja, ka daudz tukšas vietas paliek dažādu detaļu (diožu, spoļu, kondensatoru utt.) dažādā «fasona» dēļ. Radās ideja



tās unificēt. Uz vienāda lieluma kvadrātiskām plāksnītēm tika montēti tranzistori,

diodes, kondensatori, rezistori — ik uz plāksnītes pa elementam.

### 5.52.

Plāksnītes izvietoja citu virs citas, tā ka radās kaut kas līdzīgs grāmatplauktam: plauktos ir salikti elementi, bet pa statņu «kājām» cirkulē strāva. Konstruējot šādu bloku, svarīgi ir nesajaukt plauktus un statnes. Piemēram, kreisās statnes vidējai «kājiņai» kondensators, kas atrodas



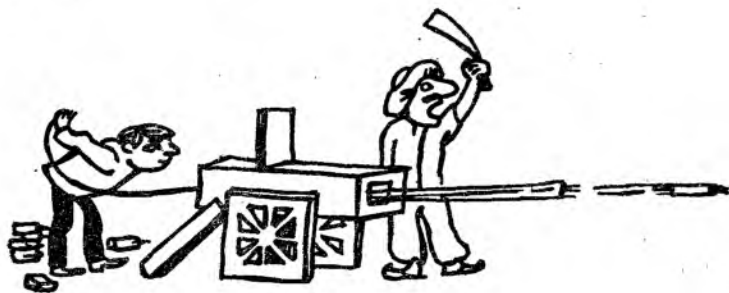
augšējā plauktā, jāsavieno ar vairākus «stāvus» zemāk esošās triodes kolektoru.

### 5.53.

Samontēto shēmu pielej ar speciālu masu, un «grāmatplaukts» pārvēršas par monolītu miniatūrbloku jeb tā saukto *mikromoduļbloku*.

Mikromoduļu elektronisko ierīču tilpums ir aptuveni divus tūkstošus reižu mazāks par analogisko lampu ierīču tilpumu.

### 5.54.



Bez tam mikromoduļu ferīces ir ārkārtīgi izturīgas. Lampu radiouztvērējs triecienu un vibrāciju rezultātā sabojājas, turpretī mikro-moduļi spēj izturēt pat stiprus sitienus.

## 5.55.

Nākamais posms elektroniskās aparatūras miniaturizācijas ceļā bija *plānās plēves*.

Uz izolatora plāksnītes uzklāj metāla vai pusvadītājmateriāla plēvi. Tās biežums ir ārkārtīgi mazs: reizēm to izvēlas vienādu ar vienmērīgā slānī noklātu molekulu diametru.

Tādus slāņus sauc par *vienmolekulāriem slāņiem*.

Plānajai metāla plēvei ir ļoti liela pretestība. Tāpēc viena milimetra garumā var izveidot rezistorus ar miljoniem omu lielu pretestību.

Plēves kondensators līdzinās trīskārtinai sviestmaižei (sendvičam): metāla, tad dielektriķa (izolatora),

To izturību pārbauda, tos izšaujot no īpaša lielgabala. Ja pēc šāda «nervu satricinājuma» bloks joprojām darbojas, tad tā izturība ir pietiekama.

tad atkal metāla plēve. Tā kā dielektriķa plēves biežums ir ārkārtīgi mazs, tad kondensatora kapacitāte, par spīti mazajam klājumam, var būt liela (sk. arī 3.21.).

Arī tranzistori ir tādi paši «sendviči»: vispirms, piemēram, plēve ar *p*-vadītspēju, tad ar *n*-vadītspēju, pēc tam atkal ar *p*-vadītspēju.

Šādi tranzistori var būt neticami mazi. Uz pastmarkas tādu var novietot ap divdesmit tūkstošus!

Vai tas visnotaļ uzskatāmi neilustrē «mikroskopiskās elektronikas» pēdējo gadu sasniegumus? Ar 20 000 vakuumlampām būtu pilns vesels vagonis!

## 5.56.

Superminiatūrelektronikas attīstības un tās ieviešanas tempi patiešām ir grandiozi. Elektroniskās skaitļošanas tehnikas mūžs ir apmēram trīs gadu desmiti vai ne-





PUSVADĪTĀJU ESM



PLĒVJU ESM

daudz vairāk. Un šajā nelielajā laikposmā cita citu ir paspējušas nomainīt jau piecas ESM paaudzes!

Superminiaturēlektronisko ierīču tehnikas pēdējais vārds ir *cietvielas shēmas*.

To radītāji par izejmateriālu izmanto keramiku vai arī pusvadītājkristālu, ko apstrādā ar fizikāliem un ķīmiskiem paņēmieniem.

Materiāla virsmu pārklāj ar supersmalku «rakstu». Vienās vietās materiālu ķīmiski kodina un oksidē, otrās — difūzijas ceļā pārklāj ar plēvēm, trešajās apstrādā termiski, ceturtajās — ar elektrisko vai magnētisko lauku.

Šādas apstrādes rezultātā uz materiāla virsmas izveidojas sarežģīts mikrošūnu tīkls. Katrai mikrošūnai piemīt noteiktas elektriskās un magnētiskās īpašības. Apstrādāto virsmu pārklāj ar stikla pārsegumu, un cietvielas shēma ir gatava. Katra tās mikrošūna darbojas kā vesela shēma, kas sastāv no daudziem tranzistoriem, rezistoriem, diodēm,

spolēm un kondensatoriem.

Cietvielas shēmām ir daudz izcilu īpašību: tās ir izturīgas un darbā drošas, patērē maz enerģijas, un to tilpums ir ārkārtīgi mazs. Piemēram, elektroniskais bloks, kas var izpildīt veselu skaitļošanas vai loģisko operāciju kompleksu, ir «izverams caur adatas aci»!

Patiešām var teikt, ka cietvielas shēmu radītāji prot strādāt gandrīz tikpat izveicīgi kā daba: nelielā materiāla graudiņā noris sarežģīti, savstarpēji saistīti, mērķtiecīgi procesi, kūsā savdabīga «elektroniskā dzīve».



CIETVIELU SHĒMU ESM

Mākslīgās «smadzenes», kas izveidotas no mikromoduļu blokiem, būtu 2000 reižu mazākas par lampu «smadzenēm». Tomēr sistēma, kas saturētu  $10^{10}$  šādu elektronisko «neironu», vēl piepildītu 5000 m<sup>3</sup> lielu tilpumu, t. i., «kaste» būtu 10 metrus plata, 5 metrus augsta un simt metrus gara. «Smadzenes», kas būtu izveidotas no plānajām plē-

vēm, aizņemtu vēl 100 reižu mazāku tilpumu, t. i., «kaste» varētu būt piecus metrus plata, metru augsta un desmit metrus gara.

Cietvielas «smadzenes» būtu vēl mazākas. Protams, līdz dabas radītajai pilnībai vēl būtu tālu; tomēr atsevišķas smadzeņu funkcijas tāda iekārta jau varētu izpildīt daudz labāk.

## KĀ MODELĒT DZĪVAJĀS BŪTNĒS NORISOŠOS PROCESUSI

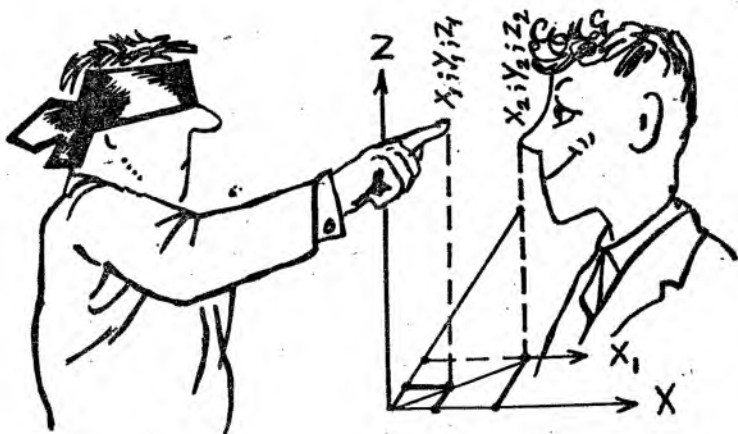
Pēdējos gadu desmitos elektronika ir radījusi ļoti daudz dažādu modeļu (sk. 5.17.). Ir tikuši modelēti metālu kausēšanas režīmi un to mehāniskās apstrādes cikli, šāviņu, raķešu un lidmašīnu lidojumi, ķīmiskie un fizikālie procesi, dažādu transporta veidu darbs, finansu operācijas un saimniecisko plānu izpildes gaita.

Tomēr vissarežģītākie vienmēr ir bijuši un arī pašreiz ir dzīvā organismā norisošo procesu modeļi. Sāksim ar vienkāršu piemēru.

Vai Jums ir gadījies tumsā meklēt pašiem savu degunu? Un, ja ir, vai nebija grūti sataustīt degungalu ar pirkstu? Protams, nebija. Bet tagad pamēģiniet tumsā sameklēt kāda cita degungalu. Tas jau būs grūti — vajadzēs ilgi grābstīties ar rokām pa gaisu, kamēr tīri nejauši tam uzgrūdisities. Bet ja nu deguna īpašnieks sāks grozīt galvu? Atkal nāksies visu meklēšanu sākt no sākuma. Tikai Jūsu pašu deguns tumsā nepazūd un vienmēr ir viegli atrodams. Kāpēc?

Tāpēc, ka smadzenes uztver signālus no sejas un no rokas muskuļiem. Smadzenes salīdzina rokas un sejas stāvokļus un aprēķina kļūdas signālu jeb, kā mēdz izteikties matemātiķi, koordinātu starpību. Jebkurā brīdī smadzenes var noraidīt izpildorgānam (rokai) tādu komandu, ka kļūdas signāls kļūst vienāds ar nulli.





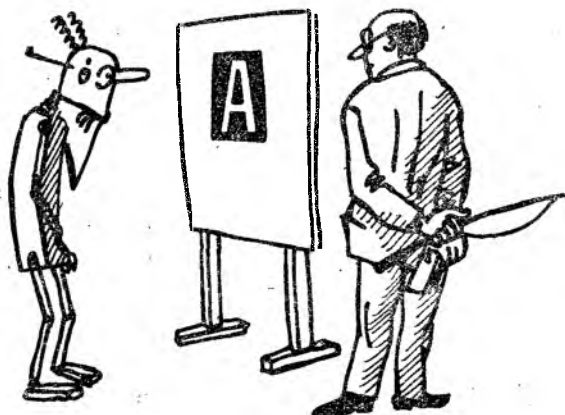
Tādā pašā «sekošanas režīmā» smadzenes var strādāt arī attiecībā uz jebkuriem «ārējiem» priekšmetiem, to vidū svešu degungalu, bet tikai ar vienu nosacījumu — ja tie ir apgaismoti (vai arī konstatējami kaut kā citādi). Smadzenes uztver signālus no Jūsu acīm, kuras fiksē priekšmetu stāvokli, un no Jūsu rokas. Bet tumsā sekošana nav iespējama. Lai tā būtu iespējama, vajadzīga gan tiešā, gan arī atgriezeniskā saite. Pa tiešās saites ķēdēm smadzenes noraida muskuļiem komandas, pa atgriezeniskās — uztver signālus par to, kur atrodas priekšmets.

Saites dzīvajā organismā ir ļoti līdzīgas saitēm jebkurā «sekošanas» automātā. Kā vienā, tā arī otrā gadījumā sistēmā ir regulēšanas objekts, izpildorgāns, kļūdas signāli, tiešā un atgriezeniskā saite.

Ar to patiesībā arī sākās kibernetika kā zinātne: tika noskaidroti vispārīgie vadības principi, kurus izmanto gan automāts, gan dzīvais organisms. Tomēr līdzība ir tikai aptuvena; pastāv arī atšķirības, no kurām daudzas vēl jāprojām nav pietiekami izpētītas.

Zinātnieki ir iemācījušies samērā labi modelēt muskuļu darbību. Ir uzbūvēta pat automātiskā roka, kura, saņemdamā pastiprinātus bioimpulsus no cilvēka rokas muskuļiem, precīzi atkārtot visas tās kustības.

Smadzeņu modelēšana ir daudz sarežģītāka. Un tomēr arī šajā jomā kaut kas ir sasniegts. Tiesa, pagaidām var runāt tikai par atsevišķu funkciju modelēšanu — un arī tajā ir jāsastopas ar nopietnām grūtībām. Par to nebūtu jābrīnās: smadzenes taču ir vissarežģītākā sistēma pasaulē, un turklāt inženieru rīcībā nav ne instrukciju, ne



shēmu. Ielūkoties smadzenēs tad, kad tās strādā, viņi nespēj pat zagšus; viņi ir spiesti apmierināties ar hipotēzēm, kuras tiek pārbaudītas, izmantojot elektroniskos modeļus. Bet, kā jau teikts, pat šis aplinku ceļš jau ir devis samērā daudz.

Visspilgtākais piemērs šai jomā laikam ir iekārta, kas pazīst priekšmetus pēc izskata, t. i., spēj «redzēt» un, galvenais, pazīt redzēto. Šo iekārtu (mašīnu) sauc par perceptronu. Perceptrona acs satur simtiem fotoelementu, bet tā mākslīgās smadzenes — tūkstošiem elektronisko «neironu», kas ir apvienoti sarežģītā sistēmā («tiklā»).

Perceptrona apmācīšanas process atgādina dzīvnieka dresēšanu. Mašīnai parāda burtu, kas tai jāatšķir no citiem burtiem. Ja mašīna to «pazīst», tad tās «smadzenēm» noraida «apbalvojuma signālu», kura uzdevums ir nostiprināt («nofiksēt») saiti, kas nodibinājusies starp neironiem. Dresētājs dzīvniekam tādos gadījumos parasti izsniedz tā iemīļoto gardumu. Ja turpretī mašīna tai parādīto burtu sajauc ar kādu citu, tai tiek raidīts «soda signāls» (tas aizstāj pātagu). Burtu «redzējusi» reizes desmit, piecpadsmit, mašīna to sāk nekļūdīgi «pazīt» pat gadījumā, ja ir mainīti tā izmēri vai arī tas ir nodrukāts, izmantojot kādu citu «garnitūru» (raksta paveidu).

Viens no perceptroniem ir radīts Kijevā, otrs — Kornela universitātē (ASV). Amerikāņu perceptrona pāsūtītājs bija kara resors. Šis perceptrons pazīst ne tikai iespēstus burtus. Viņš tika apmācīts «pazīt» angāru un aerodromā atrodos lidmašīnu pēc to attēliem aerofotouzņēmumā.

## DABAI TĀS VISS JAU SEN ZINĀMS

Nav šaubu, ka dzīvā organisma procesu modelēšanā elektronika ir daudz ko sasniegusi. Bet vēl vairāk (kā vienmēr) ir neskaidrā. Daudz kas vēl jāizpēta un jākonstruē no jauna.

Lūk, kādos apstākļos divu zinātņu — bioloģijas un elektronikas — saskares vietā dzima jauna disciplīna, ko nosauca par bioniku, — dzima par spīti tam, ka abi tās «vecāki» šķita esam pilnīgi dažādi. Patiesībā atklājās, ka, tieši otrādi, bioloģijai un elektronikai ir kopīgas intereses un abas šīs zinātnes var lielā mērā viena otrai palīdzēt.

Kā vienmēr, viss sākās ar mazumiņu. Jau sen bija pamaniēts, ka dažu kukaiņu sugu tēviņi aizlido prom no mātītēm daudzus kilometrus, bet pēc tam nekļūdīgi pie tām atgriežas.

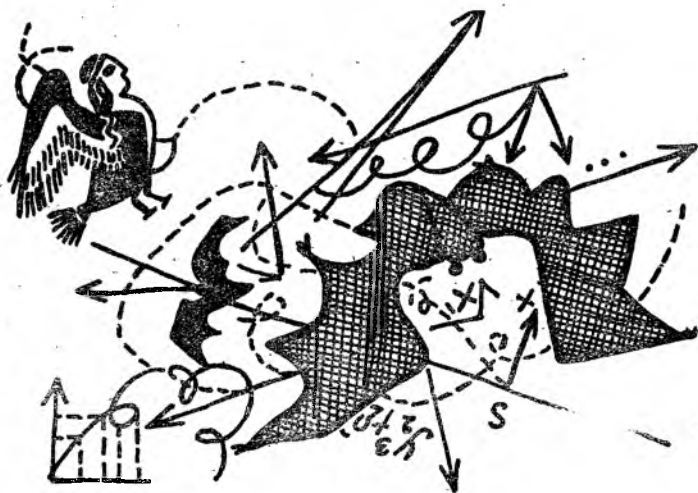
Franču entomologs Z. Fabrs izvirzīja hipotēzi, ka starp tāda pāra partneriem pastāv radiosakari. Lai to pārbaudītu, viņš naktstauriņa «pāva mazā acs» mātīti ielika būrītī, un neilgā laikā pie tās no visām pusēm salidoja ap sešdesmit tēviņu. Tos noķēra, iezīmēja un aizveda uz dažādām debespusēm vairākus kilometrus tālu. Pēc četrdesmit minūtēm tie atkal bija atgriezušies pie mātītes!

Tālāk Fabrs pieņēma, ka sakariem tiek izmantots infrasarkano staru diapazons. Lai par to pārliecinātos, viņš mātīti ielika stikla burkā; stikls, kā zināms, infrasarkanos starus nelaiž cauri. Pieņēmums apstiprinājās: «uzticīgie bruņinieki» pie savas drāudzenes vairs nelidoja.

Turpmākā hipotēze bija tāda, ka antena, kas uztver infrasarkanos starus, ir kukaiņu taustekļi («ūsiņas»). Un tiešām: ja tēviņiem nogrieza taustekļus, tie arī vairs nevarēja atrast mātīti.

Sākumā šādi atklājumi izraisīja daudz šaubu. Bija grūti pierast pie domas, ka radio, kas tika uzskatīts par vienu no dižākajiem 20. gadsimta lolojumiem, pirms daudziem desmitiem, pat simtiem miljonu gadu jau ir «izgudrojusi» daba. Vai tiešām visu ar radio saistīto izgudrojumu prioritāte pieder tikai tai?

Tomēr faktu krājās aizvien vairāk un vairāk, un beigu beigās cilvēki saprata, ka daba ir ne vien daudz ko izgudrojusi, bet arī savus izgudrojumus izveidojusi tik pilnīgus, ka tās «ierīču» un «metožu» īpašības un parametri vēl šodien nav pārspēti (un nav arī zināms, vai vispār kādreiz tiks pārspēti).



Daudzu šādu «ierīču» īpatnības un «tehniskie dati» ir sīki izpētīti. Piemēram, ir noskaidrots, ka sikspārni daba ir apgādājusi ar savdabīgu lokatoru, kas darbojas ultraskaņas diapazonā. Lokators raida impulsu virkni; impulsa ilgums ir divas milisekundes. Impulsa laikā mainās (robežās no 45 līdz 90 kiloherciem) nesējfrekvence. Tātad daba prot izmantot arī frekvenču modulāciju! Impulsi cits citam seko ar 10 līdz 12 hercu frekvenci; kad sikspārnis pielido tuvu klāt šķērslim, impulsu sekošanas frekvence pieaug līdz 250 herciem.

Bet kodēm, sikspārņu gardumam, ir ausis, kas līdzinās maziem mikrofoniem. Tās spēj uztvert visas svārstības, ko raida sikspārņu «lokators». Zinātniekiem ir izdevies konstatēt, ka kožu dzirdes diapazons ir no 10 līdz 100 kiloherciem.

Vēl vairāk: šo mikrominiaturizēto «ierīci» ir izdevies pievienot pastiprinātājam un tā izveidot lielisku uztvērēju, ar ko var pētīt un mērit sikspārņu raidītos signālus.

Tas, ka stāstā par sikspārni un kodē ir tik daudz skaitļu, var likties neparasti un dīvaini. It kā runa būtu nevis par dzīvām būtnēm, bet gan par inženieru konstruētām tehniskām iekārtām.

Bet tā nu tas ir. Bionikas jaunākie sasniegumi atzvēn pārliecinošāk apstiprina, ka daudzu bioloģijas problēmu risināšanā eksakti inženieriska pieeja ir vietā.

Kas ir redzējis sikspārni lidojam, droši vien ir ievērojis arī to, cik sarežģīta ir viņa lidojuma trajektorija. Sikspār-

nis mētājas no vienas puses uz otru, turklāt šķietami bez mērķa. Patiesībā katra viņa kustība ir precīzi aprēķināta. Lidojumā noķēris kārtējo kukaini, sikspārnis momentāni maina kursu un metas pakaļ nākamajam upurim, kas iekļuvis viņa «lokatora» redzeslaukā. Zinātnieki ir aprēķinājuši, ka vidēji 6 sekundēs sikspārnis iznīcina pa in-sektam.

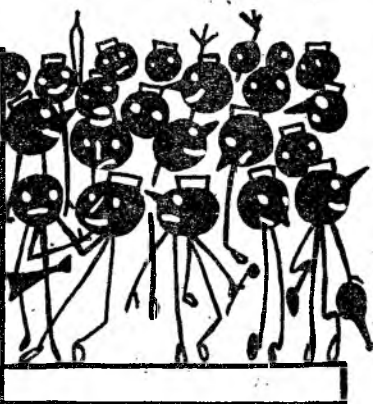
Aprīnojami pilnīgais «lokators», ar ko daba ir apgādājusī sikspārni, ļauj tam pastāvīgi kontrolēt apkārtni. «Lokators» nodrošina gan to, ka sikspārnis var sekmīgi medīt kukaiņus, gan to, ka lidodams tas nekad neuzdrāžas virsū šķēršļiem: viņš laikus tos pamana un no tiem izvairās.

Darba režīms sikspārņa «lokatoram» lielā mērā ir tāds pats kā lidlauka lokatoram, kura uzdevums ir kontrolēt apkārtējo gaisa telpu un nodrošināt lidmašīnu nolaišanos un pacelšanos, kā arī gādāt, lai tās uzņemtu pareizo kursu. Tomēr tiem ir arī pārsteidzoša atšķirība: lidlauka lokators sver vairākas tonnas, turpretī sikspārņa «lokators» — tikai grama desmitdaļu!

Tā ir īsta miniatūrija. Un turklāt jāpiebilst, ka līdz pat mūsu dienām daudzas no dabas radīto miniaturizēto un superminiaturizēto «lokatoru» īpašībām ir un paliek mīkla.

Piemēram, nav viegli izskaidrot, kā sikspārnis paša atstaroto signālu atšķir no savu sugasbrāļu signāliem un arī no speciālajiem traucējumsignāliem, kas tikuši raidīti izmēģinājumos. Kad uz šiem jautājumiem būs rasta atbilde, droši vien visus modernās lokācijas tehniskos līdzekļus un metodes izdosies būtiski uzlabot.

Beļ šis piemērs jau nav vienīgais. Delfīnu «hidrolokatori» pēc precizitātes, tādardarbīguma un spējas atklāt mazus šķēršļus būtiski pārspēj tehniskos līdzekļus, kurus izmanto modernajās zemūdenēs.



**PAMATS IR ŠĀDS**

### 5.58.

Vārds «bionika» ir radies vārdu «bioloģija» un «elektronika» saplūšanas rezultātā. Tomēr pastāv ne vien bionika, bet arī *bioloģiskā elektronika*. Tās nosaukums gan atgādina bionikas nosaukumu, taču tai ir pašai savi uzdevumi.

Bionika pēta un modelē dzīvajiem organismiem raksturīgos procesus. Turpretī bioloģiskā elektronika rada iekārtas, kas palīdz izpētīt organismu. Šīs iekārtas izmanto arī medicinā.



### 5.59.

Modernā medicīna ir ļoti cieši saistīta ar elektroniku. Pamēģiniet iedomāties polikliniku bez rentgenkabineta, bez elektrokardiogrāfiem,

kuri pieraksta sirds ritmus, bez ultraaugstfrekvences svārstību izmantošanas dažu slimību ārstēšanā. Ja to visu medicīnai atņemtu,

tā vairs nebūtu moderna.

Visus šos līdzekļus un metodes tai sniedz elektronika. Rentgenstarus, kas spēj izspiesties cauri dzīvājiem audiem, rada elektroni, kurus koncentrēta un intensīva kūļa veidā vērš uz speciālu elektrodu. Ultraaugst-

frekvences svārstības, ko izmanto ārstēšanā, generē speciālos elektroniskajos generatoros. Elektronu lampas pastiprina signālus, ko pulsējošā sirds pievada elektrokardiogrāfa elektrodziem.

## 5.60.

Pašu labāko no saviem jaunumiem elektronika ar prieku atdod medicīnai, lai tā varētu vēl labāk sargāt cilvēku veselību un pagarināt viņu mūžu. Piemēram, tiklīdz parādījās pirmās ESM, medicīnā atradās

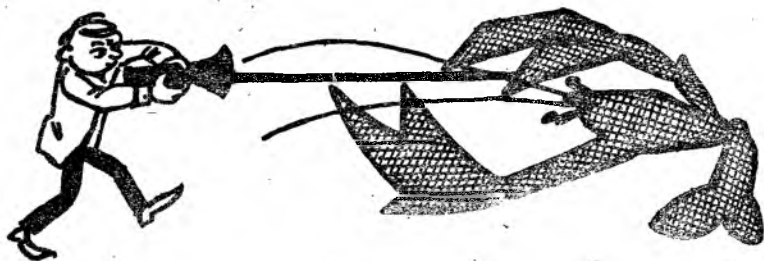
darbs arī tām: apkopodamas un salīdzinādamas daudz dažādu pazīmju, tās ātri un precīzi uzstāda diagnozi, jo vienu elektronisko «smadzeņu» atmiņā var ierakstīt daudzu ārstu pieredzi.



## 5.61.

Tehnika vēl nav paguvusi izpētīt visas iespējas, ko piedāvā lāzeri, bet medicīna tos jau lieto. Par to izmantošanu ķirurģijā mēs

jau runājām. Ir veikti mēģinājumi ar lāzeriem cīnīties arī pret cilvēces visbriesmīgāko nelaimi — vēzi. Doktora Makgrafa vadīta-



jai Bostonas ķirurgu grupai, izmantojot lāzeru, ir izdevies izārstēt ap 50 procentu izmēģinājuma dzīvnieku (pērtiķu), kuriem bija

īepotēts vēzis. Var izteikt cerības, ka šie stari varēs būt palīdzīgi arī cilvēkiem, kas slimo ar vēzi.

## 5.62.

Ļoti vērtīgi medicīnā ir tranzistori, jo daudzos gadījumos ierīcei jābūt ļoti mazai. Izmantojot tranzistorus, ir izdevies, piemēram, uzbūvēt savdabīgu «raidītājtabletī». Slimnieks šādu tableti norij, un, nokļuvusi kuņģī, tā «ziņo», kas tur īsti notiek. Tādas tabletes ir

noderīgas arī lopkopībā.

Piemēram, Polijas ganībās ganās govīs, kurām kuņģī ir šāda ierīce. Poļu zinātnieki, tās signālus uztverdami, pēta barības gremošanas procesu un cenšas izstrādāt racionālas govju ēdināšanas pamatus.





## 5.63.

Kaut kas pavisam kuroz nesen atgadījās Amerikā. Divi pacienti griezās pie ārstiem ar visai neparastu sūdzību: abus vajāja balss, kas viņiem nepārtraukti ieteica kaut ko nopirkt; tika slavētas gan ziepes, gan ledusskapji. Un tā dienu no dienas.

Arsts psihiatrs nekādus psihiskus traucējumus nespēja konstatēt. Medicīna bija apjukusi. Un tad pavisam nejauši atklājās būtiski svarīga detaļa: izrādījās, ka nesen abiem «slimajiem» viens un tas pats dentists ielicis zobu kronišus. Materiālam, ko viņš bija izmantojis kronišu cementēšanai, piemita pusvadītāja īpašības. Kronīti izveidojās miniaturizēts detektoruztvērējs, kas nejauši bija noskaņots uz raidstaciju, kura raidīja reklāmu tekstus. De-



tektētais signāls pa zobu nerviem nokļuva tieši smadzenēs.

Nav izslēgts, ka ar laiku šāda radiosakaru metode tiks apgūta un mērķtiecīgi izmantota. Iespējams, ka daudzi pacienti neiebilstu pret zobu kronīti iestrādātu uztvērēju, ja vien, ievērojot rūgto pieredzi, tiks atrasts paņēmieni, kā to izslēgt.

## 5.64.

Interesants ir aparāts, kas operācijas laikā kontrolē elpošanas režīmu. Ja šis režīms ir normāls, tad arī skābekļa saturs asinīs atbilst noteiktai normai. Izrādās, ka asiņu caurspīdīguma pakāpe ir viennozīmīgi saistīta ar skābekļa saturu tajās. Ja uz slimnieka ārējo ausi vēršam gaismas staru, bet auss



otrā pusē novietojam foto-  
diodi (sk. 5.44.), tad visu  
operācijas laiku varam kon-

trolēt skābekļa saturu asi-  
nīs, t. i., uzmanīt, kā slim-  
nieks elpo.

### 5.65.

Noteikta veida un frek-  
vences strāvas impulsi uz  
cilvēku iedarbojas īpatnēji:  
to iedarbībā cilvēks iemieg.  
Sādas reakcijas mehānisms

vēl nav noskaidrots, bet re-  
zultāts ir viennozīmīgi  
skaidrs. Tātad speciāls im-  
pulsu ģenerators var node-  
rēt nervu slimību ārstēšanā.



### 5.66.

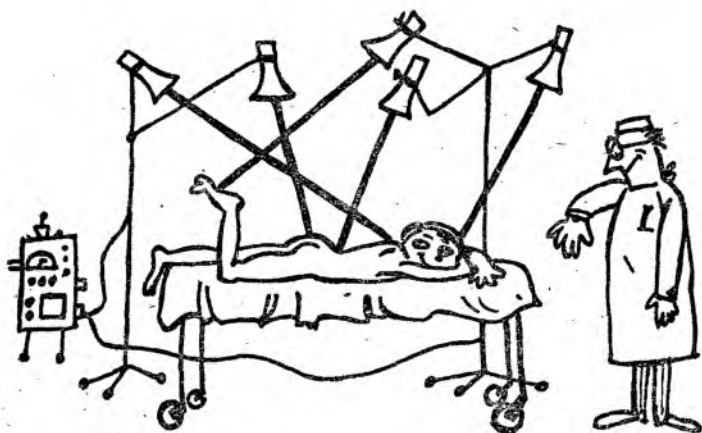
Ja impulsu amplitūda un  
frekvence ir cita, tie dod  
spēku un možumu. Ar tā-  
diem impulsiem var trenēt  
atrofējušos muskuļus, likvj-  
dēt vai vismaz mīkstināt  
paralīzes sekas u. tml. Pro-  
cedūru sauc par elektroma-  
sāžu; nepieciešamos impul-  
sus ģenerē īpaši elektronis-  
kie stimulatori.



### 5.67.

Tiek pētītas iespējas, kā  
elektriskos impulsus izman-  
tot akupunktūrā, kas tādā

gadījumā kļūst par elektro-  
akupunktūru. Patiesībā šo  
paņēmienu tikai nosacīti



var saukt par akupunktūru, t. i., adatu terapiju. Elektriskais impulss iekļūst

audos un ierosina noteiktus nervu centrus ne slīktāk par visprecīzāko adatu.

### 5.68.

Medicīnai jau sen ir pazīstama bīstama sirds slimība, ko sauc par šķērsbloķādi. Pulss paretinās līdz 10—20 sitieniem minūtē, slimniekam draud nāve. Otrā Maskavas medicīnas institūta klīnikas ārsti cīņai pret šo slimību nolēma izmantot elektroniskos stimulatorus un lūdza nākt talkā sabiedriskā konstruktoru biroja darbiniekus. Sirds elektroniskie stimulatori bija pazīstami jau sen; tomēr impulsu ģeneratori vienmēr atradās ārpus organisma, un no tiem uz sirdi bija ierīkota «pārvades līnija», t. i., vadi, bet pašā sirdī — speciāli elektrodi. Tas bija

neērti un pat bīstami: gar vadiem organismā varēja iekļūt mikrobi. Ārstu un inženieru radošā sadraudzība ļāva radīt implantējamu (t. i., audos ieguldāmu) stimulatoru, kurā bija izmantotas pusvadītājierīces. Tas svēra tikai 125 gramus un turklāt patērēja tik maz enerģijas, ka ar nelielu bateriju varēja darboties divarpus gadu.



## KURŠ KURAM PALIDZI

Iespējams, ka pienāks tāds laiks, kad visas «dzīvās elektroniskās ierīces» būs līdz pamatiem izpētītas un inženierim tikai vajadzēs izveidot to kopijas, kuras varēs izmantot tehnikā. Tomēr pagaidām risināšanas gaita ir citāda, varētu teikt — risināšana notiek pretējā virzienā: ne jau sikspārnis bija tas, kas radīja lokāciju; lokāciju radīja inženieri. Un līdzekļi un metodes, kas bija izstrādāti lokācijā, palīdzēja izpētīt sikspārni.

Tikai pašā pēdējā laikā var sākt mēģināt šo virzienu atkal apgriezt otrādi. Bionika ļauj «mācīties no dabas». Un tehnika no saulespuķes mācās sekot Saules kustībai pa debess jumu, no zivīm un suņiem — sajūst tik tikko uztveramas smaržas; vaļi un delfīni demonstrē vislabākās proporcijas un formas, kas ļauj ātri peldēt, bet stārķis rosina pārdomas par visekonomiskāko lidaparātu.

Dabas arsenālā ir tik daudz pilnīgu un perfektu «ierīču», ka teknikai par tām atliek tikai... pasapņot. Kobrai, piemēram, ir konstatēts infrasarkano staru uztvērējs. Tas ir attīstīts līdz tādai pilnībai, ka jūt temperatūru starpību, kas mērāma... grāda tūkstošdaļās! No tāda uztvērēja nevar izvairīties neviena dzīve būtne, kas apkārtējā telpā izstaro siltumu.

Vardes un pakavveidīgā krabja acis spēj palielināt kontrastu (apgaismojumu starpību) starp viena (izraudzītā) objekta kontūrām un visu pārējo fonu. Izcila īpašība! Ja mūsu rīcībā būtu tāds aparāts, mēs daudz labāk nekā pašreiz varētu detalizēti analizēt rentgenuzņēmumus vai arī no liela augstuma iegūtos aerofotouzņēmumus.

Bet kā orientējas baloži? Kā tie spēj visos gadījumos atrast ceļu mājup? Pat tad, kad tos aizved projām no mājas, iesprostotus tumšā grozā, tie nekļūdīgi atgriežas.

Tiek izvirzītas dažādas hipotēzes. Vieni apgalvo, ka šis putns pazīst Saules starojumu un orientējas pēc tā. Citi domā, ka balodim ir īpašs «mērinstruments», kas reaģē uz Zemes rotāciju. Trešie uzskata, ka balodis spēj sajūst Zemes magnētisko lauku. Jautājums tiek pētīts, protams, atkal izmantojot elektroniku. Balodim pierīko miniaturizētu radioraidītāju, kura signāli ļauj izsekot visam baloža lidojumam.

Jūras bruņurupuči orientējas ne vājāk par baložiem. Tie var aizpeldēt tūkstošiem kilometru tālu; vēlāk tie atkal precīzi atgriežas nārsta vietā.

Vienai dzīvo būtnu īpatnībai laikam būtu jāizraisa lie-



lāka zinātnes un tehnikas skaudība nekā visām pārējām. Tā ir spēja pielāgoties visdažādākiem, bieži vien galīgi neparedzētiem apstākļiem, spēja orientēties tajos, mijiedarboties ar vidi.

Vissarežģītākais automāts šajā nozīmē ir daudz primitīvāks par visvienkāršāko organismu. Tomēr šī īpatnība ir ārkārtīgi nepieciešama. Ja tās nav, tad elektroniskā ierīce nespēj vadīt automašīnu pa pilsētas ielām, risināt sarežģītus ražošanas vadības jautājumus, veikt zinātnisku eksperimentu. Visos šajos (un, protams, arī neskaitāmos citos) gadījumos taču var rasties neparedzēti sarežģījumi un grūtības. Dzīva būtne gandrīz vienmēr tiks ar tām galā. Bet automāti pagaidām ir pārāk vienpusīgi: ja to programmā nav ievērots kaut vai tikai viens no procesā iesaistītajiem faktoriem, viss automātiskās vadības process izbeidzas un viss darbs ir vējā.

Arī šo uzdevumu risināšanā būtiska palīdzība ir gaidāma no bionikas. Vispirms jānoskaidro, kā ar šīm problēmām tiek galā dzīva būtne.

Bionika ir jauna zinātne. Nekādas vispārīgas un universālas metodes tā vēl nav izstrādājusi. Nav pat sarakstītas speciālas mācību grāmatas, kurās būtu aplūkoti vispārpieņemti un pietiekami rūpīgi pārbaudīti tās pamati. No otras puses, elektronikai un bioloģijai ir kopīgas intereses; ir dabas radīti un cilvēka pagaidām neuzminēti principi; ir aicinājums fiziķiem, bioloģiem un inženieriem apvienot pūliņus, lai izzinātu, saprastu, izmantotu.

Var apgalvot, ka bionika kā zinātne vēl nemaz nav radīta: tā ir tikai pasludināta.

## PUSOTRA GADSIMTA PŪLIŅU AUGĻI

[NOBEIGUMA VIETĀ]

Mūsu ceļojums pa elektronikas valstību ir galā. Varam rezumēt apgūto un redzēto.

Izstāstīt gribējās daudz ko. Tomēr nācās aprobežoties ar galveno, aizskart tikai fundamentālās idejas, kas tikušas izvirzītas dažādajos elektronikas attīstības posmos un ir iegājušas vēsturē kā svarīgākie robežstabi tās slavenajā ceļā, parādīt, kā vienas un tās pašas idejas var izmantot dažādos nolūkos. Bet galvenais bija vispusīgi ilustrēt tēzi, ka bez elektronikas nav divdesmitā gadsimta, gluži tāpat kā bez pilīm, tempļiem un lieliskajām skulptūrām nav senās Hellādas kultūras.

Nosacīti var pieņemt, ka elektronikas mūžs ir pusotra gadsimta, ja par tās sākumu uzskatām elektromagnētiskās indukcijas likuma atklāšanu (M. Faradejs, 1831), un gadsimts, ja par tādu pieņemam Helmholca ģeniālo nojausmu par «elektrības porciju», kas vēlāk izrādījās esam elektrons. Grūti ticēt, ka visa grandiozā elektronikas ēka ir tikusi uzcelta vienā gadsimtā vai nedaudz ilgākā laikā.

Kad ceļš veikts, atskatīsimies uz to vēlreiz. Mūsu skatienam pavērsies panorāma; un varbūt pēdējais iespaids būs arī vispilnīgākais.

Kāda izskatās elektronika, ja ar savu atvadu skatienu to mēģinām aptvert kopumā?

Iztēlē izaug milzu koks, kura saknes dziļi ievijas zinātnes augsnē, bet zari sakuplo pa visām zinātnes un tehnikas nozarēm (sk. grāmatas priekšlapu).

Tāds šis koks ir pašreiz. Bet kāds tas būs vēl pēc dažiem gadu desmitiem? Laikam gan uz šo jautājumu neatbildēs ne zinātnieks, ne fantasts. Kas lai šobrīd zina, kādi var izaugt jauni zari, kādi nobriedīs augļi? Mūsu gadsimta sākumā kokam taču parādījās tikai pirmie asniņi.

Pirmā radiostacija, kuru bija uzbūvējis A. Popovs, 1900. gadā saistīja Kronštati ar Hoglandes salu. Un kopš tā laika ik desmitgadē saplauka pa jaunam zaram.

Mūsu gadsimta desmitie gadi — radio mācās runāt.

Divdesmitie — tiek nodibināti tālie sakari, apgūti īsie viļņi, kas atstarojas no jonosfēras.

Trīsdesmitie — parādās un attīstās televīzija.

Cetrdesmitie — radiolokācija, līdz trim centimetriem gari (īsi!) viļņi, brīnumainas ierīces: klistrons, magnetrons, skrejviļņa lampa.

Piecdesmitie — ESM, pusvadītāji ierīču ieviešanās.

Sešdesmitie — kvantģeneratori. Radioviļņiem talkā nāk gaisma.

Septiņdesmitie gadi un astoņdesmito gadu pirmā puse — daudz jaunu pusvadītāji ierīču, to vidū lāzeri, kas izmantojami arī elektronstaru lampās; plakanie, to vidū elektroluminiscentie, televizoru ekrāni; lielās un superlielās integrālās shēmas, to vidū programmējamās IS jeb mikroprocesori, kas, starp citu, ir signālu ciparapstrādes ierīču pamatā; ultraīso impulsu lāzeri; optisko šķiedru sakaru tehnikas strauja attīstība ...

Ko nesīs tuvākās desmitgades? Grūti spriest. Apmēram pirms četrdesmit gadiem par elektroniskajām «smadzenēm», par «gudrajām mašīnām» neviens taču vēl pat nedomāja.

Elektronika visu laiku ir attīstījusies strauji, un var domāt, ka tā tas būs arī turpmāk. Tās attīstības virzieni nav precīzi paredzami; var tikai apgalvot, ka jebkurā gadījumā tā turēsies progresā pirmajās rindās.

## SATURS

Tulkotāja priekšvārds latviešu izdevumam

Autora priekšvārds

1. nodaļa. **ELEKTRONI UN ELEKTRONIKA** . . . . . 9

Lasītājs iepazīstas ar elektrona atklāšanas vēsturi un arī uzzina, kāpēc tieši šai daļiņai bija lemts kļūt par galveno «detāļu» dažās elektroniskajās ierīcēs, kuras radās elektronikas attīstības rītausmā

2. nodaļa. **KĀ ATKLĀJA VIĻŅUS!** . . . . . 61

Šai nodaļā lasītājs pats pārliecināsies, ka elektromagnētiskais lauks elektronikā nav mazāk svarīgs par elektronu. Viņš iepazīsies ar viļņiem, kurus atklāja agrāk nekā iemācījās konstatēt, un uzzinās, kā radio iztika bez elektronikas un ko šāds radio spēja

3. nodaļa. **ELEKTRONI, VIĻŅI UN LAUKI** . . . . . 107

Kā lauks deva iespēju stūrēt elektronus. Par viļņu un elektronu sadraudzību un tās radītajiem vispasaules radiosakariem

4. nodaļa. **PRETĪ AIZVIEN AUGSTĀKĀM FREKVENCĒM** . . . 210

Par to, kā cilvēce gadu pēc gada apguva aizvien īsākus un īsākus viļņus un ko pieredzēja elektronika, ielauzdamās supraaugsto frekvenču valstībā

5. nodaļa. **GDRO MAŠĪNU ELEMENTI** . . . . . 289

Par to, kā no vienkāršām elektroniskajām «šūniņām» veidojas sarežģītās gudro mašīnu shēmas



Евгений Александрович Седов  
**ЗАНИМАТЕЛЬНО ОБ ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Серия «Анварнис» («Кругозор»)

Издательство «Зинатне»

Рига 1985

На латышском языке

Перевод с русского Ю. Бирзвалка

Художник Б. Диодоров

Jevgēnijs Sedovs

**AIZRAUJOSI PAR ELEKTRONIKU**

Redaktors *A. Lauzis*

Mākslinieks *B. Diodorovs*

Mākslinieciskais redaktors *G. Krutojs*

Tehniskā redaktore *I. Vasiļjeva*

Korektore *B. Vārpa*

ИБ № 2336

Nodota salikšanai 10.06.85. Parakstīta iespēšanai 28.11.85. Formāts 84×108/32. Tipogr. papīrs Nr. 2. Literatūras garnitūra. Augstspiedums. 11,5 fiz. iespiedi.; 19,32 uzsk. iespiedi.; 20,06 uzsk. kr. nov.; 19,19 izdevn. l Mečiens 40 000 eks. Pasūt. Nr. 902. Maksā 75 k. Izdevniecība «Zinātne», 226530 PDP Rīgā, Turgeņeva ielā 19. Iespiesta Latvijas PSR Valsts izdevniecību, poligrāfijas un grāmatu tirdzniecības lietu komitejas tipogrāfijā «Cīņa», 226011 Rīgā, Blaumaņa ielā 38/40. Vāks iespiests LKP CK izdevniecības tipogrāfijā, 226081 Rīgā, Balasta dambī 3.

• MAŠĪNBŪVE • TRANSPORTS UN  
• MEDICĪNA • BIOLOĢIJA •

• FIZIKA •

• RADIOLOKĀCIJA •

• RADIOFONIJA •

• TELEVIZIJA •

• TĀLMĒRĪŠANA •

CIETVIELU FIZIKA

LĀDIŅI, ELEKTRONI

ELEKTROSTATISKAIS  
LAUKS

• SAKARI •

• ASTRONOMIJA •

• METALURGIJA •

• KOSMOSA APGŪŠANA •

• ĶĪMIJA •

• KARA TEHNIKA •

• ELEKTRONISKĀS  
IERĪCES •

• RĪCĪVA •  
• RADIOASTRONOMIJA •

• AUTOMATISKĀ  
REGULĒŠANA •

• ESM •

• TĀLVADĪBA •

• ELEKTROMAG-  
NĒTISKAIS LAUKS •

LAUKU UN LĀDĪŅU  
MĪJEDARBĪBA

GAISMA

MAGNĒTISKAIS  
LAUKS