

A. PLONSKI

**Kuidas
inimene
taltsutas
laine**

978-78
P. 60

A. PLONSKI

Kuidas inimene taltsutas laine

2
62023

KIRJASTUS "EESTI RAAMAT"
TALLINN 1964

6Т2·15

Р60

Originaali tiitel:

А. Плонский

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

или

рассказ об удивительных открытиях:
о том, как человек приручил волну,
о новом Аладине и его лампе,
о том, как подслушали разговор
звезд, о ста профессиях
«мыслящей» машины
и о многом другом

Советская Россия

Москва

1958

Tõlkinud E. Märtinson

Kaane kujundanud E. Tali

2



Autorilt

Noorusaastatel juhtus mulle paljude suurte ja väikeste raamatute seas kätte tagasihoidlik, lihtsas köites raamatuke. Mäletan, et ta pealkiri oli «Lõbus raadio». Autori nimi ei jäänud mulle meelde. Pärastpoole püüdsin seda raamatut üles otsida, kuid ta oli kadunud nagu tina tuhka. Pole ka midagi imestada: sellised raamatud ei jää riitulile seisma, need loetakse lausa räbalateks.

Sel ajal oli mul raadiost kõige ähmasem ettekujutus. Raadiotehnika paistis olevat hirmus keerukas asi, millest arusaamine on jõukohane ainult valituile. Pool nende raadioalaste raamatute sisust, mida nägin raamatukogus, koosnes igavatest skeemidest ja täiesti arusaamatutest valemitest. Sellepärast tekitaski silmatorkav pealkiri «Lõbus raadio» minus umbusku. «Mida lõbusat ja huvitavat siin küll võiks olla?» mõtlesin ma raamatut lahti lüües.

Kuid iga loetud leheküljega hajus mu eelarvamus üha enam. Uus, tundmatu maailm — raadio maailm — avanes järk-järgult mu ees. Ja kui huvitavaks see osutus! Muidugi olin ma varemgi kuulnud räägitavat raadiovastuvõtjatest — saladuslikest kastidest, mis on tulvil kondensaatoreid, potentsiomeetreid ja muid sama keerukate nimedega osasid. Ma teadsin ka, et nende aparaatide abil võib «eetrisse matkata» — vastu võtta saateid kogu maailmast. Kuid see, et raadiovastuvõtjat ei olegi nii raske ise valmistada, oli mulle tõeline avastus.

Ja siis, jätnud kõrvale kõik muu, ma juba meisterdan, joodan, tuhnin innuga nendessamades skeemides, mis üsna hiljuti tundusid nii igavate ja keerulistena. Kuhu kadus küll aukartus, millega ma varem vaatasin valemeid raadio-tehnilistes raamatutes! Tähendab, ka sellest «hiina tarku- sest» võib jagu saada!

Lõpuks on vastuvõtja valmis. On juba hilja, kodus magatakse ammugi. Kuid kas võib siis oodata hommikuni? Erutatult lülitan sisse aparadi toite. Tuhmi punase hel- giga süttivad raadiolambid. Surun peatelefone kõigest jõust kõrvade vastu. Möödub piinavalt pikk minut, mille kestel ma palavikuliselt kruvin kõike, mida üldse võib mu vastuvõtja juures kruvida. Kas tõesti ei tule midagi välja? Kas tõepoolest ei hakka mängima?

Ja järsku... kuulen! Läbi vile ja ragina kuulen vöö- rast keelt kõneleva inimese häält. Pärast seda tasane, veidi nagu lainetav muusika...

Siis aga kõik algaski. Kogu oma vaba aja pühendasin raadioamatörimile. Ehitasin, lõhkusin ja monteerisin üha uuesti igasuguseid raadiovastuvõtjaid, televiisoreid, heli- salvestusaparate, neid lõputult täiustades. Terveid öö- päevi istusin lühilainesaatja juures.

Just nagu praegu näen: hilisöö, pimeduses helendub raadiovastuvõtja rubiinpunane silm. Minu ees laual on puhtalt leheküljelt avatud raadiojaama päevik. Hinge kinni pidades pööran aeglaselt häälestusnuppu. Peatelefo- nides kuuldub eetri vaikimatu kahin, mis tuletab meelde merelainete kohinat. Tühi... Tundub, nagu oleksid üksi kogu universumis. Ootamatult kostab läbi ühetoonilise kahina vaevaltkuuldav, värelev morserütm, tuttav tele- graafitähestiku meloodia. Iseenesest liituvad tähed koo- diks CQ: «Kõigile... kõigile... Kutsun kahepoolsele raadiosidele kogu maailma lühilaineamatööre. Siin Havai saared. Kes mind kuuleb, palun vastake!...»

Minuti pärast me juba vestleme, nii nagu asuksime teineteise kõrval. Seejärel uued otsingud, uued kohtumised

eetris. Vähehaaval täitub raadiojaama päeviku lehekülg. Austraalia... Uus-Meremaa... Veel kord Austraalia... Hommikupoole hakkavad tulema Lõuna-Ameerika maad — Argentiina, Brasiilia...

Ei saa sõnades väljendada tunnet, mis sind haarab, vesteldes inimesega, kes asub teises maailma otsas. Sinu ümber on pime öö, tema juures aga hele keskpäev. Sina otsid sooja radiaatori juurest, tema aga valab higi kõrvetava troopikakuumuse tõttu. Öö ja päev, karm pakane ja kõrvetav kuumus — meie vahel on palju kilomeetrituhandeid. Ja tahtmatult nagu joobud oma võimust kauguste üle, tõeliselt muinasjutulisest võimust.

Tõepoolest, kas pole see imepärane muinasjutt — ühe silmapilguga lahkuda oma kodulinnast ja jõuda kaugele Havai saartele, jäiselt Gröönimaalt troopilisse Aafrikasse. Kas ei ole tõeline romantika kihutada maailmaetri avarustes, ületada hiiglaslike hüpetega ookeanide põhjatuid sügavusi ja läbipääsmatuid mäeahelikke? Ja kõike seda kodunt lahkumata, omatehtud «kaugete rändude muusa» — väikese, viletsana paistva raadiosaatja ja -vastuvõtja abil.

Palju õnnelikke tunde tõi mulle tegelemine raadiotehnikaga. Ma nautisin neid siis, kui omatehtud televiisori ekraanile tekkis esimene, mis sellest, et mitte päris terav pilt, siis, kui omatehtud magnetofon omandas «kõnevõime».

Pärast ma lõpetasin instituudi ja sain raadiospetsialistiks. Ja huvitav — peaaegu kõik mu töökaaslased alustasid raadioamatöristmist. Eriala ei valinud nad juhuslikult, vaid oma sisemise kutsumuse sunnil. Küsige ükskõik kellelt neist — millise erutusega, kui liigutatult tuletaavad nad meelde oma esimest vastuvõtjat...

Sellistel puhkudel tuleb mulle meelde mu esimene, nüüd juba ammu vananenud raadioalane raamat. Tema mängis mu elus ju väga tähtsat osa. Kelleks ma oleksin saanud ilma temata — arstiks, metallurgiks, õpetajaks? Iga eri-

ala on omamoodi tore, kuid minu oma on siiski kõige toredam.

«Lõbus raadio» kõlbaks praegu ainult muuseumi. Nii nagu kaasaegne lokomotiiv ei sarnane üldse vana «suslaga», nii erineb ka meie päevade raadiotehnika mineviku raadiotehnikast.

Nüüd tahaksingi jutustada meie ajastu raadiotehnikast ja püüda põgusalt pilku tulevikku heita.

Kuidas inimene taltsutas laine

Raadio ... Kui lähedane ja lovaline on see maailm
meist! Vladimir Iljits Lenin ütles: raadio on ajalehes
kõige parem ja kõrgusteta, pidev ja hinglasikult lähe
aks selles, mis on ajal, kui raadiolõpetuse abil kiire
sõltu Venemaal Moskvas loetakse aegade

See algab alguse. Lennu enistus on isid lühidat Raadio
on enandatud kindla koha mere elus, teinud abi kogu
lühidatist nii Nõukogude Liidus kui ka välismaal.
Kõikve raadioarmade saadid kuulavad miljonid inimesed
ed loodid, sest nõukogude raadio teenib vanuõrde ja
lühidatid ja muud lühidate vahel propageerib lühidatid
muud lühidatid

Kõik raadio suur lühidatid — avastatud maailm sellis
lühidatid alguse kui transporditepidamise vahend, niputus
a lühidatid mees, annendandrikas teadusharuk, mis sai
lühidatid elektroonika.

Elektroonika abil juhtitakse automaatselt ja elektri
lühidatid, mis haksud udus ja pimeduses, lühidatidakse pead
lühidatid matemaatilisel võrrandil, juhitakse laevatahti,
lühidatidke paljud haigus. Raadioarmade on meid
lühidatid laenuõrde ja meeslil; raadio töö suuri kogu meid
lühidatidke, teda kasutatakse metallurgias ja paljudes
lühidatidke paljudes lühidatid. Raadio — kaksikve tekitab

Millest jutustab see raamat

Me elame teaduse ja tehnika suure progressi ajajärgul. Ühe põlvkonna silmade all täitus see, mis paljude sajan-
dite kestel oli ainult unistuseks. Inimene hakkas lendama,
sai oma valdusse aatomipõue peidetud ammendamatud
energiavarud ja tõusis kosmilistele orbiitidele. Täna-
homme saame planeetidevaheliste lendude tunnistajateks.

Inimteeniuse silmapaistvate saavutuste hulka kuulub
ka raadio.

Raadio... Kui lähedane ja tavaline on see igapähe-
le! Vladimir Iljitš Lenin nimetas raadiot ajaleheks
ilma paberi ja kaugusteta, pidas seda hiiglaslikult täht-
saks asjaks, unistas ajast, kui raadiotelefoni abil kuuleb
kogu Venemaa Moskvas loetavat ajalehte.

See aeg saabus. Lenini unistus on täide läinud. Raadio
on omandanud kindla koha meie elus. Tema abil kuuleme
sündmustest nii Nõukogude Liidus kui ka välismaal.
Moskva raadiojaamade saateid kuulavad miljonid inime-
sed maailmas, sest nõukogude raadio teenib rahuuritust ja
süvendab sõprust rahvaste vahel, propageerib leninismi
suuri ideesid.

Kuid raadio suur tähtsus ei avaldu ainult selles.
Saanud alguse kui traadita sidepidamise vahend, muutus
ta hiljem uueks, ammendamatuks teadusharuks, mis sai
nimeks elektroonika.

Elektroonika abil juhitakse automaattsehhe ja elektri-
jaamu, «näakse» udus ja pimeduses, lahendatakse pead-
murdvaid matemaatilisi võrrandeid, uuritakse taevatähti,
ravitakse paljusid haigusi. Raadioseadmeteta on mõelda-
matud lennundus ja meresõit; raadio toob suurt kasu mete-
oroloogiale, teda kasutatakse metallurgias ja paljudes
teistes rahvamajandusharudes. Raadio «oskab» tõlkida

teksti ühest keelest teise, trükkida raamatuid ja isegi malet mängida.

Tänu elektroonikale tekkisid uued iseseisvad teadusharud. Nende hulka kuulub näiteks aatomienergeetika. Väljapaistva nõukogude raadioeriteadlase akadeemik A. I. Bergi sõnade järgi «on aatomienergia kasutamine võimalik suurel määral tänu elektroonika meetodite rakendamisele füüsikas».

Kõikides maailma maades pööratakse elektroonikale suurt tähelepanu.

Jules Verne'il on jutustus «XXIX sajandil». Suur kirjanik-fantast nägi ette paljusid tuleviku avastusi.

«Telefon, mida täiendab telefotograafia, on veel üks meie ajastu leiutis! Kui häält osatakse elektrivoolu abil edasi kanda juba ammu, siis kujutise edasiandmine on kõige hilisema aja leiutis.

... Aerovanker, imepärane masin, mis põhineb «õhust raskema» põhimõttel, kihutas kuuesajakilomeetrise tunni kiirusega. Tema all vilksatasid mööda linnad oma liikuvate kõnniteedega, mis vedasid jalakäijaid, külad ja põllud, mida kattis elektrijuhtmete võrk».

Neid katkeid lugedes paneb hämmastama nii kirjaniku ettenägelikkus kui ka see kiirus, millega elu ületas tema julge fantaasia.

Praegu on alles XX sajandi keskpaik, ja meil on niihästi televiisorid kui ka lennukid, mis lendavad mitte kuussada, vaid mitu tuhat kilomeetrit tunnis! See, mis Jules Verne'i ajal oli fantaasia, on meie päevadeks muutunud tegelikkuseks.

Niiviisi palju muudki, mis nüüd paistab uskumatuna, võib ellu ärgata tänu elektroonikale.

Elektroonikaga relvastatud teadlased on võrdlemisi lühikese aja jooksul teinud palju hämmastamapanevaid avastusi.

Mis siis on elektroonika?

Ajastu sünd

Käesoleval ajal ei ole meil kuigi suurt aukartust kauge ees. Aja jooksul on Maa läbimõõt just nagu vähenevad ning saabub aeg, kui kogu Maa on läbi uuritud ja

asustatud, nagu Gorki tänav Moskvas, Nevski prospekt Leningradis või Kreštšatik Kiievis. Reisilennukil kulub Maa ümber ringi tegemiseks ligikaudu paar päeva. Edaspidi aga kulub ümbermaailmareisiks veelgi vähem aega, hädavaevalt kaks tundi. Ja kedagi see eriti ei imesta, sest kõigeaeg võib harjuda. Meie ajastul harjutakse imedega. Muinasjutud — rahvaste poeetiline fantaasia — kaotavad kogu muinasjutulisuse: see muutub tegelikkuseks. Kujutame ette kas või järgmist olukorda.

Oletame, et inimene on kaugel oma kodupaigast, pea-aegu teises maailma otsas, nagu vahel räägitakse. Teda ei häiri see põrmugi — igal hetkel võib ta saata telegrammi või võtta telefonikaugekõne. Ta on isegi pahane, kui tellitud kõnet ei saa otsekohe.

Kuidas aga oli enne, mitte eriti kauges minevikus? Laev läks merele ja meremeestel tuli kuudeks või isegi aastateks oma perekonnast lahkuda. Ja kas õnnestuski veel kohtuda? Võis tulla ju torm, purjed tükkideks rebida ja mastid murda ...

Kaugused eraldasid inimesi. Seetõttu unistati juba igivanal ajal vahendist, mille abil oleks võimalik sidet pidada ükskõik kui suure vahemaa tagant.

Ajaloolased jutustavad, et enne meie ajaarvamise algust elanud Rooma imperaatori Julius Caesari ajal oli olemas midagi telegraafi taolist. Teateid anti edasi tõrvikute abil kokkulepitud märkide järgi. Näiteks tõrviku järsk tõstmine tähendas — vaenlane läheneb, tõrvikute viimine paremale — kõik on rahulik jne. Signaale anti edasi ühelt vaatluspostilt teisele.

Aga halva ilmaga, udu puhul?

Side katkes. Caesari «telegraaf», nagu hilisemadki optilise telegraafi liigid, töötas ainult hea ilma korral.

Paljude sajandite jooksul eksisteeris töökindel sidevahend ainult muinasjuttudes. Neis võis kohata imeline ja küürselg-sälgusid, kes viisid teate adressaadile kätte täpselt õigel ajal.

Kuid inimene õppis teadmishimuliselt tundma ümbritsevat maailma, tunnetas looduse seadusi.

Teadus kinkis inimestele suure avastuse — elektri. Tekkis mõte kasutada elektrit kirjakandjana, kes toime-taks teateid valgukiirusel edasi. Juhtmeid kaudu õpiti edasi andma kokkulepitud elektrisignaale ja hiljem ka inimkõnet. Linnad hakkasid kattuma tiheda telefonijuht-

mete rägastikuga, teede äärde tekkisid telegraafipostide ahelikud.

Võit! Võit ruumi üle! — juubeldasid inimesed. Kuid rõõm andis varsti maad rahulolematusele.

Telegraaf ja telefon ei rahuldanud paljusid nõudmisi. Tõepoolest, kuigi uus sidevahend ei kartnud halba ilma nagu vana Caesari «telegraaf», olid tema võimed siiski tugevasti piiratud. Telegraaf ja telefon töötasid talutavalt linnades, kindlustasid side asustatud punktide vahel, kuid see oli ka kõik. Avarustesse tungida nad ei suutnud, juhtmed segasid. Ei saa ju juhtmeid laeva ega lennuki külge kinnitada või enesega mägedesse ja kõrbetesse järele vedada.

Uheksateistkümnenda sajandi lõpul, kui elektriõpetuses oli tehtud suuri edusamme, hakkasid teadlased üha sagedamini mõtlema, kas pole võimalik vabastada telegraafi ja telefoni köidikutest, katsuda läbi ajada üldse ilma juhtmeteta. Paljud tollaegsed füüsikud püüdsid seda ülesannet lahendada, kuid pidid alla vanduma.

Kuid kas üldse on võimalik sidepidamine ilma juhtmeteta?

Sellele küsimusele andis vastuse vene füüsik A. S. Popov.

1889. a. võttis A. S. Popov osa Vene Füüsika ja Keemia Ühingu järjekordsest istungist, kus tehti katseid elektromagnetiliste lainetega — kiirete elektrivõnkumistega, mis levivad ruumis valguse kiirusega (ligikaudu 300 000 kilomeetrit sekundis). Nende lainete olemasolu ennustas teoreetiliselt inglise teadlane Maxwell ja saksa füüsik Hertz avastas nad katseliselt. Kuid need teadlased ei osanud oma suurepärasest avastust praktikas rakendada.

... Koosolekusaal oli pimendatud. Kateedril, petrooleumilambi hämaras valguses helkisid kaks plekkreflektorit, mis sarnanesid prožektorite reflektoritega. Ühe reflektori sees, üsna lähedal teineteisele, asus kaks metallkuuli, mille juurest läksid juhtmed vooluallikaani. See oli vibraator — seade, mis tekitab elektromagnetilisi võnkumisi. Teise reflektori sees asus samuti kaks kaarja juhtmega ühendatud metallkuulikest. Seda seadet — resonaatorit — kasutati elektromagnetiliste lainete kinnipüüdmiseks.

Katset alustati täielikus pimeduses. Vooluallikaga ühendatud vibraatori kuulikeste vahel süttis tilluke sinakas sädemeke. Samal momendil tekkis säde ka resonaatorit.

tori kuulide vahele. See oli nii nõrk, et saalisviibijad pidid seda järjekorras läbi suurendusklaasi vaatama.

Fakt oli silmanähtav. Säde vibraatoris tekitas kauge- mal analoogilise sädeme! Elektri mõju kandus edasi õhu kaudu.

«Elektromagnetilisi laineid tuleb kasutada... Uus sidevahend, mis ei vaja juhtmeid...» — need mõtted jälitasid Popovi lakkamatult.

Kuid mil viisil kasutada? Resonaator reageerib ainult väga lühikese maa tagant. Kellel on tarvis sellist «side- vahendit»?

1894. a. avastati metallipulbri huvitav omadus.

Kui sõrmkübaratäis metallipulbrit või viilipuru puista- tata vooluallikaga ühendatud kahe juhtme vahele, siis ilmub sellisesse ahelasse väga nõrk elektrivool. Kui aga läheduses tekib elektrisäde, siis metallipuru takistus elektrivoolule väheneb järsult ja vool kasvab hüppeliselt.

Seda nähtust selgitati järgmiselt. Metallipuru koosneb suurest hulgast väikestest metallitükikestest. Iga tükike on kaetud õhukese hapendikihiga — metalli ja õhuhapniku keemilise ühendiga. Hapend juhib voolu halvemini kui puhas metall. Peale selle puutuvad metallipuru tükikesed üksteisega kokku ainult üksikutes punktides.

Elektrisäde tekitab elektromagnetilisi laineid. Kohe hakkavad üksikute metallipuru osakeste vahel hüppama mikroskoopilised sädemed, osakesed liituvad, nende kokkupuutepind kasvab mitmekordselt ja metallipuru takistus elektrivoolule väheneb.

Et viia metallipuru tagasi algolekusse, tuleb teda veidi raputada. Selle tagajärjel üksikute osakeste vaheline hea kontakt katkeb ja vool ahelas muutub jälle väga väike- seks.

Sellistel katsetel puistati metallipulber klaastoru- kesse*, mida A. S. Popov nimetas «tundlikuks». Teadlane uuris mitmesuguse kuju ja pikkusega torukeste ning eri- nevate metallipulbrite mõju seadme omadustele. Lõpuks sai ta seadme, mis oli elektromagnetiliste lainete suhtes väga tundlik.

Nüüd oli tarvis leiutada seade, mis perioodiliselt rapu-

* Metallipuru kirjeldatud omaduse avastas 1890. a. prantsuse füüsik Branly. Esmakordselt kasutas kirjeldatud seadet Hertzi lainete indikaatoriks inglise füüsik Oliver Lodge (1894) ja nimetas ta koheereriks. Popov oli tuttav Branly ja Lodge'i töödega. — *Tõlk.*

taks toru, et see juhiks elektrit hästi ainult siis, kui teda kiiritatakse elektromagnetiliste lainetega. Juhul kui toru ei raputata, siis jääb tugev vool alles ka pärast elektromagnetilise laine kadumist. Kuid just nimelt selles raputamises peamine raskus peituski.

Võiks ju lihtsalt koputada torukese pihta? Noh oleks see alles «aparaat»! Ei, nii ei saa. Kasutada erilist vedrumehhanismi? Keerukas ja vähese töökindlusega.

Selle küsimuse kallal juurdles A. S. Popov väga kaua. Lõpuks leidis ta lihtsa, teravmeelse lahenduse. Las laine ise raputab metallipuru! Toru vooluahelasse tuleb lülitada tavaline elektrikell. Elektromagnetiliste lainete toimel hakkab toru voolu juhtima ja kell helisema, just nagu keegi oleks nupule vajutanud. Nii saadetakse edasi üksik signaal. Kuid see ei ole veel kõik.

Kella haamrikesele võib anda veel teise, peamise ülesande: panna teda lööma vastu toru, metallipuru raputama. Niipea kui laine nüüd kaob, katkeb raputamise toimel metallipuruosakeste-vaheline hea kontakt, toru ei juhi enam elektrit ja kell jääb vait.

7. mail 1895. aastal demonstreeris teadlane esmakordselt oma leiutist. Sel päeval esines ta Vene Füüsika ja Keemia Ühingu füüsikasektsiooni koosolekul ettekandega, mis kandis tagasihoidlikku pealkirja «Metallipulbrite reageerimisest elektrilistele võnkumistele».

Ettekanne lõppes prohvetlike sõnadega:

«Lõpuks tahaksin väljendada lootust, et mu aparati võib selle edasisel täiustamisel kasutada signaalide saatmiseks kauguste taha kiirete elektrivõnkumiste abil...»

Need sõnad tähistasid selle ajastu sündi, mida võib nimetada elektroonikaajastuks. 7. mai, mida kogu progressiivne inimkond tunnustab raadio leiutamise päevaks, on saanud vene rahva rahvuspühaks.

Aleksandr Stepanovitš Popov jätkas oma aparadi täiustamist.

Juba oma esimestel katsetel märkas teadlane, et vastuvõtukaugus suurenes mitmekordselt, kui «tundliku» toru külge on kinnitatud tükk traati. Edasised arvukad katsed kinnitasid esimeste vaatluste õigsust.

Nii loodi antenn — raadioside üks tähtsamaid elemente. Teise samasuguse antenni ühendamine saatjaga andis uue hüppe kauguses.

Seejärel asendas leidur elektrikella telegraafiaparadiga. Telegraafipunkte ja -kriipse, mis mitmesugustes kombinatsioonides tähistasid ühtesid või teisi tähti, hakati kitsale paberilindile kirjutama.

Viimaks saabus päev — 24. märts 1896. a., kui Aleksandr Stepanovitš Popov demonstreeris teadlastele maailma esimest traadita telegraafisaadet. Peterburi ülikooli füüsikakabinetis oli üles seatud vastuvõtja, temast 250 meetrit eemal ülikooli keemialaboratooriumi hoones asus saatja, mida juhtis Popovi assistent P. N. Rõbkin.

Üks selle tähelepanuväärse sündmuse pealtnägijaid professor O. D. Hvolson jutustas hiljem.

«Saade toimus selliselt, et tähti saadeti morsetähestiku järgi, kusjuures märgid olid selgesti kuulda. Tahvli juures seisis füüsikaühingu juhataja professor F. F. Petruševski, hoides käes paberit morsetähestikuga ja kriiditükki. Pärast iga saadetud märki vaatas ta paberile ja kirjutas siis tahvlile vastava tähe. Aegamööda tekkisid tahvlile sõnad «Heinrich Hertz». Raske on kirjeldada arvukate kohalviibijate vaimustust ja ovatsioone A. S. Popovile...» *

Niiviisi alistas inimene elektromagnetilise laine ja sundis teda teenima oma eesmärgi.

Juba järgmisel, 1897. aastal ületas traadita telegraafi töökaugus 5 kilomeetrit. Uue sidevahendi elujõulisus oli tõestatud.

Nii kiired kui lained

Nii algab vana üliõpilaslaul.

Muide, selle laulu eakaaslased kujutasid vaevalt enesele ette, kui kiired võivad lained olla. Tavaliselt mõeldi ikka merelaineid, aga need on üliaeglased, võrreldes kõige kohmakamatega nähtamatutest lainetest. Lained

* Lugeja on arvatavasti näinud maali, millel üks kunstnik on jäädvustanud selle ajaloolise momendi. Ent maalil on väike ebatäpsus — sõnad «Heinrich Hertz» on tahvlile kirjutatud vene tähtedega. Ka selles raamatus on professor Hvolsoni sõnade tsiteerimisel see väike detail välja jäetud. Tegelik tsitaat on järgmine: «Aegamööda tekkisid tahvlile sõnad Heinrich Hertz ja seejuures ladina tähtedega. Raske on kirjeldada...» jne. — *Tõlk.*

just nagu selleks eksisteerisidki, et saada ideaalseks, mitte millegi muuga võrreldavaks sidevahendiks.

Sõna «raadio» tähendab kiirgamist. Iga kiirgamine aga, nagu me hiljem näeme, on alati seotud lainetega.

... Universumi ääretutes avarustes rulluvad nähtamatult ja hääletult raadiolained. Nad ujuvad üksteisest läbi, kaugenevad ruumi ergutades erinevatesse suundadesse.

Mõned nendest on kaugel äikese kaja, teised — inimkäte poolt saadetud «SOS SOS SOS» — kolm lühikest signaali, kolm pikka ja jälle kolm lühikest ... «SOS ... Päästke meie hinged! Päästke ...» saadab tormi kätte jäänud norra purjekas Põhjamerel. Ja nagu veeringid vette visatud kivi ümber, nii levivad raadiolained, kandes appikutse laiali üle kogu maailma. Päästke ... peadpööritava kiirusega läbib hädasignaal maailmaruumi.

Ja juba tormab talle vastu teine laine: «Siin päästemaev «Ob» ... Tulen appi. Mu koordinaadid on ...»

Siitsamast aga, lähedaselt lainelt, kostab hoogne foks — elu läheb oma rada, tantsitakse, lõbutsetakse...

Raadiolained levivad vääramatute looduseaduste kohaselt. Teadlased õppisid neid seadusi tundma ja allutasid endile imepärase jõu — raadio. Proovigem ka meie tungida nende lainete saladustesse, mille taltsutamiseega inimene sai võimu kauguste üle.

Väike näide. Kaks inimest sammuvad, üks teise taga. Tagumine hüüdis eelkäijat, see pöördus ümber. Mis sundis teda selleks? Ta kuulis hüüdu.

Üsna kulunud, kuid sellele vaatamata väga pittlik ja lihtne näide laine abil toimuvast sidest. Laineks on käesoleval juhul õhuline. Kus on selle allikas? Asetage käsi oma kurgu juurde, kui hüüate, ja te tunnete millegi vibreerimist. See on häälepaelte värisemine.

Vaadeldes teisi hääleallikaid — helisevat pillikeelt, töötava valjuhääldi membraani jne. — võib kergesti märgata, et kõik nad võnguvad. Maksab ainult katkestada võnkumine (näiteks puudutada pillikeelt käega), kui heli katkeb. Sellest järeltame, et hääli tekib esemete võnkliikumise tõttu.

Muusika, kõne, kihutava rongi müra, lindude sädin — kõik need on erinevate helide näited. Neid on väga palju, vahel nad paistavad täiesti erinevatena. Mis ühist võiks olla piksemürina ja ööbikulaulu vahel? Ja siiski on eranditult kõigi helide loomus sama.

On madalaid ja kõrgeid helisid. Nii on meeshääl tavaliselt madalam kui naishääl. Heli kõrgus oleneb sellest, kui kiiresti võngub heliallikas. Näiteks pika ja jämeda pillikeele võnkumine on aeglane ja heli seetõttu madal. Peen ja lühike pillikeel võngub palju kiiremini ja tekitatud heli on kõrge.

Keha võnkumiste arvu ühes sekundis nimetatakse võnkesageduseks. Jätame selle nimetuse meelde — pärastpoole tuleb meil sellega tihti kokku puutuda. Kui keha teeb 1 täisvõnke sekundis, öeldakse, et võnkesagedus on 1 herts. See nimetus on antud kuulsa saksa füüsiku H. Hertzi auks.

Inimene võib kuulda helisid, mille sagedused on 16 ... 20 kuni 16 000 ... 20 000 hertsi (need piirid olenevad kõrva individuaalsetest iseärasustest).

Kuuldamatuid helisid sagedusega alla 16 ... 20 hertsi nimetatakse infraheliks ja sagedusega üle 16 000 ... 20 000 hertsi — ultraheliks.

Kuidas siis levib hääl ja miks võib häält kuulda?

Paneme pillikeele võnkuma. See võnkumine antakse edasi ümbritsevale õhule. Õhusakesed hakkavad samuti võnkuma. Õhus tekivad järjestikused tihedamad ja hõredamad alad, mis moodustavad nähtamatud, ruumis levivad lained.

Kes poleks näinud ringe veepinnal, kui sinna on visatud kivi? Ka need on lained.

Kaugust kahe järjestikuse laineharja vahel nimetatakse lainepikkuseks. Võnkesagedus ja lainepikkus on teineteisega seotud. Et lainepikkust teada saada, ei pruugi alati teda mõõta ja see ei ole ka igakord võimalik. On küllalt, kui jagada kiirus, millega laine levib, võnkesagedusega. Mida suurem on võnkesagedus, seda lühem on laine.

Mõõtmised näitasid, et tavalise temperatuuri juures on hääle kiirus õhus ligikaudu 340, vees — 1450 ja rauas — ligikaudu 5000 meetrit sekundis.

Mida kaugemale laine levib, seda rohkem kulub energiat ja seda nõrgemaks ta muutub. Nõrgenemist põhjustab üksikute õhu- või veeosakeste vaheline hõõrdumine ja energia jaotumine üha suuremale ruumiosale. Seetõttu kauguse suurenedes hääl nõrgeneb. Vedelikes ja eriti tahketes kehtades on häälelaine kustumine palju väiksem kui



Laine mudel.

Dominokivid kukuvad üksteise järel pikali. Kukkudes ning üksteist tõugates jäävad nad paigale, kuigi tekib liikumine paremalt vasakule. See nähtus sarnaneb laine levimisega. Iga kivi võib vaadata aineosakesena, mille laine paneb «paigalt nihkumata» võnkuma. Niisamuti levib iga «tõeline» laine. Heli- laine liikumisel hakkavad õhusakesed üksteise järel võnkuma, merelaine tõukab järjekorras veesakesi jne.

õhus. Pannes kõrva raudteerööpa vastu, on läheneva rongi müra palju varem kuulda kui õhu kaudu.

Langedes vastu meie kõrva trumminahka, panevad häälelained selle võnkuma ja me kuulemegi heli.

Aga kuidas on lood häälega õhutühjas ruumis? Vaatame joonist. Klaaskupli all on kellahelinat kuulda. Kuid noorel eksperimendiaatoril pruugib ainult õhk klaaskupli alt välja pumbata ja kohe kaob ka kellahelin.

Aga on olemas ka laineid, mis levivad õhutühjas ruumis. Need ongi elektromagnetilised lained, mida kasutatakse raadioside puhul.

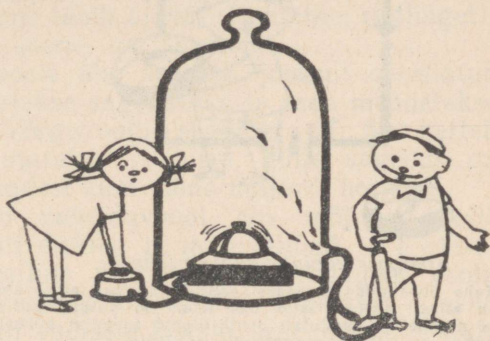
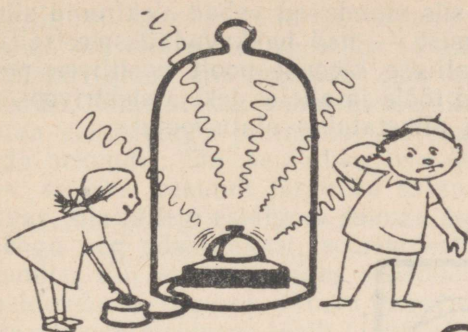
Kõik meid ümbritsevad kehad koosnevad tibatillukes- test osakestest — molekulidest, viimased aga veel väikse- matest osakestest — aatomitest. Ka aatom ise on keeruka ehitusega. Tema keskel asub tuum, mille mõõtmed on ligikaudu 100 000 korda väiksemad aatomi enda mõõtme- test. Tuuma ümber tiirlevad elektronid nagu planeedid ümber Päikese.

Tuum on laetud positiivselt, elektronid — negatiivselt.

Nagu teada, pole elektrilaengud üksteise suhtes «üks- kõiksed». Erinimelised laengud tõmbuvad, ühenimelised (+ ja + või — ja —) aga tõukuvad.

Kui hõõruda merevaigutükki või klaaspulgakest kuiva siidriidiga, siis läheb osa elektrone merevaigult või klaa- silt üle siidriidile. Selle tagajärjel omandavad merevaik ja klaas positiivse laengu, aga siidriid — negatiivse.

Iga kooliõpilane teab, et laetud keha mõjutab kergeid



Heli ja õhk.

Ohuta ei kuule me heli. Selles on kerge veenduda, kui pumpame õhu välja kupli alt, kus asub elektrikell. Leidub aga laineid, mis saavad suurepäraselt läbi õhutagi, levivad kergesti vaakumis. Jutt on elektromagnetilistest lainetest.

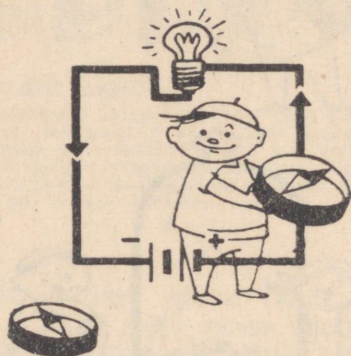
esemeid — väikesi paberitükikesi, tolmukübemeid jne., tõmmates neid enda poole. See aga tähendab, et laetud keha ümbritsevas ruumis eksisteerivad elektrilised jõud.

Aatomituuma laeng on suuruselt võrdne elektronide laengu kogusummaga, kuid nende laengute märgid on vastupidised ja seetõttu nad tasakaalustavad teineteist ning aatomil tervikuna laengut ei ole. Või nagu sel puhul öeldakse — ta on elektriliselt neutraalne.

Mõnes kehas (need on peaaesjalikult metallid — vask, alumiinium, raud jt.) on aatomid laetud positiivselt ja liigsed (vabad) elektronid saavad liikuda ühe aatomi juurest teise juurde. See on korrapäratu «looderelektronide» liikumine. Kui metalljuhtme otste külge lülitada näiteks

taskulambipatarei, siis muudavad vabad elektronid silmapilkselt oma käitumist — nad hakkavad üksmeelselt liikuma patarei negatiivse klemmi poolt positiivse poole. Elektronid hakkasid tööle ja ahelas tekkis elektrivool.

Niisugust voolu nimetatakse alalisvooluks.



Kompass vooluga juhtme lähedal.

Kahe ühesuguse kompassi osutid näitavad erinevatesse suundadesse. Mõlemad on täiesti korras, kuid üks neist on paigutatud alalisvooluga juhi lähedale ja magnetväli kallutab osuti õigest asendist kõrvale. Teine kompass on kaugemal ja sellele magnetväli ei mõju.

Lähendades vooluahela juhtmele tundliku kompassi, märkame, et kompassinõel kaldub oma esialgsest asendist kõrvale. Katkestame vooluringi — kompassinõel pöörduv endisesse asendisse tagasi. Niiviisi saab näitlikult tõestada, et elektrivool tekitab ümbritsevas ruumis magnetijõudusid, mis kallutavadki kompassinõela kõrvale.

Voolu poolt tekitatud elektri- ja magnetijõud kujutavad endast materia ühe eriliigi, nn. elektromagnetilise välja avaldumise vormi.

Kujutlegem enestele elektrivooluahelat, mis koosneb patareist, juhtmetest ja lambist. Mis juhtub siis, kui hakata patarei pooluseid kiiresti ümber lülitama? Selge — vool hakkab ahelas liikuma kord ühes, kord teises suunas ja lamp hakkab vilkuma.

Aga kui lülitame patareid ümber üha kiiremini ja kiiremini, kasutades selleks isegi mingi mootori abi? Sel juhul me lambi vilkumist juba enam ei märka; helendav

hõõgniit ei jõua jahtuda ja vilkuda selle lühikese aja jooksul, kui elektrivool «peatub» ja muudab oma suunda.

Elektrivoolu, mis muudab oma suunda palju kordi sekundis, nimetatakse vahelduvvooluks. Just selline vool voolab elektrivõrgu juhtmetes. Ta muudab suunda sada korda sekundis: ühe sajandiku osa sekundist tormab ta ühes, seejärel sekundi järgmise sajandiku vältel vastasuunas, siis jällegi esialgses suunas jne. Niimoodi võngub ta kogu aeg edasi-tagasi, sooritades 50 täisvõnget igas sekundis. Kui seejuures üles joonistada, kuidas muutub vahelduvvoolu tugevus (voolu tugevus on seda suurem, mida rohkem elektrone läbib ajaühikus juhtme ristlõiget), siis saame lainelise joone, nn. sinusoidi.

Vahelduvvoolu poolt ühe sekundi jooksul sooritatud võngete arvu nimetatakse sageduseks ja seda mõõdetakse samuti hertsides. Võrguvoolu sagedus on 50 hertsi. Raadiotehnikas kasutatakse voolusid, mille sagedus on mõnestkümnest tuhandest kuni mõne miljardi hertsini.

Kui juhet läbib vahelduvvool, siis mõjuvad selle juhtme ümber samuti elektri- ja magnetijõud, s. t. eksisteerib elektromagnetiline väli. Kuid lähendagem voolu kandvale juhtmele ükskõik kui tundlik kompass — selle osuti jääb liikumatult endisele kohale, sest magnetnõelale mõjuvate magnetjõudude suund muutub nii kiiresti, et magnetnõel lihtsalt ei jõua oma inertsiga tõttu neile reageerida.

Vahelduva välja elektri- ja magnetijõud ei saa eksisteerida teineteisest lahus. Iga magnetjõudude muutus toob endaga kaasa elektrijõudude kohese muutuse. Nii-sugust välja omadust nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks (sõnast «indutseerima» — tekitama, sisse tooma). Ja vastupidi — elektrijõudude muutumine kutsub vältimatult esile magnetjõudude vastava muutumise.

Kui vahelduvvoolu elektromagnetilisse välja asetada suletud juhtmekeer, siis hakkab selles keerus ringlema sama sagedusega vool. See on elektromagnetilise induktsiooni tagajärg.

Induktsiooninähtust kasutatakse näiteks transformaatore juures. Transformaatori abil on võimalik ükskõik kui palju suurendada või vähendada vahelduvvoolu pinget*.

* Kui elektrivoolu tugevuse analoogiks võib tuua veejoa läbimõõdu, siis pinget analoogiks on kõrgus, millelt see veejuga langeb.

Transformaator on üks levinumaid elektrotehnilisi aparate, nii näiteks võib seda kohata peaaegu kõikides raadiovastuvõtjates. Transformaatoril on kaks mähist, mõnikord ka rohkem. Kui ühes mähises voolab vahelduvvool, siis tekib selle ümber vahelduv elektromagnetiline väli. Läbides teise mähise keerde, tekitab see väli selles vahelduvpinge.

Vahelduval elektromagnetilisel väljal on tänu induktsooninähtusele üks tähelepanuväärne omadus — ta levib ruumis lainetusena. Elektrijõudude iga muutus mingis punktis kutsub naaberpunktis esile magnetjõudude muutuse. Viimane, omakorda, mõjustab elektrijõude veelgi kaugemas punktis, need jälle edasi magnetjõude jne. Nii viisi tekibki elektromagnetiline lainetus — see teatejooks, kus üksteist väljavahetavate jooksjate osades esinevad elektri- ja magnetväljad. Neil jooksjail ei leidu võistlejaid — nende kiirus on 300 000 kilomeetrit sekundis!

Kui joonisel kujutada elektri- või magnetjõudude suuruse muutumist olenevalt kaugusest, siis saame meile tuttava lainelise joone — sinusoidi. Selline pilt on õige mingil teatud ajamomendil. Kuna laine liigub, ja nagu ütlesime, veel väga kiiresti — valguse kiirusega, siis järgnevas hetkeks on sinusoid juba veidi edasi nihkunud. Elektromagnetilise laine pikkus on kaugus meie sinusoidi kahe harja või põhja vahel.

Elektromagnetilisi laineid võib jaotada paljudeks liikideks. Nende hulka kuuluvad nii raadiolained, röntgenikiired kui ka valgus. Igal elektromagnetilise laine perekonnaliikmel on oma iseloomulikud, täiesti individuaalsed omadused, mis kõik tulenevad lainepikkuse erinevusest. Nagu kõiges muuski, mis puudutab raadiot, on ka siin võimalikud erinevused hiiglasuured: raadiolainete lainepikkus võib ulatuda kilomeetritest millimeetriteni. Valguslainete pikkust mõõdetakse aga ainult millimeetri kümnetuhandikes osades.

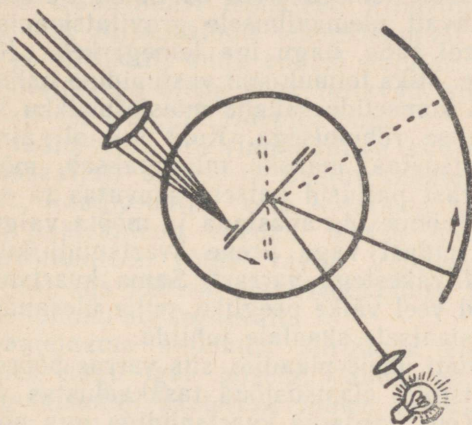
Mida me teame kõigist neist väledatest lainetest?

Veel käesoleva aastasaja alguses arvati, et elektromagnetilised lained on erilise kõiketäitva aine — maa-

Pinged trafomähistel on võrdelised mähiste keerdude arvuga. Kui näiteks elektrivõrku lülitatud primaarmähises on kümme korda rohkem keerde kui sekundaarmähises, siis on sekundaarmähise pinge niisama palju kordi väiksem. Ja vastupidi, kui sekundaarmähises on suurem arv keerde, siis on ka pinge seal kõrgem.

ilmaeetri lained (muidugi ei mõeldud seda eetrit, mida kasutatakse narkoosil). Kuid varsti avastasid teadlased, et mingit eetrit ei ole olemas. Sõna «eeter» säilis ainult radistide kõnekeeles, tähistades raadiolainetega täidetud ruumi.

Millega seletada elektromagnetiliste lainete võimet levida õhuta ruumis? Kas need lained on üldse materiaalsed? Võib-olla on siiski õigus idealistidel, kes väidavad, et elektromagnetiliste lainete olemus on tunnetamatu, et need lained ei allu tavalistele maistele seadustele?



Valguse rõhk.

Siin on kujutatud seade, millega avastati valguse rõhu olemasolu. Päikesekiir, läbides koondavläätse, langeb õhutühja klaaskupli alla peenikesele niidile kinnitatud tiiviku ühele tiivakesele. Niidi küljes ripub peeglike. Sellele langeb teine valguskiir — väikesest lambikesest. Peegeldunud kiir langeb skaalale. Valguse rõhu tõttu hakkab tiivik pöörduma ja valguslaik liigub mööda skaalat edasi. See nihkumine näitabki valguse rõhu olemasolu.

Kui elektromagnetilised lained on materiaalsed, siis peavad nad mõjuma kõikidele esemetele, mida kohtavad, ja avaldama neile rõhumist. Sellest rääkis juba inglise füüsik Maxwell (1831—1879), elektromagnetiliste lainete teooria looja. Kuid keegi ei suutnud elektromagnetiliste lainete rõhku katseliselt tõestada. Mis siin ka imestada — see rõhk on ju tohutult väike.

Maxwelli arvutuste järgi pidi näiteks päikesevalgus

maapinna igale ruutmeetrile rõhuma mõne kümnendiku milligrammi suuruse jõuga. Seetõttu ka Maxwell ise kahtles selles, kas valguse rõhku on üldse võimalik avastada ja mõõta.

Selle äärmiselt raske ülesande lahendas väljapaistev vene teadlane P. N. Lebedev.

Lebedevi tähelepanu köitis pikka aega mõistatuslikuna tunduv loodusnähtus. Kõik teavad komeete, nn. sabaga tähti. Komeetide sabad, mis ebausklikes inimestes hirmu tekitasid, pole midagi muud kui äärmiselt hõreda pihustatud aine pilved. Pandi tähele, et kui komeet asub Päikese läheduses, siis on komeedi saba suunatud Päikesest eemale. Kuid vastavalt ülemaailmsele gravitatsiooniseadusele peab komeedi saba, nagu iga teinegi keha, tõmbuma Päikese poole. Miks toimub siin vastupidine nähtus?

Lebedev seletas komeetide sabade mõistatuslikku käitumist päikesevalguse rõhumisega. Kuid see oli ainult oletus. Teadlane otsustas, maksku mis maksab, mõõta valguse rõhku. Pärast paljusid katseid saavutas ta edu.

Seade, mille abil õnnestus avastada ja mõõta valguse rõhumist, kujutas endast väga peene kvartsniidi külge riputatud kergete tiivakestega varrast. Sama kvartsniidi külge oli kinnitatud veel väike peeglike, mille ülesandeks oli valguslaik spetsiaalsele skaalale juhtida.

Kui valgus suunati ühele plaadile, siis varras pöördus niikaua, kuni kvartsniidi elastsusjõud tasakaalustas valguse rõhumisjõu. Koos varda ja kvartsniidiga aga pöördus ka peegel, nihutades skaalal valguslaiku, mis täitis omapärase osuti ülesannet.

Esiialgu paistis, et valguse rõhumine on avastatud ja tema suurus mõõdetud. Kuid teadlast ootas ebameeldiv üllatus. Varda pöördumine ei olnud kooskõlas Maxwelli arvutustega. Millest tekkis erinevus?

Selgus, et valguskiir rõhus plaati ja samal ajal soojendas seda. Soojus kandus üle ümbritsevatele õhule ja tekkivad õhuvoolud pöörasid omakorda plaati. Lebedev pumpas anumast, kus asus seade, õhu välja. Tekkis veel teisigi takistusi, kuid teadlane kõrvaldas need kannatlikult üksteise järel ja saavutas lõpuks õige tulemuse.

Nende katsetega oli tõestatud elektromagnetiliste lainete materiaalsus.

«Seesama, ainult ilma kassita»

Räägitakse, et jugoslaavia draamakirjanik Nušič, paljude tuntud komöödiate autor, püüdis kord oma sõpradega vesteldes neile seletada, mis asi on telegraaf.

«Kujutage endale ette suurt kassi, kelle saba on Zagrebis ja pea Belgradis. Kui Zagrebis saba sikutada, siis hakkab pea Belgradis näuguma.»

Sõbrad küsisid seepeale, mis asi on raadio.

«Seesama, ainult ilma kassita,» oli Nušiči vastus.

Selles naljatoonis toodud seletuses jääb muidugi vajaka teaduslikust täpsusest. Proovime teha sedasama, mida tegi Nušič, ainult teaduslikumalt — seletame lihtsalt ja piltlikult, mida endast kujutab raadio. Kuna me raadiolainetega oleme juba tuttavad, siis vaatleme nüüd, mis asi on traadita sidepidamine.

Raadiosideks või ringhäälingu kuulamiseks on tarvis raadiosaatjat, saate- ja vastuvõtuantenne ning vastuvõtjat. Raadiosaatjat võib kujutleda raadiolainete tehaseks. Saateantenn saadab tehase toodangut välja ja vastuvõtuantenn võtab vastu. Vastuvõtja on keerukas «asutis», mis töötleb elektrivõnkumisi helideks. Raadiosaade toimub alljärgnevalt.

Saatejaama antennist kiirgunud elektromagnetilistel lainetel, nagu igal teiselgi lainel, on teatud energia. Vastuvõtukohta saabuvad lained mõjustavad vastuvõtuantenni. Elektronid antennitraadis hakkavad liikuma elektromagnetilise induktsiooni tõttu (sellest nähtusest oli meil juba eespool juttu) ja tekib vahelduv elektrivool, mille sagedus vastab alati vastuvõetava elektromagnetilise laine pikkusele. Raadiovastuvõtja ülesandeks ongi see vool «kinni püüda».

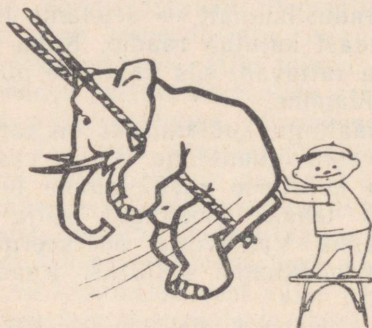
Mida suurem on elektrivoolu sagedus, s. t. mida lühem on elektromagnetilise laine pikkus, seda kergemini toimub energia kiirgamine. See on üks põhjusi, miks raadiosideks kasutatakse tavalise vahelduvvoolu asemel kiiresti võnkuvaid voolusid ehk kõrgsagedusvoolusid, nagu neid nimetama on hakatud.

Oma esimeste katsete puhul kasutas A. S. Popov väga primitiivset Hertzi vibraatorit. Selle kõige olulisemat puudust võib selgitada järgmise näite varal.

Kujutame enesele ette, et istume koosolekul, kus on puhkenud ägedad vaidlused. Igaüks püüab oma naabri-

tele midagi seletada. Teie püüate ka oma mõtteid seltsimeestega jagada, ja et need kuuleksid, kõrgendate oma häält ja püüate rahvahulgast üle karjuda. Loomulikult järgnevad teie eeskujule teised. Üldine lärm tugevneb sedavõrd, et enam üldse midagi aru saada ei ole.

Midagi taolist toimus raadio arengu algaastatel. Koos raadiosaatjate arvu kasvuga kasvas ka nende võimsus ja seda rohkem nad segasid üksteise tööd. Paistis, et olukorrast ei ole väljapääsu. Kuid siiski õnnestus varsti eetris korda luua. Üksikute saadete eraldamiseks hakati kasutama resonantsinähtust.



Resonants.

Kui keha võnkumise omasagedus ühtib väljastpoolt antud tõugete sagedusega, tekib resonants. Resonantsi korral piisab suhteliselt väikesest energiakulust, et keha tugevat võnkumist alal hoida. Resonantsinähtust kasutatakse raadiotehnika väga laialdaselt, muuhulgas just vastuvõtja häälestamiseks kindlale sagedusele.

Oletame, et kaks kitarr- või viiulikeelt on häälestatud samale toonile. Kui üks keel helisema panna, siis hakkab teine kohe kaasa helisema. Niisugust nähtust nimetatakse resonantsiks (sõna «resonants» tähendab vastuhelisemist, kajamist).

Iga elastne keha — pillikeel, vedru jne. — hakkab pärast esialgset tõuget teatava kindla sagedusega võnkuma. Seda sagedust nimetatakse omasageduseks ja ta on keha võnkumise keha mõõtmetest, kujust ja samuti ainest, millest see keha on tehtud.*

* Kui paneme mingi keha üheainsa tõukega helisema, siis võnkumine aegamööda nõrgeneb, kuni me lõpuks seda enam üldse ei kuule. Niisugust hääbuvat võnkumist nimetatakse kustuvaks võnku-

Resonants tekib siis, kui pillikeele, vedru või pendli omasagedus ühtib välise, võnkuma paneva sagedusega. Resonantsi puhul on tarvis ainult võrdlemisi väikest energiakulu, et alal hoida mingi keha tugevat võnkumist. Nii näiteks isegi väike laps võib raske kiige liikuma panna, kui ta ainult tõukab seda võnkumiste taktis.

Inimese kõrv on suurepärane «vastuvõtja», mis on võimeline reageerima väga laias sagedusalas paiknevatele helidele. Kuid kujutlegem endale, et me saame teda häälestada ainult ühele toonile, nii nagu häälestatakse pillikeeli. Siis kuuleks kõrv ainult üht tooni (resoneeriks sellele) ja kõik ülejäänud häälelained jääksid tajumatuks.

Kui meie kuulmis- ja kõnelemiselundeid oleks võimalik niiviisi häälestada, siis saaksime rahva hulgas «erinevatel sagedustel» rääkides oma mõtteid segamatult vahetada.

Läheme nüüd tagasi reaalsuse pinnale. See, mis inimkõne puhul fantaasiaks osutus, on raadiotehnikas täiesti

miseks. Kustuva võnkumise amplituud väheneb tavaliselt geomeetrilises progressioonis. Mõnel juhul on kustumine aeglane ja me kuuleme tükki aega puhast tooni (näiteks kirikukella puhul). Kui kustumine on väga kiire, siis on kuulda ainult «kolks» ja me ei saa määrata, mis tooniga keha helises. Järelikult et tooni määrata, peab keha võnkuma pikka aega, soovitatav kustumatult. Et keha võnguks kustumatult, selleks peab talle pidevalt energiat juurde andma. Oluline on just energia juurdeandmise pidevus. Kui püüaksime energiat juurde anda järgmise löögiga, saaksime kolksude ahelast koosneva plärina nagu äratuskella puhul. Teadlased on tõestanud, et põhjust, miks me kustuva võnkumise puhul puhast tooni eraldada ei suuda, ei saa ainult inimese kõrva süüks panna. Kustuvalt võnkuv keha saadab lühikese aja jooksul välja suure hulga puhtaid toone teatud sagedusvahemikus ja inimkõrv kuuleb neid kõiki.

Hertzi vibraatori puhul tekivad elektrivõnkumised iga sädeme ajal, mis hüppab vibraatori kuulikeste vahel, ja kustuvad väga kiiresti. Järelikult kiirgab nn. sädesaatja mitte ühtainsat kindlat sagedust, vaid tervet sagedusriba. Kui kuulaksime sellist saatjat tänapäeva vastuvõtjaga, siis oleks peaaegu kogu laineala üheainsa jaama «plärinat» täis. Seetõttu on nüüdisajal sädesaatjate, s. o. kustuva laine kasutamine rahvusvaheliste määrustega keelatud.

Ette rutates olgu öeldud, et üheks meetodiks, millega raadio algpäevil kustuvat lainet püüti kustumatuga asendada, oli sädevahemiku asendamine kaarleegiga. Selle meetodi teoreetiliseks autoriks on inglise füüsik Dudell (1899) ja praktiline rakendaja taani insener Poulsen (1903). Poulseni kaarleeksaatja oli esimene, millega koos sai kasutada mikrofoni. Hiljem ilmusid nn. masinsaatjad (E. Aleksanderson, 1908; USA). Alates 1913. a. algas lampgeneraatori võidukäik (lampgeneraatori leiutas saksa teadlane A. Meissner). — *Tõlk.*

teostatav. Kuidas siis õnnestub raadiojaama üsna rahulikult, ilma mingi pingutuseta eraldada kogu maailma raadiojaamade poolt eetris tekitatud tohuvabohust?

Selleks tuli eeter raadiojaamade vahel ära jaotada. Igale raadiojaamale eraldati kindel sagedusriba, mille piirides tal on lubatud töötada. Nii saatja kui ka vastuvõtja varustati spetsiaalse seadisega. Lähemalt tutvume sellega edaspidi, nüüd mainime ainult, et seadist nimetatakse võnkeringiks ja et see võimaldab saatjal eetris piiriduda lubatud sagedusribaga ning vastuvõtjal valida ükskõik millist sagedusriba, minna ühelt lainelt teisele.

Kuid mis puutub siia resonants?

Raadiosaatja, milles on võnkering, ei kiirga enam laia raadiolainete sagedusriba, vaid juba üsna kitsast, mis vastab võnkeringi häälestusele. Analoogilise võnkeringiga varustatud vastuvõtja võtab resonantsi häälestatuna vastu ainult «oma» saatjat.

Esimesed vastuvõtjad ja saatjad olid väga ebatäiuslikud. Vastuvõtjate suureks puuduseks oli vähene tundlikkus. Nagu me teame, on ruumis levivate raadiolainete energia väga väike ja kahaneb kauguse suurenemisega kiiresti. Esimesed vastuvõtjad reageerisid aga ainult võrdlemisi tugevatele signaalidele.

Kuidas tõsta vastuvõtja tundlikkust? Sellele küsimusele ei suutnud teadlased otsekohe vastata. Paistis, et raadiotehnika on ummikusse jooksnud.

Kuid igast ummikust on leitud väljapääs. Seekord valgustas teaduse teed lamp, mida palju suurema õigusega kui kuulsat Aladini lampi Šeherezade muinasjuttudest võib imelambiks nimetada.

See oli elektronlamp, mida sageli rahvapäraselt raadiolambiks nimetatakse.

Raadiolampide abil võib elektrilisi signaale tohutult võimendada. Seetõttu saab lampvastuvõtjatega püüda väga nõrku elektromagnetilisi laineid. Mis siis imestada, et esimesed elektronlambid tekitasid sensatsiooni.

«Ükski täiustus kaasaegses raadiotehnikas ei saa tekitada niisugust muljet,» jutustas pärastine väljapaistev nõukogude raadiospetsialist P. A. Ostrjakov, «kui need, mis tekkisid tutvumisel esimeste elektronlampidega, mida Vene armees hakati rakendama Esimese maailmasõja ajal...

Riia all valmistus XII armee pealetungiks. Põhjarinde staap Pihkvas pidas palavikulise kiirusega sidet armee-staabiga Riias. Aeg-ajalt traatside Pihkva ja Riia vahel katkes ja siis asendas seda raadioside.

Kahekilovatise väliraadiojaama sädesaatja* ei suutnud täie töökindlusega katta 250-kilomeetrist vahemaad, seepärast asetses vahepeal, Valga linnas, ülekandejaam, mis abistas peajasjalikult Riijat, saates Riias šifreeritud raadiogramme Pihkvasse. Võimsam Pihkva tuli toime ilma Valga abita. Riia võttis tema raadiogramme vastu ilma vahetalitajata, olgugi et need olid üsna kehvavõitu. Kuid juhtus õnnetus — staabi kõige kibedamal tööajal läks Valga «kaduma». Sel momendil saabus Pihkva raadiojaama ebatavaline saadetis — raske poleeritud tammepuust lame kast, mõõtmetega umbes 40 × 50 cm.

Aparaadi juures valvekorras olev kuulderadist ei pööranud millelegi tähelepanu, ta oli täiesti löödud õnnetusest raadiosidega... Teda paluti veidi eemalduda ja toodud kast asetati radisti taburetile... See oli lampvastuvõtja. Lamp süttis tagasihoidliku sinaka helendusega, ja telefonist kostis tugevat Riia saadet, mis tulemusetult kutsus välja Valgat. Ja mitte ainult Riia — siinsamas surisesid Vene Traadita Telegraafi ja Telefoniühingu Peterburi saatjate pöörlevad sädemikud ning «laulsid» nii vene kui ka saksa «telefonenite» tonaalsed sädesaatjad. Valvekorra kuulderadist seletas hämmeldunult: «Dvinsk, Jakobstadt, aga see on tema... töötab.»

Tekkis mulje, nagu oleks udu hajunud ja kõik nähtavale tulnud. Pime, kes on nägijaks saanud, tunneks end arvatavasti niisamuti kui need, kes siis sädesaatja kaariku juures võlututena helesiniselt hõõguvat lampi vaatlesid...»

Elektronlamp tekitas pöörde vastuvõtu- ja ka saate- tehnikas. Niihästi juba A. S. Popovi kasutatud sädesaatjad, täiuslikumad kaarleeksaatjad, milles võnkumisi tekitati mitte katkelise sädemega, vaid pidevalt põleva kaarleegi abil, kui ka masinsaatjad, mis on analoogilised vahelduvvooluvõrgus kasutatavate generaatoritega, — kõik need pidid loovutama oma koha lampsaatjatele, mida hakati nimetama lihtsalt «generaatoriteks». (Sõna «gene-

* Sädesaatjates tekitatakse elektromagnetilisi võnkumisi elektrisädemega.

reerima» tähendab tekitama, sünnitama. Mõeldi muidugi elektriliste võnkumiste tekitamist.)

Sel kombel juurdusid raadiotehnikasse võnkeringid ja elektronlambid ning said tema alussammasteks.

Liikumatu pendel

Võnkering — see omapärane liikumatu pendel — koosneb kahest osast — induktsioonpoolist ja kondensaatorist.

Induktsioonpool kujutab endast traatspiraali, mis tavaliselt mähitakse elektrivoolu mittejuhtivale alusele.

Lihtsaimaks kondensaatoriks on kaks tasapinnalist paralleelselt teineteise lähedale asetatud metallplaati.

Enne kui hakkame vaatlema võnkeringi töötamist, tutvume tema üksikosade — induktsioonpooli ja kondensaatori ülesannetega.

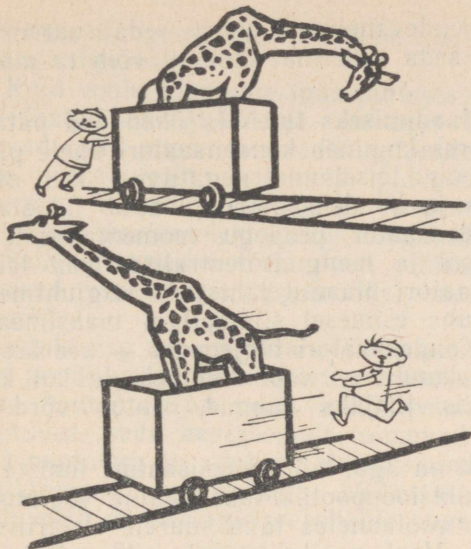
Igapäevases elus tuleb meil tihti kokku puutuda inertsinähtusega. Mõiste «inerts» all mõeldakse kehade omadust säilitada oma paigalolekut või ühtlast sirgjoonelist liikumist. Sageli võime märgata, et auto või tramm sõidab väljalülitatud mootoriga, jalgrattur ei suru pedaalidele. Sellist liikumist põhjustab inerts.

Täislaaditud raudteevaguni kohalt nihutamiseks tuleb suurt jõudu rakendada. Kui aga vagun juba liigub, on seda liikumist palju kergem alal hoida. Vaguni pidurdamiseks on jälle tarvis rakendada väga suurt jõudu. See on veel üks näide inertsist.

Paljude masinate võllidele on asetatud massiivsed hoorattad, mille ülesandeks on pöörlevate võllide järske tõukeid leevendada. Eks proovige hooratast järsku pöörlema panna või äkki pidurdada: sellest ei tule midagi välja. Aeglaselt, justkui vastu tahtmist kogub hooratas kiirust, aga kui ta juba on liikuma hakanud, siis pole tal ka sugugi tahtmist seisma jääda.

Induktsioonpool tuletab meelde hooratast. Tal on omapärane inerts elektrivoolu suhtes, ta võib koguda voolu energiat.

Kui patarei poolused lühistada sirge juhtmega, siis sel-



Inerts.

Liikuma panna on raske, kuid liikumist alal hoida on võrreldamatult kergem. See-eest keha jälle järsku peatada on niisama raske kui teda liikuma panna. Siin avaldubki inerts. Uhel võnkeringi osal — induktsioonpoolil — on elektriline inerts ja seepärast ei saa vool järsult kasvada ega kahaneda. Pool muudab kondensaatori laengu järsud kõikumised sujuvateks voolu muutumisteks.

lises vooluahelas tekib maksimaalne voolutugevus praktiliselt silmapilkselt. Täheb, sirgjuhtme elektriline inerts on tühiselt väike.

Kui aga patarei külge ühendada traatspiraal, siis ei saavuta elektrivool oma maksimaalset tugevust kohe, vaid pikkamisi, alles teatud ajavahemiku möödudes. Protsess toimub seda aeglasemalt, mida rohkem keerde on spiraalis. Seega on induktsioonpoolil elektriline inerts, mis kasvab keerdude arvu suurenemisega.

Pooli induktiivsus takistab voolu kiiret kasvamist vooluringi sisselülitamisel ja samuti tema järsku langust vooluringi katkestamisel. Teiste sõnadega, nii nagu inerts takistab kehade kiiruse igasugust muutumist, nii takistab induktiivsus elektrivoolu tugevuse igasugust muutumist.

Nüüd tutvume kondensaatoriga. Seda võib samastada omapärase anumaga, mis mahutab endasse teatud hulga elektrilaengut. Mida suurem on kondensaatori plaatide

pind ja väiksem nendevaheline kaugus, seda suurem on ta mahtuvus, s. t. seda suuremat laengut võib ta mahutada.

Kondensaatori laadimiseks tuleb ta ühendada patarei poolustega. Seejuures koguneb kondensaatori ühele plaadile positiivne laeng, teisele — negatiivne. Kui nüüd patarei eemaldada ja kondensaatori plaadid lühistada, siis tühjeneb kondensaator peaaegu momentaanselt — juhtmes voolab vool ja laengud neutraliseerivad teineteist. Kui kondensaatori plaadid lühistada sirgjuhtmega, siis voolab seal juba esimesel silmapilgul maksimaalse tugevusega vool. Kondensaatori tühjenedes — see kestab ainult miljondik sekundit — vool kahaneb, ja kui kondensaator on päris tühjaks saanud, osutub võrdseks nulliga.

Hoopis teine asi on aga, kui kondensaatori lühistamiseks kasutada induktioonpooli. Maksimaalne voolutugevus ei teki sellises vooluahelas tänu suurele elektrilisele inertsile otsekohe. Vool poolis kasvab pikkamööda ja saavutab maksimaalse väärtuse alles siis, kui kondensaator on juba täiesti tühjenenud.

Esiialgu paistab, et sel momendil peab vool järsku katkema, sest kondensaator on ju täiesti tühjenenud. Kuid tuletame meelde hooratust, mis juba ammu väljalülitatud mootori võlli otsas ikka edasi pöörleb.

Täpselt samuti ei katke ka elektrilaengute liikumine pooli inertsitõttu kohe, kui kondensaator on tühjaks saanud. Pikkamööda nõrgenev vool liigub pooli poolt kogutud energia arvel veel teatud aja jooksul samas suunas nagu varemgi. Seejuures hakkab kondensaator uuesti laaduma, kuid plaadile, kus varem oli positiivne laeng, hakkab nüüd kogunema negatiivne, ja varem negatiivset laengut kandnud plaadile — positiivne laeng. Hetkeks, millal kondensaator on uuesti täielikult laadunud, langeb voolutugevus ahelas nullini. Seejärel hakkab vool voolama vastassuunas, sest kondensaator hakkab uuesti tühjenema.

Kondensaatori vahelduv laadumine ja tühjenemine hakkab pidevalt korduma. Vooluringis, mis koosneb kondensaatorist ja sellega ühendatud poolist, tekivad elektrivõnkumised. Siit ka nimetus — võnkering. Kui pooli traadil ei oleks takistust, s. t. kui ta laseks elektrivoolu

läbi ilma mingisuguste kadudeta, siis kestaks võnkumisprotsess igavesti.

Kuid voolu liikumine igas juhtmes on vältimatult seotud teatud energiakuluga. Juhtmes liiguvad elektronid peavad «läbi pugema» metalli aatomite vahelt. Osa elektrone põrkab vastu aatomeid, pidurdub ja kaotab oma energiat, mis muundub juhet kuumendavaks soojuseks (tuletame meelde elektripliidi hõõguvat spiraali).

Selle energiakao tõttu pooli juhtmes vähenevad võnkumised võnkeringis aegamööda, kuni lõpuks kustuvad täiesti.*

Võnkering on omapärane elektripendel. Nii nagu tavalisel pendlilgi on ka võnkeringil võnkumiste omasagedus. Mida suuremad on pooli induktiivsus ja kondensaatori mahtuvus, seda aeglasemalt toimuvad võnkumised, s. t. seda madalam on võnkeringi omasagedus. Mahtuvuse või induktiivsuse muutmisega häälestataksegi saatja või vastuvõtja võnkeringid vajalikule sagedusele.

Imelamp

Lapsepõlves meeldis mulle väga araabia muinasjutt Aladinist ja imelambist. Selle võlulambi imed paelusid mu kujutlusvõimet. Lambi abiga täitusid kõige fantastilisemadki soovid. Ta andis inimestele piiramatu võimu ümbritseva maailma üle. Tema abil võis näha, mida tehakse nii kaugel, kus taevast maaga peaaegu kokku puutub, ja kuulda seda, mida räägitakse hoopis teises maailmaotsas...

Suured inimesed seletasid kõike igavalt: sellist lampi ei ole ega saagi olla. See on ainult muinasjutt.

Kui ma aga suureks kasvasin, siis avastas, et niisugune lamp on siiski olemas.

Tõsi, siin ei ole midagi üleloomulikku ega mõistusvastast. Lamp ei tekkinud mingi nõiduse tagajärjel ega salapärase jõudude osavõtul — tema loojaks oli suur geenius Inimene.

* Võnkumise kustumise põhjuseks võnkeringis on peale soojuslike kadude võnkeringi juhtmes veel kiirguskadod — võnkuv energia kiirgub võnkeringist ümbritsevasse ruumi ja esemetele. Mõnikord on kiirguskadod kahjulikud, mõnikord aga (näiteks antenni juures) püütakse kiirgumist igati suurendada. — *Tõlk.*

Jutt on raadiolambist, ehk nagu teda teisiti nimetatakse, elektronlambist.

Mida siis kujutab endast see imepärane lamp, mis tekitab pöörde teaduses ja tehnikas, kogu meie elus? Kuidas on ta ehitatud ja kuidas ta töötab?

Elektronlamp, nii nagu Aladini lamp araabia muinasjutuski, avastati juhuslikult. Ent see on hoopis teist liiki juhuslikkus, millele rajati teed teadlaste esialgu märkamate, kuid tegelikult grandioosseid pingutusi nõudvate töödega. Uue Aladini osa langes tuntud ameerika leidurile T. A. Edisonile.* Kui Edison möödunud sajandi lõpul tegeles venelase Lodõgini poolt leiutatud elektrilambi täiustamisega, siis avastas ta huvitava nähtuse. Tehti järgmine katse. Tavalise valgustuslambi klaaskolbi paigutati väike metallplaat. Lambi kütteniidi ja plaadi vahele lülitati patarei ja tundlik galvanomeeter elektrivoolu avastamiseks. Nagu võiski oodata, jäi galvanomeetri osuti paigale. Elektrivool liigub ju ainult suletud vooluringis, lambi kütteniidi ja plaadi vahel on aga vooluring katkestatud.

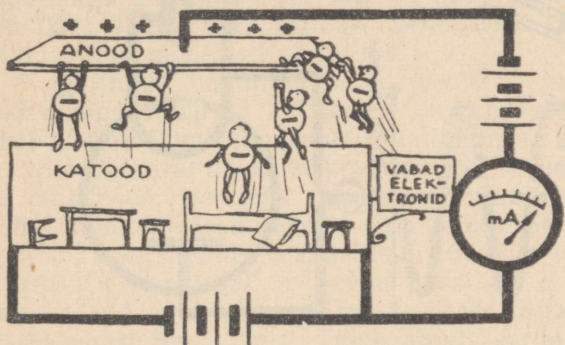
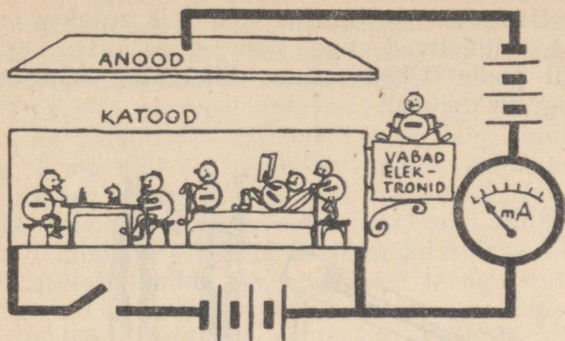
Seejärel lülitati lamp põlema ja niit hakkas hõõguma. Toimus midagi ootamatut — galvanomeetri osuti kaldus paremale. Tähendab, meie katkestatud vooluringis hakkas voolama elekter. Vahemaast hõõgniidi ja plaadi vahel hüppas ta üle, nii nagu jooksja hüppab üle teel olevast väikesest kraavikesest.

Ja mis veel imelikum: vool tekkis ainult siis, kui plaadiga ühendati patarei positiivne poolus ja kütteniidiga negatiivne. Kui aga patarei poolused ümber vahetati, siis vool katkes.

Kõik see rääkis vastu elektrotehnikale — teadusele, mis selleks ajaks oli saavutanud juba küllalt kõrge taseme.

Miks läbib vool õhutühja ruumi kütteniidi ja plaadi vahel? Miks voolab ta ainult siis, kui patarei plussklemm on ühendatud plaadiga ja miinuski kütteniidiga, mitte aga vastupidisel juhul?

* Siin autor ilmselt suurendab Edisoni osa elektronlambi leiutamises. Edison avastas küll elektronide emitteerimise nähtuse lambi hõõgniidist, kuid ei osanud seda kuskil rakendada. Nii nagu Hertzi ei saa pidada radio leiutajaks, ei saa ka Edisonile omistada elektronlambi leiutamise au. — *Tõlk.*



Vabad elektronid diodis.

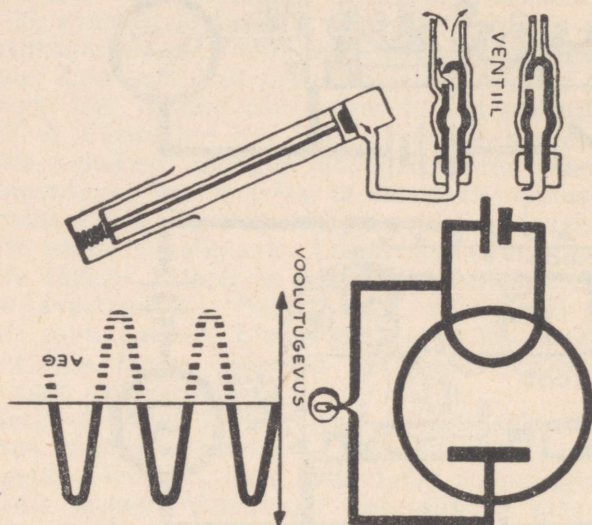
Lihtsaimas elektronlambis — diodis — on kaks elektroodi: katood ja anood. Seni kui küttepatarei ei ole ahelasse lülitatud, jäävad vabad elektronid katoodi. Patarei ühendamisel kuumeneb katood ja vabad elektronid hakkavad sellest välja tormama. Kiiresti anoodile, positiivsete laengute poole. Elektronide hoogus liikumine läbi õhuta ruumi katoodilt anoodile moodustabki anoodvoolu, mis sunnib mõõteriista osutit kõrvale kalduma.

Selgus, et vastata ei olegi väga raske.*

Lambi kütteniit on metallist. Metallides on aga palju vabu, aatomitega seostamata elektrone, mis «kodutuna» «hulguvad» aatomite vahel. Kütteniidi kuumenedes nende liikumiskiirus kasvab. Lõpuks hakkavad nad metallist «välja hüppama». Kui kütteniit hõõgub, siis tekib tema ümber elektronide pilv. Tavaliselt need elektronid «ripu-

* On muidugi kahtlane, kas Edison ise avastatud nähtuse füüsilist loomust oskas seletada, sest elektroniteooria lõi alles hollandi füüsik H. A. Lorentz 1896. a. — *Tõlk.*

vad maa ja taeva vahel», aga kui plaadile antakse positiivne laeng, suunduvad nad oma negatiivse laengu mõjul plaadi poole. Ühes suunas liikuvate elektronide voog aga ongi elektrivool!



Ainult ühes suunas.

Nii nagu ventiil laseb õhku läbi ainult jalgrattakummi sisse, mitte aga vastassuunas, nii juhib dioodki voolu ainult sel ajal, kui anood on laetud positiivselt. Anoodi negatiivse laengu korral on lamp suletud. Põhjus on arusaadav: ühenimelised laengud (katoodi elektronid ja negatiivselt laetud anood) tõukuvad. Ventiilina töötav diood võib suunata vahelduvvoolu.

Kui plaat ühendatakse vooluallika negatiivse poolusega, siis tõukuvad elektronid temast eemale. Sel juhul elektrivoolu ei teki. Vool puudub ka siis, kui lamp ei põle, sest külm hõõgniit ei kiirga elektrone.

Metallplaati (positiivset elektroodi) hakati nimetama anoodiks ja kütteniiti (negatiivset elektroodi) katoodiks.*
Lihtsaimat raadiolampi, milles on ainult kaks elekt-

* Anoodi esialgse plaadikujulisuse tõttu nimetatakse anoodi inglise keeles veel tänapäevalgi sageli plaadiks. Katood võib olla kütteniidikujuline (nn. otsese küttega lambid) või ka metalltoruke (-tasike), mille sees on isoleerituna kütteniit (kaudse küttega lambid). —
Tõlk.

roodi — katood ja anood —, hakati nimetama dioodiks.* (Diod, triood ja lampide teised nimetused pärinevad kreekakeelsetest arvsõnadest kaks, kolm jne. ja tähistavad elektrootide arvu raadiolambis.**)

Diod ei ole veel «päris» imelamp, kuid tal on väga huvitav omadus — ta laseb voolu läbi ainult ühes suunas. Tema abil on võimalik vahelduvvoolu suunata, s. t. muuta see ainult ühes suunas voolavaks. Kui näiteks lülitada diod vahelduvvooluvõrku, siis läbib vool seda ainult lühikeste tõugetena — impulssidena — neil hetkedel, millal anoodil on positiivne laeng. Kui aga anood on laetud negatiivselt, siis lamp ei lase üldse voolu läbi ja sel juhul öeldakse, et ta on «suletud». Seega töötab diod nagu jalgratta- või autokummi ventiil, mis laseb õhku läbi ainult ühes suunas. Sellepärast nimetataksegi alalduslampi mõnikord ventiilikis.

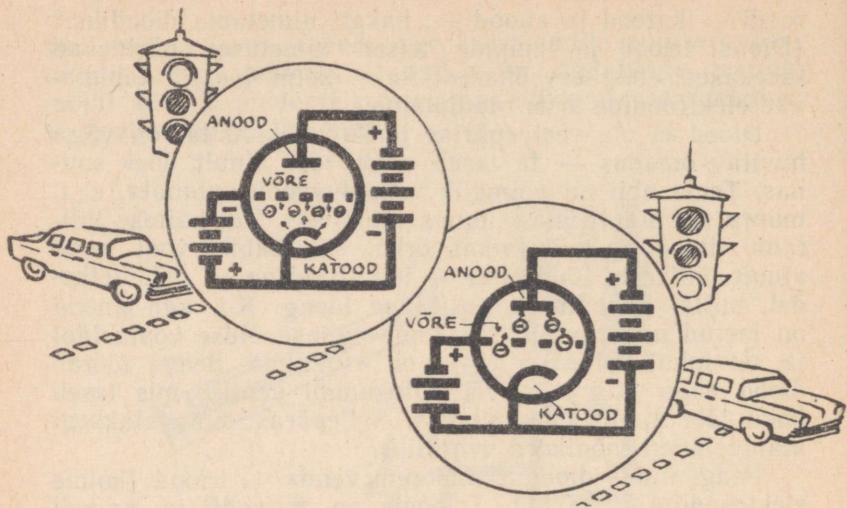
Peagi ilmub dioodile «noorem vend» — triood (kolme elektrootiga lamp)***. Trioodis on katoodi ja anoodi vahel metallvõrgu- või traatspiraalikujuline lisaelektroot, nn. võre. Võre annabki elektronlambile tõeliselt imepärased omadused. Nendega tutvumiseks vaatleme üht elust võetud näidet. Meenutagem sepa elukutset. Vanasti oli sepatöö raske, nõudis ebaharilikku füüsilist jõudu ja pingutust. Ka meie ajal on sepatavaliselt üsna tugevad mehed. Kuid nüüd ei ole tulise ja raske rauatüki sepistamiseks suurt jõudu vaja. Tuleb ainult suruda mehhaanilise haamri jalgpedaalile, ja haamer tõuseb. Teine liigutus — ning haamer sööstab alla, litsudes lamedaks sädeleid pilduva rauatüki. Inimese lihaste nõrk jõupingutus muundub masina vahendusel mitmetonnise haamri löögiks. Väike jalaliigutus oleks nagu tohutu arv kordi võimsamaks muutunud.

* Diodi leiutus 1904. a. inglise teadlane J. A. Fleming. — *Tõlk.*

** Elektronlampide nimetuste esimesed pooled tulenevad kreeka arvsõnadest, kolm viimast tähte on aga sõna «elektroot» lõpp-tähed. — *Tõlk.*

*** Trioodi leiutamisega 1906. a. tegi oma nime maailmakuulsaks ameerika teadlane Lee De Forest. Trioodi leiutamine oli pöördepunktiks raadiotehnika arengus ja seda leiutist võib pidada ka uue teaduse — elektroonika aluse rajajaks. Trioodi abil on võimalik signaale võimendada ja genereerida.

Raadioelektroonika ajaloos on kolm põhjapaneva tähtsusega fakti: raadio leiutamine (1895), trioodi leiutamine (1906) ja transistori leiutamine (1948). — *Tõlk.*



Trioodi võre

on elektronide voo reguleerijaks. Andes võrele negatiivse laengu, osutub tee suletuks. Elektronid peavad ootama, kuni võre laadub positiivselt ja avab neile «rohelise tee».

Midagi analoogilist toimub ka trioodis. Siin võimendatakse palju kordi nõrku elektrivõnkumisi. Seepärast nimetataksegi niisugust raadiolampi võimenduslambiks.

Katoodi ja anoodi osa elektronlambis te juba teate. Nüüd tutvume võre ülesannetega.

Vaadeldgem elava liiklusega ristteel liiklust reguleeriva miilitsa tegevust. Reguleerija tõstis triibulise saua. Stopp! Trammide, autode ja mootorrataste vool seiskub silmapilkselt. Uus liigutus sauaga — ja sõidukid kihutavad jälle üle risttee.

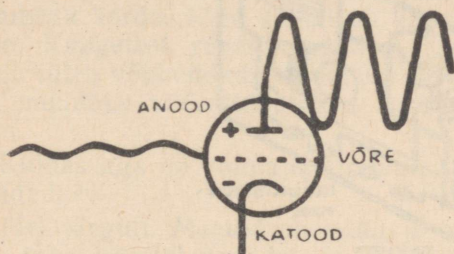
Samuti juhib võre elektronlambi anoodile lendavate elektronide liikumist. Sageli öeldakse, et võre «tüürib» anoodvoolu tugevust ja võret ennast nimetatakse tüüri-vaks elektroodiks.

Kui võrel on positiivne laeng, siis ta kiirendab elektronide liikumist, aitab neil katoodist eemalduda ja anoodile jõuda. Kui aga võre laeng on negatiivne, siis see tõukab elektrone enesest eemale ja takistab niiviisi nende jõudmist anoodile.

Võre on katoodile väga lähedal, palju lähemal kui anood. Seetõttu mõjutab ta elektronide liikumist tunduvalt tugevamini kui anood.

Kui negatiivne laeng võrel on küllalt suur, siis lamp «sulgub», s. t. anoodvool* langeb nullile, vaatamata sellele, et anood on laetud positiivselt.

Oletame nüüd, et miinuslaeng lambi võrel muutus veidi väiksemaks: lambi anood-vooluringis hakkab voolama nõrk vool. Kui võre negatiivne laeng väheneb, siis anoodvool kasvab. Võrelaengu tühine muutumine põhjustab tugevat anoodvoolu muutumist.



Kolme elektroodiga lambi võimsus.

Kolme elektroodiga lampi nimetatakse võimenduslambiks. Võre asub katoodile tunduvalt ligemal kui anood, seepärast mõjutab ta elektronide liikumist palju rohkem. Võrelaengu tühised muutused viivad anoodvoolu järskudele muutustele. Nii nagu hiiglasuurel ekraanil reprodutseeritakse kolossaalses suureduses filmile jäädvustatud kujutis, täpselt samuti kopeerivad võimsad anoodvoolu võnkumised nõrku võrepinge kõikumisi. Vasakul on kujutatud võrele antud elektrivõnkumisi, paremal — anoodis tekkivat voolu.

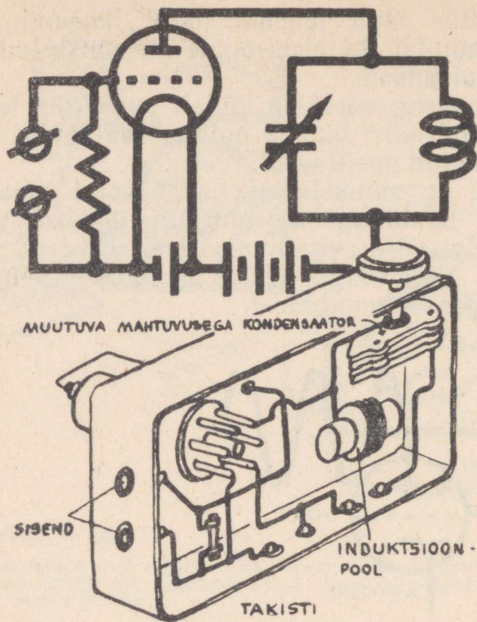
Mis juhtub aga siis, kui võrelaengu suurus kõigub? Sel juhul võngub samas taktis ka anoodvool. Nii nagu filmilindil asuvat tillukest kujutist võime kolossaalselt suurendatuna näha kinoekraanil, nii järgib lambi anoodvool suurendatuna võre laengu väikesi muutusi. Teiste sõnadega, lambis toimub elektrivõnkumiste võimendamine.

Nüüd võib ka selgitada, kuidas töötab kõige levinum raadiotehniline seade — lampvõimendi. Ta koosneb...

Muide, siin peame skeemi appi võtma. Sama skeemi, mis tavaliselt ajab hirmu peale algajale radioamatöörile.

Nii nagu geograafiakaardil linnu tähistatakse väi-

* Anoodvool on elektronide voog, mis läbib lambi anoodi.



Lampvõimendi skeem ja väliskuju.

Teie ees on levinuim raadiotehnikaseade — lampvõimendi. Sisendile (katoodi ja võre vahele) saavad nõrgad elektrivõnkumised (näiteks vastuvõtja antennist). Väljundiga (anoodi ja galvaanielemendi vahele) on ühendatud nn. koormus — võnkering.

keste ringidega, maanteid joontega jne., nii on ka igal raadiodetailil oma tähis. Lambi kesta tähistatakse joonistel ringi või ovaaliga. Väike kaar selle alumises osas on katood (või kütteniid). Katoodist ülalpool on punktiirjoonega tähistatud võre ja võre kohal «plaadina» anood. Lihtne, eks ole?

Vaatleme nüüd tervet lampvõimendi skeemi. Lambi anoodvooluringi on lülitatud võnkering. Spiraaljoon tähistab pooli, kaks lühikest paralleeljoont — kondensaatorit.

Võimendi sisendile (lambi katoodi ja võreklemmi külge) juhitakse nõrgad elektrivõnkumised (näiteks vastuvõtja antennist). Väljundile (anoodi ja anoodpatarei vahele) on lülitatud nn. koormus, milleks praegusel juhul on võnkering.

Kui võimendi sisendil võnkumised puuduvad, siis

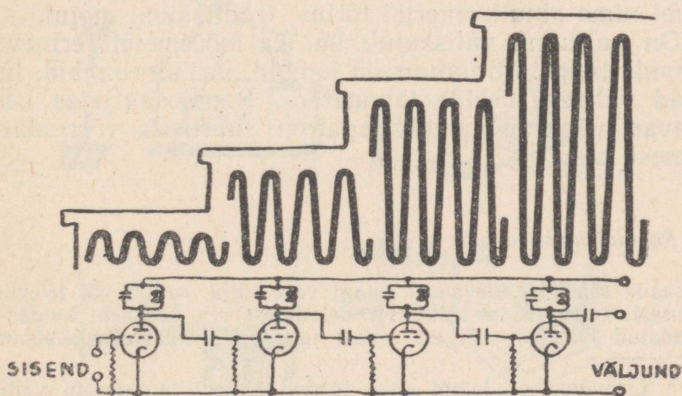
elektrilaeng, mille lambi võrele annab spetsiaalne vooluallikas (lihtsuse mõttes on see skeemile märkimata jäetud), jääb oma suuruselt muutumatuks. Seetõttu jääb ka anoodvoolu tugevus samaks.

Kui lambi võrele saabuvad nõrgad elektrivõnked, siis võrelaeng hakkab perioodiliselt muutuma. Tulemusena hakkab koormust läbiv anoodvool pulseerima. Anoodvoolu tõugete tagajärjel hakkab elektrilaeng võnkeringis võnkuma. Võnkumiste ulatus on eriti suur resonantsi korral, s. o. siis, kui võnkering on häälestatud sisendisse saabuvate võnkumiste sagedusele.

Trioodi abil võib elektrivõnkumisi võimendada mitukümmend korda. Kuid sageli on ka suurest võimendusest vähe. Kaugetest radiojaamadest saabuvaid nõrku signaale tuleb võimendada miljoneid kordi. Nii suur võimendus muudaks vaevaltkuuldava sosina lausa kahurimürinaks.

Kuidas aga on võimalik signaale nii kolossaalselt võimendada?

Järk-järgult. Meetod on vana ja ammu järele proovitud. Juba iidsetel aegadel, kui oli vaja ületada järsktõuse, kasutasid inimesed redelit. Samm sammu järel —



Astmeprintsiihil.

Ühelt trepiastmelt teisele hüpates võib jõuda kõrgeima maja ülemisele korrusele: ühelt lampvõimendi astmelt teisele «hüppavad» elektrivõnkumised võivad saavutada ükskõik kui suure ulatuse. Võimenditest «trepi» abil on kerge nõrku signaale miljoneid kordi võimendada, vaevukuuldavat müra kõrvulukustavaks lärmiks muuta.

ja vahepealsete astmeteta ülesaamatuks osutuv tõus on ületatud.

Samasuguste astmete printsiibil ehitatakse ka võimendid.

Signaale tuleb mitu korda järgemööda võimendada. «Mitmeastmelises» võimendis on järjestikku lülitatud mitu võimendusastet. Iga eelneva võimendusastme väljund lülitatakse järgneva võimendusastme sisendile.

Oletame, et iga võimendusastme abil on võimalik signaale võimendada 10 korda. Kahe astme koguvõimendus on sel korral 100, kolme astme võimendus 1000 jne. Mida rohkem lampe, seda suurem on võimendus. Sellepärast ongi tundlikes vastuvõtjates 10 ja mõnel juhul rohkemgi lampi.

Tänapäeva raadioaparatuuris kasutatakse tihti täiustatud lampe, millel on mitu võret. Nelja elektroodiga (kahe võrega) lampe nimetatakse tetroodideks, viie elektroodiga (kolme võrega) — pentoodideks jne. Nad töötavad kõrgetel sagedustel stabiilsemalt ja annavad suurema võimenduse.*

Üha arenedes muutus elektronlamp ikka erinevamaks oma eelkäijatest — hõõglampidest. Paljude lambitüüpide juures asendati õrn klaaskest tugeva metallkestaga. On selge, et metall-lambid ei anna üldse valgust ja säilitavad lambi nime ainult «inertsitõttu», traditsiooni mõjul.

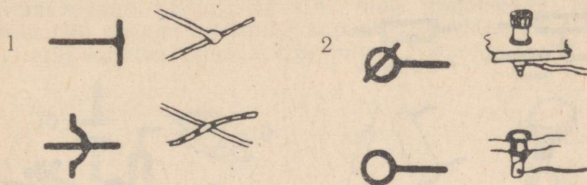
On palju nii väliskujult kui ka mõõtmetelt erinevaid lampide tüüpe. Miniatuurised lambid, nn. tōrulambid, tuletavat väliselt meelde tammetōru. Raadiosaatjates kasutatavad võimsad lambid aga on suuruselt võrreldavad inimese kasvuga.

Raadiotehnika aabits.

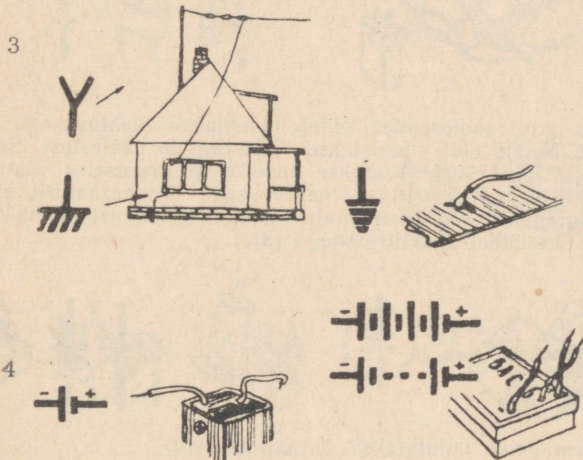
Et saada täielikku ülevaadet mingi vastuvõtja, saatja või televiisori ehitusest, tuleb teada, millistest detailidest see koosneb, kuidas on ühendatud juhtmed. Kõigest sellest jutustab üksikasjaliselt põhimõt-

* Lisavõred on lampi sisse toodud anoodi tagasimõju vältimiseks tüürvõrele või mitme sisendi saamiseks ühe lambi korral. Trioodiga saadav võimendus on olenevalt tüübist keskmiselt 10—50, pentoodiga vastavalt 100—200. Väga kõrgetel sagedustel (üle 30 miljoni hertsi) ja juhtudel, kui on oluline miinimumini vähendada lambi enese poolt tekitatud kahinaid, kasutatakse spetsiaalselt selleks konstrueeritud trioode. Sageduse suurenedes lambilt saadav võimendus väheneb. — *Tõlk.*

teline skeem — omapärane topograafiline kaart, milleta võib kaasaegses vastuvõtjas niisama kergesti ära eksida nagu ürgmetsas. Raadioskeemides võib orienteeruda vaid inimene, kes tunneb hästi aabitsat — erinevate detailide tingmärke. Järgnevatel joonistel on toodud kõige levinumad tähised.



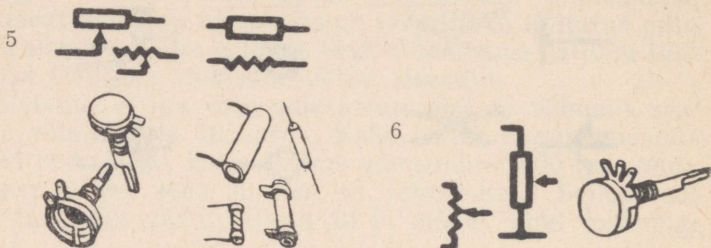
Kahe juhi elektrilist ühendamist (1) kujutatakse joonisel punktina. Kui juhid ei ole omavahel ühendatud, siis punkti nende ristumiskohale ei panda. Klemmi — detaili, mille abil võib antenni maanduse jne. ühendada vastuvõtjaga, tähistatakse ringiga (2). Antenni märgib sümbolseelt kahe- või kolmeharuline kahvel, maandust (või juhi ühendust seadme metallkestaga) — reast horisontaaljoontest koosnev tipuga allapoole suunatud kolmnurk (3). Galvaanielementi tähistatakse kahe vertikaaljoonega — lühikese ja pikaga, elementide patareid aga vahelduvalt paiknevate lühikeste ja pikkade kriipsudestega (4).



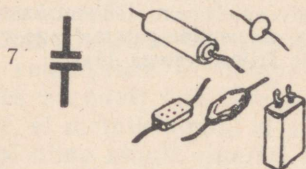
Igas lampvastuvõtjas leidub takisteid, detaile, mis võimaldavad ühelt patareilt või alaldilt saada erinevaid elektripotentsiaale. Takisteid on väga mitmesuguse ehitusega. Tavaliselt kujutavad nad endast portselanist, plastmassist või mõnest muust isoleermaterjalist silindrit, millele on kantud vajalikku takistust omav juhtiv kiht. Mõnikord

mähitakse silindrile erilisest suure takistusega sulamist traatspiraal. Takisteid märgitakse skeemidel ristkülikutega või siksakjoontega (5).

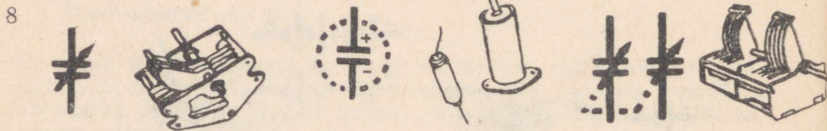
Raadioseadmetes kasutatakse ka muutuvaid takistusi, mille suurus on reguleeritav. Neil on väljaviigijuhtmed mõlemast otsast ja ühtlasi liugkontaktist. Viimast kujutatakse skeemidel noolekesega (6).



Kondensaatoreid märgitakse kahe lühikese paralleelse joonega. Suure mahtuvusega nn. elektrolüüt-kondensaatoreid kasutatakse pulseriva suunatud voolu silumiseks. Neid kujutatakse joonistel täpselt samuti, ainult paralleeljooni ümbritseb punktiirring ja peale selle märgitakse ära juhtmete polaarsus (7).



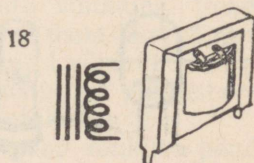
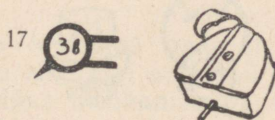
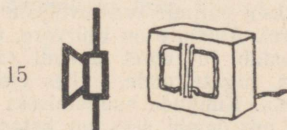
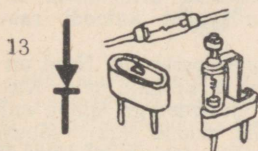
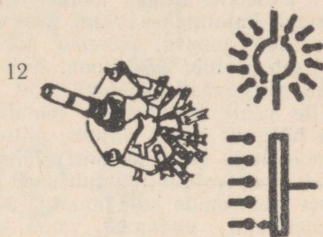
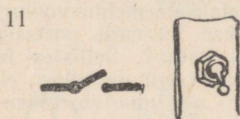
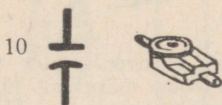
Peaegu igas raadioseades leidub muudetava mahtuvusega kondensaatoreid. Nende abil muudetakse võnkeringide häälestust. Sellise kondensaatori tingtähistele lisatakse nooleke. Kaasaegsetes vastuvõtjates ühendatakse mitu muutuva mahtuvusega kondensaatorit ühisele võllile. Agregaadi koosseisu kuuluvate kondensaatorite noolekesed ühendatakse skeemidel punktiirjoonega (8).



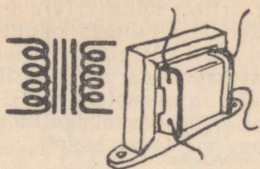
Induktsioonipoole kujutatakse spiraalidena (9).



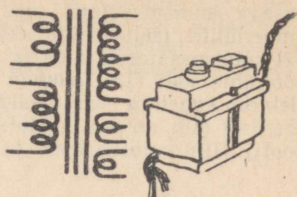
Järgnevatel joonistel näete väikestes piirides muudetava mahtu-
 vusega kondensaatorit nn. trimmerit (10), lülitit (11), lainealade
 ümberlülitit (selle abiga saab sisse või välja lülitada mitmeid poole
 või kondensaatoreid ühel ja samal ajal (12)). Järgnevad detektori või
 pooljuhtdiodi (13), telefoni (14), püsivmagnetiga valjuhääldi (15) ja
 elektromagnetiga valjuhääldi (16) ning grammofoni (17) tähised.
 Joonisel (18) on aga näidatud paispool (raudsüdamikuga induksioon-
 pool), (19) kujutab kahe ja (20) mitme mähisega trafot.



19



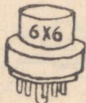
20



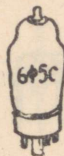
Iseseisva rühma moodustavad erinevate elektronlampide tähised. Lampi kujutatakse ringi või ovaalina. Anoodi märgivad lühikesed rasvased jooned, võresid tähistatakse punktiirjoontega. Hõõgniiti märgib peenike kõverjoon. Kui niiti toidetakse vahelduvvooluga (näiteks võrguvastuvõtjates), siis paigutatakse kütteniit portselankesta, mille peale tõmmatakse metalltoruke — katood. Sellistes lampides on hõõgniit ainult ahjuks, mitte katoodiks. Lugu on selles, et vahelduvvooluga toitmisel niiti läbiv vool kogu aeg muutub, tähendab, ka niidi temperatuur muutub sada korda sekundis. Niidist ruumi paiskuvate elektronide hulk muutub seega samuti. Tulemusena kuuleme iseloomulikku undamist, nn. võrguurinat. Kõetav katood lubab sellest ebageeldivast nähtusest vabaneda. Portselantoruke silub temperatuurimuutusi, elektronid kiirguvad ühtlaselt, urin kaob. Erinevalt otseküttega katoodist kujutatakse niisugust katoodi rasvase kaarekesena.

Sageli peitub ühes balloonis terve lampide perekond. Need on nn. kombineeritud lambid. Joonistel on kujutatud mõningaid neist. Kaksikdiodis (21) peitub ühes kestas kaks kahe elektroodiga lampi, millest kumbki töötab iseseisvalt. Järgneb harilik triood (22). Muuseas, nagu skeemilt näha, võivad mõlemad lambid läbi saada ka ühise katoodiga. Siis tuleb mitme võrega lamp — tetroom (23). Seda lampi kasutatakse paljude vastuvõtjate ja võimendite väljundil. Siin on kaks võret. Alumine on tüürvõre, ülemist nimetatakse varivõreks, sest ta varjestab tüürvõret anoodi tagasimõju eest. Tavaliselt kasutatakse nn. jugatetroode, milles elektronid lendavad anoodile tihedate kimpudena. Kimpude suunamiseks on varivõre ja anoodi vahel juhtplaadid, mis lambi sees on katoodiga kokku ühendatud.

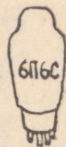
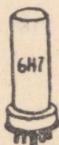
21



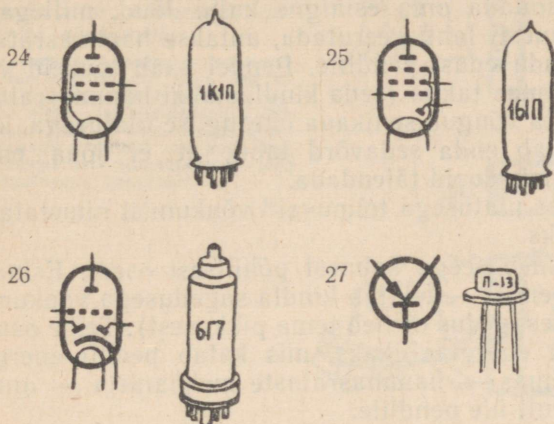
22



23



Joonistel (24, 25) on toodud otseküttega sõrmlambid. Kõik need on mõõtmelalt väga väikesed. (24) on pentood — kolme võrega lamp. Alumine võredest on tüürvõre, keskmine — varivõre ja ülemine sulgvõre. Sulgvõre suleb anoodilt «tagasipõrganud» elektronidele tee varivõrele ja hoiab seega ära anoodvoolu vähenemise ja varivõrevoolu suurenemise. Teine lamp on nn. dioodpentood (25). Siin



on jälle ühise katoodiga lampi paigutatud kaks süsteemi — diood ja pentood. Järgmine lamp (26) asendab aga tervelt kolme lampi — ühte triodi ja kahte diodi! Vastuvõtjas säästab niisugune lamp palju ruumi.

Viimasel joonisel (27) on toodud transistori tingmärk. Nagu näete, on tingmärgid äraõppimiseks üsna lihtsad.

Kuuleb terve maailm

Et me nüüd oleme «imelambi» saladustega tuttavad, siis võime jutustada aparaadist, mille abil saab vestelda terve maailmaga.

Kaasaegne raadiosaatja on keerukas aparaat, kuid tema töötamise põhimõttest aru saada ei olegi nii raske. Enne aga tutvume ühe üsna lihtsa mehhanismiga, millel on raadiosaatjaga palju ühiseid jooni. See mehhanism on ... tavaline seinakell.

Paneme üleskeeramata kella pendli võnkuma. Pendel võngub, kuid võnkumise ulatus väheneb üsna kiiresti, kuni lõpuks pendel jääb päris seisma. Selliseid võnkumisi nimetatakse kustuvateks võnkumisteks. Kustumist põhjustavad pendli hõõrdumine vastu tugesid, õhutakistus jne.

Et võnkumised ei kustuks, selleks peab võnkuma pendli

energiakadusid pidevalt asendama. Kellamehhanismi puhul kasutatakse selleks vedru või pomme. Vedru üles keerates teeme tööd, kulutame teatud hulga energiat. See energiahulk salvestub vedrusse.

Vedru on elastne. Tema loomulik püüd on uuesti sirgeneda, omandada oma esialgne kuju. Jõud, millega ta püüab end uuesti lahti keerutada, antakse hammasrataste süsteemi kaudu edasi pendlile. Pendel saab tõukeid võnkumistega samas taktis (seda kindlustabki hammasrataste süsteem) ja ta võngub senikaua ühesuguse ulatusega, kuni vedru keerutab enda sedavõrd lahti, et ei jõua enam pendli energiakadusid täiendada.

Ühesuguse ulatusega toimuvaid võnkumisi nimetatakse kustumatuteks.

Kell koosneb seega kolmest põhilisest osast. Esimene nendest — pendel — tekitab kindla sagedusega võnkumisi (pendli võnkesagedus oleneb tema pikkusest). Teine osa — vedru — on energiaallikaks, mis katab pendli energiakadusid. Kolmas — hammasrataste mehhanism — annab energia vedrult üle pendlile.

Kella juures muutub vedrusse kogutud energia pendli võnkumise energiaks. Midagi analoogilist toimub ka raadiosaatjas. Seal muudetakse toiteallika alalisvoolu-energia elektrivõnkumiste energiaks. Tänapäeva raadiosaatjas on pendli osas võnkering, vedru osas — alalisvoolu allikas ja hammasrataste mehhanismi osas — elektronlamp.

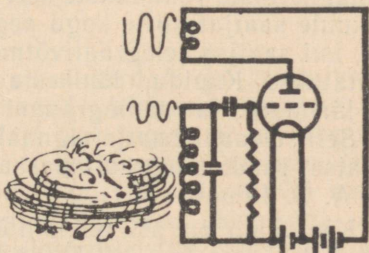
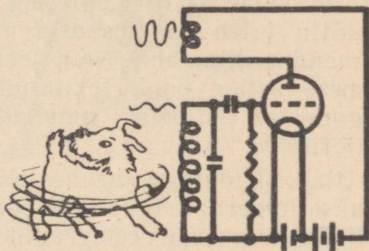
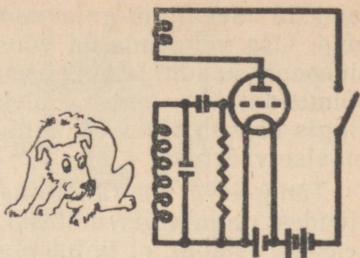
Kuidas siis töötab lampsaatja? Lihtsaim generaator erineb meile juba tuttavast võimendist vaid ühe omaduse poolest: generaator võimendab iseenese võnkumisi. Lampvõimendi võib väga lihtsalt muuta raadiosaatjaks. Selleks tuleb ainult osa energiat lambi väljundist sisendile tagasi juhtida.

Heidame pilgu lampgeneraatori skeemile. Lambi võre ja katodi vahele on lülitatud induktsioonpool, mida nimetatakse tagasisidepooliks. Tagasisidepooli elektromagnetiline väli läbib anoodahelasse lülitatud võnkeringi pooli. Selle välja mõjul tekib võnkeringis võnkumine, mida hiljem lambi abil võimendatakse. Võimendatult kandub see energia jälle tagasisidepooli.

Nii tekib suletud ring: tagasisidepoolis toimuvad võnkumised panevad võnkuma energia võnkeringis. Sealjuhitakse võnkumised lambi võrele, võimendatakse ja nad

Lihtsaim generaator erineb võimendist ainult ühes osas: generaator võimendab iseenda võnkumisi.

Lampgeneraatoris antakse osa energiat lambi väljundilt kogu aeg sisendile tagasi. Seda tehakse anoodahelas oleva tagasisidepooli abil. Saadakse suletud ahel, milles generaator nagu ergutaks end kogu aeg ise. Sellepärast nimetataksegi teda endaergutusega generaatoriks.



satuvad jälle tagasisidepooli. Generaator justkui ergutaks kogu aeg iseennast. Seetõttu nimetataksegi niisugust generaatorit endaergutusega generaatoriks.

Alguses, kui me generaatori sisse lülitasime, võnkumisi ei olnud ja paistab, et ei olegi midagi võimendada. Näiteks ka seinakella puhul on tarvis välist tõuget, selleks et pendlit tasakaaluasendist välja viia.

Raadiosaatjas on niisuguseks tõukeks esialgne vooluimpulss, mis tekib saatja anoodtoite sisselülitamisel.

Algmomendil on generaatori võnkering just nagu ebastabiilses tasakaaluseisundis. Aitab juba generaatorilambi anoodvoolu tühiselt väikesest muutusest, et võnkeringis

tekiksid vaevaltmärgatavad võnkumised. Lamp võimendab neid. Osa võimendatud võngete energiast kandub tagasi-sidepooli kaudu lambi sisendvooluringile tagasi ja seda võimendatakse uuesti. Elektrivõnkumiste ulatus võnkeringis kasvab pidevalt, kuni saavutab viimaks oma maksimumaalse väärtuse.

Tänapäeval on raadiosaatjate ehitus palju keerulisem. Nendes, nagu võimenditeski, on palju lampe. Selle põhjuseks on asjaolu, et lihtne endaergutusega generaator tekitab püsiva sagedusega võnkumisi ainult siis, kui ta võimsus on väike (palju väiksem kui tavalisel hõõglambil). Seetõttu tuleb raadiosaatja võimsust tõsta üsna mitme võimendusastme abil. Neid keerukaid generaatoreid, milles esimese astme poolt tekitatud võnkumisi võimendatakse järgnevates astmetes, nimetatakse võõrergutusega generaatoriteks.

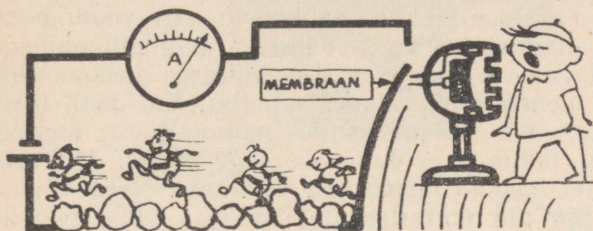
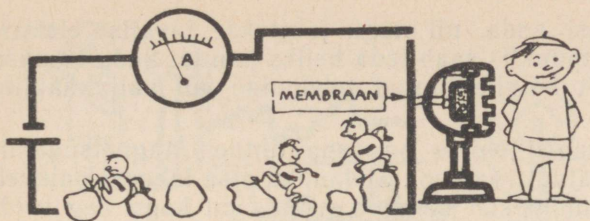
Ülalkirjeldatuga sarnase tööpõhimõttega saatjaid kasutatakse telegraafisignaalide edasiandmiseks. Sel eesmärgil lülitatakse saatjat telegraafisignaalide taktis perioodiliselt sisse ja välja ning nii saadakse lühikesi ja pikki elektromagnetiliste võnkumiste seeriaid. Vastuvõtuojaama radist ei kuule saatjat mitte kogu aeg, vaid ainult neil momentidel, kui saatjas telegraafivõtmele vajutamisega vool sisse lülitatakse. Kuuldud lühikeste ja pikkade signaalide põhjal kirjutabki ta radiogrammi paberilehele.

Sellise raadiosaatja signaale võib vastu võtta ka automaatse raadiotelegraafiaparaadiga, mille esiisa loojaks oli A. S. Popov.

Keerukam on asi telefonitöö saatmisel. Sel juhul ei anta edasi ju telegraafitähestiku punkte ning kriipse, vaid muusikat ja elava inimese kõnet!

Raadioside põhineb elektrinähtustel — elektromagnetiliste lainete kiirgumisel, levimisel ja vastuvõtul. Selleks et kõnet, muusikat või teisi helisid raadio teel üle kanda, tuleb neid enne mingil viisil elektrivõnkumisteks muuta. Muide, seda osati teha juba kaua aega enne raadio leiutamist ja kasutati tavalise traatside juures.

Lihtsaim mikrofoni, aparaat, mis muudab helilained elektrivõnkumisteks, on ehitatud järgmiselt. See koosneb väikese metalltassikesega sarnanevast korpusest, grafiit-membraanist, mis katab tassi ülalt, isoleeritud kontaktist läbi tassi põhja ning membraani ja kontakti vahelist ruumi täitvast söepulbrist.



Tõkkejooks.

Niiviisi peavad elektronid jooksma läbi mikrofoni sõepuru. Mida kohevam on pulber, seda raskem on joosta, seda vähem elektrone jõuab «finišisse». Ja ümberpöörduvalt, pulbri tihenemisel lülituvad võistlusele üha uued ja uued «jooksjad».

Kui mikrofoni isoleeritud elektroodi ja kesta vahele lülitada patarei, siis hakkavad elektronid jooksma läbi sõepulbri. Vool oleneb sellest, kui tugevasti on sõepulber kokku surutud. Paljudest söeterakestest koosnev kohev pulber avaldab elektrivoolule suurt takistust. Kui membraanile suruda, siis puutuvad terakesed üksteisega palju tihedamalt kokku ja pulbri elektritakistus väheneb. Vooluahela takistuse suurusel on aga voolu tugevus. Vool on seda suurem, mida väiksem on takistus. Perioodilise membraanile surumisega on võimalik muuta sõepulbri takistust ja järelikult mikrofoni läbiva voolu tugevust.

Samasugune nähtus esineb ka siis, kui helilained saavad mikrofonini. Heli paneb membraani võnkuma, seejuures ka vool mikrofoniahelas hakkab pulseerima helilainete taktis.

Niiviisi muudetakse heli elektrivõnkumisteks. Kui keerukas heli ka ei oleks ja milliseid peeni varjundeid ta ka ei omaks, alati on võimalik saada täpselt vastavaid elektrivoolu võnkumisi.

«Helielektrit» on lihtne juhtmete kaudu ükskõik kui

kaugele edasi anda, nii nagu juhitakse tavalist elektrivoolugi. Sihtpunktis saab teda heliks muuta. Seda tehakse väga lihtsalt kõigile tuntud telefonide või valjuhääldite abil.

Telefonikapsli ehitus on üsna lihtne. Magnetsüdami-kule on asetatud traatpool. Südami otsa lähedal paikneb õhukesest raudplekist membraan, mis on kogu aeg veidi pingutatud olekus, sest magnet tõmbab teda enda poole.

Kui läbi traatpooli lasta alalisvoolu, siis voolu poolt põhjustatud magnetjõud koos südami magnetjõududega kas suurendavad või vähendavad membraani mehhaanilist pinget (see oleneb voolu suunast poolis). Kui pooli läbib vahelduvvool, siis membraanile mõjuv jõud muutub perioodiliselt taktis vahelduvvoolu sagedusega. Muutuva jõu tagajärjel hakkab membraan võnkuma. Need võnkumised antakse üle ümbritsevatele õhule ja õhus tekivad häälelained. Niiviisi muundatakse elektrit hääleks.

See on tavalise telefoniside põhimõtteks. Raadiotelefonistidel tuleb aga kasutada palju keerukamaid energia-muundamisi.

Asi seisab selles, et helisageduslikke elektrivõnkumisi saab suurtele kaugustele saata ainult juhtmete abil. Neid ruumi kiirata oleks väga raske — selleks on tarvis kolossaalsete mõõtmetega antennid. Kõigele lisaks neelab atmosfäär helilaineid tugevasti ja nad sumbuksid kiiresti.

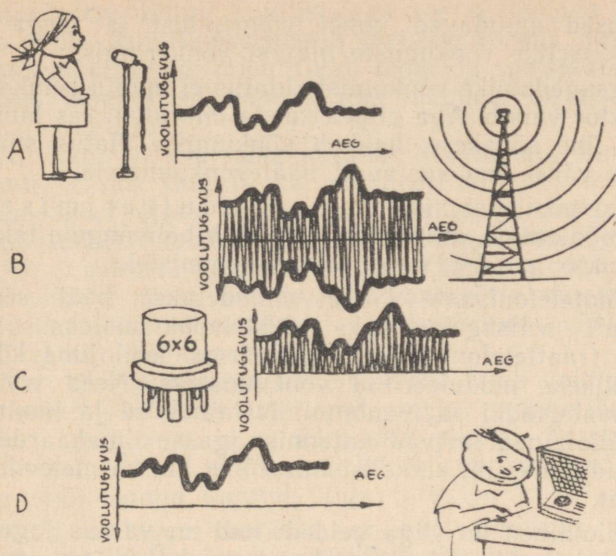
Teadlased avastasid aga tee, kuidas helisageduslikke võnkumisi traatideta suurtele kaugustele üle kanda.

Selleks kasutatakse raadiosageduslikke võnkumisi, mille sagedus on helisagedustest kümneid, sadu ja palju tuhandeid kordi suurem.

Kuid telefoni- ja telegraafisaatjatel on oluline erinevus. Telegraafisaatja tekitab kogu aeg sama ulatusega võnkumisi. Hoopis teisiti on lugu telefonisaatjaga. Siin muutub tekitatud võnkumiste ulatus kogu aeg ja esimesel pilgul näib, et täiesti korrapäratult. Kuid tegelikult valitseb siin range seaduspärasus.

Vaadeldes saatja poolt tekitatud kõrgsageduslike võnkumiste tippe ühendavat kontuurjoont. Just niisugune kuju on mikrofoni läbival elektrivoolu võnkumisel, kui mikrofoni membraanile langevad häälelained.

Seega muudab hääl raadiotelefonisaate korral võnkumiste ulatust saatja võnkeringis ja järelikult ka antennist kiirguvate elektromagnetiliste lainete energiat.



Mikrofonist vastuvõtjani.

«Tähelepanu, siin Tallinn!» — diktori hää l paneb võnkuma mikrofonimembraani. Mikrofonil läbiv vool võngub samuti helitaktis (A). Pulseeriv vool satub võimendisse ja pärast vastavat «töötlmist» juhib see kõrgsageduslikke võnkumisi saatjas. Nagu näete, muutub nende võnkumiste amplituud samuti helitaktis. Nii viisi muutub ka antennist kiirgavate raadiolainete energia (B). Nüüd satuvad lained vastuvõtjasse, mis muudab nad jälle kõrgsagedusvooludeks. Neid voole võimendab ja detekteerib diodid. Detekteerimisel tekib rida alalisvoolu impulsse, mille kõrgus muutub kogu aeg nendesamade helivõnkumiste taktis (C). Nüüd jääb veel üle eraldada helisagedusega võnkumised. Seda tehakse ainult vahelduvvoolu läbilaskva kondensaatori abil. Helisagedusega võnkumisi võimendatakse, need satuvad valjuhääldisse ja me kuuleme diktori sõnu (D).

See toimub järgmiselt.

Raadiotelefonisaatjas juhitakse lambi tüürvõrele üheaegselt tagasisidepoolist tulevate kõrgsagedusvõnkumistega mikrofonist tulevaid helisageduslikke võnkumisi. On selge, et võre elektrilaeng muutub seejuures kahte moodi: esiteks — väga kiiresti kõrgsageduse taktis ja teiseks — suhteliselt aeglaselt helisageduse taktis.

Lambi poolt võimendatud kõrgsageduslikud võnkumised panevad võnkuma võnkeringi, sest see on häälestatud täpselt samale sagedusele. Madalsageduslikud võnkumised seda teha ei saa — võnkeringi resonantssagedus on nende sagedusest väga kaugel. Kuid madalsageduslikud

võnkumised muudavad lambi võimendust ja seega ka kõrgsageduslike võnkumiste ulatust võnkeringis.

Kõrgsageduslike võnkumiste ulatus ei muutu senikaua, kuni diktor vaikib. Aga niipea kui ta mikrofoni ees lausub kas või ühe sõnakese, hakkab võnkumiste ulatus suurenema ja vähenema vastavalt häälevõnkumistele.

Sellist protsessi nimetatakse *moduleerimiseks* ja neid võnkumisi, mille ulatus muutub helivõngete taktis, nimetatakse *moduleeritud* võnkumisteks.

Raadiotelefonisaate korral muudetakse hääle seega kõigepealt helisageduslikeks elektrivõnkumisteks nagu tavalise traattelefoni puhulgi ja pärast seda juba kõrgsageduslikeks moduleeritud võnkumisteks. Need võnkumised saabuvadki saateantenni. Nähtamatud ja kuulmatud raadiolained levivad antennist igasse ilmakaarde ja kannavad endas nii katkelist inimkõnet kui ka meloodilist muusikat.

Raadiolained on väga helled: nad on valmis jagama oma turjal kantavat heli igaühega meist. Lülitage vastuvõtja sisse, häälestage jaamale, mis meeldib — ja muudkui kuulake!

Teine muundumine

Teel raadiojaama mikrofonist kuni valjuhääldini tuleb häälel läbi teha kaks muundumist: alguses peab ta «tummaks muutuma», et tal oleks võimalik läbida nii suuri vahemaid, mida ta enne uneski ei osanud näha. Põrgates pärast kusagil vastu vastuvõtja antennitraati, võtab «tummaks jäänud» hääle nagu mingi vaim mõnes muinasjutus uuesti endise kuju — muutub heliks selle sõna täpses mõttes.

Esimese muundumisega — hääle muutmisega raadiolaineteks — oleme juba tuttavad. Vaatame nüüd, kuidas toimub teine muundumine, kuidas raadiovastuvõtja abil muudetakse elektromagnetilised lained uuesti häälelaineteks.

Hääle edasikandjaks on moduleeritud võnkumised. Nad tuletavad meelde filmi või fotoplaati, millele juba on pildistatud, kuid mis on veel ilmutamata. Sellisel plaadil

ei märka me mingit kujutist, aga see ei tähenda veel, et seda ei ole. Kujutis eksisteerib varjatud vormis. Selle nähtavaks muutmiseks tuleb plaati töödelda spetsiaalses keemilises lahuses — ilmutis, mis muudab kujutise inimsilmale nähtavaks.

Nii nagu ei saa näha kujutist ilmutamata filmil, niisamuti ei saa kuulata ka moduleeritud võnkumisi. Kas raadiosaadet oleks kuulda, kui vastuvõtja antenn oleks ühendatud otse telefoni või valjuhääldiga? Muidugi mitte!

Asi ei seisa mitte ainult selles, et antenni poolt püütud raadiosaadet oleks kuulda, kui vastuvõtja antenn oleks mitmekordselt võimendatud moduleeritud võnkumised telefoni, ei oleks samuti midagi kuulda.

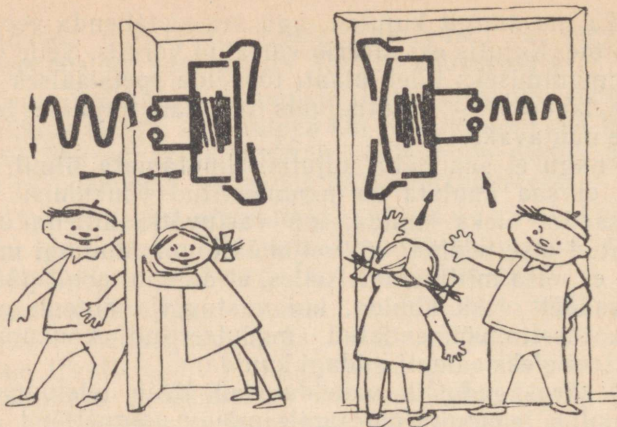
Kui kõrgsageduslik vahelduvvool läbib telefonipooli, siis muutub telefonimembraanile mõjuv magnetjõud selle voolu sagedusega, s. t. äärmiselt kiiresti. Inertsitõttu membraan lihtsalt ei jõua nii kiiresti võnkuma hakata — magnetjõu suund muutub liiga ruttu.

Kuid oletagem hetkeks, et meil õnnestus hankida membraan, millel inerts täielikult puudub ja et selline ideaalne membraan hakkab kõrgsagedusliku magnetvälja toimel võnkuma. Ka siis ei kuuleks me mitte midagi, sest membraani võnkesagedus oleks palju kõrgem helisagedustest, s. o. sagedustest, mida inimkõrv on võimeline tajuma.

Raadiosaate kuuldavaks muutmiseks tuleb kõrgsageduslikke moduleeritud võnkumisi alaldada — muuta need üksteisele järgnevateks lühikesteks samasuunalise voolu (alalisvoolu) impulssideks. Selleks otstarbeks juhitakse kõrgsageduslikud võnkumised läbi diodi, mida, nagu me juba teame, võib vahelduvvoolu alaldamiseks kasutada.

Moduleeritud võngete kõver on sümmeetriline. Seda võiks võrrelda mängukaartidel kujutatud sõduri või kuningaga, millel on kaks pead ja kaks keret. Alaldamisel kõvera üks pool, näiteks alumine, lõigatakse ära. Nii tekib rida samasuunalisi tippe — alalisvoolu impulsse, mille ulatus muutub vastavalt helisageduslikele võnkumistele.

Kui neid impulsse lasta läbi telefoni, siis tekitavad nad ühesuunalisi magnetjõude. Membraan saab üksteisele kiiresti järgnevaid tõukeid ega suuda inertsitõttu reageerida igale üksikule neist, kuid et tõuked on kõik sama-



Alalisvoolu impulsid panevad membraani «kõnelema».

Kõrgsagedusvõnkumised (üleväl) ei pane membraani vibreerima. Teine asi, kui nad on muudetud ühes suunas mõjuvateks alalisvoolu impulssideks. Membraan ei suuda nende üksmeelsele survele vastu panna ja hakkab võnkuma, meie aga kuuleme heli.

suunalised, siis liituvad nad ühiseks jõuks, mis muutub pidevalt, vastavalt häälevõnkumiste iseloomule.

See jõud paneb membraani võnkuma ja me kuuleme häält, mida saatja mikrofoni ees tekitati ning mis juhib kõrgsageduslike võnkumiste ulatust.

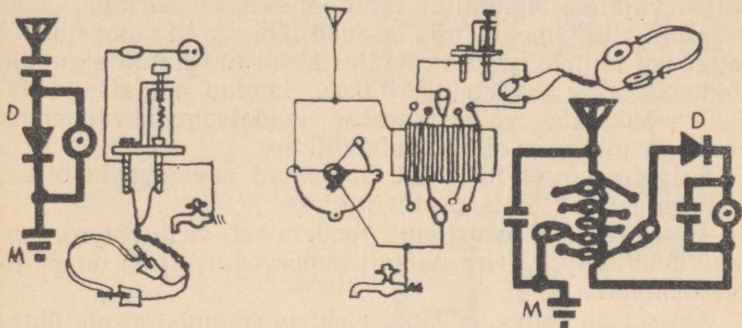
Raadiovastuvõtjas toimuvat helisageduslike võnkumiste eraldamist kõrgsageduslikest nimetatakse detekteerimiseks (see sõna tähendab eesti keeles avastamist). Vastavat seadet nimetatakse detektoriks. Diod on lampdetektor. Kuid on olemas ka teisi detektorite liike. Need on nn. kristall- ehk pooljuhtdetektorid. Lihtsaima kristalldetektor saame, kui võtame väävlislapu tina (galeeni) kristalli ja viime ta kokkupuutesse peene terasvedrukese otsaga*. Galeeni ja terasvedru vaheline kontakt alaldab vahelduvvoolu samuti kui diodki.**

* Kristalldetektori tööpõhimõttega tutvume lähemalt peatükis «Imelambi võistleja».

** Kristalldetektorid võeti raadiotehnikas kasutusele umbes aastal 1905. Kristalldetektor oli palju tundlikum kui enne seda tarvitatud vahendid (koheerer jt.). Tema puuduseks oli asjaolu, et nõela ja kristalli head kontakti tuli tihti katseliselt otsida ja seetõttu ei kannatanud selline seade raputamist. Lampdiodid ei tõrjunud kristalldioode sajandi algul välja, sest nende tundlikkus on peaaegu

Lugeja on muidugi kuulnud detektorvastuvõtjatest, milles ei ole ühtki lampi.

Kõige lihtsam detektorvastuvõtja koosneb ainult kahest detailist — peatelefonidest ja detektorist. Võnkeringi puudumise tõttu võib antenni ja maandust kasutades kuulda mitut võimsat raadiojaama korraga, kui nad asuvad vastuvõtja lähedal.



Lihtsaim vastuvõtja.

Lihtsaimas detektorvastuvõtjas, millega saab kuulata kohalike jaamade saateid, on antenniks A üks valgustusvõrgu juhtmetest, maanduseks M aga veetoru või keskküttetoru. Detektoriga D ühendatud kondensaator ei lase läbi võrguvoolu madalsageduslikku komponenti, vaid ainult kõrgsagedusvõnkumisi. Nii-suguses vastuvõtjas ei ole erilist häälestusvõnkeringi ja seepärast võtab ta sageli kaht-kolme jaama korraga vastu, tähendab kõrvaklappidest T võib kuulda jalgpallivõistluste reportaaži koos kammerkontserdiga. Tõeline detektorvastuvõtja on kujutatud teisel joonisel. Seda saab juba ühele kindlale jaamale häälestada. Ümberlülititega muudetakse poolikeerdude arvu, täpsemat reguleerimist teostatakse pöördkondensaatori abil.

Jaamade «eraldamiseks» tuli vastuvõtjat täiustada. Selleks lisati sinna võnkeringi. Muutes lüliti abil võnkeringi pooli keerdude arvu ja kasutades häälestamiseks muudetava mahtuvusega kondensaatorit, nn. pöördkondensaatorit, saab valida just seda saadet, mida tahetakse kuulata. Mõnikord võib antenni asemel kasutada üht valgustusvõrgu juhet. Sel juhul tuleb antenniks kasutatav võrgujuhe vastuvõtja külge ühendada tingimata üle väikese mahtuvusega kondensaatori. Kondensaator laseb läbi kõrgsagedusvoolusid, mis tekivad elektrijuhtmetes elektro-

ühesugune, lampdiod aga vajab küttevoolu allikat. Kristalldetektori väljatõrjajaks oli triood. Pärast Teist maailmasõda leidsid laialdaseleviku detektorid, kus pole vaja tundlikku punkti otsida. Nendes diodides on metalltraat otseselt keevitatud pooljuhtkristalli külge. —
Tõlk.

magnetilise laine mõjul, kuid takistavad madalsagedusliku võrguvoolu pääsemist vastuvõtjasse*.

Detektorvastuvõtjates signaale ei võimendata, see pärast on vastuvõetav heli nõrk. Lampvastuvõtjates võimendatakse signaale mitmekordselt.

Antenn püüab kinni palju erinevate sagedustega võnkumisi, aga nagu me juba mainisime, kasutatakse vastuvõtjas vajalike signaalide eraldamiseks võnkeringe, omapäraseid «tunnimehi», mis lasevad läbi ainult «omasid» — sagedusi, millele need on häälestatud. Eraldatud signaale võimendatakse ja detekteeritakse. Saadud madalsageduslikke võnkumisi võimendatakse madalsagedusvõimendis veelgi ja juhitakse siis valjuhääldisse.

Sel põhimõttel töötavad lihtsamad raadiovastuvõtjad, mida nimetatakse otsevastuvõtjateks.

Tänapäeval tööstuslikult toodetavad vastuvõtjad, nn. superheterodüünid ehk lihtsalt supervastuvõtjad, on palju keerukamad.

Asi seisab selles, et kõiki elektrivõnkumisi ei ole ühtviisi lihtne võimendada. Mida kõrgem on võnkumiste sagedus, seda raskem on neid võimendada. Ka võnkeringi eraldusvõime ehk selektiivsus halveneb sageduse suurenemisega. Selle tagajärjel ei suuda võnkering enam lähedastel sagedustel töötavaid raadisaatjaid üksteisest eraldada ja jaamad hakkavad «läbi kostma».

Seetõttu oleme huvitatud vastuvõetavate signaalide sageduse vähendamisest. See vastuvõetava signaali sageduse muundamine mingiks teiseks, tavaliselt madalamaks vahepealseks sageduseks, ongi iseloomulik supervastuvõtjale.

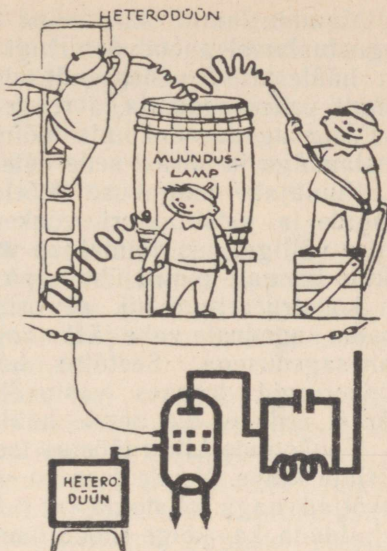
Tutvugem nüüd supervastuvõtja tööpõhimõttega.

Kõrgsagedusvõnkumised juhitakse sagedust muundava lambi ehk nn. muunduslambi võrele kas vahetult antennist või pärast eelnenud võimendamist. Muunduslambis on veel teine võre, millele juhitakse heterodüünis ehk

* Elektrivõrgu antennina kasutamine on vaid hädaabinõu. Elektrivõrgust saadud kõrgsageduslikud signaalid on nõrgad ja linnades, kus elekter tuuakse majadesse maa-aluse kaabli kaudu, võivad hoopis puududa. Elektrivõrk annab vastuvõtjasse raginate näol palju häireid, mida põhjustab lülitite, elektrimootorite jms. töö. Kus vähegi võimalik, on soovitatav kasutada välisantenni. Võrguhäirete vähendamiseks ei tohi antenni püstitada paralleelselt elektrivõrgu juhtmetega. —
Tõlk.

Sageduste segustamine.

Superheterodüünvastuvõtjas segustab spetsiaalne muunduslamp kaks erinevat sagedust – vastuvõetava signaali ja heterodüüni sagedused. Tulimusena tekib uus, vahepealne sagedus, mis reeglina on madalam vastuvõetava signaali sagedusest ja mida seepärast on kergem võimendada.



ostsillaatoris genereeritud võnkumised. Heterodüüniks ehk ostsillaatoriks nimetatakse väikese võimsusega lampgeneraatorit, mis on olemas igas supervastuvõtjas. Heterodüüni võnkesagedus erineb veidi vastuvõetava signaali sagedusest. Muunduslambis need sagedused segustatakse ja selle tagajärjel tekivad uued, tavaliselt palju madalama sagedusega võnkumised, mida nimetatakse vahe-sageduseks*. Vahe-sagedus on võrdne vastuvõetava kõrg-sagedussignaali ja ostsillaatori sageduste vahega.**

* Kui võetakse vastu madalatel sagedustel töötavaid jaamu, siis võib vahe-sagedus osutada vastuvõetavast sagedusest kõrgemaks. Kuid madalatel sagedustel töötab vähe raadiojaamu. Enamike saatjate sagedused on vastuvõtja vahe-sagedusest palju kõrgemad.

** Kahe sageduse liitmisel saadakse kaks uut sagedust. Uutest sagedustest üks võrdub liidetud (segustatud) sageduste summaga ja teine vahega. Vastuvõtjas võib vahe-sagedusena kasutada ükskõik kumba nendest. Tavaliselt kasutatakse vahet, sest see sagedus on madalam. Vahe-sagedust ei nimetata vahe-sageduseks mitte sellepärast, et ta arvuliselt võrdub ostsillaatori ja vastuvõetava signaali sageduste vahega, vaid sellepärast, et ta oma sageduse arvulise väärtuse poolest on vahepealne vastuvõetava kõrgsageduse ja valjuhääldisse juhitava madalsageduse vahel. Teistes keeltes on vahetegemine kergem. Näiteks vene keeles on vahe-sagedus «промежуточная частота», mitte aga «разностная частота».

Oeldust järeldub, et sama jaama on võimalik kahel juhul vastu

Muunduslambi ehk, nagu seda sageli nimetatakse, segustuslambi anoodvooluringi lülitatakse võnkering, mis on häälestatud vahesagedusele. Võnkering laseb läbi ainult vahesagedust ega reageeri teistele sagedustele.

Vahesagedusvõnkumisi võimendatakse mitme võimenduslambiga ja pärast seda detekteeritakse nagu tavaliselt.

Kuulajate mugavuse mõttes on kõrgsagedusvõnkeringide ja ostsillaatori võnkeringi pöördkondensaatorid ühise võlliga, mis võimaldab vastuvõtjat häälestada vajalikule jaamale ainult ühe nupu pööramisega. Võnkeringid on konstrueeritud nii, et ostsillaatori ja vastuvõtava jaama sageduste vahe jääks kogu aeg samaks — võrdseks vahesagedusega. Seetõttu häälestatakse vahesagedusvõnkeringid tehases vastuvõtja valmistamise ajal ja pärast seda ei ole nende häälestust vaja muuta.

Nõukogude Liidu tööstus toodab palju erinevaid vastuvõtjate tüüpe. Nende seas on sellised kõrgema klassi vastuvõtjad nagu «Estonia-3», «Festival» jt., mis võivad rahuldada ka kõige nõudlikumat radiokuulajat. Need supervastuvõtjad on väga keerukad: neis on üle kümne lambi. Sellele vaatamata töötab ka kõige kavalamalt ehitatud supervastuvõtja ikkagi põhiliselt samuti nagu lihtne detektorvastuvõtjagi.

Rännak eetris

Aknast kostab mingi kaootiliste helide segu — meeleheitlik vile, kohe kõnekatkend, uuesti vile, sirin, mingi meloodiajupp ...

võtta: siis, kui ostsillaatori sagedus on vahesageduse võrra signaali sagedusest kõrgem, ja siis, kui ostsillaatori sagedus on signaali sagedusest vahesageduse võrra madalam. Tavaliselt kasutatakse kõrgemat ostsillaatorisagedust (ostsillaatori võnkeringi poolis on vähem keerde).

Oletame nüüd, et ostsillaatori sagedus on teada, samuti vahesagedus. Kui vastuvõtja sisendile tuleb antennist palju erinevate sagedustega võnkumisi, siis võib meie supervastuvõtja vastu võtta sagedust, mis on ostsillaatori sagedusest vahesageduse võrra madalam, ja ka sagedust, mis on ostsillaatori sagedusest vahesageduse võrra kõrgem. Teine nendest (ükskõik kumb) on ebasoovitav. Ebasoovitavat sagedust nimetatakse peegelsageduseks ja temast vabaneatakse sel teel, et sisendvõnkeringid häälestatakse soovitava sagedusele. — *Tõlk.*

See on vist keegi «eetirändur», kes kruvib oma vastuvõtja häälestusnuppu. Osuti liigub valgustatud skaalal, millel on kiri «Lühilained» või lihtsalt «L».

Muide, mis matkaja see ka on! Tal pole aimugi, kuidas oma suurepärasest «transpordivahendist» kasutada. Ega siis sellise hullumeelse kiirusega mööda lühilainet kihutata! Niisuguse matka ainsaks tagajärjeks on võib-olla ainult peavalu.

Ja siiski võiks see matk üsna huvitav olla, kui marsruudi omapära ja liiklusvahendeid tundma õppida.

Alustagem matkakaardist. See on üsna ebaharilik — ei mägesid ega meresid, vaid ainult numbrid ja kriipsukesed. Seda nimetatakse skaalaks.

Numbrid — peatused meie teel — näitavad sagedusi ja lainepikkusi, märkides ühtlasi eri maade raadiojaamade asukohti. Me teame juba, et iga ringhäälingu jaam töötab kindlal, rahvusvahelise kokkuleppega eraldatud lainepikkusel. Niimoodi võib skaala abil kergesti leida vajaliku saate.

Miks aga meie matk on jaotatud mitmeks etapiks, nõndanimetatud lainealaks? Miks ei saa kogu marsruuti läbida algusest lõpuni ilma «ümber istumata»?

Matkatee on liiga pikk. Nagu me juba rääkisime, on raadiotehnikas kasutatav lainepikkuste vahemik väga lai. See algab mõnestkümnest tuhandest ja ulatub mitme miljardi võnkeni sekundis. Realseid võnkeringe ei ole võimalik nii laias sageduste piirkonnas ümber häälestada, seepärast on raadiosagedused kokkuleppeliselt jaotatud neljaks lainealaks — pikad, kesk-, lühi- ja ultralühilained.

Lühi- ja ultralühilainealad on häälestamise mugavuse mõttes sageli veel kitsamateks lainealadeks jaotatud. Ühelt lainealalt teisele üleminekul lülitatakse pöördkondensaatori külge suurema või väiksema keerdude arvuga pool, mis võimaldab vastuvõtjat häälestada igasugusele lainele üksteisega külgnevates lainealades.

Kuidas liigutakse mööda skaalat, kuidas me saame ühelt lainelt teisele või kolmandale üle minna?

Häälestusnupu pööramisega pöörame samaaegselt pöördkondensaatori plaate ja häälestame võnkeringe ühelt sageduselt teisele. Tõsi küll, vastuvõtjat väljastpoolt vaadates seda näha ei ole. Ent kui avada vastuvõtja tagakülge, siis võib näha, kuidas kondensaatorite metallplaadid liiguvad.

Nüüd tutvume «sidevahenditega», räägime raadio-

lainetest, nende iseloomust ja käitumisest. Isegi raadioeriteadlased ei saanud nendest kohe aru ega muutunud eetri peremeesteks.

Esiialgu kasutati ringhäälingu ja raadioside tarbeks ainult kesk- ja pikklaineid, mille lainepikkus on mõõdetav sadade ja tuhandete meetritega. Lühemaid laineid peeti «ülejäägiks» ja arvati, et need ei leia mingit praktilist rakendust järgmistel asjaoludel.

Pikklainesaatjaid võib vastu võtta märkimisväärsel kaugusel (kuni mitme tuhande kilomeetrini). Vastuvõtutugevus väheneb saatjast eemaldudes sujuvalt, hüpeteta. Öösel pikklainesaatjate kuuldavus veidi paraneb. Kesklainejaamad on pikklainejaamadest päeval halvemini kuuldavad, kuid öösel on isegi juba väga väikese võimsusega kesklainejaamad hästi kuulda.

Mis puutub lühilainetesse (pikkusega sajast kuni kümne meetrini), siis saatjast eemaldudes nende energia kahaneb alguses väga kiiresti.

Lühilaineid peeti alguses kolmanda sordi laineteks ja nad jäeti radioamatöörade käsutusse. Kuid varsti selgus, et väikeste lühilainesaatjatega saab sidet pidada hiiglasuurtel kaugustel — isegi ümber maailma.

Vaatame nüüd, mis juhtus aastat nelikümmend tagasi, nõukogude lühilaineamatöörismi koidikul.

1923. a. suvel sai noor nižninovgorodlane F. A. Lbov loa amatöör-raadiotelegraafijaama ehitamiseks, millel oleks saatja «võimsusega kuni $\frac{1}{2}$ hobujõudu ja lainepikkusega mitte üle 200 meetri». Lbov nägi jaama ehitamisega palju vaeva — sel ajal ju raadiodetaile kauplustes müügil ei olnud ja kõik tuli teha oma kätega.

Viimaks oli saatja valmis. Lbov «suundus» koos oma sõbra ja «assistendi» B. M. Petroviga eetrisse. Harjumata käsi toksib kohmetult telegraafivõtmega Nõukogude Liidu esimese amatöör-raadiojaama kutsungmärke. «Siin Nižni Novgorod. Amatöörjaam R1FL. Kes mind kuuleb, teatage aadressil...»

Möödus päev ja Lbov sai Šergatist (Mosuli lähedal) telegrammi. Vene lühilainesaatja signaale oli kuuldud rohkem kui 3 000 kilomeetri kaugusel!

Esiialgu paistsid lühilaineamatöörade edusammud täiesti arusaamatud, peaaegu mõttetud olevat. Naaberlinnas, saatjast saja kilomeetri kaugusel ei kuule mingit

signaali, kuid kuskil teisel pool maakera saab saadet väga hästi vastu võtta!

Nüüd on lühilainete mõistatuslik käitumine leidnud selgituse.

Teadlased avastasid, et raadiolainete levikul mängib tähtsat osa atmosfäär — maad ümbritsev õhkkond.

Maa atmosfäär koosneb kolmest kihist. Esimest nendest nimetatakse troposfääriks. Selle ülemine piir ulatub maapinnast umbes 11 kilomeetri kõrgusele. Troposfääri kohal on teine kiht — stratosfäär, mis ulatub kuni 50 km kõrguseni. Kõige kõrgemal asuvat kihti nimetatakse ionosfääriks ja see avaldabki raadiolainete levimisele kõige suuremat mõju.

Nimetus «ionosfäär» tuleneb sõnast «ioon». Iooniks nimetatakse elektriliselt laetud aatomit, s. t. aatomit, mis on kaotanud või, vastupidi, juurde võtnud mõne elektroni. Ionosfääris on palju positiivseid ioone ja vabu elektrone, seetõttu võib õhk ionosfääris elektrit juhtida. Juhtiv õhk painutab raadiolainete teed, mõnel juhul isegi nii tugevasti, et suunab nad maa peale tagasi, nii nagu peegel peegeldab valguskiirt. Ionosfääri võrreldakse tihti suurekerakujulise peegliga, mis nähtamatuna ümbritseb meie maad.

Tuntud nõukogude teadlane M. V. Šuleikin uuris juba 1920. a. selle «peegli» mõju raadiolainete levimisele ja andis sellele ka seletuse*.

Elektromagnetiline kiirgus levib kahte teed mööda — piki maapinda ja teatud nurga all maapinnaga. Piki maapinda levivat lainet nimetatakse pinnalaineks, teist ruumilaineks. Pärast maapinnast eemaldumist levib ruumilaine atmosfääris, kuni kohtab ionosfääri elektriliselt laetud

* Elektriliselt laetud kihi olemasolu kohta Maa atmosfääris tehti oletusi juba sajandi alguses. 1901. a. näitasid Marconi esimesed katsed raadioside loomiseks Inglismaa ja Ameerika vahel, et kohalejõudnud raadiolained olid palju tugevamad, kui seda raadiolainete paindumise teooria põhjal võis ennustada. Teadlased Kenelly ja Heaviside märkisid 1902. a., et see nähtus oleks seletatav, kui oletada, et atmosfääri kõrgemates osades asub elektrit juhtiv kiht. Seetõttu nimetataksegi atmosfääri ioniseeritud kihti sageli Heaviside'i-Kenelly kihiks. Hilisemad uurimused on näidanud, et niisuguseid kihte on mitu ja et nende intensiivsus muutub, olenevalt kellaajast ja aastaajast. Kihtide tekkimises on väga suur mõju Päikese korpuskulaarsel ja elektromagnetilisel (ultraviolet-) kiirgusel. Koos Päikese aktiivsuse 11-aastase perioodiga muutuvad ka raadiolainete levimistingimused. — *Tõlk.*

kihti, mis peegeldab laine maa poole. Sedaviisi jõuab raadiolaine hiiglasuure «hüppega» maapinnale tagasi saatjast väga suurel kaugusel. Nii nagu peegli abil peegeldatud päikesekiirt on näha ainult seal, kuhu ta langeb, samuti saab ka raadiosaatja ionosfäärilt peegeldunud laineid vastu võtta ainult seal, kus nad maapinnale jõuavad.

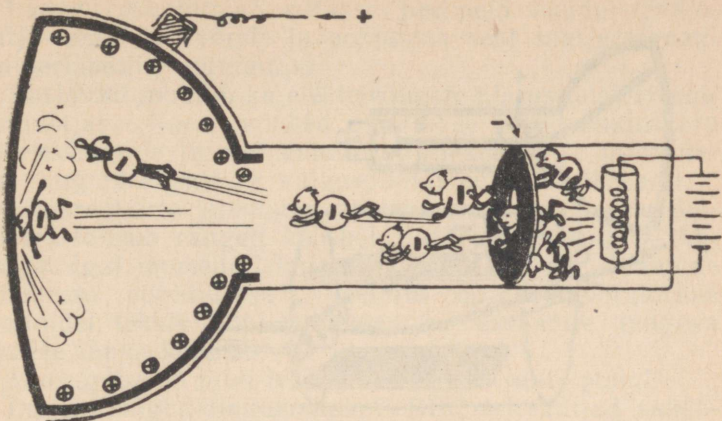
Olenevalt lainepikkusest levivad elektromagnetilised lained kas piki maapinda, atmosfääris või mõlemat teed mööda.

Pikk laine levib maapinna lähedal ja paindub hästi maapinna kumeruse taha. Vähemal määral levib see ka ruumilainena, kusjuures ruumilaine osatähtsus kauguse suurenemisega kasvab. Nii näiteks kiirgusallikast kuni 300 km kaugusel täheldatakse ainult pinnalainet, 300-st kuni 3000 kilomeetrini esineb nii pinna- kui ka ruumilaine, kaugemal kui 3000 km on ülekaal ruumilainel.

Kesklained neelduvad pinnases palju intensiivsemalt ja painduvad halvemini maapinna kumeruste taha. Siiski jõuab pinnalaine enne lõplikku sumbumist levida kuni 1000 kilomeetri kaugusele.

Lühilained levivad maapinna lähedal väga halvasti: nad neelduvad pinnases tugevasti ja painduvad väga vaevaliselt maakera kumeruse taha. Seetõttu mängib ruumilaine siin elektromagnetilise energia levikus põhilist osa. Näiteks kui vastuvõtja häälestada mingile lähedasele lühilainejaamale, istuda koos vastuvõtjaga rongi ja hakata saatejaamast eemalduma, siis kuuldavus hakkab kiiresti vähenema ja varsti katkeb vastuvõtt hoopiski. Mõnisada või isegi mõni tuhat kilomeetrit liigub rong vaikusvööndis, seejärel muutub saade uuesti kuuldavaks, sest rong kohtus ionosfäärilt peegeldunud ruumilainega.

Vaikusvööndi laius oleneb ionosfääri seisundist, selle kõrgusest ja elektronide kontsentratsioonist. Ionosfääri seisund on omakorda seotud päikesekiirgusega. Iga muutus Päikese aktiivsuses põhjustab elektronide kontsentratsiooni muutumist ionosfääris. Öö ja päeva vaheldumisel muutub laetud osakeste tihedus järsult. Öösel väheneb ruumilaine energia neeldumine ionosfääris mitmekordselt ja peegeldunud energiahulk suureneb; seetõttu paraneb märgatavalt pikk- ja eriti kesklainel töötavate saatjate kuuldavus.



Elektronkiirtetoru.

Hõõgkatoode paiskab ruumi loendamatu hulgal elektrone. Läbinud kitsa kimbuna negatiivselt laetud fokuseeriva elektroodi ja anoodi poolt kiirendatuna, tormavad elektronid vastu ekraani ja panevad selle oma langemiskohas helendama.

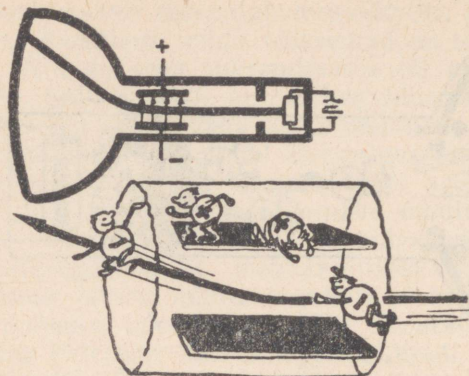
antud elektrilaengud mõjutavad elektrone ja muudavad elektronikiire tee kõverjooneliseks. Olenevalt plaatidele antud laengute suuruselt ja märgist, on võimalik elektronikiirt kallutada nii vasakule-paremale kui ka üles-alla.

Elektronikiir liigub toru ekraanil suure kiirusega vasakult paremale ja nägemise inertsi tõttu paistab meile, et ekraanil on pidev horisontaalne joon. Kui panna elektronikiir ekraani mööda liikuma nii, nagu liigub meie pilk raamatu lugemisel, siis tekib ekraanile paljudest horisontaaljoontest — ridadest — koosnev ristkülik.

Elektronikiiretorus on olemas tüürelektrood nagu tavalises raadiolambiski. Mida suurem on selle negatiivne laeng, seda nõrgem on elektronide voog ja seda kahvatum helenduv punkt ekraanil.

Elektronikiire intensiivsust muutes on võimalik ekraanil kujutist tekitada. Televisioonisaate ajal seda just tehaksegi.

Näidendi ülekandmise ajal suunab operaator esinejate poole suurt fotoaparaati meenutava telekaamera objektiivi. Kujutis projekteerub valgustundlikule ekraanile, mis kujutab endast miljonitest omavahel elektriliselt isoleeritud üksikelementidest koosnevat mosaiiki. Iga üksikelement on õhuke vilgukiviplaadike, millele on kantud val-



Elektronkiire juhtimine.

Positiivne laeng ühel kallutusplaatidest tõmbab elektrone enda poole, seepärast nende trajektoor kõverdub. Muutes plaatide laenguid võib soovi järgi muuta ka elektronkiire suunda.

gustundlik kiht. Teiselt poolt on plaadike kaetud metallikihiga. Nii tekib omapärane kondensaator, mis võib salvestada elektrilaenguid.

Valguse mõjul tekib igas mikroskoopilises fotoelemendis omaette positiivne laeng. Kujutisest olenevalt ei ole ekraani valgustus kõigis kohtades ühesuurune. Seal, kus valgustus on suurem, on suurem ka laeng. Seega tekib ekraanil omapärane fotonegatiiv — erineva suurusega positiivsetest laengutest koosnev nähtamatu pilt.

Meie kondensaatori teisel plaadil — metallikihil — tekib täpselt niisama suur elektrilaeng, kuid mitte positiivne, vaid negatiivne (sest kondensaatori plaatidel olevate laengute märgid on alati vastupidised).

Nüüd tuleb elektronpilt mingil moel hälvitada — muuta ta elektrisignaalide ahelaks. See toimub järgmiselt.

Valgustundlikku ekraani mööda liigub peen elektronkiir nagu televiisori vastuvõtutoruski. Ekraanile jõudnud, jätab ta sellele negatiivse laengu, mis liitub mingi fotoelemendikese positiivse laenguga ja neutraliseerib selle. Et aga ekraani eri kohtades on erineva suurusega laeng, siis metallikihi kogulaeng elektronkiire liikumise ajal muutub pidevalt.

kvaliteetsed televisioonisaated ultralühilainetel. Pikk-, kesk- ja isegi lühilainetel on ilma selletagi juba liiga kitsas.

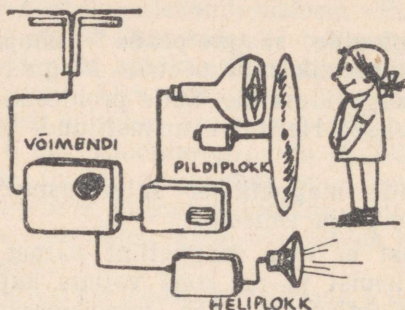
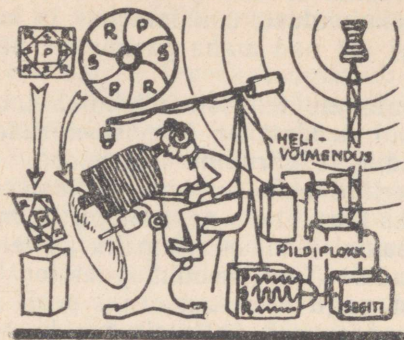
Teletsentrite tegevuskaugus on väike. Saateid on võimalik rahuldavalt vastu võtta ainult saja, läbi häda aga kahe saja kilomeetri kaugusel.

Kuidas oleks võimalik niisugust tänapäeva televisiooni üht olulisemat puudust kõrvaldada? On mindud televisiooni ülekandejaamade loomisele. Ülekandesüsteemide koosseisu kuuluvad kaabel- ja raadioliinid, nn. raadioülekande- ehk raadioreleeliinid. Juba viis aastat tagasi ühendati ülekandeliinidega ühtsesse süsteemi 300 telesaajat Ameerika Ühendriikide 189 linnas. Samal ajal kattis Lääne-Euroopa ülekandesüsteem «Eurovision» tiheda võrguna 8 maad, ühendades 41 telesaajat. Paljude ülekandeliinide kaudu antakse üheaegselt edasi mitut televisiooni-programmi. Üks niisugune Ameerika telefoni-telegraafikompanii ehitatud liin annab võimaluse üheaegselt edasi anda 6 televisiooniprogrammi ja 7200 telefonikõnet. Nõukogude Liidus on samuti suur arv telesaatajaid seotud omavaheliste ülekandeliinidega. Juba 1960. aastal moodustas meie maa raadioreleeliinide kogupikkus üle 10 000 kilomeetri.

Esialgul oli raadioreleeliinide käikulaskmine ja televisiooniprogrammide vahetamine suursündmuseks. Nii näiteks toimus 7-st kuni 17. maini 1954. a. Pariisis Châillot' lossis avalik televisioonisaadete demonstreerimine. Telesaated jõudsid Pariisi Tours'i linnast nelja ülekandejaama vahendusel. Vastuvõtuks oli Eiffeli torni asetatud vastuvõtuantenn ja sealt anti signaal kaabli kaudu Châillot' paleesse. Kujutist demonstreeriti $5,1 \times 6,5$ meetri suurusel ekraanil.

Eriti raske on televisioonisaadete vastuvõtt mägistes paikades. Nii tuli televisioonisignaale juhtimiseks üle Alpide ehitada kolm ülekandejaama. Üks nendest on Monte Generoso tipus (kõrgusega 1701 m merepinnast), teine Jungfraul (3658 m) ja kolmas Chasserelle'i linnas (1609 m). Nende abil toimub televisiooniprogrammide vahetus Itaalia ja nende maade vahel, mis asuvad teisel pool Alpe.

Nõukogude Liidu ja Euroopa maade vahel on televisiooniprogrammide vahetamiseks loodud ülekandesüsteem «Intervision».



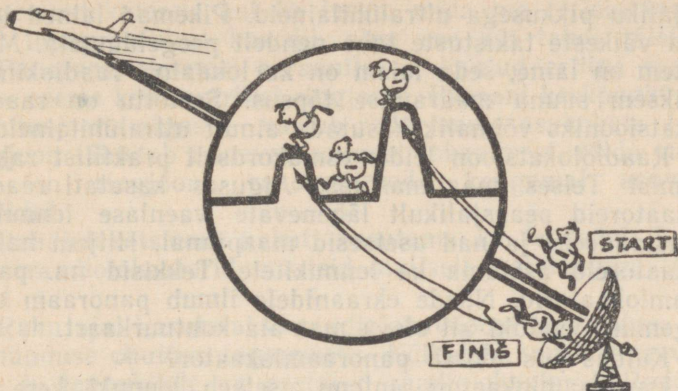
Kaagnägemine ja värv.

Sel joonisel on näidatud üks lihtsamatest viisidest värviliste kujutiste edasiandmiseks. Televisioonikaamera objektivi ja televiisoriekraani ees pöörleb ühesuguse kiirusega kaks ühtemoodi ketast punaste, siniste ja roheliste valgusfiltritega. Saadetakse kujutis jaguneks nagu nende kolme värvi vahel. Värvid vahelduvad nii kiiresti, et silm ei märka vilkumist. Nägemise inertsit tõttu ei näe me vahelduvat punaste, siniste ja roheliste piltide rida, vaid mitmevärvilist kujutist.

Tööd värvilise televisiooni praktikasse rakendamiseks on juba käimas.

Värvilise kujutise saamiseks on palju erinevaid meetodeid. Tutvume ühe kõige lihtsamaga neist. Esinejale on suunatud kolm telekaamerat. Iga kaamera ees on valgusfilter, mis laseb läbi ainult teatud värvi valguskiiri. Ühe ees on punane valgusfilter, teise ees sinine, kolmas on varustatud rohelisega.

Sel viisil osadeks jaotatud kujutis saadetakse kolme eri televisioonikanali kaudu eetrisse ja võetakse vastu



Raadioimpulsi ja elektronkiire võistlus.

Elektronkiiretoru hälvitusjoonel on näha kaks hammast. Need vastavad lokaatoriimpulsi stardile ja finišile. Seni kui elektronkiir jooksis ühe hamba juurest teiseni, jõudis impulss... lennuki ja tagasi.

impulsi tagasisaabumise hetkele. Mida rutem peegeldunud impulss tagasi jõuab, seda lähemal on teine hälve esimesele.

Järelikult on hälvete vahekauguse kaudu võimalik määrata kaugust esemeni, millelt raadiolained peegeldusid.

Elektronkiire liikumiskiirus on ette teada. Järelikult on teada ka aeg, mis elektronkiirel kulub kallutusjoone ükskõik missuguse vahemiku läbimiseks. Sellest me näeme, et intervall kahe hälbe vahel näitab, kui kaua impulss teel oli.

Praktiliselt on asi hoopis lihtne. Kallutusjoonega asetatakse paralleelselt jaotustega joonlaud — skaala. Sellelt saab vahetult lugeda kahe hälbe vahele vastavat eseme kaugust.

Operaator näeb ekraanil kohe, kui kaugel ese asub ja kas ta liigub või seisab paigal. Kui ese läheneb, siis vahemik hälvete vahel väheneb, kui ese aga kaugeneb, siis muutub ka hälvetevaheline kaugus suuremaks.

Nii on võimalik raadiolokaatori abil määrata peegeldava eseme kaugust ja suunda. Nendest andmetest piisab objekti asukoha (koordinaatide) määramiseks kaardil.

Raadiolokatsioon tekkis võrdlemisi vähe aega tagasi — Teise maailmasõja ajal —, sest alles siis õpiti tekitama

ronge, autokolonne kui ka laevu, mida me ei leia tavalisel topograafilisel kaardil, olgu see kui tahes täielik.

Panoraamlokaatori ekraanile on kantud eriline skaala — seeria kontsentrilisi ringjooni. Ekraani keskpunkt — kallutusjoone algus — vastab radarjaama asukohale. Iga ringjoon tähistab erinevat kaugust lokaatorist. Mida suurem on ringjoone raadius, seda kaugemal asuvad objektid.

Raadiolokatsiooni hakati kasutama ka laevadel. Laevade raadiolokaatorid muutsid oluliselt merelahingu taktikat.

Rahu ajal kasutatakse raadiolokatsiooni laevanduse ja lennunduse ohutuse tagamiseks. Kõikidele suurtele laevadele ja lennukitele on asetatud raadiolokaatorid. Radarmeetodeid kasutatakse lennujaamades lennukite maandumise juhtimiseks. Raadiolokaatoritega on varustatud ka sadamad. Nii näiteks on Havre'i sadamasse üles seatud lokaator, mille ekraanil on sadamahoonete ja reidil viibivate ning sadamasse sõitvate ja sealt lahkuvate laevade selged kontuurid. Televisiooniseadmete abil antakse kujutis raadiolokaatori ekraanilt üle laevadele. Kaptenid näevad televisiooniekraanidel niihästi oma kui ka kõigi teiste laevade asukohti. See kergendab tunduvalt manööverdamist sadamasse sõidul ja sealt lahkumisel.

Huvi pakub üks raadiolokatsiooni esialgu ootamatuna tunduv rakendusala, mida kasutatakse meteoroloogias ilmade ennustamisel.

Temperatuuri, niiskuse ja õhurõhu mõõtmiseks erinevatel kõrgustel kasutatakse nn. raadiosondi — miniatuurset aerostaati, mis kannab meteoroloogilisi aparate ja tillukest raadiosaatjat aparaatide näitude edasiandmiseks maale.

Tavaliselt vaadeldakse raadiosonde nurgamõõteseadistega varustatud spetsiaalsete pikksilmadega, mis võimaldavad hinnata aerostaadile mõjuva tuule kiirust ja suunda.

Seda on kerge teha siis, kui raadiosond on nähtaval. Ent niipea kui sondpall läheb pilvedesse või kaob udusse, on teda võimatu jälgida. Kuhu ta kadus, kust raadiolained saavad, seda öelda ei saa.

Siin tuligi appi raadiolokatsioon. Raadiosondide lendu hakati jälgima raadiolokaatoritega. Raadiosondi metallosad peegeldavad hästi raadiolaineid ja lokaatori ekraanile

nile tekib selgesti eraldatav hälve. Kuhu raadiosond ka ei lendaks, ikkagi saab teda lokaatoriga jälgida.

Ka raadiosondid ise on mõnes mõttes ebatäiuslikud: nad ei tõuse kuigi kõrgele ja lendavad aeglaselt.

Raadiosondide asemele tulid meteoroloogilised raketid, mis jõuavad mitmesaja kilomeetri kõrgusele. Rakette jälgitakse pidevalt lokaatoritega.

Radarmeteoroloogia võimalused on aga veelgi laiemad. Kasutades mõne millimeetri pikkusi laineid, on võimalik uurida pilvi ja udusid. Niisugused lained peegelduvad pilvedelt tagasi, kusjuures peegeldunud signaalid on seda tugevamad, mida tihedam on pilv. Nii on võimalik panoraamlokaatori ekraanile tekkiva pildi põhjal uurida pilvitust võrdlemisi suurtel kaugustel. Millimeeterlainetel töötavate lokaatorite abil on võimalik vaadelda mitmekihiliste pilvemassiivide, äikeserinnete ja taifuunide liikumist. On õnnestunud saavutada peegeldumist isegi virmalistelt!

Niimoodi abistab raadiolokatsioon teadlasi ilmade ennustamisel.

Elektroonikat kasutatakse kõikjal

Märklauaks on aatomituum

Käesolevat sajandit nimetatakse sageli aatomienergia-sajandiks. Teadlased on üsna meie silmade all alistanud kuni viimase ajani looduse saladuskatte all varjul olnud võimsa, ammendamatu aatomienergia.

Kuidas neil siis õnnestus saavutada niisugune hiiglasuur võit looduse üle? Mis aitas neid?

Aitajaks oli — elektroonika.

Aatomituumal nagu aatomil endalgi on üsna keerukas ehitus. Tuum koosneb imeväikestest osakestest — prootonitest ja neutronitest. Prootonil on positiivne laeng, neutronil laeng puudub.

Tuuma kaduvväikesesse ruumalasse on koondunud suurem osa aatomi massist ja seetõttu on tuum tohutult vastupidav. Tuuma koosseisu kuuluvate osakeste vahel valitsevad erilised tõmbejõud, mida nimetatakse tuumajõududeks ja mis on palju tugevamad prootonite vahel mõjuvatest elektrilistest tõukejõududest.

Aatomituuma lõhestamine, nn. tuumareaktsioonide teostamine, on erakordselt raske ülesanne. Tuumast prootoni või neutroni eemaldamiseks tuleb ületada tuumaosakestevahelised kolossaalsed tõmbejõud.

Alles kahekümnendal sajandil õppisid teadlased mõjustama aatomituumasid, muutma nende koostist ja eraldama neis peituvaid gigantseid energiahulki. Kuidas see neil korda läks?

Tuuma lõhestamiseks tuleb seda «pommitada» spetsiaalsete «mürskudega». Et ei tuleks välja midagi varblaste kahurist tulistamise taolist, selleks ei tohi mürsud märklauast suuremad olla, «märklaud» on aga käesoleval juhul äärmiselt väike. Pärast «kaliibriküsimuse» igakülget vaagimist otsustati mürskudena kasutada ... tuuma-

sid endid ning aineosakesi, mis kuuluvad tuumade koostisse — prootoneid ja neutroneid.

Aatomituum on kõige tugevam inimestele tuntud «konstruktsioon» ja seetõttu on tema purustamiseks tarvis anda «mürskudele» hiiglaslik kiirus.

Tuumamürskude looduslikuks allikaks osutus lihtaine raadium. Raadium laguneb pidevalt ja lagunemisproduktideks on heeliumi aatomite tuumad, mida ta paiskab välja kiirusega 20 000 kilomeetrit sekundis. Juba 1919. aastal kasutas inglise teadlane Rutherford neid mürske lämmastikuaatomite tuumade pommitamiseks ja lõhestamiseks.

Kuid raadium on erakordselt kallis. Peale selle ei ole tema poolt kiiratavate osakeste energia siiski veel küllaldane paljude keemiliste elementide aatomituumade lõhestamiseks.

Siin tuligi appi elektroonika.

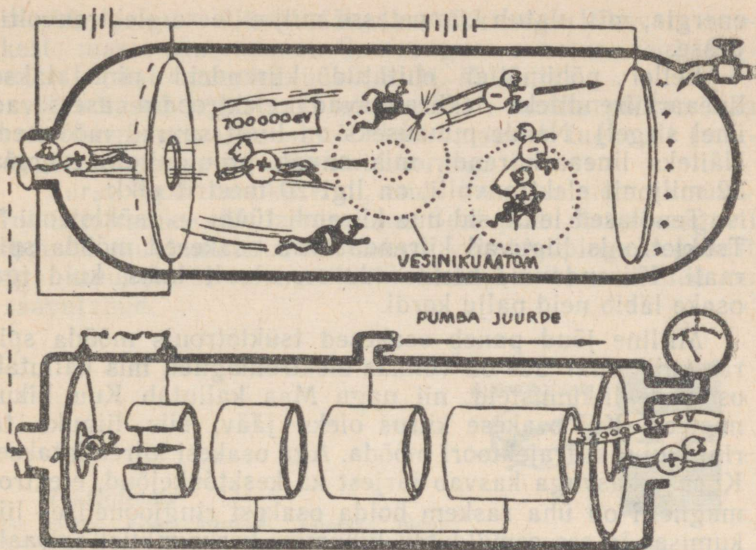
Tuumaosakestele vajaliku kiiruse andmiseks ehitati erilised kiirendid — väga keerukad elektroonikaaparaadid.

Kiirendi tuletab oma tööpõhimõtte poolest meelde raadiolampi. Hõõgkatoodist emiteeritavatele elektronidele annab vajaliku kiiruse pingeallika positiivse klemmiga ühendatud anood. Elektronidele raadiolambis antud energiat mõõdetakse erilistes ühikutēs — elektronvoltides. Kui pinge lambi anoodil on näiteks 100 volti, siis saab iga katoodist väljunud elektron anoodile jõudmisel juurde 100-elektronvoldise energia. Kineskoopides ulatub anoodpinge tuhandetesse voltidesse, röntgenitorudes on see aga veelgi kõrgem. Kiirendavate osakeste energia jõuab neis mitmesaja tuhande elektronvoldini.

Aatomituumade lõhestamiseks on aga niisugusest energiast vähe. Teiste sõnadega, selleks et purustada aatomituumade, on tarvis energiat, mis ületaks nii mitu korda elektronide energia raadiolambis, kui mitu korda on signaalid vastuvõtja väljundil võimsamad signaalidest sisendil.

Aga ehk on võimalik saavutada seda pinge tõstmisega kiirendi elektroodidel? Alguses proovitigi nii teha, kuid palju see ei aidanud. Teatud hetkel tekkis elektroodide vahel tõeline välg — võimas elektrisäde. Tähendab, pinget saab tõsta ainult kindla piirini.

Siis võtsid teadlased appi kavaluse. Kaks elektroodi — katood ja anood — asendati rea metallsilindritega,



Aatomituuma tulistav kahur.

Joonise ülemine osa kujutab endast omapärast aatomituuma tulistamiseks sobivaid mürske tootvat tehast. «Tehas» — see on hiiglaslik hõrendatud vesinikuga täidetud kahe elektroodiga lamp. Katoodilt anoodile tormavad elektronid pörkavad kokku vesinikuaatomitega. Pörke tulemusena kaotab aatom oma ainsa elektroni ja muutub positiivselt laetud tuumaks, mis tormab negatiivse elektroodi, katoodi poole. Katoodis on ava, «mürsk» lendab sellest läbi ja suundub tuumakahuri torusse (vt. joonise alumine osa). Siit on õhk võimsate pumpade abil kõrvaldatud ja elektron omandab suure kiiruse. «Mürsk» on valmis märklauda tabama.

mis paigutati üksteisest teatud kaugustel ühele joonele. Nendele silindrilistele elektroodidele ei antud mitte enam alalispinge nagu varem, vaid vahelduvinge. Vahelduvinge sagedus valiti ranges vastavuses silindrite mõõtetega ja omavaheliste kaugustega. Sellise seadme juures iga silindriku just nagu tõukaks läbilendavat osakest tagant. Tõuked järgnevad üksteisele silinderelektroodidele rakendatud vahelduvinge sagedusega. Et aga sagedus on kooskõlastatud osakeste liikumisega, siis ei toimu need tõuked mitte juhuslikult, vaid kindlas taktis, s. t. ühesuunas.

Tänu resonantsile (sellest nähtusest oli juttu raamatu alguses) saab võrdlemisi madal pinge anda osakesele

energia, mis ulatub kümnetesse miljonitesse elektronvolti-desse.

Sellel põhimõttel ehitatud kiirendeid nimetatakse lineaarkiirenditeks (kiirendavad elektroodid asetsevad ühel sirgel). Nende puuduseks on liialt suured mõõtmed. Näiteks lineaarkiirendi, mis annab prootonitele energia 32 miljonit elektronvolti, on ligi 20 meetrit pikk.

Teadlased leiutasid uue kiirendi tüübi — tsüklotroni*. Tsüklotronis liiguvad kiirendatavad osakesed mööda spiraali. Kiirendavaid elektroode on ainult kaks, kuid iga osake läbib neid palju kordi.

Milline jõud paneb osakesed tsüklotronis mööda spiraali liikuma? See on võimas elektromagnet, mis kallutab osakeste liikumisteid, nii nagu Maa kallutab Kuu liikumisteid. Kui osakese kiirus oleks jääv, siis liiguks ta ringikujulist trajektoori mööda. Aga osakesi kiirendatakse. Kiiruse kasvuga kasvab järjest ka kesktõukejõud, elektromagnetil on üha raskem hoida osakest ringjoonelises liikumises ja see eemaldubki liikumise keskpunktist spiraalset teed mööda. Saavutanud teatud kiiruse, lendab osake just nagu lingust pääsenud kivi läbi õhukese metallkilega kaetud ava kiirendist välja.

Lineaarkiirendi ja tsüklotronide abil saab prootonitele anda mõnekümne miljoni elektronvoldise energia. Sellest jätkub paljude keemiliste elementide aatomituumade purustamiseks, kuid massiivsemate tuumade tarvis on vaja veel võimsamaid kiirendeid.

Mis piirab tsüklotronis osakestele antavat energiat?

Teadlased avastasid, et valguse kiirusele lähedase kiirusega liikuva keha mass suureneb. See nähtus häiribki tsüklotroni tööd. Kiirendatavad osakesed hakkavad seetõttu tsüklotroni elektroodide vahet läbima hetkedel, mil pinge neid enam ei kiirenda. Seetõttu muutub kiiruse edasine kasv võimatuks.

Selle tõsise takistuse ületas 1944. aastal nõukogude füüsik V. I. Veksler, kes avastas mooduse, kuidas kompen-

* Tsüklotroni leiutamise tegi oma nime maailmakuulsaks ameerika teadlane E. O. Lawrence 1931. a.

Esimese lineaarkiirendi, milles kasutatakse resonantsi põhimõtet, leiutas sakslane R. Wideröe 1929. a. Lineaarkiirendeid täiustati 1945. a. tänu nõukogude teadlase Veksleri ja USA teadlase McMillani töödele. — *Tõlk.*

900 000 kilomeetrit, tähendab, on rohkem kui kaks korda suurem Maa ja Kuu vahelisest kaugusest.* Iga osake sooritab kiirendamise ajal 4,5 miljonit tiiru, kulutades selles 3,3 sekundit.

«Käesoleval ajal on selge,» kirjutas akadeemik V. I. Veksler, «et tuumajõudude olemust puudutava teaduse edasised edusammud sõltuvad täielikult kiirendi tehnika arengutasemest ja ideedest, mida on rakendatud nende võimsate tuumakahurite konstrueerimisel.

Kahtlemata ilmuvad sellel alal lähemal ajal uued vahendid, mis võimaldavad veel täiuslikumalt ja ökonoomsemalt lahendada kaasaegse füüsika kõige huvitavamaid ülesandeid ja tungida sügavamale mateeria olemusse.»

Niisugune on elektroonika osa tuumafüüsika ja aatomienergeetika edasises progressis.

Elektroonika ja aatomienergia on kaasaegse teaduse kaks suurimat saavutust. Neid võib kasutada rahumeelse loomingu vahenditena, selleks et muuta Maad inimestele meelepäraseks, rikkamaks, ilusamaks ja inimesi — võimsamateks ning õnnelikumateks. Kuid samad avastused võivad saada hävitusrelvadeks, mis toovad inimkonnale arvutuid hädasid.

Me oleme selle poolt, et tuumakahur ei pöörduks kunagi oma looja — inimese vastu. Selles on meiega solidaarsed kõik ausad inimesed, olenemata nende poliitilistest vaadetest. Inimkond ei luba käputäiel uue maailmasõja õhutajatel kasutada teaduse ja tehnika ajaloo suurepärasemaid saavutusi oma nurjatuteks eesmärkideks.

Inimene ja tema teenrid

Inimkond on juba lapsepõlvest saadik tunnetanud lihaste jõu nõrkust. Karm elu õiendas julmalt arveid nõrkadega; need langesid külma, nälja ning looduse poolt paremini «relvastatud» ja osavamate loomade saagiks. Inimene pidi ümbritsevast maailmast otsima, välja mõtlema, leiutama ja meisterdama endale kuulekaid võimsaid abilisi. Meie eellased püüdsid kõikjal, kus see iganes või-

* Maa ja Kuu vaheline keskmine kaugus on 380 000 km ja võib muutuda sellest mõlemale poole umbes 20 000 km piirides. — *Tõlk.*

malik oli, kasutada tuule ja vee energiat; nad ehitasid tuuleveskeid ja vesirattaid. Hiljem õppisid inimesed auru- ja elektrienergiat kasutama. Käsitsitöö asendus üha suuremal määral masinatööga. Nii astus mullatöödel labida asemele ekskavaator, seppadele tuli appi auruhaamer, kaevuritele — kivisöekombain.

Inimese töö asendamist igasuguste masinatega nimetatakse mehhaniseerimiseks. Kuid see asendamine ei vabasta inimest vahetust ja aktiivsest osavõtust tootmisprotsessi käigust. Inimene juhib masinaid, määrab vajaliku töörežiimi, jälgib tehnoloogiliste operatsioonide täitmist. Ka mehhaniseerimisel jääb inimesele üsna palju raskeid kohustusi. Võtame näiteks treipingi. Treial kinnitab tooriku, seadistab lõiketera, reguleerib ettenihet. Lõpuks on detail valmis. Nüüd on see vaja padrunist välja võtta, seejärel järgmine toorik ette valmistada, padrunisse kinnitada jne.

Keeruka mehhanismi juhtimine nõuab kõrget kvalifikatsiooni. Üks ebaõige liigutus — ja praak on vältimatu.

Kõrgem aste tehnika arengus on tootmise automatiseerimine. Sel puhul läheb suurem osa töölise funktsioonidest üle automaatselt töötavale masinale. Automaadid töötlevad detaili iseseisvalt, kindlustavad toorikute vahetuse, operatsioonide kindla järjekorra, hoiavad vajalikku temperatuuri või voolutugevust. Rikete puhul peatavad nad tootmisprotsessi ja annavad avariisignaali.

Inimene ei võta masinate tööst enam vahetult osa, ta ainult käivitab neid ja kontrollib aeg-ajalt automaatide korrasolekut.

Automatiseerimise juurutamine meie maa rahvamajandusse on suure riikliku tähtsusega ülesanne. Tootmise automatiseerimine kergendab järsult inimese tööd, tõstab tööviljakust, parendab toodangu kvaliteeti ja alandab omahinda.

Suure tähtsuse omandab ka telemehhaanika rakendamise tootmisprotsessides. Laialt levinud terminit «telemehhaanika» ei saa pidada õnnestunuks, sest ta tähendab «kaugmehhaanikat»; tegelikult mõistetakse telemehhaanika all aga teaduse ja tehnika haru, mis tegeleb tootmisprotsesside kaugjuhtimise ja -kontrollimisega.

Paljudel tootmisaladel on tööoperatsioonide juhtimine tsentraliseeritud, seda teostatakse ühest kontrollpunktist. Niiviisi juhitakse tänapäeva raudteel pööranguid ja val-

gusfoore. Telemehhaanikaseadmete põhiomaduseks on nende tegevuse teatud automatiseeritus.

Võtame näiteks automaattelefoni. Me ise peame valima numbri, edasi lülitub valitud numbrile vastav liin automaatselt sisse. Automaattelefon on näide telemehhaanilisest seadmest.

Nagu näha, on automaatika ja telemehhaanika omavahel tihedas seoses, seetõttu lausutaksegi neid kahte sõna nii sageli koos.

Tootmise automatiseerimine ja telemehhaniseerimine on tööstuskaupade külluse loomise võtmeks meie maal, rahvamajanduse tehnilise progressi aluseks.

Nõukogude Liidus on automatiseeritud ja telemehhaniseeritud suur osa elektriijaamadest, nafta töötlemise tehastest, kõrg- ja martäänahjudest. 1950. a. ehitati meie maal automaattehas, mis toodab autode ja traktorite jaoks alumiiniumist kolbe. Tööliste ja teenistujate üldarv on selles tehases 4,2 korda väiksem kui sama võimsusega tavalises, automatiseerimata tehases. Automaattehas võtab enda alla umbes 3 korda väiksema tootmispinna, seejuures on tööviljakus 9 korda suurem, tootmistsükkel aga 2 korda lühem.

Meie maal töötab rida betooni tootvaid automaattehasid. Ühes nendest töötab ainult 25 töolist, kuna tavaliselt sama võimsusega tehasesse vajatakse üle 1000 töölise.

Sellest on kujukalt näha, kui suurt majanduslikku efekti võib automatiseerimise abil saada.

Lähemas tulevikus muutuvad automaattehased tööstusliku tootmise põhiosaks. Nad annavad toodangut ilma inimese vahetu kaasabit. Selle ülesande lahendamise kallal töötab Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia Automaatika ja Telemehhaanika Instituudi kollektiiv. Kaasaegsed automaatikaseadmed põhinevad suurel määral elektroonikal. Ilma elektroonikata ei saa lahendada kompleksse automatiseerimise ülesannet.

Elektroonika annab võimaluse automaatseadmeid tunduvalt täiustada, muuta neid vastupidavamaks ja täpsemaks.

Paljud tehnoloogilised protsessid nõuavad kindla temperatuuri saavutamist ja alalhoidmist. Nii näiteks on see vajalik elektriühjades metallide sulatamisel. Temperatuuri reguleerimiseks võib rakendada lihtsat automaatseadet — temperatuuri bimetallregulaatorit. Seadme põhidetailiks

on kahest erineva metalli ribast kokkuneeditud plaadike. Soojenemisel metallid ei paisu ühtemoodi, üks paisub rohkem, teine vähem. Tulemusena tõmbub bimetalplaad soojendamisel kaardu.

Bimetalplaad on elektrivoolu üheks automaatlüliti kontaktiks. Automaat lülitatakse elektrivõrku ahju küttekahaga järjestikku. Tavalisel toatemperatuuril on kontaktid suletud. Vool läbib ahju küttekahaga, temperatuur ahjus tõuseb ja bimetalplaad kaardub. Kui ahi on teatud temperatuurini soojenenud, siis kontaktid lahutuvad, vool katkeb ja ahi hakkab jahtuma. Tulemusena plaadike sirgeneb. Teatud momendil suleb ta jälle vooluringi ja küttekahaga soojeneb uuesti. Nii töötabki see lihtne temperatuuriregulaator. Olenevalt temperatuurist bimetalplaad kord sirgeneb, kord kaardub, lülitades ahju sisse ja välja.

Kuid bimetalregulaatoril on üks üsna tõsine puudus — ta ei hoida kindlat temperatuuri. Bimetalplaad ei jõua järele jahtumisele ja soojenemisele, kontaktid ei sulgu ega avane ühel ja samal temperatuuril — vahe ulatub 1—2 kraadini.

Hoopis teine asi on temperatuuri elektronregulaator.

Elektronregulaator koosneb tajurist, lampvõimendist ja releest. Tajur kujutab endast tundlikku elementi, mis reageerib temperatuuri muutumisele. Ehituselt võivad tajurid olla väga erinevad. Nii näiteks võib tajuriks olla elektrijuht, mille takistus elektrivoolule muutub koos temperatuuri muutumisega. Tajurist juhitakse võimendi sisendisse teatud elektrilaeng. Temperatuuri muutudes muutub ka laengu suurus. Oletame, et temperatuur muutub tühiselt väikese suuruse võrra. Niisama vähe muutub ka elektrilaeng. Kuid meil on ju võimendi! Elektronlampide abil võib laengu tühiselt väikest muutumist tugevdada miljooneid kordi.

Võimendi väljundil on rele — elektromagnetiline lüliti, mis lülitab ahju küttekahaga sisse ja välja. Vähi­ngi laengu muutus tajuril käivitab rele, seetõttu on niisugune termoregulaator äärmiselt tundlik. Selle abil on võimalik vajalikku temperatuuri hoida kraadi mõne tuhandiku ja isegi kümnetuhandiku täpsusega!

Elektronaparaatide abil on võimalik mõõta nii väikese ajavahemikke, mida on isegi raske ette kujutada — näiteks ühte sajamiljondikku sekundist —, või avastada nihkumist millimeetri kümnemiljondiku võrra.

Elektronautomaate rakendatakse tootmises üha laialdasemalt. Nende abil kontrollitakse tootmisprotsesside käiku tekstiili-, paberi- ja jalatsivabrikutes; nad kergendavad söekaevandamist, malmi ja terase sulatamist.

On loodud spetsiaalsed elektronaparaadid, mis reguleerivad ahju suunatava õhu temperatuuri ja kannavad ühtlasi paberile nn. sulatusjooned. Nende joonte kulgemise järgi saab otsustada ahju töö üle: kas maaki ja koksi on õigesti ette antud, kas sulatamise temperatuurirežiimi jälgiti täpselt jne. Sellised aparadid tõstavad tunduvalt kõrg- ja martäänahjude tööviljakust, vähendavad kütusekulu, ja mis peamine, parendavad suuresti metalli kvaliteeti.

Me tutvusime juba fotoelemendiga — «elektrisilmaga». Fotoelemente kasutatakse laialdaselt paljudes automaatikaseadmetes tööpinkide väljalülitamiseks, kui tööline ettevaatamatult paneb käe ohtlikku piirkonda, konveierilt saabuvate detailide lugemiseks jne.

Fotoelektronseadmeid rakendatakse näiteks võimsate valtsimispinkide — slaabingute — juures. Slaabingute abil muudetakse hõõguv metall terasplekiks. Kui teraslindi paksus muutub kas suuremaks või väiksemaks kui vaja, siis muudavad automaadid kohe valtsimisrullide vahemaad ja praaki ei teki.

Eriti suure ulatuse on automatiseerimine omandanud elektrijaamades ja energiasüsteemides.

Juba viiendal viisaastakul olid kõik Nõukogude Liidu hüdroelektriijaamad automatiseeritud. Toome näiteks Moskva lähedal asuvad Perervinski ja Karamõševi hüdroelektriijaamad. Peakorpustest kaugel eemal asuvast keskdirigetsentrist lastakse käiku hüdroturbiine, peatatakse neid vajaduse korral ja reguleeritakse võimsust. Peale selle on hüdroelektriijaamades endis terve rida automaate, mis reguleerivad jaama töörežiimi ja lülitavad mitmesuguseid agregaatide sisse ning välja. Rikete puhul teatavad nad sellest viivitamatult keskusele, kusjuures lülitavad samal ajal rivist välja langenud agregaadid asemele tagavaraseadmed.

Hüdroelektriijaama valveinsenerid teenindavad jaama kodunt väljumata. Nende korterites on väikesed lülituslauad kella ja signaallambiga, nii et valveinsener on alati kursis jaama tööga. Aeg-ajalt kasutab ta tavalist telefoni, valib numbri ja saab täpse ettekande jaama tööst. Ette-

kandjaks on automaat, mis meenutab «rääkivat kella». «Rääkivaid kelli» kasutavad Moskva ja teiste linnade elanikud sageli. Selleks tuleb valida ainult telefonil teatud number ja automaat teatab õige kellaaja. Tegelikult räägib magnetofon, mille lindile on võetud kõik kellaegade variandid ööpäeva jooksul.

Hüdroelektrijaamade automaatides kasutatakse samuti magnetofone. Lindile kantakse elektrijaamade põhilised töönäitajad. Sõltuvalt olukorrast lülitab automaat sisse kindla lindi ja valveinsener saab teada kõik, mis teda huvitab.

Kõik Nõukogude Liidu võimsamad hüdroelektrijaamad on varustatud paljude automaatikaseadmetega.

Automaatikat kasutatakse laialdaselt ka teistes hüdrotehnilistes seadmetes — lüüsidis ja pumbajaamades. Varem teenindas Moskva-nimelisel kanalil iga pumbajaama 16 inimest. Nüüd on automaadid täielikult asendanud inimese. Jaamade aparatuur lülitub sisse ja välja automaatselt, samuti jälgivad automaadid ka laagrite temperatuuri. Kõiki kanali pumbajaamu juhitakse ühestainsast dispetšeripunktist.

Automaatikasüsteemide juures ei kasutata mitte ainult traatsidet, vaid ka raadiosidet, kusjuures raadioreleeliinide ülekandejaamad võivad olla täielikult automatiseeritud. Nii näiteks kontrollitakse ja juhitakse 1600 kilomeetri pikkuse naftajuhtme kahtteistkümmet pumbajaama Kansas Citys (Ameerika Ühendriigid) raadioreleeliinide abil.

Tutvume nüüd elektroonikaalase automaatikaga raudteetranspordis. Vaatame, kuidas töötab automaatne pidurdamissüsteem, mis peatab rongi siis, kui vedurijuht millegipärast ei märka punast tuld valgusfooris.

Valgusfoori ette rööbaste vahele paigutatakse nn. teeinduktor. Tegelikult on see väike raadiosaatja, mis alustab tööd siis, kui valgusfooris süttib punane tuli. Veduril on samuti induktor — vastuvõtja. Kui vedur sõidab teeinduktori kohale, siis hakkab induktorite vastastikuse toime tõttu tööle eriline automaatseade, mis lülitab sisse vedurivile või süütab vedurijuhi ees valgussignaali. Kui vedurijuht ka nüüd ei hakka pidurdama, siis lülitub pidurdussüsteem mõne sekundi pärast automaatselt sisse ja rong peatub.

Automaatpidurid paistavad silma kõrge efektiivsuse ja usaldatavuse poolest. Pole midagi imestada, et nad on

raudteedel laialdast kasutamist leidnud. Automaatsignali-
satsiooni abil on võimalik vältida avariisid.

Tähtis osa on ka automatiseeritud dispetšeriteenistusel. Dispetšeri ees on raudteede skeem, millele asetatud värvi-
liste lambikeste vahendusel on võimalik kursis olla liikle-
mistingimustega kogu kontrollitava ala ulatuses ning
jälgida nii valgusfooride signaale harutedel ja jaamades
kui ka rongide liikumist.

«... Juba praegu on meil võimalus automatiseerida
niihästi üksikuid protsesse ja masinaid kui ka terveid
tsehhe ja tehaseid. Seejuures on automaatide ülesandeks
inimese määratud töörežiimi täitmine. Lähemas tulevikus
suudavad automaadid juba ise optimaalset režiimi valida,
muutuvate tingimustega kohaneda. Lisaks sellele võivad
nad omandada kogemusi, et tehtud vigu mitte enam kor-
rata, ja analüüsides oma ebaõnnestumisi, järk-järgult
parendada tööd.» Nii ütles Automaatika ja Telemehhaa-
nika Instituudi direktor, Nõukogude Liidu Teaduste Aka-
deemia kirjavahetajaliige V. A. Trapeznikov.

Automaatsed elektronmasinad... Nüüd me olemegi
jõudnud nendeni, teaduse ja tehnika suursaavutusteni.
«Mõtlevatest masinatest» huvitavamalt, keerukamat ja
fantastilisemat on raske isegi ette kujutada.

Tutvugem lähemalt nende masinatega, püüdkem ker-
gitada saladuskatet neilt «imemasinatelt»!

«Mõtleva» * masina sada ametit

Kas masinad saavad lahendada keerukaid matemaati-
lisi võrrandeid, tõlkida tekste ühest keelest teise, mängida
malet, juhtida tervete tehaste tööd?

* Autor kasutab siin võrdlemisi lüürilist terminit. Olgu see siis-
tänapäeva keerukaim «elektronaju» või kauplustes kasutatava lihtsa
arvelaua «puuaju» — mõtlemisvõimest on nad mõlemad väga kaugel.
Mõtlemine on elusmaterია omadus. Kui inimkond kunagi õpibki
tehismõtlemist tekitama, siis toimub see pigemini bioloogia kui elekt-
roonika vallas, kõige tõenäolisemalt aga teadusharus, mida käesoleval
ajal veel ei eksisteerigi.

Peastarvutamise ja tootmise juhtimise operatsioone on juba
ammu püütud mehhaniseerida. Elektronmasinad on sellel alal saavu-
tatud edu järjekordseks etapiks, nad on üsna täiuslikud tööriistad.
Nagu iga tööriista täiustus, nii ka elektronmasinate leiutamine põh-

Kui keegi oleks selle küsimuse veerand sajandit tagasi esitanud, siis oleks teda vist küll veidrikuks peetud.

«Kaugeltki kõik inimesed ei oska lahendada diferentsiaalvõrrandeid, sest kõrgemat matemaatikat õpitakse ülikoolides. Naljakas on mõelda, et masin võiks enamikust inimestest haritum olla!» Niimoodi oleks vastatud küsijale lähemas minevikus. Nüüd on aga olemas «kõrgema haridusega» masinaid.

Kõik sai alguse elektronarvutitest. Tutvugem kõigepealt nende ehituse ja töötamise põhimõttega. Varugem kannatust, sest see pole lihtne.

Kuid võib-olla on parem ilma elektronmasinate töö-põhimõtet puudutamata tutvuda sellega, mida nende abil saab teha? Võib ka nii, aga sel juhul paistaks kõik, millest me räägime, olevat ainult kujutlusvõime vili. Kuid elektronmasinad kõigi oma vapustavate «võimetega» eksisteerivad ja töötavad inimeste tahte kohaselt, seega on nende ehitusest võimalik aru saada. Ja ehitusest me alustamegi.

Elektronarvuteid võib jaotada kahte suurde rühma. Esimesse kuuluvad nn. modelleerivad masinad ehk pideva toimega arvutid, teise rühma nn. diskreetse toimega kiired arvutid.

Väga tihti saab täiesti erinevaid füüsikalisi nähtusi kirjeldada samade matemaatiliste võrranditega.

Oma töös «Materialism ja empiriokrititsism» kirjutas V. I. Lenin: «Looduse ühtsus ilmneb nähtuste eri valdkondadesse kuuluvate diferentsiaalvõrrandite «hämmastavas analoogilisuses».»

Pideva toimega arvutites on raadiolampidest, kondensaatoritest ja teistest detailidest koostatud elektriskeemid, milles elektrivoolu ja pingete ajaline muutumine toimub teatud seaduste põhjal. Seda muutumist võib kirjeldada samade matemaatiliste võrrandite abil nagu uuritavat nähtustki. Nii näiteks pendli mehhaanilist võnkumist kirjeldab sama võrrand kui kondensaatorist ja induktioonpoolist koosnevas võnkeringis toimuvaid elektrivõnkumisi. Järelikult on modelleeriva seadme vooluringides toimuvad elektrilised protsessid uuritava mehhaanilise näh-

justab progressi inimkonna arengus ja loob pinda looduseaduste kiiremaks tunnetamiseks. Elektronmasina leiutamiseiga inimeste vaimne tegevus ei lõpe, vaid alles algab. — *Tõlk.*

tuse omapäraseks mudeliks. Pideva toimega arvuteid nime-tataksegi seetõttu modelleerivateks masinateks.

Oletame, et meil on vaja teada, mis toimub uue len-nukiga suurte koormuste korral, näiteks pikeerimise ajal. Selleks ei ole tingimata tarvis alustada proovilende, mis ähvardavad lõppeda katastroofiga. Parem on alustada suurtel koormustel lennuki käitumist kirjeldavate mate-maatiliste võrrandite lahendamisest. Praktikas toimitakse järgmiselt. Valitakse vastav elektriline mudel, koostatakse vajalik skeem, muudetakse pingeid või voolusid mingis punktis ja uuritakse, kuidas muutuvad voolud teistes punktides. Tihti saadakse lahend helendava kõverjoone kujul elektronkiiretoru ekraanil.

Modelleerivate seadmete puuduseks on võrdlemisi madal täpsus (lahendi viga võib küündida viie kuni kümne protsendini).

Palju universaalsemad on diskreetse toimega arvutid, mis paistavad silma eelkõige oma täpsuse poolest. Nende masinate puhul jagatakse matemaatilise ülesande lahendamise üksikuteks aritmeetilisteks operatsioonideks (liit-mine, lahutamine, korrutamine ja jagamine). Arvutamine ise toimub automaatselt.

Diskreetse toimega arvuti abil on võimalik lahendada iga ülesannet, millel ainult lahend olemas on. Enamikul keerukatest võrranditest on arvuline lahend olemas ja seda saab leida teatud aritmeetiliste tehete abil. Pead-murdvate integraal- ja diferentsiaalvõrrandite lahendamiseks piisab neljast aritmeetilisest tehest.

Diskreetse toimega arvuti koosneb viiest süsteemist, mis kõik on vastastikusel seoses. Need on: aritmeetika-süsteem, mäluseade, juhtimissüsteem, andmete sissevii-mise süsteem ja tulemuste avaldamise süsteem.

Aritmeetikasüsteemi ülesandeks on aritmeetikatehete sooritamine arvudega. Ühe sekundi jooksul tehakse kaas-ajal kuni 5104 tehet. Vaatame lähemalt, kuidas see toimub.

Me kõik oleme harjunud kümnendsüsteemiga, kus arve kujutatakse kümne numbri abil: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Iga numbri väärtus oleneb tema asukohast arvu kujuta-vas numbrite reas. Näiteks arvu 555 juures tähistab kõige vasakpoolsem number 5 sajaliste arvu, järgmine kümne-

liste arvu ja kolmas üheliste arvu. Öeldu põhjal on arvu 555, nagu iga teist arvugi, võimalik väljendada järgmise summa kujul: $5 \cdot 100 + 5 \cdot 10 + 5$, või $5 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$. Siin tuleb tähelepanu juhtida arvule 10, mis kuulub iga liidetava koosseisu. See arv ongi kümnendsüsteemi aluseks.

Aluseks võib võtta ka iga teise arvu, näiteks 2. Nii viisi saadakse kahendsüsteem, milles peale arvu «kaks» on kasutusel veel ainult kaks numbrit: 0 ja 1.* Sellises süsteemis kirjutatakse iga arvu kas 0-ga või 1-ga korrutatud arvu 2 astmete summa kujul. Näiteks arvu 21 võib kirjutada nii: $1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. Kahendsüsteemis näeb see välja nii: 10101. Siit tuleneb huvitav paradoks — $21 = 10101$.

Võib esitada küsimuse: milleks on niisugune kahendsüsteem tarvilik? Ta on ilmselt ebamugavam kui kümnendsüsteem kas või juba selle poolest, et arvude tähistamiseks kahendsüsteemis kulub palju rohkem numbreid.

* Siin on autori jutust üsna raske aru saada. On kasulik arvude süsteeme endale selgitada järgmiselt. Esemete loendamisel saame esemete arvu ühe numbriga märkida ainult senikaua, kui selleks numbreid jätkub. Kümnendsüsteemis on sel juhul eelviimane ese märgitav numbriga 9. Kui veel üks ese juurde tuleb, märgitakse seda numbriga 0, ja selle tähistamiseks, et üks kord on kõik numbrid läbi loendatud, kirjutatakse ette 1. Seega saame arvu 10.

Kirjeldatud protsessi mõistmiseks kujutame enesele ette mingi numeraatori või mehhaanilise arvesti (voolumõõtja, gaasimõõtja või mootorsõiduki kilomeetrinäitaja) numbrilauda.

Oletame nüüd, et meie numeraator toimib mitte kümnendsüsteemis, vaid kahendsüsteemis. Sel juhul ei ole numeraatori igal kettal mitte kümme, vaid ainult kaks numbrit — 1 ja 0.

Esimese eseme puhul saame näiduks 1;
 teise eseme puhul on näit juba 10;
 kolmanda „ 11;
 neljanda „ 100;
 viienda „ 101 jne.

Lugejal on kasulik mõelda, kuidas märgitakse arve teistes süsteemides. Olgu toodud järgmine näide. Igale mootorsõidukile on omistatud riiklik numbrimärk. Kui numbrid numbrimärgil oleksid täielikult kümnendsüsteemis, siis peaks autode suure arvu tõttu olema numbrimärgil väga paljudest numbritest koosnev arv, mis seisaks halvasti mees. Seetõttu kasutatakse keerukamat tähistamisviisi. 9999 autot moodustab ühe seeria. Seda, s. o. esimest seeriat, märgitakse sümboliga AAA. Järgmine seeria on AAB (kasutatakse vene tähestiku tähti). 29. seeria oleks ААЯ, 30. — АБА jne. Mitmendsüsteemiga siin tegemist on ja mitmele liiklusvahendile üldse sel kombel numbrimärke on võimalik välja anda, jäägu lugeja otsustada. — *Tõlk.*

Asja tuum seisab aga selles, et kahendsüsteem on elektronmasinate jaoks vägagi otstarbekohane. Toome näiteks tavalise lüliti. Lülitil on kaks asendit — sisse ja välja lülitatud. Üht asendit võib tähistada 0, teist 1. Ka elektronlambil on kaks erinevat olekut — suletud ja avatud.

Seega on kahendsüsteemis kirjapandud arvu võimalik esitada elektronlampide reana, milles osa lampe on suletud, osa avatud. Nii on näiteks arvu $21 = 10\ 101$ võimalik esitada kombinatsioonina: avatud — suletud — avatud — suletud ja lõpuks jälle avatud lamp. Andes lampide võrele negatiivseid ja positiivseid laenguid, on võimalik iga arvu üles märkida või sooritada nende arvudega aritmeetilisi tehteid.

Liitmine ja korrutamine toimub kahendsüsteemis väga lihtsalt. Toome liitmise näite:

$$\begin{array}{r} 1010 \\ + 111 \\ \hline 10001 \end{array}$$

Tulemus tundub esimesel pilgul uskumatuna. Kuid kahendsüsteemis on arvu 1 liitmine arvuga 1 samaväärne ülekandega kõrgemasse järku.* ($1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^1 = 1 \cdot 2^2$; $1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^2 = 1 \cdot 2^3$ jne.) Meie näites arv 1010 on võrdne $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$ ja arv 111 võrdub $1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. Siit saame nende kahe arvu summa: $1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 2 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. Kuid $2 \cdot 2^1$ on tegelikult juba $1 \cdot 2^2$. Siin esineb seega ülekanne kõrgemasse järku. Kirjutame arvud ümber, võttes arvesse ülekannet: $1 \cdot 2^3 + 2 \cdot 2^2 \dots$ Stopp! $2 \cdot 2^2$ võrdub arvuga $1 \cdot 2^3$! Peame arvud uuesti ümber kirjutama, sooritades veel ühe ülekande: $2 \cdot 2^3 \dots$ kuid see on ju $1 \cdot 2^4$! Lõplikuks tulemuseks saamegi $1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$, või nagu seda kahendsüsteemis tavaliselt kirja pannakse — 10001. Nagu näete, on meie liitmise tulemus õige.

Korrutamine toimub veel lihtsamalt, sest korrutatakse ainult kaks arvu: 0 ja 1. Toome näite:

* Kümnersüsteemis on järkudeks ühelised, kümnelised, sajaliselised jne. Nii näiteks on sajalised kümnelistest kõrgem järk. Kahendsüsteemis on järgud arvu 2 järjestikused astmed: $1 \cdot 2^0$, $1 \cdot 2^1$, $1 \cdot 2^2$ jne.

$$\begin{array}{r}
 110 \\
 \times 101 \\
 \hline
 110 \\
 000 \\
 110 \\
 \hline
 11110
 \end{array}$$

Elektronmasina aritmeetikasüsteem koosneb suurest hulgast elektrõnlampidest, mis on omavahel paariviisi lülituses, moodustades nn. triggerskeemi (sõna *trigger* tähendab inglise keeles päästikut ehk triklit). Trigeri omapäraks on see, et kui üks lamp on ävatud, siis teine on tingimata suletud (ja vastupidi). Andes ühe või teise lambi võrele negatiivse laengu, on võimalik neid kordamööda avada ja sulgeda, kusjuures ühest asendist teise üleminek toimub silmapilkselt (selles muide peitubki analoogia elektrõnlambi ja päästiku vahel). Kui trigeri üks seisund, näiteks see, millal esimene lamp on avatud ja teine suletud, tähistab arvu 0, ja teine seisund, kui on suletud esimene lamp ja avatud teine, tähistab arvu 1, siis on kahendsüsteemis iga arvu võimalik kujutada nii-suguse arvu trigeritega, nagu selles arvus on järke. Nii on näiteks arvu 101 jaoks tarvis kolm trigerit, arvu 1101 jaoks neli jne.

Mitmesugused tehted masinasse salvestatud arvudega taanduvad trigerite seisundite automaatsele omavahelisele võrdlemisele. Oletame, et ühest arvust on tarvis lahutada teine, näiteks 1011 — 100. Juhtimissüsteem võrdleb automaatselt trigereid, mis kujutavad esimest arvu, teise arvu trigeritega. Võrdlemise tulemus, arvude vahe, mis on meie näite puhul võrdne arvuga 111, märgitakse üles uuele trigerite rühmale.

Trigerid töötavad nii kiiresti, et inimene ei suuda lahendamise käiku jälgida, vajalikul momendil masinasse andmeid sisse viia ega tehete tulemusi üles märkida. Kõike seda tehakse erilise mäluseadme abil. Mäluseadmeid võib olla väga erinevat liiki. Laialt on levinud magnetmälu. Sel juhul kujutab elektrõnmasina mäluseade endast spetsiaalset magnetofoni, mille magnetlindile või erilisele trumlile salvestatakse kahendsüsteemi arvud positiivsete ja negatiivsete vooluimpulsside kombinatsioonidena.

Elektronarvuti magnetmälusse võib salvestada suure

hulga mitmekümnekohalisi arve. Mäluseadmest on võimalik vajalikku arvu kiiresti leida või salvestada sinna arvutuste tulemus. Elektronmasina mälu koosneb tervest reast «lahtritest», mis kõik on nummerdatud. Mingi arvu leidmiseks on tarvis teada vaid numbrit, mille all see arv mäluseadmes seisab.

Aritmeetikatehte sooritamiseks tuleb näidata mälulahtrite numbrid, millest vastavad arvud võetakse, tehe, mida tuleb sooritada, ja mälulahtri number, kuhu tulemust soovitakse salvestada. Sellisel moel masinale antud ülesannet nimetatakse käskluseks.

Käsklus

+	815	233	747
---	-----	-----	-----

tähendab: võtta numbrite 815 ja 233 alt arvud, liita need ja summa salvestada number 747 alla.

Loomulikult antakse ka käskluste numbrid kahend-süsteemis.

Ülesande lahendamine jagatakse paljude käskluste järjestikuseks täitmiseks. Niiviisi saadud käskluste kogu nimetatakse arvutuse programmiks.

Arvutuse lähteandmed ja programm kantakse masinasse andmiseks perforeeritud lindile (perforatsiooniks nimetatakse lindisse löödavaid auke, mille kombinatsioonid vastavad käskluste eri numbritele).

Elektronmasina lähteandmete sisseviimise süsteemis keritakse perfolinti ühelt rullilt teisele niiviisi, et lint läheb läbi lambikeste ja fotoelementide vahelt. Valgus langeb fotoelemendile ainult siis, kui kiirte tee juhtub lindis olev ava, seetõttu voolab fotoelemendi ahelas elektrivool väga lühiaegsete impulssidena, mis on perfolindi omapäraseks elektriliseks «koopiaks». Igale avale lindis vastab oma impulss ja impulsside kombinatsioonid tähistavad arvusid käsklustes. Impulssid suunatakse mäluseadmesse — magnettrumlile — ja salvestatakse.

Vaatame nüüd, kuidas toimub arvutamine. Oletame, et esimese käskluse põhjal tuleb omavahel võrrelda mäluseadmes teatud numbrite all seisvaid arvusid. Mäluseadme magnettrummel pöörleb vahetpidamatult, sooritades igas minutis mitusada pööret. Juba esimese pöörde ajal antakse vajalikud arvud mäluseadmest vooluimpulsside kujul trigeritele. Edasi võrreldakse trigerite olekuid,

mille tulemusena saadakse teada, kas arvud on omavahel võrdsed, ja kui ei ole, siis kumb arv on suurem. Kui arvud on võrdsed, siis arvutamine lõpetatakse ja tulemus salvestatakse mäluseadmesse. Arvude ebavõrdsuse korral hakkab masin täitma järgnevat käsklust.

Vahepealsete arvutuste tulemused ja ülesande lõplik vastus salvestub mäluseadmesse. Sealt suundub vastus tulemuste avaldamise süsteemi. Olenevalt impulsside kombinatsioonist süttib spetsiaalse elektronskeemi toimel kümne neonlambikesse hulgast üks. Neonlambi valgus suunatakse läbi optilise läätse liikuvale kinofilmile. Igal neonlambikesel on oma lääts ja läätsel on kantud vastav number (0, 1, 2, 3 jne.). Number projekteerub kinofilmile, jättes sellele nähtamatu kujutise. Arvutuse tulemused saadakse teada pärast filmi ilmutamist.

Me kirjeldasime üldjoontes elektronarvuti tööpõhimõtet. Vaatame nüüd, kuidas sellised masinad välja näevad ja mida nad teha oskavad.

Toome tüüpilise näite. Üks arvuti, sugugi mitte kõige keerukam, koosneb 800 000 elektroni lambist ja tarbib võimsust 650 kilovatti. Masin asub 600 m² suuruse põrandapinnaga hoones ja tema juhtmete kogupikkus on 113 kilomeetrit. Masina jahutamiseks kulub 830 kuupmeetrit õhku minutis. Kolossaalne aparaat! Iga 20 sekundi jooksul on ta võimeline tegema saja inimese kaheksatunnilise töö.

Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia kiire elektronarvuti («БЭСМ») võib igas sekundis sooritada 7000—8000 aritmeetikatehet.

Nimetatud masina mäluseade suudab salvestada üle 120 000 arvu ja käskluse. Vajaliku arvu valikuks ja tulemuse salvestamiseks kulub ainult 12 miljondikku sekundit. Niisugune kiirus jääb saavutamatuks niihästi inimesele kui ka mistahes mitteelektronarvutile. Arvude liitmine toimub 3 miljondiku, korrutamise aga 192 miljondiku sekundi vältel. Juhitava raketi liikumist kirjeldava diferentsiaalvõrrandite süsteemi lahendamiseks kulub ühel inimesel peaaegu kaks aastat vahetpidamata tööd. Masin sooritab need arvutused kahe tunni jooksul. Kaks aastat ja kaks tundi! Kui rabav kontrast kohmaka inimaju ja välkkiire elektronmasina vahel!

Masin «БЭСМ» arvutas mõne päeva jooksul kõigi 700 asteroidi (pisiplaneedi) orbiitide elemendid, seejuures võeti veel arvesse Jupiteri ja Saturni mõju nende liiku-

misele. Teisel juhul sooritas sama masin väga keeruka arvutuse 800 võrrandiga vähem kui 20 tunni jooksul. Selle arvutuse käigus tehti üle 250 miljoni aritmeetika-tehte.

Suur «Strela»-tüüpi elektronmasin, mis konstrueeriti Nõukogude Liidu Aparaadiehituse ja Automaatikaseadmete Ministeeriumi konstrueerimisbüroos, on võimeline igas sekundis sooritama 2000 aritmeetikatehet, tema mälu on võimeline mahutama üle 200 000 arvu.

Samas büroos on konstrueeritud veel terve rida arvuteid. Universaalne elektronmasin «Ural» on määratud inseneriarvutuste sooritamiseks. Masina «Pogoda» abil töötatakse ümber meteoroloogilisi andmeid ja koostatakse ilmateateid. Et ilma ühe päeva võrra ette ennustada, tuleb mitmesaja ilmajaama andmeid arvesse võtta. Elektronmasin sooritab vajalikud arvutused mõne tunni jooksul, inimesel kuluks arvutamiseks aga paar nädalat ja «homne» ilmateade jõuaks valmis paarinädalalise hilinemisega. Masinat «Kristal» kasutatakse kristalliliste ainete röntgenstruktuuranalüüsi tulemuste matemaatiliseks töötlemiseks.

Kiire toimega elektronarvuteid kasutatakse laialdaselt tuumafüüsikas keeruliste matemaatikaülesannete lahendamisel, geoloogias — maavarade kihtide ja pahtlate arvutamisel leiukohtades, keemias — tuhandeid aatomeid sisaldavate orgaaniliste kõrgmolekulaarsete ühendite molekulide analüüsil jne.

Elektronmasinate teooria on tihedalt seotud uue teadusalaga, mida nimetatakse küberneetikaks. See teadus tekkis umbes 20 aastat tagasi. Sõna «küberneetika» pärineb kreekakeelsest sõnast «kübernetes», mis tähendab tüürimeest.

Küberneetika on üsna noor teadus. See on matemaatiline teooria, mis tegeleb automaatmasinate töö seletamisega ja uute masinate loomisega. Uuritakse ka mõningaid elusorganismide tegevuse tundmaõppimisega seoses olevaid küsimusi. Elektronseadmeid kasutatakse inimese närvitegevuse uurimiseks, aju ja teiste elundite töö jälgimiseks. Teisest küljest kasutatakse paljude automaatseadmete loomisel elusorganismide elutegevuse põhimõteteid ja seaduspärasusi.

Toome näiteks ühe huvitava küberneetilise seadme — elusorganismi mudeli. Väliselt meenutab see omapärast

mänguasja. Kujutagem enesele ette suurt metallkilpkonna. Kilpkonna sees on tilluke mootor, mis paneb ta liikuma, ja akumulaator, millesse on võimalik elektrienergiat varuda. Hiljem kasutatakse akumulaatorisse varutud energiat mootori käivitamiseks.

Pärast akumulaatori laadimist hakkab mehhaaniline kilpkonn takistustest mööda minnes taas ringi roomama. Kui energiatagavara hakkab lõpule jõudma, suundub kilpkonn tagasi sinna, kus akumulaatorit laeti, lülitab enda ise elektrivõrku ja laadumise korral hakkab uuesti liikuma.

Lõbus, eks ole? Kuid sel huvitaval mänguasjal, mis kutsub esile nii laste kui ka täiskasvanute vaimustuse, on suur tähtsus teaduse silmis.

Inglise teadlane Gray Walter, Bristol Neuroloogia-instituudi uurimislaboratooriumi juhataja, konstrueeris sellise elusolendi mudeli, et kontrollida mõningaid närvi-tegevuse mehhanismi kohta loodud hüpoteese.

Kilpkonna «silmadeks» on fotoelement, «kõrvadeks» — mikrofon, «lihaste» osa täidavad elektrimootor ja ülekandemehhanism ning «närvideks» on elektri ahelad, mis koosnevad elektronlampidest, kondensaatoritest, automaatlülititest, releedest ja teistest raadiodetailidest.

Kilpkonn reageeris valgusele ja vilele, omandas teatud «tingreflekse». Elektrivõrgu kontaktide lähedal, kus akumulaatorit laeti, põles väike lambike. Kui akumulaator hakkas tühjaks saama, siis läks kilpkonn seda laadima, orienteerudes valgusallika järgi. Walter hakkas neil momentidel kõvasti vilistama. Alguses vile ei mõjutanud mudeli liikumist. Teatud aja möödudes hakati märkama, et kui kilpkonna energiavaru hakkab täiendamist vajama, siis ta reageerib vilele. Walter jätkas kübernetilise kilpkonna dresseerimist. Hiljem kustutas ta isegi majaka otstarvet täitva lambi. «Loomake» orienteerus nüüd ainult kuulmise järgi.

Siis otsustas teadlane kilpkonna petta. Ta hakkas vilistama kaugemal sellest kohast, kus kilpkonn sai toitevoolu. Kilpkonn liikus vile suunas, kuid toitevoolu ei saanud. Iga järgneva pettumusega «loomakese» reaktsioon nõrgenes ja ta allus üha vastumeelsemalt vilele, kuni lõppude lõpuks seda üldse enam tähele ei pannud. Tuli uuesti süüdata lamp.

Kuid täpselt niisamuti tekivad ja kustuvad ka loo-

made tingrefleksid! Küberneetilist kilpkonna on seega tõepoolest võimalik vaadelda kui elava olendi jämedat mudelit, mis skemaatiliselt peegeldab mõningaid elusorganismide omadusi.

Analoogilise kilpkonna ehtasid ka R. Vassiljev ja P. Petrovski Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia Auto- maatika ja Telemehhaanika Instituudis. See sai toite- voolu pika juhtme kaudu otse elektrivõrgust. Ka Vassil- jevi ja Petrovski kilpkonn liikus valgusallika suunas, ja kohates teel takistust, läks sellest mööda. Iga kord kui küberneetiline loomake põrkas takistusele, vilistati ja ka sellel kilpkonnal tekitati «tingrefleks». Vilet kuuldes hak- kas «loomake» kõrvale pöörduma isegi siis, kui tee oli vaba. Kui aga seos põrke ja vile vahel puudus pikemat aega, lakkas kilpkonn vilele reageerimast.

Asjasse pühendamata inimesele tundub küberneetiliste loomade käitumine lausa imena. Kuid meie oleme juba tuttavad palju keerukamate inim mõistuse ja -kätetöö tulemustega — elektronarvutitega. Kilpkonn on tunduvalt lihtsama ehitusega ja tema võimetele ei ole raske seletust anda.

Näiteks, miks kilpkonn kõrvale pöördub, kui ta takis- tuse vastu põrkab? Ta on ümbritsetud rõngaga — oma- pärase mehhaanilise tundelemendiga, nn. puhvriga. Kui teele satub takistus, siis puhver lülitab sisse ajarelee. Ajarelee koosneb elektromagnetist, mille mähisega on paralleelselt ühendatud suure mahtuvusega kondensaator. See kujutab endast lihtsaimat mäluseadet. Kilpkonn puu- dutas takistust — ja puhver ühendas alalisvoolu allika hetkeks mähise külge. Kui kondensaatorit ei oleks, siis tõmbuks relee külge ainult üheks momendiks. Kuid kon- densaator jõudis laaduda ja tühjeneb nüüd läbi relee mähise. Tühjenemine kestab kaks-kolm sekundit ja kogu selle aja vältel jääb relee sisselülitatuks.

Ajarelee paneb omakorda tööle mitu tavalist tüüpi releed, mis juhivad kilpkonna liikumist.

Nii me näemegi, kuidas mehhaaniline loomake, põr- ganud vastu takistust, taganeb veidi, pöördub kõrvale ja liigub jälle edasi. Selliste väikeste sammukestega, nagu nuusutades tõkestavat eset, möödubki ta takistusest, kuni viimaks pääseb vabalt liikuma.

Teine küsimus: miks kilpkonn läheb valguse suunas? Kilpkonna liikumist juhivad fotoelemendiga varustatud

automaatseade. See pöörab kilpkonna rattaid nii, et fotoelemendi valgustustugevus oleks kõige suurem. Seetõttu kilpkonn lähebki valguse poole. Walteri kilpkonnas lülitati fotoelement sisse alles siis, kui akumulaator hakkas tühjaks saama. Kui vool elektriahelas langes teatud piirini, lülitus sisse spetsiaalne rele, kilpkonn suundus lambi poole, mis rippus elektrikontaktide kohal, ja pörkas laadimiskontaktidega vastu elektrikontakte. Laadimise ajal hoidis «elektrisilm» kilpkonna kontaktide juures. Kui akumulaator sai täis, siis vool ahelas suurenes, rele lülitas fotoelemendi välja ja «loomake» pääses vabadesse.

Lõpuks viimane, vist kõige raskem küsimus. Kuidas küberneetilisel kilpkonnal tekib tingrefleks? Miks meie kilpkonna on võimalik «dresseerida»?

Vaatame ühte neist kilpkonnadest, näiteks Vassiljevi ja Petrovski oma. Selle skeemis oli peale juba mainitud kondensaatoriga releemähise veel üks «mäluahel». Ehituselt sarnaneb see temperatuuri bimetallregulaatoriga, millest meil hiljuti juttu oli. Ta koosneb kahest kokku puutuvast metallplaadikesest, kusjuures üks neist on kokku needitud erinevatest metallidest, mis soojendamisel ka paisuvad erinevalt.

Kui läbi sellise kontakti lasta elektrivoolu, siis soojenemise tõttu bimetallplaat kõverdub ja plaadi üks ots lahutab kontakti. Vool katkeb senikauaks, kuni plaadid jahtuvad ja uuesti kokku puutuvad.

Kuid pöördugem tagasi oma kilpkonna juurde. Põrke ja vile kokkusattumisel lülitatakse mälulement 2—3 sekundiks voolu alla. Seda ei ole raske teha. Tuleb võtta ainult kaks lülitit, millest üks lülitatakse sisse puhvri abil, teine — mikrofoniga seostatud releega. Vool ahelas voolab ainult siis, kui mõlemad lülitid on sisse lülitatud, see aga juhtub hetkel, millal põrge ja vile kokku satuvad.

Kui põrke ja vile kokkusattumised korduvad küllalt sageli, siis bimetallplaat soojeneb ja paisub ning tema kontaktid lahutuvad. Seetõttu vooluahel katkeb ja rele, millest me veel rääkinud ei ole, lülitab mikrofoni aja-rele külge. Vile mõjutab kilpkonna käitumist nüüd samuti kui pörkamine vastu takistust.

Kuid põrge — see tingimatu ärritaja — mõjub alati. Vile on tingitud ärritaja, mille mõju võib kiiresti ununeda. Tõepoolest, kui vile ei kinnistata pörkega, siis tek-

kinud «refleks» kaob kiiresti, sest bimetalplaad lülitab jahtudes mikrofoni aegrelee küljest lahti.

Sel kombel oleme küberneetilise loomakese «mõistus-pärase» käitumise ära seletanud tema elektriskeemi koostisosade omavahelise mõjuga, nii nagu me tutvusime raadiovastuvõtja või televiisori tööga.

Küberneetiline kilpkonn on kõige lihtsam robot, auto-maatseade, mis kopeerib inimese või loomade tegevust.

Esimesed robotid konstrueeriti juba siis, kui teadlastel polnud küberneetikast veel aimugi. Näiteks 1927. a. demonstreeriti Berliinis näitusel robotit «Televox», mis väliselt sarnanes inimesega. Seda juhiti erineva kõrgusega vilede abil. Üks viledest lülitas sisse tolmuimeja ja «Televox» hakkas tuba koristama, mingi teise kõrgusega vile pani roboti rääkima jne. «Televoxis» oli ka helisalvestusaparaat. Telefonihelina peale võttis «Televox» toru ja vastas: «Ma kuulen teid. Teatage, mida vaja. Annan kõik peremehele edasi.»

Kuid see robot ei ole küberneetiline seade. Ta ei saa kohaneda muutuvate välistingimustega. Nagu papagoi, kordab ta mehhaaniliselt päheõpitud lauseid, ilmutamata seejuures kübetki initsiatiivi.

Hoopis teine asi on küberneetilised robotid, mis juba lähemas tulevikus levivad kindlasti üsna laialdaselt. Need robotid on suutelised iseseisvaid «operatsioone» teostama, «otsuseid» vastu võtma jne.

Muidugi on see kõik ainult puhtmehhaaniline analoogia inimese toimingutega ega midagi enam. Kuid küberneetiline robot ei ole enam abitu metallitükkide kogumik, millele antakse ainult väline sarnasus inimesega.

Milleks siis on tarvis roboteid?

Sellest säame kohe aru, kui toome näiteks kas või tööstusharud, kus tuleb tegelda radioaktiivsete kiirgustega. Inimene ei saa siin töötada, vaja oleks «haritud» roboteid.

Või kujutame endale ette planeetidevahelist lendu. Kosmoselaev «maandub» Marsile. Mõne aja pärast avanevad sujuvalt laeva luugid ja sealt väljuvad küberneetilised robotid. Pole sugugi vajalik, et nad väliselt sarnaneksid inimesele. Nad peavad ainult oskama kõike ümbritsevat vaadelda, sellega kohaneda, sooritada programmis ettenähtud uurimusi ja teha nendest võib-olla ka mõningaid järeldusi.

Kõik see on elektronmasinatele jõukohane. Kuid kas robot suudab inimesega võistelda? Mõned kodanlike maade teadlased väidavad, et elektronmasin omandab aja jooksul iseseisva mõtlemise võime ja hakkab ise kontrollimatult oma tegevust juhtima ning et on võimalik konstrueerida «elektronaju», mis ei jää maha inimese omast, vaid hoopis ületab seda.

Ameerika kirjanduslik ajakiri «Saturday Review» pühendas kunagi eriväljaande tuumafüüsika ja küberneetika edusammudele. Esimesel momendil paistab, et ajakiri ülistas sellega inimõtte arengut, mis võimaldas looduse varjatute saladuste juurde tungida ja suurepäraseid keerukaid masinaid luua. Kuid ei, hoopis vastupidi. Veen-dumiseks tutvugem vaid ajakirja epigraafiga.

«Kaasaegne tööstusrevolutsioon viib vältimatult sel- leni, et inimõtte, vähemalt kõige lihtsamates ja igapäe- vasemates väljendusvormides, kaotab igasuguse väärt- tuse. Muidugi, nii nagu kõrge kvalifikatsiooniga puu- sepad, rätsepad ja mehhaanikud suutsid mingil määral üle elada esimese tööstusrevolutsiooni, nii ka kõrge kva- lifikatsiooniga teadlased ja administraatorid elavad arva- tavasti üle teise revolutsiooni. Kui aga teine tööstusrevo- lutsioon on toimunud, siis ei ole keskmiste võimetega inimesel, veel enam aga inimesel, kelle võimed on alla keskmise, enam midagi müüa, mida teistel tasuks raha eest osta.»

Selle väitega ei saa nõustuda. Elektronarvutid on ainult inimõtte tööriistad. Kui täiuslik masin ka ei oleks, ikkagi töötab ta mingi programmi järgi, täidab inimese poolt antud ülesandeid. Masin on aju abiline, mitte aga tema võistleja.

Aju ja elektronmasina ehitused on teineteisest põhi- mõtteliselt erinevad. Küberneetikaseadmed koosnevad elu- tutest, arenemis- ja paljunemisvõimetutest elementidest. Inimaju koosneb elusrakkudest, mis on mõõtmalt kee- rukamad ja üksteisega palju keerulisemas seoses kui elektronmasina koostiselemendid. Elusrakud on võimeli- sed arenema ja pärast vigastusi paranema. Inimese pea- aju rakkude arv on ligikaudu 10 000 korda suurem küber- neetilise masina rakkude arvust. Ja kuigi masin töötab inimesest tuhandeid kordi kiiremini, on tema «vaimne tase» niisama palju kordi madalam.

Masin ei suuda vihata ega armastada, tal pole tun-

deid, valu ega iseloomu. Masina «mälu» ei sarnane inimese mälega, sest inimese mälu on kaunistatud tunnetega, masina «mälu» on vaid inimmälu formaalne, kvantitatiivne mudel.

Küberneetika on perspektiivne, paljutöötav teadusala. Ja kuigi me tänapäeval ei ole veel suutelised kõiki elektronmasina arengu võimalusi ette nägema, on siiski selge, et küberneetika edasine areng põhjustab kahtlemata progressi kõigis rahvamajandusharudes.

Nõukogude teadlased sammuvad kiirete elektronmasinate loomise ja konstrueerimise teel õlg õla kõrval välismaa teadlastega. Nii näiteks tehakse NSV Liidu Teaduste Akadeemias edukaid katseid tekstide automaatseks tõlkimiseks ühest keelest teise.

Matemaatika on ainult üks elektronmasina elukutsetest. Tutvugem nüüd elektronmasinate muude ametitega. Vaatleme esialgu, kuidas töötab tõlkimismasin.

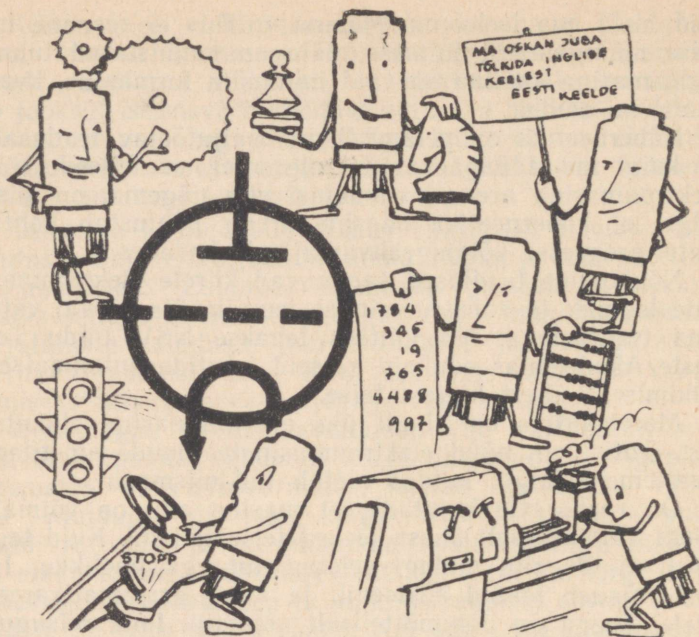
On raske ette kujutada, et masina abil on võimalik teksti automaatselt ühest keelest teise tõlkida. Kuid tegelikult ei ole siin midagi seletamatut ega imelikku. Iga keel rajaneb teatud süsteemil ja allub grammatikareeglitele. Seega on põhimõtteliselt võimalik luua niisugune sõnastik ja tõlkemeetodid, et sõnade mõttel ja vastastikusel asendil tekstis oleks ühene tähendus. Siit ei ole raske mõttele tulla, et automaatseks tõlkimiseks võiks kasutada elektronarvutit.

Elektronmasina mäluseadmesse on salvestatud mõnest tuhandest sõnast koosnev sõnastik. Iga sõna on šifreeritud mingi arvuna, näiteks 124 350, 3743 jne. Selles šifris on tähestiku igale tähele omistatud arvulised väärtused.

Oletame, et tähte «y» tähistatakse arvuga 12, «e» — arvuga 43, «h» — arvuga 37 ja «s» — arvuga 50. Siis arv 124 350 tähistab ingliskeelset sõna «yes» ja arv 3743 samuti ingliskeelset sõna «he».

Kuidas toimub automaatne tõlkimine?

Operaator, kes ei pruugigi inglise või mõnda teist võõrkeelt osata, «tipib» tõlgitavat teksti spetsiaalsel, kirjutusmasinat meenutaval apraadil. Aparaaati asetatud paberlindisse lüüakse seejuures augud, mis tähistavad vastavalt šifrile ühtesid või teisi arve. Seejärel viiakse lint elektronmasinasse. Masin võrdleb teksti iga sõna sõnastiku iga sõnaga. Võrdlemine toimub täiesti auto-



Elektronlambi elukutseid.

maatselt, kolossaalse kiirusega. Näiteks masina «БЭСМ» puhul võtab iga võrdlus aega ühe kümnetuhandiku sekundit. Mitmest tuhandest sõnast koosnev sõnastik «lehitsetakse läbi» sekundi murdosade jooksul.

Teksti ja sõnastiku sõnade võrdlemine taandub arvude lahutamisele masinas. Tõlgitavat sõna tähistav arv lahutatakse järgemööda sõnastiku kõiki sõnu tähistavatest arvudest. Kui lahutamise tulemusena saadakse null, siis on sõna tähendus leitud.

Aga mõnikord on ju ühel ja samal sõnal mitu tähendust. Kuidas toimida neil juhtudel?

Mitmetähenduslike sõnade täpse mõtte väljaselgitamiseks peab masin analüüsima sellele sõnale lauses lähedasi sõnu, läbi proovides suure arvu võimalikke sõnade kombinatsioone. Peale üksikute sõnade peab masina sõnastikus olema veel terve hulk sõnaühendeid ja gram-

matilisi skeeme. Sel puhul saadakse küllalt hea tõlge. Toome näiteks masina abil inglise keelest tõlgitud lause.

«Diferentsiaalvõrrandite elementaarsed kursused annavad pika rea osavaid võtteid, mille abil uurija võib oletatavasti diferentsiaalvõrrandeid lahendada.»

Loomulikult on elektronmasin «keel» veel vaene ja tema sõnavara võrdlemisi väike. Ilukirjanduslikke teoseid ta tõlkida ei suuda, kuid lihtsat tehnilist teksti tõlgib masin kiiremini kui keelt vabalt valdav inimene.

Tänapäevani on ilma masinatõlketa läbi saadud, kuidas siis nüüd selle järele vajadus tekkis?

On välja arvatud, et igal aastal ilmub umbes 3 miljonit artiklit, peaaegu 50 000 teaduslik-tehnilist raamatut ja sadu tuhandeid patente leiutistele. Kõigi nende tõlkimiseks ei jätku ei inimesi ega aega.

Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia Informatsiooniinstituudis töötab poolteist tuhat tõlki. Ainuüksi 10 aastat tagasi, 1954. aastal, tõlkisid nad 7000 välismaa ajakirja. Selle tööga saaksid aga hakkama ka tõlkimismasinad. Elektronmasinate laiaulatuslik kasutuselevõtt teaduslik-tehnilise teksti tõlkimiseks annab suurt majanduslikku efekti, võimaldades informatsiooniinstituudi töömahtu mitmekordselt suurendada.

Teadlaste väidete kohaselt on elektronmasinad võimelised mitte ainult tõlkima, vaid isegi toimetama artikleid.

Huvitavad on ka automaatbibliograaf ja -arhivaarmasinad teadusliku kirjanduse süstematiseerimiseks ja arvelevõtmiseks. Informatsiooniinstituudi toimetusel ilmub umbes kümme seeriat referatiivajakirju täppisteaduste ja loodusteaduste kõigilt aladelt. Nendes ajakirjades on lühidalt toodud maailmas ilmunud tähtsamate teaduslike või tehniliste artiklite sisukokkuvõtted. Referatiivajakirju on trükitud juba nii palju, et nad võtavad riiulile asetatuna palju rohkem ruumi kui «Suure Nõukogude Entsüklopeedia» 60 köidet. Kui palju aega kaotavad õpetlased vajalike teadete leidmiseks artiklite ja referaatide hiiglasuurest hulgast!

Seejuures on võimalik konstrueerida elektronmasinat, mis annab bibliograafilisi andmeid iga küsimuse kohta kõigis teadusharudes.

Teaduste Akadeemias töötatakse juba selliste masinate mudelite ja teooria loomisel. Informatsioonimasinatel peab olema kolossaalne «mälu», mis oleks võimeline sal-

vestama ammendamatu hulka teaduslikke artikleid. Informatsioonimasinad kergendaksid oluliselt teadlaste tööd, tõstaksid selle tootlikkust ja looksid eeldusi uute tähelepanuväärsete avastuste sooritamiseks.

Kiire toimega elektronmasinate kasutusala laieneb iga kuuga. On loodud juba elektronseadmeid, mis suudavad lugeda igasugust teksti.

Esimese lugemismasina leiutas tšehh Tauček. Taučeki masinas on tumedale liikuvale lindile kantud tähestiku tähtede kujutised. Läätsete süsteemi abil projekteeritakse samale lindile loetava teksti tähed. Kui teksti tähe kujutis langeb ühte tähe kujutisega lindil, siis lindi taha paigutatud fotoelemendile valgust ei lange. Valgus langeb fotoelemendile vaid neil juhtudel, kui tähed lindil ei lange kokku teksti tähtedega. Tähtede ühtimise korral langeb soovitud valgus fotoelemendi ahelas järsult ja see paneb tööle relee, mis omakorda käivitab signaalseadme. Igale tähele vastab teatud kindel signaal, mida võib mitmel viisil ära kasutada — näiteks kas või selleks, et ladumismasina vastavale klahvile vajutada.

Taučeki masin oli võrdlemisi ebatäiuslik, sest see vajab spetsiaalset tähestikku. Tavalise tähestiku kasutamisel võis tähtede «O», «Q», «Ö», «C» ja «G» ning «B», «P» ja «R» suure sarnasuse tõttu tihti vigu esineda.

1940. a. konstrueeris nõukogude leidur V. Gindlin palju keerukama masina. Sellel oli 17 fotoelemendist koosnev mosaiikraan. Loetava teksti tähed projekteeriti järgemööda mosaiikraanile, kus nad pimendasid erinevaid fotoelementide kombinatsioone.

Kuid ka Gindlini masinal oli suur puudus! Selle abil sai lugeda ainult ühe šriftiga loetud teksti. Kuid erinevate piirjoontega šrifte on palju, rääkimata veel käsitsikirjast.

Lugemismasinate puudusi õnnestus ületada alles kiire toimega elektronseadmete abil. Sel juhul hälvitatakse (me oleme selle terminiga juba tuttavad) iga täht 150—200 elemendist koosnevale ekraanile. Saadud elektrisignaalid suunatakse elektronmasinasse, kus neid võrreldakse tähtedele vastavate signaalide kombinatsioonidega. Äratuntud täht salvestatakse mäluseadmesse, kuni terve rida on läbi loetud. Seejärel suunatakse signaalid mälu-seadmest trükimasinasse.

Elektronmasin on võimeline vahet tegema kõige eri-

nevama kujuga tähtede vahel ja isegi väga halba käe- kirja lugema.

Esialgul konstrueeriti lugevaid elektronmasinaid lähte- andmete sisseviimiseks arvutitesse. Nende abil on või- malik lugeda kassalinte, tšekikontse jne. ja muuta tava- line numbriline tekst aukude kombinatsiooniks perfolindil. Tulevikus kergendavad sellised seadmed tunduvalt ladu- jate tööd, võimaldavad ladumisprotsessi automatiseerida ja saavutada väga suurt kiirust.

Ühendades lugemismasina heli reprodutseeriva apa- raadiga on arvatavasti võimalik luua seadet, mille abil saab igasugust teksti valjusti ette lugeda.

Lugevate ja rääkivate seadmete kasutussfääri on raske ette näha. Igal juhul toovad nad väga palju kasu pimedatele.

On teada, et elektronmasina abil saab malet mängida. Malemäng toimub teatud skeemi kohaselt, alludes kind- latele reeglitele. Seega on võimalik mängu taandada matemaatilise ülesande lahendamisele.

Masinale antakse konkreetne programm, mis arvestab malendite väärtust ja positsioonilisi võimalusi. Olemas- olevad elektronmasinad võivad ette näha kolm oma käiku ja vastase kolm käiku, võrrelda võimalikke variante ja valida neist parimaid. Kui vastane suudab rohkem käike ette näha, siis võib ta võita, vastasel korral võidab masin. Igale mängueeskirjade rikkumisele reageerib masin kel- laga või mingi muu signaaliga.

Välismaa kirjanduses on juba juttu tehtud... «auto- maatluuletajast». Tuleb välja, et elektronmasinad võivad ka väikesi luuletusi koostada. Loomulikult puudub nii- sugusel «automatiseerimisel» praktiline mõte ja seda kasutatakse ainult reklaami eesmärgil.

Aga kui on võimalik konstrueerida automaatmaleta- jaid ja -tõlkijaid, miks siis ei ole võimalik luua auto- maattehnolooge või tehaste automaatdirektoreid? Auto- matiseeritud tootmise korral ei lange ju põhiline osa tun- netele või muljetele, mida on raske planeerida. Automa- tiseeritud tootmises võib kõik või peaaegu kõik varem ette näha ja välja arvutada. Niisugune töö on elektron- masinatele täiesti jõukohane.

Kiire toimega elektronmasinate abil võib edukalt juh- tida kõige keerukamaid tehnoloogilisi protsesse, mis koos- nevad tohutust arvust järjestikustest tööoperatsioonidest.

Inimese osa taandub ainult programmi koostamisele, mis määrab ette automaadi tegutsemise. Edaspidi võib ka seda tööd teatud ulatuses masinate hooleks jätta. Tootmist juhtiv elektronmasin hakkab siis ise enesele programme koostama ja programmidesse muudatusi sisse viima, võimaldades tõsta toodangu kvaliteeti.

Ka tehaste raamatupidamise võib masinate hooleks jätta. Masin aitab tootmistsükleid planeerida, sisseseadet ja tööjõudu ratsionaalselt paigutada, suurimat tootlikkust saavutada ning toodangu ja töötasu kohta arvestust pidada.

Kapitalistlikes maades tugevdavad küberneetika areng ja elektronmasinate tootmisse juurutamine tööliste ekspluateerimist ning vaesumist. Kapitalistid püüavad elektronmasinaid kasutada «streigimurdjatena». Nii näiteks vallandas üks inglise kindlustuskompanii arvutusmasinate kasutuselevõtmise tagajärjel 2000 teenistujat.

Nõukogudemaal on olukord hoopis teine. Iga aastaga võetakse meie tehastes ja vabrikutes, elektrijaamades ja energiasüsteemides, raudtee- ja lennutranspordis kasutusele üha rohkem elektronmasinaid. Elektrontechnika aitab lühendada tööpäeva pikkust ja parandada töötajate materiaalsel heaolu veelgi. Elektronmasinad kergendavad vaimset tööd, võimaldavad teadlastel pühenduda uutele avastustele.

Elektronika ja transport

Nõukogude riik on kõige suurem riik maailmas. Rohkem kui ükski teine maa vajab ta esmaklassilist, täpselt ja kindlalt töötavat transporti. Iga aastaga kasvab meie maa raudteeliinide ja automagistraalide pikkus. Võimsad ja ökonoomsed elektri-, mootor- ja gaasiturbiinvedurid on uueks vahetuseks tavalistele auruveduritele. Lennuliinidel kurseerivad hiiglasuured reaktiivreisilennukid.

Raudteetranspordi alal mängib tähtsat osa graafik. «Graafikust väljas, ei tule graafikuga toime» — neid väljendeid võib raudteel üsna tihti kuulda.

Graafiku koostamine pole kerge töö. Tuleb sooritada palju keerulisi arvestusi, milles tuleb arvesse võtta hulgaliselt andmeid: tee iseloom, rongi kaal, veduri võimsus jne. Kui täpne selline arvestus ka ei oleks, kõike ei

suudeta siiski ette näha. Aitab sellest, kui haagitakse juurde kas või tühi vagungi ja veduril kulub juba ettenähtud kiiruse saavutamiseks rohkem aega. Mõnikord eksib ka vedurijuht ise, sest õiget «hootunnet» ei ole kerge omandada. See ei ole käugeltki nali, kui jutt on mäkketõusvast raskekaalulisest rongist.

Rühm nõukogude eriteadlasi konstrueeris hiljaaegu elektronmasina katsemudeli, mis kergendaks vedurijuhtide tööd ja võimaldaks lõplikult käibelt kõrvaldada väljendit «ei tulnud graafikuga toime».

Niisuguse masina mäluseadmesse antakse programm, milles on andmed tee, aja ja kiiruse kohta. «Automaatvedurijuht» lahendab rongi liikumist kirjeldavaid diferentsiaalvõrrandeid, valib iga teelõigu jaoks kõige kasulikuma kiiruse ja juhib veduri agregate.

Ajaleht «Trud» kirjeldab elektronmasina poolt juhitava rongi esimest sõitu järgmiselt:

«... Reis oli ebatavaline. Juhikabiinis asuv vedurijuht täitis esmakordselt ainult vaatleja ülesandeid. Kõike juhtis spetsiaalne automaatseade. See sai oma ülesannetega edukalt hakkama: ta reageeris õigeaegselt automaatblokeerimissignaalidele ja vähendas vajalikes kohtades kiiruse nõutava piirini. Raudteejaama jõudes... valis «automaatvedurijuht» ise õige momendi pidurdamiseks, vähendas kiirust ja peatus sujuvalt perrooni juures.»

Saabub aeg, kui meie vedurijuhtide töö tänu küberneetiliste «kolleegide» abile muutub võrreldamatult rahu-likumaks ja kergemaks. Sellega on välditud ka rongide hiline mine.

Terasmagistraalidel hakkavad siis üksteise järel kihutama raskekaalulised kaubarongid ja reisiekspressid. Kujutlege, kui palju kasvab siis raudteede läbilaskevõime, kui kiireks muutub veoste liikumine!

Elektronmasinate abil hoiame kokku aega ja raha.

Kas saaks elektroonikat rakendada ka sellises, palju anarhilisemas transpordiliigis, nagu seda on autotransport? Automagistraalidel ei saa ju kehtestada mingisugust sõiduplaani, ja nagu esialgu paistab, ei ole siin automaatikaga midagi peale hakata. Kuid seesugune arvamus on ekslik. Praegu on juba kerge tuleviku automagistraali ette kujutada.

... Meie auto peatub enne magistraalile pöördumist. Magistraalil kihutab suure kiirusega tihe rida autosid ja

tundub, et üksikud autod on nagu nähtamatute niitidega üksteise külge kinnitatud... Autod kiirendavad ja aeglustavad oma käiku samaaegselt, pidades ühtlasi vahesid nagu sõdurid rivis.

Siis peatub liiklemine magistraalteel. Meie juht pöörab käepidet ja vajutab mõnele nupule. Pärast seda ei tunne ta masina vastu enam huvi: nõjatub istme seljatoele, loeb ajalehte ja teeb suitsu. Auto tegutseb «oma initsiaatiivil»: hakkab sujuvalt liikuma, pöörduv magistraalteele, ja võttes autode reas just nagu eriliselt tema jaoks jäetud koha, kihutab koos teistega piki noolsirget teed.

Niisugusel automaatmagistraalil on liikluse korraldajana tööle rakendatud elektroonika.

Tee asfaltkatte all asetsevad metall-lindid, mis oma päraste antennidena kiirgavad elektromagnetilisi signaale. Igal autol on nende signaalide vastuvõtuks spetsiaalne seade. Samuti on igal autol ka saatja, mille abil automaatselt teatatakse dispetsšeripunkti kõikidest muustest autode liikumisest.

Automaatsed dispetsšeri jaamad, mis autode liikluse reguleerimiseks spetsiaalseid käsklussignaale saadavad, asuvad piki automaatmagistraali üksteisest kindlatel kaugustel.

Iga auto sõidab magistraalil oma reas täpselt metall-lindi kohal. Kui ta kas või veidikegi teelt kõrvale kaldub, siis pöörab automaatseade kohe rooli ja viib auto tagasi õigesse sõiduritta.

Tavaliste kontrollmööduriistade hulgas on tulevikuauto armatuurlaual ka väike televiisoriekraan, millel on näha magistraaltee selle lõigu helendav plaan, mida mööda auto antud hetkel sõidab.

Haruteele pööramiseks peab autojuht vajutama nupule. Autole asetatud saatja saadab dispetsšeripunkti vastava signaali. Kõik muu jääb automaatide hooleks. Need viivad auto äärmisse sõiduritta. Nüüd pööre... Ja autojuht peab magistraalteelt lahkunud auto juhtimise uuesti üle võtma.

Niisuguse autotee mudel on juba olemas. Selle katsetamine andis suurepäraseid tulemusi. Pole sugugi võimatu, et lugeja võib meie raamatus kirjeldatud sõitu mõne aasta pärast tegelikkuses korrata.

Elektronmasinate abil võib liiklemist reguleerida nii hästi magistraalteedel kui ka linnatänavatel. Nii näiteks

kasutatakse New Yorgis juba peaaegu kümme aastat liikluse reguleerimiseks 120 ristteel «automaatpolitseid». See masin asendab 360 inimese tööd, lülitades valgusfoori märktule sisse olenevalt sellest, mitu autot läheneb ristteele igast neljast suunast, kui palju autosid ootab ristteelt ülesõiduõigust ja kui kaua ootab rohelist signaali esimesena ristteele lähenenud auto.

Niimoodi muudab elektroonika autotransporti. Ka tulevikauto ise, vähemalt üks tema variantidest, on tervikuna elektronmasin.

See auto ei vaja kütust, tema liikumapanemiseks kasutatakse elektromagnetiliste lainete energiat.

Elektrimootoritel on bensiinimootorite ees palju eeliseid. Nad on ökonoomsed, palju lihtsamad, usaldatavamad ja vastupidavamad. Elektrimootori veojõudu ja pöörlemiskiirust saab reguleerida ilma käigukastita. Vajaduse korral on elektrimootorit võimalik muuta suurepäraseks piduriks.

Nii palju elektrimootorite eelistest. Kuid neil on ka suur puudus — nad vajavad ühendusjuhtmeid. Näiteks võime tuua trollibussi. Aitab sellest, et trollibussi kontaktrull libiseks juhtmelt — ja masin jääb abitult seisma.

Analoogiat kasutades võib trammi või trollibussi võrrelda traattelegraafiga. Tahtmatult tekib mõte: kas ei saaks luua liiklusvahendit, mis oleks analoogiline traadita telegraafiga, nii et elektrienergiaallikas oleks ühes kohas ja tarbija võiks ühendusjuhtmeid vajamata liikuda ükskõik kus.

Raadioside korral kantaksegi energiat üle suurtelekaugustele. Aga kui tühine osa saatja poolt kiiratud energiast jõuab vastuvõtjasse! Ega muidu ei tuleks vastuvõtjas signaale tuhandeid kordi võimendada, et nad suudaksid valjuhääldi membraani võnkuma panna!

Muide, see ei ole alati nii. M. G. Davõdovi raamatus «Siin Moskva!» on kirjeldatud huvitavat juhtumit, mis leidis aset umbes kolmkümmend aastat tagasi.

Ühe võimsa raadiojaama saadete kuuldavus langes järsku tunduvalt. Otsiti põhjusi, kuid ei leitud. Insenerid kontrollisid saatja iga kruvikest ja kõik tundus olevat parimas korras. Kuuldavus aga ei paranenud sugugi.

Asi lahenes võrdlemisi lihtsalt. Selgus, et saatjalähedase asula elanikud olid õppinud saatja antennist kiirguvat energiat omamoodi kasutama. Nad kerisid traadist

suuri poole, lülitasid need elektripliitide ja -lampide külge ning ootasid ainult, kunas raadiosaatja tööle hakkab. Nende barbaarsete vahendite kasutamine neelas nii palju energiat, et saatja kuuldavus halvenes tunduvalt.

Kirjeldatud juhtum on muidugi kurioosne, kuid annab tunnistust sellest, et ka võrdlemisi suuri elektromagnetilise energia hulki on võimalik üsna kaugete vahemaade taha üle kanda.

Niisiis saab küsimusele: «Kas elektrienergiat on võimalik juhtmeteta suurte kauguste taha üle kanda?» jaa-tavalt vastata. Hoopis teine lugu on aga küsimusega: «Kas selline ülekanne tasub end ära?»

Kaua aega oldi arvamusel, et elektrienergia juhtmeteta ülekanne on vältimatult seotud hiiglasuurte kadudega ja selle rakendamine ei ole majanduslikult tasuv.

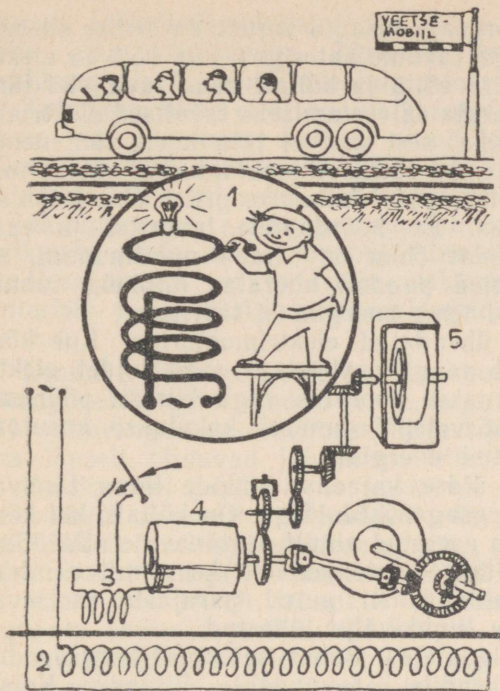
1942. a. proovis tehnikadoktor G. I. Babat ligikaudselt hinnata elektrienergia traadita ülekandmise võimalusi maismaatranspordis. Selgus, et elektromagnetiliste lainete kasutamine on tõepoolest väheperspektiivne, sest kui energia kiirgab antennist igas suunas ühteviisi, läheb suurem osa energiast kasutult «tuulde». Laineid kitsa kiirtekimbuna suunata ei ole ka sugugi parem, sest kõik on korras ainult niikaua, kuni transpordivahend on nähtaval. Kui sõiduk pöörduv aga nurga taha, on kõik läbi ja abiks tuleb võtta pukseerimistross.

Kuid teadlane leidis praktikas rakendatava meetodi.

Kujutlegem järgmist ühendusskeemi. Elektrimootor on ühendatud võnkeringi induktsioonpooliga. Teist võnkeringi toidetakse võimsast generaatorist. Mõlemad on häälestatud resonantsi.

Niimoodi saame omapärase transformaatori, mille primaarmähis on ühendatud elektromagnetilise energia allikaga ja sekundaarmähis tarbijaga. Arvutus näitas, et kui võngete sagedus on 20 000—60 000 hertsi, kandub energiaallikast tarbijasse kuni 90% energiat; sel juhul ei tohi mähiste vaheline kaugus ületada 2—3 meetrit.

Kõigest kaks-kolm meetrit. Kuid ka see tagasihoidlik arv avab uue transpordiliigi ees kadestamisväärseid perspektiivid. Meie transformaatori primaarmähise võib valmistada nelinurkse juhtmekeeru kujulisena ja asetada autotee asfaltkatte alla. Laiadele tänavatele võib asetada mitu paralleelset liini. Liiklusvahendid saavad niisugusel elektrifitseeritud teel liikuda ükskõik mis suunas, kõrvale



Veetsemobiil.

Keskel (1) — elektrienergia juhtmeteta edasiandmine kauge maa taha. Seda võimalust kasutatakse raudteetranspordis. Veetsemobiili aluseks on omapärane transformator. Võimsa kõrgsagedusgeneraatoriga ühendatud primaarmähis (2) on peidetud asfaldi alla. Sekundaarmähis (3) liigub koos veetsemobiiliga. Mähis ühendatakse elektrimootoriga (4), mis pöörab rattaid ja masiivset hooratast (5). Hooratase kogub endasse suure energiavaru ja kui on vaja magistraalilt ära sõita, saab veetsemobiil umbes tunni aja jooksul liikuda hooratasse varutud energia arvel.

pöörduda või üksteisest mööda sõita. Siinjuures meenu- tagem, et tavaline trollibuss ei saa ees liikuvast või seis- vast trollibussist mööda sõita!

G. I. Babati leiutatud liiklusvahend, mida leidur nime- tas «veetsemobiiliks»*, on seega linnatranspordis kasuta- tavatest elektrisõidukitest palju manööverdamisvõimeli-

* Venekeelsete sõnade «высокая частота» (kõrgsagedus) esi- tähtedest «в. ч.». Eesti keeles oleks sobiv termin «kõrgsagedus- auto». — *Tõlk.*

kaaslase pinda «kompida». Sellesama meetodiga õpitakse tundma ka meteoriitide liikumist. Teadlased kavatsevad raadiolokatsiooni kasutada planeetide, esmajärjekorras Veenuse ja Marsi tundmaõppimiseks.

Raadioastronoomia võimaldab paremini tundma õppida Maa atmosfääris toimuvaid protsesse ja ennustada raadioside nuhtlust — magnetilisi torme.

Nende näidete põhjal on selge, kui suurt osa hakkab mängima raadioastronoomia. Tulevikus kasvab tema erikaal veelgi.

Me seisame kosmoselendude ajastu künnisel. Rakettlaevu hakatakse juhtima spetsiaalsete raadioteleskoopide abil, mis annavad käsklusi Maalt ja võtavad vastu signaale raketilt. Esimesteks kosmonautideks ei ole mitte inimesed, vaid raadioseadmed. Nende abil õpitakse tundma maailmaruumi ja alles siis avanevad raketide luugid inimeste jaoks.

Kuid ka kõige esimese lennu ajal võivad teadlased tänu televiisorile näha kõike, mis toimub kosmoselaevas, ja jälgida aparaatide näitusid. Maal asuvate inimeste ette kerkib ülev vaatepilt, nii nagu viibiksid nad raketi pardal ja sooritaksid ise kosmoselende.

Sellisel kasutatakse raadiot maailmaruumi uurimiseks. Elektroonika annab oma panuse universumi allutamiseks.

Mikromaailma sügavustes

Elektroonikale ei ole jõukohane mitte ainult kosmos. Teadlased tungivad tema abil ka aine sisemuse salamaailma.

Meie ajal teab iga kooliõpilane, mis asi on tavaline mikroskoop. See suurepärase optiline instrument mängis teaduse arengus erakordset osa. Inimesed tutvusid mikroskoobi «võluklaaside» abil ebatavalise maailmaga, mis on täis senitundmatut elu, arvukalt uusi olevusi, said teada paljude nakkushaiguste põhjused, õppisid tundma rakkude ehitust, uurisid metallide ja teiste kehade struktuuri.

Optilise mikroskoobi teened on vaieldamatud. Kuid selle võimalused on juba ammendatud, teaduse tormiliseks arenguks on aga tarvis ületada üha uusi ja uusi piire, milleks optiline mikroskoop enam ei ole suuteline.

Kümmekond aastat tagasi tekkis uus teadusharu — raadiospektroskoopia. Analoogiliselt tavalise spektroskoopiaga, mis uurib valguskiirte spektreid*, uuritakse raadiospektroskoopias raadiolainete spektreid ja peaasjalikult just neid, mis vastavad millimeetrites ja sentimeetrites mõõtuvate lainepikkustega raadiolainetele. See uus teadus tegi kindlaks, et erineva sagedusega elektromagnetiline kiirgus neeldub gaase läbides erinevalt. Seejuures neelab iga gaas ainult teatud kindla sagedusega raadiolaineid, just nagu satuks ta nendega resonantsi.

Miks see nii on? Asi seisab selles, et gaasi aatom või molekul on elastne keha, millel on teatud omasagedus. Et ühes ja samas aines on kõik aatomid ja molekulid ühesugused, siis on ka nende omasagedused võrdsed. Molekulide omasagedus on välistingimustest praktiliselt täielikult sõltumatu — sellele ei mõju ei temperatuuri, rõhu ega mingite teiste tingimuste muutumine. Seega on väga ahvatlev kasutada võnkuvat aatomit või molekuli kellapendli asemel.

Seejuures ei tule me jällegi toime ilma elektroonika abita, sest molekulide võnkumisi tuleb kuidagi võimendada ja muundada vahelduvvooluks, mida saaks kasutada kellaosutite liikumapanekuks.

Lihtsaima molekulikella ehitus on järgmine. Õhust tühjaks pumbatud reservuaaris asub hõrendatud gaasi — ammoniaagiga täidetud anum. Anuma seinu sisse on tehtud pilu, millest ammoniaagi molekulid pidevalt välja lendavad. Seejuures liiguvad nad hooga ettepoole ja samal ajal võnguvad omaette. Võnkuvate molekulide voog suunatakse nn. õõsresonaatorisse. Õõsresonaatoriks nimetatakse elektroonikas kasutatavat võnkesüsteemi, milles energia võib nagu võnkeringiski võnkuma hakata. Meie juhul on õõsresonaator häälestatud molekulide võnkesagedusele. Resonaatoris tekkivaid võnkumisi võimendatakse lampvõimenditega ja pärast tervet rida muundamisi kasutatakse saadud vahelduvvoolu osutite liikumapanekuks nagu kvartskellaski.

Molekulikella täpsus on muinasjutuline. Ühesekundilise vea tekkimiseks kulub 3000 aastat!

* Spektritest räägitakse põhjalikumalt pooljuhtidele pühendatud peatükis.

ultraheliga töötavad pesumasinad. Tööstus toodab juba vibraatorpesumasinaid, milles kasutatakse madala helisagedusega võnkumisi. Kuulmatute helide kasutuselevõtuga on võimalik seadme efektiivsust tunduvalt tõsta.

Suurt abi osutab ultraheli pimedatele. Ultrahelilokaatorid abistavad neid orienteerumisel. Näiteks nahkhiired tulevad hästi toime ilma nägemise abita: nad orienteeruvad kaasasündinud ultrahelilokaatori abil. On juba loodud ultrahelilokaatorite laboratoorsed mudelid, mis võimaldavad mõne meetri kauguselt avastada peent niiti. «Ultrahelisilmade» kasutamisevõimalused koos «elektrisilmade» — fotoelementide ja elektronarvutitega on peaaegu piiramatud.

Konserveeritud helid

«Siin Moskva. Saadame vene rahvalaule Fjodor Šaljapini esituses...»

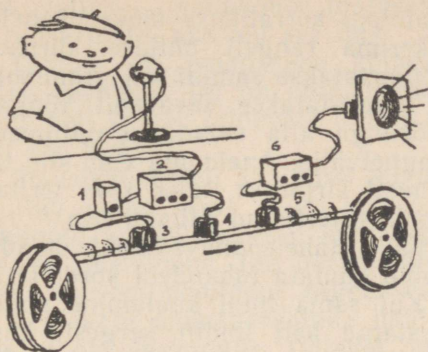
Ja ajamasin viib meid aastakümneid tagasi. Kuuleme Šaljapini sametist bassihäält, ammu-ammu esitatud kordumatuid helisid.

Kuid miks siis kordumatuid? Me kuuleme neid ju ikka uuesti ja uuesti. Kuigi suurt lauljat ei ole enam palju aastaid meie hulgas, täidab tema laul meie südameid erutuse ja uhkustundega.

Möödub veel mitu aastasada ja meie järglasedki naudivad neid imelisi helisid, millele ajahammas peale ei hakka.

Meieni on jõudnud aastatuhanded enne meie ajaarvamist loodud imekaunid skulptuurid, Rafaeli, Tiziani, Rubljovi suurepäraseks teosed. Need meistritööd on üle elanud sajandeid. Kuid kus on siis Paganini võluviili helid? Kas need ei väärinud surematust?

Kahjuks on nad jäljetult kadunud. Inimesed õppisid alles möödunud sajandi lõpul helisid «konserveerima». Kuulus ameerika leidur Edison võttis 1878. a. veebruaris patendi fonograafile (kreekakeelsest sõnast «fone» — hääl, heli ja «grafo» — kirjutatud). Mida kujutab enesest see aparaat, millega esmakordselt sai püüda ja muuta kõige tavalisemaks, käegakatsutavaks ruumis levivat heli, mis muidu oli määratud hääbumisele? Fonograaf kujutas



Elektromagnet kirjutab heli.

Meie ees on magnetofoni skeem. Poolilt poolile keritakse roostekihiga kaetud õhukest linti. See läheb läbi elektromagnetite 3, 4 ja 5, nn. magnetpeade vahelt. Magnet 3 ühendatakse kõrgsagedusgeneraatoriga I. Magnetis tsirkuleerivad elektromagnetilised võnkumised kustutavad vana, mittevajaliku üleskirjutuse. Puhas lint liigub edasi magnetpea 4 juurde, mis on ühendatud lampvõimendi 2 väljundiga. Sinna antakse võimendilt helisagedusvõnkumisi. Need magnetiseerivad linti — heli taktis — kord tugevamini, kord nõrgemini. Kui nüüd magnetpeaga 5 ühendatud võimendi 6 sisse lülitada, kuuleme valjuhääldist seda, mida lindile üles kirjutasime.

magneti tõmbejõud oleneb voolust mähises. Elektromagneti mähis lülitatakse telefonide või valjuhääldi asemel võimendi väljundi külge. Kui räägime mikrofoni, siis elektromagneti tõmbejõud suureneb ja väheneb helitaktis.

Hakkame nüüd ühelt küljelt raudoksiidiga kaetud magnetlinti kerima ühelt rullilt teisele nii, et lint mööduks elektromagneti lähedalt. Seejuures lint magnetiseerub, kord tugevamalt, kord nõrgemalt vastavalt hääle tugevusele.

Kerime nüüd lindi kiiresti esimesele rullile tagasi ja kordame kõike algusest peale, ainult selle vahega, et elektromagneti lülitame nüüd võimendi sisendisse mikrofoni asemele ja võimendi väljundisse lülitame telefonid või valjuhääldi. Seejuures kuuleme valjuhääldi lindistamisel mikrofoni poolt püütud helisid.

Lindi liikumisel magnetväli lindi ümber muutub kogu aeg, sest lint ei ole ühtlaselt magnetiseeritud. Muutuv magnetväli tekitab induktsiooniseaduse kohaselt elektromagneti mähises nõrga pinget, mida võimendatakse ja juhitakse seejärel valjuhääldisse.

Sel põhimõttel töötabki miniatuurne helide konserveer-

rimise «tehas». Magnetofoni korralikuks tööks peab linti ühelt rullilt teisele kerima rangelt ühtlase kiirusega. Elektromagnet, mida nimetatakse samuti kui grammofoni adapteritki helipeaks, valmistatakse tavaliselt rõngana, milles on pilu läbimõõduga alla sajandiku millimeetri. Pilu kontsentreerib magnetvälja. Analoogia võib siin tuua pliitsiga. Et pliits hästi kirjutaks, tuleb teda teritada. Helipea mängibki siin hästiteritatud pliitsi osa.

Magnetofonil on palju tähelepanuväärseid omadusi. Salvestatud helilinti võib kuulata tuhandeid kordi ja heli kvaliteet ei halvene. Kui sama lindi kuulamine muutub tüütavaks, võib salvestatud heli lindilt kergesti kustutada. Selleks tuleb ainult helilint nn. kustutuspeast mööda kerida. Kustutuspea on samasugune elektromagnet, ainult selle vahega, et tema mähises voolab ultrahelisageduslik vahelduvvool. Kustutuspea demagnetiseerib lindi ja sellele võib jälle salvestada uusi helisid.

Mis aga saab siis, kui lint katkeb? Pole viga, lindi saab uuesti kokku liimida ja kuulamisel ei märkagi me katkenud kohta. Pragunenud grammofoniplaati aga ei ole võimalik enam parandada.

Magnetofon omandab iga päevaga ikka kindlama koha meie elus. Raadisaateid antakse väga sageli helilindilt. Kui kuuleme kuulsa näitleja esinemist raadios ja arvame, et ta on samal ajal raadiostudios mikrofoni ees, siis võime tihti eksida. Näitleja võib rahulikult kodus istuda ja raadiost oma häält kuulata.

Raadio fonoteegis on kümneid tuhandeid rulle helilindiga. Neile on «konserveeritud» helid ja meie järglased võivad veel paljude aastate pärast kuulda kahekümnenda sajandi häält, inimeste hääli, kes ehtasid neile õnneliku tuleviku.

Elektronmuusika

Räägime nüüd muusikast, mida ei tehta tavaliste pillide abil, vaid aparaatidega, milles pillikeelte asemel on elektronlambid ja vönkeringid.

Iga muusikalist heli saab iseloomustada kõrguse, valguse ja tämbri abil.

Me teame, et hääle kõrgus sõltub heli vönkesagedu-

Elektronmuusikariistade esiisa — hiiglasuur aparaat, mida nimetati telekroniks — ehitati juba möödunud sajandi lõpul. Selles saadi muusikalisi toone masingeneraatorite abil — samasuguste generaatorite abil, nagu neid leidub tavalistes elektrijaamades. Muusikariista masingeneraatorid olid ainult väiksema võimsusega ja tekitasid helisageduslikke vahelduvvoole, näiteks sagedustega 1000, 2500, 4800 jne. hertsi. Iga heli jaoks oli omaette generaatorite komplekt. Tervel sellisel komplektil oli ühine võll ja kõik generaatorid lülitati sisse korraga. Üks generaator komplektis tekitas põhitoonile vastavat voolu, teine näiteks teist harmoonilist, kolmas — veel kõrgemat harmoonilist jne.

Helitugevuse muutmiseks kasutati tervet hulka elektromagnetilisi releesid ja reostaate. Ja kuigi telekron oli üsna ebatäiuslik, pani muusikamehi imestama selle muusikariista kõlapuhtus ja temal mängimise kergus.

Muidugi ei levinud keerukas ja liiga kohmakas telekron laialt. Aga kui ilmusid elektronlambid ja lampgeneraatorid, osutus võimalikuks luua elektronmuusikariistu, mis ei jää tavalistele muusikariistadele alla ei oma häälekõla, mängimise lihtsuse ega ka konstruktiivsete omaduste suhtes. Toome näiteks sellise muusikariista, nagu orel. Selles tekitatakse sama muusikalist tooni, mis erineb ainult intensiivsusest, eri vilede abil. Üks vile ei saa anda kord tugevat, kord nõrka heli. Generaatori valjust saab aga muuta suurtes piirides. Seetõttu võib iga generaator asendada märkimisväärset vilede hulka. Muutes generaatori võnkeringi häälestust, saame kergesti tekitada erinevate sagedustega helisid, sellepärast leiabki elektronorel viimasel ajal üha laiemat levikut. Ühes sellises muusikariistas tekitavad generaatorid, mille arv ulatub ligi üheksakümneni, peaaegu kõigi muusikaliste helide põhitooned ja harmoonilisi.

Peale elektronoreli on loodud palju teisigi elektronmuusikariistu — kontrabasse, klarneteid jne. Mõningaid nendest kasutatakse juba orkestrites (näiteks Bostoni sümfooniaorkestris).

On elektronpille, mille abil saab jäljendada tavaliste muusikariistade hääli, näiteks viulit, tšellot, klaverit. Seda saavutatakse hääle harmooniliste vahekorra muutmise. Niiviisi saab sünteesida helisid, koostada neid

inertsijõu vahel on kindel vahekord. Mida suuremad on keha mass ja kiirendus (või aeglustumine), seda suurem on inertsijõud. Seda mehhaanika seadust formuleeritakse tavaliselt nii: jõud on võrdne massi ja kiirenduse korutisega.

Vaatleme näiteks lennukit, mis järsult maa poole pikeerib. Üsna maa lähedal tõmbab lendur juhtkangi enda poole ja lennuk läheb järsult kiirust kaotades üle horisontaallennule. Neil hetkedel mõjub lennuki detailidele ja lenduri organismile tohutu koormus, mida põhjustab inerts. Inertsijõudusid võib kergesti leida arvutamise teel, kusjuures kiirendus peab teada olema. Inimese hukkumise ja masina purunemise vältimiseks peab teadma maksimaalselt lubatava kiirenduse suurust. Seda mõõdetakse proovilendude ajal.

Piesoelektriline aktseleograaf on seesama kvartsplaat, millele vedruseadme abil on surutud teadaoleva massiga raskus. Kui lennuki kiirus järsku muutub, siis muutub ka kvartsplaadile mõjuv jõud. Mida suurem on kiirendus (või aeglustumine), seda suurem on ka jõud. Mis edasi toimub, seda me juba teame. Seega saab rõhu suuruse kaudu kergesti määrata kiirenduse suurust. Elektroonikal põhinevad manomeetrid ja aktseleograafid on masinaehituses ja transpordis omandanud hea kuulsuse.

Raadio trükib raamatuid

Autor on siin ilmselt mõõdutunde kaotanud, võidakse mõelda pealkirja lugedes. Kas neil kahel asjal on siis teineteisega midagi tegemist?

Tuleb välja, et on. Tuleviku trükikodades ei kohta me enam suuri polügraafiamasinaid ega tähtedehoidlaid, ei söövitus- ega fotoreprodutseerimisseadmeid. Vene esitrükkali Ivan Fjodorovi ajast säilinud traditsiooniliste trükivormide asemele tuleb uusim elektronaparatuur.

Raske on uskuda, et 1500-leheküljelise raamatu trükkimiseks kulub ainult ligikaudu minut. Kuid just sellise kiirusega — 25 tõmmist sekundis — hakkavadki elektrontrükkimasinad töötama. Kaasaegsete rotaatorseadmete töökiirus on ainult üks tõmmis kahe sekundi kohta. Mis põhimõttel töötab elektrontrükkimasin?

Imeahi

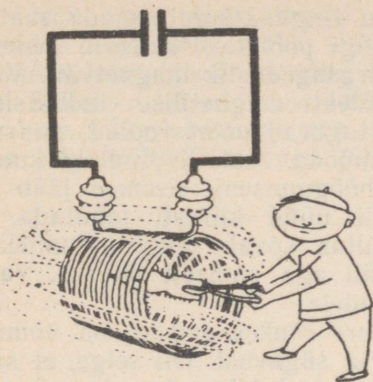
Siin ei tule juttu mitte sellest imeahjust, mille abil perenaised kodus pirukaid küpsetavad. Imeahju all mõeldakse hoopis teistsugust ahju, mis oma nime palju paremini õigustab. Me võiksime oma imeahju abil suure jääkamaka sisse külmunud toore lihatüki nii ära keeta, et jää ära ei sulaks.

Kuidas seda teha, saame varsti teada. Enne aga vestleme tähtsamatest asjadest — sellest, kuidas radioahjusid kasutatakse tööstuses ja rahvamajanduses.

Juba vanal ajal märgati, et kui terasetükki kuumutada kõrge temperatuurini ja seejärel kiiresti jahutada, siis muutub ta palju tugevamaks. Niisugust protsessi hakati karastamiseks nimetama.

Terasdetaili tugevuse suurendamisel on eriti tähtis, et detaili pind muutuks väga kõvaks, sisemus jääks aga endiseks. Kui detaili on läbinisti karastatud, siis muutub ta hapraks ja murdub kergesti. Tavalistes ahjudes jõuab metall soojeneda kogu detaili paksuses. Nõukogude teadlane V. P. Vologdin tegi ettepaneku, et metalli kuumutatakse kõrgsagedusliku elektrivooluga. Niisugusel kuumutamisel on omad iseärasused.

Kui juhtmes voolab alalisvool, siis liiguvad kõik elektronid ühesuguse kiirusega, täites ühtlaselt kogu juhtme ristlõiget. Vahelduvvoolu puhul liiguvad elektronid kord kiiremini, kord aeglasemalt, kord ühes, kord teises suunas. Niimoodi liikuvate elektronide elektriväljad muutuvad pidevalt. Elektromagnetilise induksiooni seaduse põhjal on aga teada, et elektrivälja igasugune muutumine põhjustab vastava magnetvälja muutumise. Seejuures segab ühe elektroni magnetvälja muutumine teiste elektronide liikumist. Mida kõrgem on vahelduvvoolu sagedus, seda järsemalt muutuvad magnetväljad ja seda «kitsam» on elektronidel. Juhtme takistus just nagu kasvaks. Kõige suurem on see takistus juhtme keskel, kus iga elektroni ümbritsevad teised elektronid. Juhtme pinnal paiknevad elektronid on palju soodsamas asendis — teised elektronid ei ümbritse neid igast küljest, seetõttu avaldab juhtme pindkiht kõrgsagedusele väiksemat takistust. Ei ole siis ka midagi imestada, et



Karastamine kõrgsagedusvooludega.

Võnkeringi pooli läbib võimas kõrgsageduslik magnetväli. Paigutame pooli sisse mingi metalleseme. Elektromagnetilise induksiooni tõttu tekivad selles keerisvoolud ja pindkiht kuumeneb hetke jooksul. Nüüd pannakse ese külma vette. Esemepind muutub kõvaks ja kulumiskindlaks, siseosa jääb aga endiselt elastseks.

kõrgsagedusvoolule meeldib voolata juhtme välispinnal.*

Moskva Polütehnilises Muuseumis näidatakse efektset katset, mis põhineb sellel nähtusel. Ekskursioonijuht võtab ühe käega kinni tavalise elektrilambi soklist ja ühendab lambi teise kontakti võimsa lampgeneraatori võnkeringi induksioonpooliga. Lamp hakkab heledalt põlema. Ekskursioonijuhi keha mööda voolab seejuures küllalt tugev vool, inimene jääb aga täiesti terveks. Juba palju nõrgem alalisvool või madalsageduslik võrguvool oleks surmavaks osutunud.

Kogu saladus peitub sellesamas skinefektis. Kõrgsagedusvool voolab inimese keha välispinda mööda ega avalda siseelunditele mingit mõju (muidugi selliste väikeste dooside korral nagu meie näite puhul). Alalisvool või madalsageduslik vahelduvvool tungib inimese keha sisemusse ja kutsub esile raskeid traumasid.

Terasesemete kõrgsageduslikuks karastamiseks vajatakse väga võimsat lampgeneraatorit, umbes niisama

* Seda nähtust nimetatakse skinefektiks. Termin on tulnud ingliskeelsest sõnast «skin» — nahk. — Tõlk.

suure võimsusega, kui on ringhäälingu jaamade saatjad. Selle generaatori võnkeringi poolis tsirkuleerib generaatori töötamisel võimas kõrgsageduslik magnetväli. Viime võnkepooli terasetüki. Elektromagnetilise induksiooni tõttu tekivad terasetükis tugevad pöörivoolud, mis voolavad detaili välispinda mööda. Metall pindkiht kuume-
neb peaaegu hetkeliselt hõõgumiseni, sisemus jääb aga külmaks. Kui terasdetaili nüüd kiiresti jahutada, siis pindkiht karastub ja muutub kõvaks ning kulumiskindlaks, metalli sisemus jääb aga endiselt sitkeks, vastupidavaks paindele ja väände.

Reguleerides generaatori võnkesagedust, on võimalik muuta karastamisrežiimi ja sügavust. On selge, et sageduse vähendamisega karastatud kihi sügavus suureneb.

Kõrgsagedusvooluga karastamine on käesoleval ajal üldist tunnustust leidnud. Seda rakendatakse laialdaselt väga paljudes metallitöötlemise tehastes.

Kõrgsageduslikku kuumutamist kasutatakse ka puidu kiireks kuivatamiseks.

Tavaliste meetoditega kulub selleks küllalt palju aega, sest kiire ja ebaühtlase soojendamise tagajärjel puitmaterjal kõmmeldub ja praguneb. Raadio lubab seda keerukat ja pikaajalist protsessi mitmekordselt lihtsustada ning lühendada.

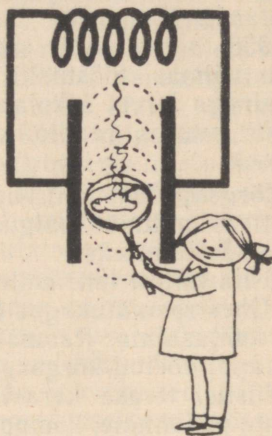
Puidu kuumutamine kõrgsagedusvooluga erineb metallide kuumutamisest. Esiteks, metall on elektrijuht, puit aga isolator (tõsi küll, üsna vilets). Teiseks — terase karastamisele pidi eelnema ainult pindkihi kuumutamine, puidu kuivatamisel on aga vajalik ühtlane soojendamine.

Tuletame meelde, et peale induksioonpooli on meie generaatori võnkeringis veel kondensaator. Selle plaatide vahel paikneb võimas kõrgsageduslik elektriväli. Kui viia sinna välja puutükk, siis hakkab see energiat tarbima. Nagu me juba rääkisime, on puu võrdlemisi halb isolator. Ta juhib elektrit, kuigi avaldab voolule suurt takistust. Kondensaatorisse varutud energia kulubki selle takistuse ületamiseks ja eraldub soojusena.

Mida suurem on generaatori võnkesagedus, seda rohkem elektrienergiat muundub soojuseks ja seda intensiivsem on kuumenemine. Kuna energiakaod on puitmaterjali kogu sügavuses ühesuurused ja kuumenemine toimub ühtlaselt, siis materjal ei pragune ega kõmmeldu.

Nüüd me võime tagasi pöörduda küsimuse juurde, kuidas saab jääkamaka sisse külmunud lihatükki ilma jääd sulatamata ära keeta.

Selleks paigutame jäätüki kondensaatori plaatide vahele. Jää on suurepärase isolaator. Energiakadu temas on väga väike. Liha aga juhib teataval määral elektrit,



Kana... kõrgsagedusväljas.

Kõrgsageduslikus elektriväljas soojeneb toit hetkeliselt, kaotamata maitset.

sellepärast on arusaadav, miks jää ja liha kaituvad kõrgsageduslikus elektriväljas erinevalt. Liha hakkab kuumenema, jää aga jääb endist viisi külmaks. Meie toit saab nii ruttu valmis, et soojus ei jõua jääle üle kanduda ja viimane ei sulata.

Jääst pannil valmistatud kanapraad... Tüüpiline ime. See võib olla kõneaineks muinasjutuvestjale või heaks ideeks mustkunstnikule!

Nali naljaks, kuid kokad said kõrgsagedusahju näol siiski toreda abimehe. Kõrgsageduslikus elektriväljas soojenevad toidud kiiresti, ei kuiva ega kaota maitset. Neid voole kasutataksegi juba värske puuvilja maitsega kompotide valmistamiseks.

Mõned teist on aga juba kindlasti söönud «kõrgsagedus»-šokolaadi.

Varem kuivatati šokolaadi valmistamiseks kasutatavaid kakaoubasid 160 kraadini kuumutatud suitsuvoolus.

Need oksühemograafideks nimetatavad riistad on kirurgide hinnatud abimeesteks.

Teise analoogilise seadme — erütrohemomeetri abil on võimalik määrata punaste vereliblede — erütrotsüütide hulka veres. Mida rohkem on punaseid vereliblesid vere sama hapnikusisalduse juures, seda tumedam on veri ja seda vähem valgust langeb fotoelemendile.

Me tutvusime kirurgide «elektronkõrvaga». Kuid esineb veel üks liik kuuldeaparaate, mille abil on töövõime tagasi saanud tuhanded kuulmishäiretega inimesed. Elektroonika abil saab kuulmist tagasi anda isegi inimestele, kellel on purunenud kõrvade trumminahad. Kõrva trumminahk võtab ümbritseva õhu võnkumisi vastu nii nagu mikrofoni membraangi ja annab neid edasi kuulmisnärvile. Suure ülekoormuse korral (näiteks plahvatuslaine toimel) võib trumminahk puruneda. Inimene jääb selle tagajärjel kurdiks.

Kuidas oleks võimalik kuulmist taastada? Kas seda üldse saab teha?

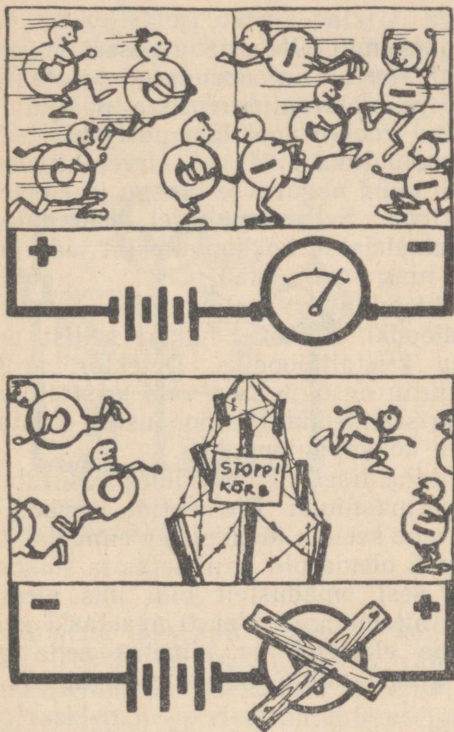
Arstiteadus vastab sellele jaatavalt. Inimene omab kuulmismeelt senikaua, kuni kuulmisnärvid on vigastamata. Kui ainult trumminahk on vigastatud, siis tuleks helisageduslikke võnkumisi kuulmisnärvile mingil teisel teel edasi anda. Seda võib teha koljuluu kaudu, kuid siis peavad helivõnkumised olema tunduvalt võimsamad. Siin on seega võimendi jälle täiesti omal kohal. Võimendatud helisageduslik vool juhitakse erilisse valjuhääldisse, mis on surutud vastu koljuluud kas meelekohal või kõrva taga. Ei ole sugugi tarvis, et see tilluke, peatelefoni taoline riistapuu valju häält tekitaks, oluline on ainult, et tema membraan võnguks küllalt tugevasti. Membraani võnkumine kandub edasi koljuluule ja sellelt vahetult kuulmisnärvile. Räägitakse, et isegi kuulus helilooja Beethoven oli pärast kurdiks jäämist analoogilise meetodiga klaverimängu kuulanud, kasutades selleks vastu klaverit surutud kepikest, mille teise otsa ta hammaste vahele võttis.

Me pole tutvunud kaugeltki kõigi arstiteaduslike raadioseadmetega, mis juba praegusel ajal olemas on. Aga kui palju tekib neid veel tulevikus!

Mõned aastad tagasi ehitati keerukas elektronmasin — inimese südame ja vereringe mudel. See tõlgib südametegevuse matemaatika keelde, koostab ja lahendab vör-

vanu kristalldetektoreid. Selgus, et kristalldetektor töötab nendel sagedustel paremini kui vaakuumdiodid.

Kristalldetektori täiustamise protsessis avastati uusi kõrgekvaliteedilisi pooljuhtmaterjale. Nende baasil õnnestuski hiljem luua kristalltrioid, mida saab kasutada elektiriliste võnkumiste võimendamiseks*.



Elektron—urvesiire.

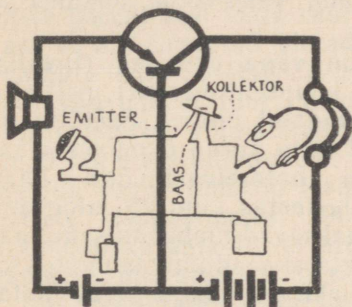
Kui pooljuhi urvepiirkonnaga ühendada patarei positiivne poolus, elektronosaga aga negatiivne, siis hakkavad elektronid ja urbed teineteisele vastu liikuma, tekib vool. Kui patarei negatiivne poolus on ühendatud urvepiirkonnaga, positiivne — elektronpiirkonnaga, siis «paikuvad» elektronid ja urbed vastupidisesse suundadesse ning tõkkekiht muutub «kõrbetsooniks». Sel juhul voolu ei ole.

* Pooljuhttrioidi leiutajaks olid ameerika teadlased J. Bardeen ja W. H. Brattain. Autorid nimetasid oma 1948. a. konstrueeritud pooljuhttrioidi transistoriks. See nimetus on kombinatsioon sõnadest «transfer» — üle kandma ja «resistor» — takisti. Transistori leiutamise ja tema teooria loomise eest omistati J. Bardeenile ja W. Brattainile Nobeli füüsikapreemia. — *Tõlk.*

mõttega juba tuttavad, on meil kergem ka kristalltrioodist aru saada.

Asetame kahe urvejuhtivusega plaadi vahele elektronjuhtivusega plaadi. Viimast nimetatakse kokkuleppeliselt baasiks, kahte eelmist aga emitteriks ja kollektoriks.

Kirjeldatud seade ongi lihtsaim transistor. Selles pole mitte üks tõkkekiht nagu dioodis, vaid kaks. Ühendame baasi ja kollektori vahele patarei, nii et tema negatiivne klemm oleks ühendatud kollektoriga, positiivne — baasiga. Emitteri ja baasi vahele lülitame samuti patarei, ainult palju väiksema, nii et patarei positiivne klemm oleks ühendatud emitteriga.



Transistorvõimendi skeem.

Esimene tõkkekiht (baasi ja kollektori vahel) ei juhi voolu. Tekkis laengukandjatest vaba ala, sest patarei miinus-klemm on ühendatud urvejuhtivusega materjaliga ja plussklemm — elektronjuhtivusega materjaliga.

Teine tõkkekiht (emitteri ja baasi vahel) on avatud. Elektronjuhtivusega pooljuhiga on ühendatud vooluallika miinus-klemm ja urvejuhtivusega pooljuhiga — pluss-klemm. Selle tagajärjel läbib vool seda üleminekukihti ja urbed voolavad emitterist baasi. Baasis satuvad urbed negatiivselt laetud kollektori mõju alla ja suur osa neist liigub kollektori poole. Niipea kui urbed saavad tõkkekihti, hakkab vool voolama ka kollektoriahelas, kuhu oli lülitatud kõrgema pingega vooluallikas.

Mis juhtub aga siis, kui voolu emitteriahelas muuta — kord suurendada, kord vähendada? On selge, et koos sel-

On konstrueeritud isegi miniatuurseid pooljuhtsaatjaid, mis pannakse tööle... inimese hääle energiaga. Spetsiaalse mikrofoni ees rääkimisel tekib selles häälelainete mõjul elektrivool. Seda kasutab meie saatja kahel eesmärgil. Esiteks alaldatakse osa sellest voolust ja pannakse tööle saatja. Teist osa mikrofoni tekitatud voolust kasutatakse genereeritavate kõrgsagedusvõnkumiste moduleerimiseks.

Kirjeldatud saatja töökaugus on umbes üks kilomeeter.

Transistorvõimendite kõiki eeliseid on raske korruga loetleda. Seejuures oleks aga vale arvata, et elektronlampide kasutamine sellega lõpebki. Transistoridel on nende eeliste kõrval veel väga suuri puudusi, mida kuni viimase ajani ei ole suudetud ületada. Nad ei talu kõrgeid temperatuure (üle 70—80° C) ja nende võimendusomadused muutuvad temperatuuri kõikudes väga tugevasti. Pealegi on transistoride võimalikud töösagedused tunduvalt madalamad kui elektronlampidel. Ei ole õnnestunud veel konstrueerida väga võimsaid transistore, mida saaks kasutada saatjate lõppastmetes. Pooljuhtseadmete rakendamist raskendab ka asjaolu, et alati ei õnnestu toota pooljuhtseadmeid, mis omadustelt oleksid täiesti ühesugused.

Ent meenutades esimeste lampide ebatäiuslikkust, taipame, et kaasaegsete pooljuhtseadmete puudused on vaid uue tehnika «lastehaigused».

Mida vahepeal uut avastati

Ajast, mil käesolev raamat vene keeles kirjutati, on möödunud üle kuue aasta. See aeg on kultuuriajaloo kübeke, kuid kaasaegse tehnika alal, mille kohta tavatsetakse öelda, et too ruttab edasi seitsmepeniikoorma saabastega, tohutu. Ongi siis möödunud pool tosinat aastat toonud tehnikasse, aga eriti elektroonikasse, uut ja seda uut tähistavaid mõisteid, mis mõni aasta tagasi puudusid nii käibelt kui ka uurimisasutuste laboratooriumis. Sellest olulisemast uuest elektroonikas ongi alamal juttu.

Kuus aastat tagasi ei kõneldud maserist ja laserist, samal ajal polnud peetud veel kahepoolset sidet kosmo-

sega, raadiolainetega kauguste ületamisel ei mõistetud kasutada satelliite, molelektronika esines alles soovunelmates, stereofoonilised raadiosaated ja televisioonisaated kahes keeles olid konstruktori joonestuslaual ja televisioonisaateid mõisteti «teiseks korraks» talletada vaid kinofilmi vahendusel. Ja nüüd ...?

Elektromagnetilise kiirguse see osa, mis paikneb raadiolainete ja soojuslainete (infrapunase kiirguse) vahel, s. o. kiirgus lainepikkusega sentimeetrite kuni millimeetrite suurusjärgus, leidis kuni viiekümnendate aastateni vähe rakendamist. Alles raadiolokatsiooni — radari ja raadioastronoomia võidukäik, samuti satelliitidega sidepidamine sundisid ka seda laineala teaduste uurimissfääri võtma. Kuid see osa kiirgusest, mis lõpmatust kaugusest vastuvõtuseadmesse saabus, oli väga nõrk, selle võimendus tavaliste seadmetega aga ei andnud tulemusi. Arendati välja uudne võimendusmoodus, mis kannab maseri nime. Põhiliselt seisneb selle olemus järgmises.

Kui tavalises võimendis toimub pinge või voolu võimendus, siis maser võimendab otseselt elektromagnetilist võnkumist, s. t. maserisse suundub raadiolaine, mille toimel vabaneb ja väljub uus laine, millel on sisenevaga ülitäpselt sama sagedus, kuid suurem amplituud. Piltlikult võib öelda, et maseris on aine, mida raputatakse kindla sagedusega ja mis kiirgab samasageduslikku tugevamat lainet.

Aine, antud juhul gaasilises olekus oleva aine igal molekulil on vaadeldaval hetkel teatav energeetiline väärtus, mida võib kujutleda nivootasemena. Aine erinevad molekulid omavad erinevat nivootaset, ainesse lisaenergia juhtimine kergitab molekulide nivootaset. Kui molekul laskub (kui teda sunnitakse laskuma) kõrgemalt tasemelt madalamale, eraldab ta energiat. Kirjeldatud rakendatakse maseris.

Esimestel maseritel oli «raputatavaks aineks» ammoniaak, kuid kuna niisugune seade sai võnkuda üksnes sagedusel 23 870 140 000 hertsi (lainepikkus ligikaudu 1,25 cm), tuli leida uusi konstruktsioone, mis olid suuteli sed võnkuma muudel sagedustel. Gaasi ammoniaagi asemel võeti tahked ained, neid jahutati vedela heeliumiga ja jõuti seadmeteni, mis on eelistatavad just oma äärmiselt väikese endamüra tõttu ja sobivad seega väga nõrkade võnkumiste võimendamiseks.

Silmaga tajutav valgus on üks osa elektromagnetilisest võnkumisest — ta lainepikkuseks on ligikaudu 400...700 nanomeetrit. Rida aastaid püüti ka seda lainepikkuselõiku kui raadiolainet võimendada ja moduleerida. Kaua ei andnud vastavad uurimistööd tulemusi, kuid lõpuks saadi püüdluste viljana laser, seade, mis paari aasta kestel on leidnud mitmeid rakendusalasid.

Laseris tekib harukordselt kitsasse vihku koondatud valguskiir, mis kiirega tabatud kohta võib valgustada päikesevalgusest miljoneid korda heledamalt. Valgustada, see aga tähendab ka — kuumutada. Ja nii ongi, laseriga tekitatakse kuumust, mis ületab 10 000° ja mis on suuteline iga tahke aine auruks muutma.

Kui veel mõned aastad tagasi eksisteerisid surmakiired vaid fantastilistes romaanides, siis pärast laseri avastamist on surmakiirtega «tõsi taga». Laser võimaldab tohutut energia kontsentratsiooni. Mingi haruldus ei ole, kui laseri kiires on erienergia 1000 kW/cm².

Tingituna sellest, et laseri kiirt saab hajumatult kaugusesse suunata, on see ka suuteline eemal tabamisaigas väga kõrget temperatuuri tekitama. Kui kitsaks vihuks saab aga laserikiirt koondada, näitab järgnev fakt. 1962. a. mais suunati laserikiir Kuule, kus ta valgustas kolmekilomeetrise läbimõõduga välja, mis oli Maalt nähtav. Laserikiir käis ligikaudu 400 000 km kaugusel ja peegeldus Maale tagasi veidi vähem kui 3 sekundit pärast Maalt «lahtilaskmist». Arvestagem ka seda, et mainitu oli ajaloos esmakordseks juhtumiks, kus taeva-keha valgustati Maa pealt.

Tuntumaks lasersaatjaks on rubiinlaser, selle olulise- maks detailiks on tehiskristall rubiinkristall. Tehiskristall, et looduslikke rubiine on vajalikes mõõtmetes ja vajalikus puhtusastmes võimatu saada. Rubiin on alumiiniumhapend (Al_2O_3) — korund, mis sisaldab veidi kroomiaatomeid. Rubiinkristallis paiknevatel kroomiioonidel on võime punast valguskiirgust levitada, kui need on ergastatud rohelise ja lilla valgusega.

Kui eelnevalt ergastatud aatomitega rubiinkristalli punast elektromagnetilist energiat suunata lainepikkusega, mis vastab punasele valgusele, võimendub see energia ja võib soodsal võimalusel teatava võimendatud portsjonina vabaneda. Kuid ühekordsel kulgemisel on võimendus liialt kesine ja seepärast on suurema võimenduse

visioon nendele ainsaks sidevahendiks «kodusaare» Maaga.

Ülalmainitud olid need, mida me nimetame suurteks saavutusteks ja avastusteks. Tuleb aga tähendada, et iga niisugune «suur» võib teoks saada üksnes seetõttu, et ta tugineb paljudele «väikestele» leiutistele, mida teadlased ja töömehed, teoreetikud ja praktikud on loonud ning aastakümneid laboratooriumides ning tööstustes katsetanud.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00377950 3