

L.KUBARKIN  
J.LEVITIN



# HUVITAV RAADIO- TEHNIKA



HUVITAV RAADIO-TEHNIKA

L. KUBARKIN, J. LEVITIN

HUVITAV  
RAADIOTEHNIKA

1964  
KIRJASTUS „EESTI RAAMATU” • TALLINN



Originali tüüel:  
Маслов Раднобнблнотек  
Выпуск 454  
Кубаркн Леонтьн Владимнрнчн н  
Левнтнн Ефнн Алексеевнч  
ЗАННМАТЕЛЬНА РАДНОТЕХННКА  
Изданне второе, переработанне н дополненне  
Государственнне Энергетическое Издательство  
Москва 1962 Ленинград

Кале кнжанданн G. Pant  
Tõlknnud M. Elango

## AUTORITELI

«Huvitava raadiotehnika» eesmärgiks ei ole raadiotehnika aluste süstemaatiline käsitlemine ega õpikute asendamine. Samuti nagu teised sellesse J. I. Perelmani poolt kirjandusse toodud žanri kuuluvad raamatud, seab käesolev oma peaausesandeks äratada lugejas huvi teaduse ja tehnika uurimiseks, soodustada tema tehnilise ja teadusliku mõtlemise arenemist, anda talle vilumusi nähtuste füüsikalise olemuse väljasegitamiseks.

Selle sihi saavutamiseks vaadeldakse «Huvitavas raadiotehnikas» raadiotehnika ning sellega seotud elektrotehnika ja füüsika harude üksikuid sõlmkohti, mille olemus, tähtsus ja mõte avatakse näidetega, mis on võimalikult tihedalt seotud eluga ning seepärast kergemini omandatavad ja meelde jäävad.

Probleemide füüsikalise olemuse paremaks avamiseks ja käsitluse huvitavamaks muutmiseks vaadeldakse neid sageli mitte päris tavalisest vaatevinklist. See kergendab nähtuste mõistmist ja aitab lugejal avardada ning kinnistada teadmisi teaduse ja tehnika mitmesuguste harude vaatliskuse seose kohta, mis on üheks põlbrehnilise õpetuse kohustuslikuks aluseks.

Raamatu kõitvuse suurendamiseks on vaadeldavate küsimuste ringi lülitatud palju selliseid, mis on äärmiselt ajast tõmmanud endale raadioamatöörnide tähelepanu, kuid pole sellele vaatamata leidnud aiati küllalt põhjalikku valgustamist kirjanduses.

Raamatu teksti on võetud rohkearvulisi näiteid nii raadiotehnikast kui ka teistest teadusaladest (sageli isegi igapäevases elust), kusjuures kõik näited on valitud selliselt, et nendega seotud arvutused ja numbrilised vastanded annavad huvitavaid ja mõnikord ootamatuid tulemusi.

Peamiseks segavaks asjaoluks, millega autorid pidevalt kokku puutusid ja millest neil ei õnnestunudki täielikult jagu saada, on teatud erinevus vaadeldavate küsimuste raskusastmes. Kuid reeglina on materjali välikus orienteeritud ikkagi keskmise raadioamatööri tasemele, kes on huvitatud raadiotehnika füüsilistest alustest. Teatud osa materjalist on huvitav võib-olla mitte ainult raadioamatöridele, vaid ka kõrgemate raadiotehniliste õppeasutuste ja tehnikumide üliõpilastele, samuti raadiospetsialistidele.

Autorid on lugejatele tänuks kõigi vastukajade eest raamatu, materjali väliku, esituse vormi jne kohta. Arvamused tuleb saata kirjastuse aadressil: Tallinn, Pärnu mnt. 10, Eesti Riiklik Kirjastus.

#### EESSONA TEISELE VALJAANDELE

Üldiselt ei saa meie raadioalane kirjandus kaevata selle üle, et lugejad ei pööraks talle tähelepanu. Eriti kehtib see laiale lugejaskonnale määratud massilise kirjanduse kohta. Seepärast ei ole midagi imeks panna, et niisugune raamat nagu «Huvitav raadiotehnika», mis pretendeerib mõnevõrra ebatavalisele lähemisele materjali välikus ja esitamiseviisil, kutsub esile hulgaliselt vastukajaid.

Rõhuvas enamuses olid need vastukajad positiivsed.

Autorite poolt valitud esituse taseme tunnistas enamik lugejaid õigeks, seepärast pole «Huvitava raadiotehnika» teise väljaande üldiseloom muutunud. Raamat on ümber töötatud, temast on kõrvaldatud üle kolmandiku materjalist ja asendatud uue, kaasaegsemaga. Esimesest väljaandest alles jäänud materjalis on tehtud vajalikuks osutunud korrigeeringud ja täiendused.

Teise väljaande materjal on endiselt valitud ja töödeldud nii, et raamat sobiks tasemelt kõige laiemale lugejate ringile.



## LÕHIDALT ELEKTRONIST

Paijude tänapäeva aparatuuride ja seadmete nimetustes sisaldub sõna «elektron»: elektronilamp, elektronkaugenägemine, elektronmikroskoop, elektronrelee. Näiteid võib tuua palju. Eriti tihedalt on sõna «elektron» seotud raadio- ja tehnoloogiliste terminitega. Ja isegi nimetust «raadiotehnika» asendatakse üha sagedamini uuega — «raadioelektronika».

Millega siis seda seletada?

Me teame, et elektronid on aine tähtsaimaks koostisosaks. Kuj nimetus «elektron» omistatakse sellisel alusel, siis ei jääks just eriti palju sõnu ilma niisuguse eeslihteta.

Kas ei võiks tähtsust omada asjaolu, et kõik elektron-seadmed, -aparatuurid ja -süsteemid on olemuselt elektrilised, aga elektrivool kujutab endast elektronide korrapärase liikumist? Eil Vastus võib olla ainult eitav. Kellelegi ei tule pähe elektrivoolu või elektrivoolu liikumise elektronseks nimetada, kuigi ei ole kahtlust, et nende töötamise aluseks on elektronide liikumine.

Kaasaegses teaduses ja tehnikas kasutatakse terminit «elektron» nende aparatuuride ja seadmete kohta, mis on elektrilised ja mille aluseks on elektrilise liikumise juhtimine. Viimane erineb väga tunduvalt laengute liikumise juhtimisest juhtimises ja omab palju tähtsaid iseärasusi.

Mida me siis teame elektronist?

Me oleme harjunud lugema ja rääkima, et molekul on väike, kuid me ei kujutle endale kunagi, kui vapustavalt väike ta tegelikult on. Meil ei ole selleks mastaape. Molekul — see ei ole telliskivi, võrreldes hiiglasliku loonega, ega isegi mitte tolmukübemeke, vastandatuna suurimale pilvelõhkujale. See on veel palju väiksem.

Võtame veetilga. Tilg on praktiliselt kõige väiksem vedeliku mää, mida igapäevases elus kasutame. Tilku

tuleb meil lugeda vahest ainult ravimite mõotmisel. Kuid veetlitas sisaldub kujutlematult suur hulk molekule. Ainult meri v6imaldab meil seda tabada.

Meie kodumaa 6nnistusrikkas loinatassas latub see Must meri. Tema pindala on ligikaudu 400 000 km<sup>2</sup>, s6gavus ulatub keskmiselt 750 meetrini.

Kas Mustas meres on palju tilku?

Selline k6simus viib igatihe ummikusse. Et ole kerge kujutleda, kui palju tilku on, titleme, klaasit6ies vees, aga siin on terve meri! Ole tuhande kilomeetri lahubab tema silda- ja k66nekaldaid. K6retud veega kaetud avarused.



Argem hakakem m6istatama, kui palju tilku on Mustas meres. V6tkem parem p6iatas ja paber ning proovigem leida meid huvitavat arvu. V6tame veetlita ruumalaks 15 mm<sup>3</sup>. L6htudes mere pindalast ja s6gavusest, leiame siis, et selles sisaldub umbes 2 · 10<sup>22</sup> veetlita.

See arv on hiiglasuur. Ta aitab meil teisendada 6hte mastlaapi teiseks, sest 6hes veetlitas on umbes niisama palju molekule kui Mustas meres tilku. Sulgege silmad ja kujutlege l6pmatul hulka tilku, millest see koosneb. Niisama palju on 6hes tiigas molekule. Kui v6rd v6lke peab 6tama seesamane molekul, et veetlita v6ikesse ruumalasse mahuks meid selline muinasjutuliselt suur hulki!

Oligugi et suure vaevaga, aitab see n6ide meil siiski saada pilti sellest, kui v6rd t6htis6d on molekuli m6otmed ja kui m6otmatult palju on molekule isegi n6htamatus loimuk6bemekeses.

Ja samal ajal ei ole molekul kaugeltki «k6ige v6iksem». Maailma «telliskivikeste» ultramikroskoopilises maailmas v6ib molekuli lugeda gigandiks. Tema struktuur on keeruline, sageli isegi v6ga keeruline. Molekul ise koosneb palju lihtsamatest moodustistest — aatomitest.

Meie ees on n66pn6elapea. Sageli toome teda n66itena, kui tahame alla kriipsutada miliegi v6ikesi m66tmeid. Siis me 6lterne «n6elapeasuurne».

N66pn6elapea on veetlitas v6iksem, kuid temas on siiski 10<sup>19</sup> raa aatomit.

Millega v6ib seda arvu v6rrelda? Maastr P6ikeseni on 150 milj. km. Teisendame kilomeetrid millimeetriteks, saame 15 · 10<sup>14</sup> mm. See on grandioosne arv, kuid siiski, jaotades aatomid n66pnoela peast teele Maastr kuni P6ikeseni, leiaksime igal millimeetril... pool miljonit aatomit. Kujutlege endate poolst miljonist aatomist koosnevate kuhjakeste l6pmatut rodu Maastr P6ikeseni, ja k6ik need aatomid p6rinevad 6hest n66pn6elapeast. Vaat kui v6ike on aatom!

Kuid see ei ole ju veel elektron. See on alles keeruline moodustis — aatom. Elektron on veelgi v6iksem. N66pn6elapeas asuvas raa aatomis on 26 elektroni. Kui k6ik n66pn6elapea elektronid paigutada ahelikku intervalliga 1 mm, siis selline elektronide ahelik ulatuks Maastr kosmilise ruumi 66retusse s6gavusse sellisele vahemaale, mille valgus l6hib 26 aasta jooksul. See on suur vahemaa isegi kosmiistes mastlaapides. Asub ju l6him t6ht (Proxima Centauri t6htkujus) Maastr k6igest nelja valgusaasta kaugusel. Aga 26 valgusaastat on kaugus, millel asub Maastr hele ja ilus t6ht Veega L6fira t6htkujus.

Vaat millistesse hirmu6ratavatesse kaugustesse viisimeid n66pn6elapea!



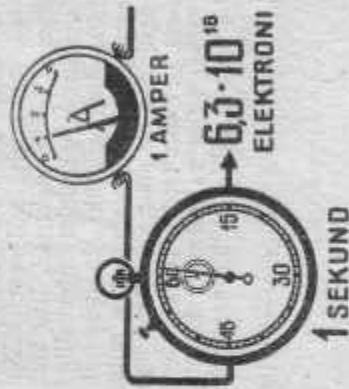
Mida siis kujutab endast elektron ja millised arvulised näitajad iseloomustavad tema füüsikalisi omadusi?

Elektron on osake kõige väiksema elektrilaenguga. Elektroni laengut loetakse väiksemaks võimalikuks elektrilaenguks ainult sellepärast, et seni ei ole veel kordagi nähtud väiksemat laengut, kuigi kaasaegne katsete tehnika võimaldaks neid avastada ja mõõta. Elektroni laengut on mõeldud palju kordi erinevate meetoditega. See osutus võrdseks  $4,8 \cdot 10^{-10}$  absoluutse elektrostaatilise ühikuga ehk  $1,6 \cdot 10^{-19}$  kuloniga.

See suurus pakub erilist huvi raadiotehnikaile, kuna neil tuleb pidevalt tegemist teha elektripotentsiaalidega ja elektrivooluga. Kuid elektripotentsiaalid on seotud elektronide (või teiste laengute) kuhjumisega ühes ja nendes puudujäägiga teises kohas. Mis puhtub aga elektrivoolu, siis see kujutab endast laengute liikumist. I ampriristfioke 1 kulon puhul voolab 1 sekundi jooksul läbi juhi ristfioke 1 kulon elektrit, s. o.  $6,3 \cdot 10^{18}$  elektroni.

Elektronide huik kulonis on muinasjutuliselt suur. Kui laadida mingi keha negatiivse laenguga 1 kulon ja hiljem hakata temalt elektrone ära võtma ühe miljoni kaupa sekundis, siis tuleks neid korjata 200 000 aastat.

Elektroni on mass. Teravmeelsed ja oma peensusuga häälestavad katsed on füüsikutel võimaldanud mõõta mitte ainult elektroni laengut, vaid kindlaks teha ka tema massi, mis osutus võrdseks  $9,1 \cdot 10^{-28}$  grammiga. See suurus on erakordselt väike. Kuid siiski ei võrdu elektroni mass nulliga, ja korrutades elektronide arvu kulonis äsjatoodud suurusega, leiame, et kuloni mass on  $5,7 \cdot 10^{-9}$  g. Kuloni ei saa «kaaluda» isegi kõige paremate mikroanalüütiliste kaaludega, mille tundlikkus on võrdne grammi miljondilike osadega.



Huvitav oleks saada kas või mingisugune ettekujutus elektroni suurusest. Elektroni ei tohi primitiivselt lugeda sarnanevaks keraga või mingi muu kujuga kehaga. Kuid siiski on olemas mõningad arvud, mis iseloomustavad elektroni suurust. Neid tuleb ainult õieti mõista. Elektroni mõõtmete all ei mõelda mitte tema piire nagu mingil tahkel kehal, vaid seda ruumala, mille ulatuses ilmnevad tugevasti elektroni omadused ja millele lähenevõib juba lugeda kokkupuurkeks elektroniga. Niisuguse ruumala läbimõõl on umbes  $10^{-8}$  ongstiromi \* ehk  $1,2 \cdot 10^{-13}$  cm. Nagu alati, ei saa seda suurusit ette kujutada ilma kõrvutamata. On olemas hiiglaslik ühtik — valgusaasta. Kaugus Maast Päikeseni on ainult 8,5 valgusminuuti. Niisils, elektroni diameeter on ligikaudu niisama palju kordi väiksem meetrist, kui palju kordi meetri on väiksem valgusaastast.

**ELEKTRONI  
DIAMEETER  
10<sup>-13</sup>**

**1  
MEETER**

**VALGUS-  
AASTA  
10<sup>+16</sup>**

Me loeme elektroni aine osakeseks, üheks väiksemaks elementaarosakeseks. Niisugused elektroni iseloomustavad suurused nagu mass ja mõõtmised kinnitavad tegelikult ettekujutust sellest, et elektron on mingi mikroskoopiline «kehake». Kuid kõige hoolikamad uurimused on näidanud, et mõnedel juhtudel «käitub» elektron selliselt, et teda tuleb lugeda mitte osakeseks, vaid laineks kõigi vastavate omadustega, sealhulgas lainearvu ja -pikkusega. Elektroni lainepikkus sõltub tema kiirusest. Nende kiiruste juures, mille jaoks faktiliselt tuleb tegemist teha, on elektroni lainepikkus umbes samasugune nagu röntgenikiirte, s. o. 0,0005 μ.

Tuleb hoiduda veast, mida sageli tehakse, lugedes, et elektronilained on elektromagnetilised lained. Need ei ole elektromagnetilised, need on teistsugused lained, mille loomus ei ole veel selge. Nad kannavad de Broglie lainete

\* 1 ongstirom (Å) =  $10^{-10}$  cm.



nimetust (prantsuse füüsiku de Broglie' nime järgi). Lainelised omadused ei ole mitte ainult elektronidel, vaid ka kõigil teistel elementaarosakestel ja üldse kõigil liikuvatel kehadel. Ka Teie, lugeja, kui liigute, omandate lainelised omadused, kuid Teie lainepikkus on äärmiselt väike, sest de Broglie' lainete pikkus on seda väiksem, mida suurem on liikuva objekti mass ja mida väiksem tema kiirus.



Kuid elektron võib olla ka elektromagnetiliste võnkumiste allikaks. See toimub näiteks tema pidurdamisel. Elektroni energia on seda suurem, mida kiiremini ta liigub. Kui elektron pidurdub, siis tema energia väheneb. Energia ülejäägi võib elektron ära anda elektromagnetiliste võnkumiste kiirgamisega.

Mõni sõna elektroni vastastikusest mõjust väljadega. Elektronil on mass ja seetõttu mõjutab teda gravitatsiooniväli. Kuid elektron «kaalub» nii vähe, et praktiliselt võib seda mitte arvestada. Elektroni ümber eksisteerib elektriväli. Asudes välises elektriväljas, liigub elektron selle jõu- ja raskusjõu suunas positiivsete ja negatiivsete poolte poole. Liikumisel elektronil ei ole magnetvälja ja alaline magnetväli teda ei mõjuta. Liikuva elektroni ümber tekib magnetväli ja liikuv elektron allub magnetvälja mõjule. See mõju avaldub elektroni liikumissuuna muutumises.

Katsudes luua endale mingit ettekujutust elektronidest ja teistest elementaarosakestest, ei tule unustada seda, et nad asuvad kusagil nende mastaapide piiril, mis on nii või teisi saavutatud meie käsutuses olevate ümbritseva maailma tunnetamise vahenditega. Elementaarosakeste mikromaailm erineb meie jaoks tavalistest mõõtmetest umbes 15 suurusjärgu võrra. Toepoolest, kui elektroni

mõõtmeid suurendada 15 suurusjärgu võrra, saame umbes ühe meetri — meie igapäevase elu kõige tavalisema mõõtühiku. Umbes niisama palju kordi erineb meetrist piir, mille ni oleme tunginud galaktikate ja tähemoõdustiste megamaailma.

Nend piire iseloomustab nähtavasti mitte ainult teatud mastaapide muutumine, vaid ka vastastikuste seoste kvalitatiivne muutumine, teised seaduspärased. Selliste ootamatute vastastikuste seoste näiteks võivad olla kas või



tuumasisesed jõud, mis hoiavad üksteise kõrval ja «tsementeerivad» tugevasti ühesuguse märgiga laenguid kandvaid osakesi, mille vahel peaks olema hülgaslikud tõukejõud. Nähtavasti lakkavad ka tähekozumite megamaailmas tegutsemast mõned «meie» loodusseadused, meie mastaapide seadused.

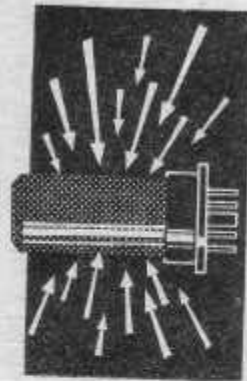
Seepärast ei loe me elektroni primitiivseks «kerakeseks», maailmahoone lihtsaimaks telliseks. Elektroni struktuuri me veel ei tunne, kuid on juba silmanähtav, et see on keeruline. Tänapäeval asub elektron meie poolt maailmastruktuuris väljaseelgitatud radade piiril. Esialgu me ei tea, mis sünnib veel kaugemal materias sügavuses nende radade taga.

Kuid meie teadmised mikromaailmast laienevad ja süvenevad pidevalt ning tunnetatud ja inimese teostatudse rakendatud mastaapide piirid avarduvad lakkamatult.

## MILLEST KOOSNEVAD KÕIK KEHAD

Hülgiaslik aatomite hulk, mis sisaldub iga aine isegi kõige tähtsusetumas ruumalas, sunnib oletama, et elementaarosakesed, millest ained koosnevad, on tihedasti kokku pressitud.

Võib tuua palju näiteid, mis kinnitavad seda mõtet. Meie ees on raadiolamp. Tema klaas- või metallballooniist on õhk hoolikalt välja pumbatud. Väljastpoolt peksavad vastu ballooni raevukalt õhumolekulide loepdamatud parved, püüdes seintest läbi murda. Toatemperatuuril saab ballooni pinna iga ruutsentimeeter lampi ümbritsevatelt õhumolekulidelt  $10^{22}$  lööki sekundis. Kuigi need molekulid liiguvad kiirusega 1500 km tunnis, peavad ballooni õhukesed seinad edukalt vastu sellele ülitormilisele tulistamisele. Õhumolekulid ei suuda neis leida väkseimatki pilu



See sunnib lahtimatult mõtlema, et elementaarosakesed, millest koosneb aine, on hildetud niisama tihedalt kui, ütleme, tellised seinas.

Vaatame, kuidas on lugu tegelikult. Selleks pöördume ühest tagasi nõopnõelapea juurde ja toome kõigepealt ära mõned vajalikud arvud: elektroni läbimõõdu võtame võrdseks  $10^{-8}$  A, aatomi tuuma läbimõõt on keskmiselt  $10^{-11}$  A; aatomi läbimõõt umbes  $1-2$  A. Nõelapea läbi-

14

mõõdu võtame võrdseks 1,3 mm, s. o.  $1,3 \cdot 10^7$  A, aga aatomi arv, nagu öeldud, on seal  $10^{23}$ .

Suurendame nõelapea maakera mõõteteni. Maakera diameeter on ümmarguselt 13 000 km, s. o.  $13 \cdot 10^6$  mm. Tähebtab, nõelapead, mille läbimõõt on 1,3 mm, tuleb suurendada kümme miljardit ( $10^{10}$ ) korda, et ta saaks maakera suuruseks.

Kui suureks muutub siis sellisel suurendamisel aatom? Aatomi läbimõõt on umbes 1 A, s. o.  $10^{-10}$  m. Kümme miljardi kordsel suurendamisel saab tema läbimõõt võrdseks ühe meetriga. Sellise suurendamise tulemusena saame aatomi meetrise mudeli, mille mõõtmeid on kerge ette kujutada — see on kera, mille ümberit võivad kinni haarata kaks inimest.

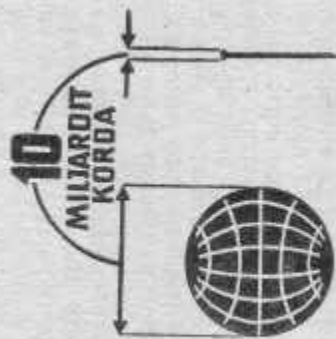
Aga kui suureks saavad sellisel suurendamisel aatomituumad ja elektronid?

Aatomituumade läbimõõt on umbes  $10^{-11}$  A ehk  $10^{-11}$  mm.  $10^{10}$  kordsel suurendamisel saavutab aatomituum läbimõõdu 0,1 mm. Selle fraasi lõpus seisva punkti diameeter on umbes 0,5 mm; lähendab, aatomituumade diameeter oleks viis korda väiksem. See on juuksekarva paksus.

Kas niisuguses aatomi meetrises mudelis võib tuuma näha? Hea küll — valgustuse ja vastava fooni puhul suudavad terava nägemisega inimesed teda eristada. Päikesekiirtes eristame ju pisimaid tolmukübemekeste, mis tavalistes tingimustes on nähtamatud.

Aga missuguseks siis muutub elektroni diameeter? See on veel kümme korda väiksem. Amblikuvõrgu niidi paksus võib anda efektiivtuse elektroni läbimõõdust kümme miljardi kordsel suurendamisel. Sellist elektroni «mudelit» võib näha ainult läbi luubi.

Milleni me siis jõudsime? Meetrise läbimõõduga kera tsentris asub vaevalt märgatav tolmukübemeke. Tema



15

ümber tiirlevad erinevatel kaugustel asuvatel pindadel, just nagu nähtamatutel katetel, 26 elektroni, mida võib eristada ainult luubi all. Aatom on tegelikult tühi. Aine haarab tuuma ja elektroniide näol tema ruumalast ainult 1/1 000 000 000 000 osa. Võrdluseks võib tuua meie päikesesüsteemi. See on küll tegelikult lame, kuid ligikaudu võime teda ette kujutada kerakujulisena läbimõõduga, mis võrdub Päikese kahelordse kaugusega kaugelemaist planeetidest — Pluutost, s. o. kerana, mille läbimõõt on 12 miljardit kilomeetrit. Selles hiiglaslikus ruumalas võtavad Päike, Maa ja kõik teised planeetid koos kaanslaslega enda alla tühise koha, kuid süüki on ainega täidetud ja tühja ruumiosa suhe 200 korda suurem kui aatomis.

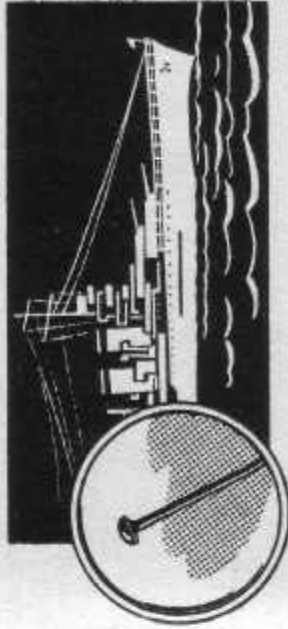
Kuna iga aine struktuuri aluseks on nimelt aatom, siis võib öelda, et kehades on aine laiali paisatud tähtsusetute «portsjonitena», mis asuvad üksteisest suhteliselt väga kaugele, kogu keha tervikuna koosneb aga peamiselt «tühjusest».

Me ei astunud sõna «tühjus» juhuslikult jutumärki-desse. Igapäevases elus loeme tühjaks sellist ruumi, kus ei ole «mitte midagi». Kaasaegse loodusteaduse vaadete kohaselt ei ole sellist «tühja tühjust» olemas. Sõna «tühjus» tähistab füüsikalist keskkonda, milles mõjuvad erinevad väljad — elektrilised, gravitatsioonilised jne, mis võivad ille kanda energiat ja osakestevahelist vastastikust mõju.

Kuid me teeme näo, nagu oleksime selle unustanud, ning loeme osakestevahelise ruumala aatomis tühjuseks, kuna see ei oma massi, millest me tavaliselt räägime, ega osuta osakeste liikumisele mingisugust takistust\*. Kuid aatomite kõrvõimalikud kombinatsioonid — molekulid ja neist moodustunud kehad — on veel «tühjemad», sest aatomid ei puutu neis tihedalt üksteisega kokku. Aatomite konsentratsioon astmelt üksteisega kokku. Aatomite tema mass ja see, mida me igapäevases elus kaaluks nimetame. Kui ainet õnnestuks selliselt kokku suruda, et tema aatomite tuumad puutuksid üksteisega kokku, siis vähe-neksid kõigi kehade mõõtnud lausa uskomatult, kusjuures nende mass samal ajal säiliks. Kuupmeetri sellisel määral kokkusurutud ainet muutuks nähtamatuks tolmukübemeks ruumalaga kuupmilleetri miljonidkütu osad.

\* See pole päris täpne. «Tühjuses» olemasolevad väljad võivad tugevasti mõjutada osakeste liikumist, nagu selgub ka allpool. — 75/k.

Jätkaes võrdlemist nõopnõelapeaga, võib välja arvutada, et kui kogu materjal, millest on ehitatud hiiglaslik kaasaegne linilaev veeväljasurvega 45 000 t, kokku suruda aatomite tuumade kokkupuutumiseni, siis võtaks tema aine enda alla ligikaudu nõelapea ruumala, kusjuures mass jääks endiseks. Meie maakeral kaaluks niisugune nõelapea 45 000 t.



Võib-olla on see kõik «puhas fantaasia»? Looduses ei või seda esineda? Ei, looduses on olemas ülirasked ained, mis koosnevad kokkupuutunud aatomitest. On olemas ter- ved tähed, mis koosnevad sellisest aimest. Neid nimelatakse valgeteks kärbusteks. Üheks selliseks on näiteks Siirius kaastlane — Siirius B. Mootmetelt sarnaneb ta meie Maaga, kuid mass võrdub Päikese massiga. Üks kuup- timeeter Siirius B ainet kaaluks Maal 100 kg. Üks kuup- meetri seda ainet oleks massilt võrdne aatomifüüsikuga «Lenin».

Kuid see ei ole hoopiski piir. On olemas väike täheke Ross 267. Selle keskmine tihedus on 10 t kuupsentimeetri kohta — mitte 100 kg nagu Siirius B-1, vaid 10 000 kg. Ent kui aine kujutab endast tegelikult tühjust, miks on ta siis läbitungimatu? Miks ei suuda elektronlambi ballooni väljastpoolt pommitavad õhumolekulid tema sise- mused tungida?

Kõige õhemgi ainekiht koosneb nü suurest arvust aatomitest, et «kõrvalised» molekulid ei saa temast läbi lennata, kokku pörkamata paljude aatomitega ning kulu- tamata nende pörgete tagajärjel kogu on energia. Saja



aatomi paksune metallkile on gaasi jaoks juba läbitungimatu, aga lambi metallballooni sein paksus on umbes 0,5 mm, mis vastab ligikaudu  $5 \cdot 10^{10}$  aatomile. Asi on selles, et aatomiga «põrkamiseks» ei ole üldse vaja «põrutada» vastu tema tuuma. Aatomi poolt hoivatud ruumalas mõjuvad erakordselt võimsad jõud, sellepärast kujutab elementaarosakeste lähenemine üksteisele aatomi mõõtmega lähedasele kaugusele tegelikult juba põrget.

Sedamööda, kuidas väheneb kaugus ühenimelisi laenguid omavate tuumade vahel, suurenevad nendevahelised tõukejõud. Veel enne osakeste täielikku lähenemist kasvavad tõukejõud sedavõrd, et lähenev osake paiskub tagasi või kaldub esialgsest liikumissuunast kõrvale.

## ÜKS GRAMM ELEKTRONE

Elektronidega seotud arvud on korä fantastiliselt väikesed, korä uskumatult suured. Nad on niivõrd erinevad kõikidest mastaapidest, millega oleme harjunud, et me neid ei tunnetä.

Mida ütleb meile näiteks elektroni mass  $-9 \cdot 10^{-31}$  g? Me ei täba selle arvu kogu mõõtmatu väiksust. Et kergendada arusaamist, katsume arvutada, kui palju on vaja võtta elektrone, et nende kogumass oleks 1 g. Seda on lihtne teha. Selleks on vaja võtta

$$\frac{1}{9 \cdot 10^{-31}} \approx 10^{27} \text{ elektroni.}$$

Võrdleme toda hiiglaslikku arvu teisega, mis on samuti erakordselt suur. Me teame, et üheampriise voolu puhul läbib juhtme ristlõiget sekundis 1 C elektrit ehk  $6,3 \cdot 10^{18}$  elektroni.

Kui palju on esimene arv ( $10^{27}$ ) suurem teisest ( $6,3 \cdot 10^{18}$ )? Kui kauaks piisab ühest grammist elektroni-

dest selleks, et hoida ahelas näiteks 0,5 ampri tugevust voolu, mis on vajalik lampidega patareivastuvõtja tööks? Kujutame ette, et meil õnnestus hankida pudelike ühe grammi elektronidega ning et kujuteldav pump pumpab sellest elektrone ja surub neid raadiovastuvõtjasse. Kui kaua suudab meie imepudelike raadioaparaati toita?



Leiame kõigepealt, mitu sekundit suudab 1 g elektrone hoida üheampriitist voolu. Selleks jagame elektronide arvu grammis elektronide arvuga kuloniis:

$$\frac{10^{27}}{6,3 \cdot 10^{18}} = 1,6 \cdot 10^8 \text{ sek.} = 44\,000 \text{ t} = 1800 \text{ ööpäeva.}$$

Raadioaparaat tarvilab 0,5 A, järelikult võib 1 g elektrone toita teda

$$1800 \cdot 2 = 3600 \text{ ööpäeva} \approx 10 \text{ aasta jooksul.}$$

Üks gramm elektrone kindlustab raadioaparaadi pideva töö kümne aasta jooksul! Selline on meie arvutuse ootamatu tulemus.

Kuid keegi ei kasuta ju raadioaparaati pidevalt. Tavaliiselt lülitatakse ta sisse nii neljaks tunniks päevas. Sellise tööreežiimi juures jätkub 1 g elektronidega imepudeli-kesse toitevarusid 60 aastaks. Võib täie õigusega öelda, et nii õnnestunud ost kindlustab raadioaparaadi toite kogu eluks. Kui aparaat töötab mitte lampidel, vaid transistoridel, siis toidaks meie pudelike toda mitme põlvkonna jooksul.



Täieliku pildi saamiseks leeme veel ühe arvutuse: kui kaua võib 1 g elektrone toita trollibussi? Trollibussit tarvitab voolu umbes 130 A. Üks gramm elektrone kindlustab trollibussi päeva liikumise

$$\frac{1800}{130} = 14 \text{ ööpäeva jooksul.}$$

See arv on samuti ootamatult suur, eriti vastavusse seadmisel trollibussi poolt läbitava tee pikkusega. Sõites 40 km tunnis, kataks trollibuss 14 ööpäeva jooksul umbes 13 500 km pikkuse vahemaa, s. o. sõidaks läbi kogu meie hiiglasliku maa läänest itta. Kuks nädalat kihutaks trolli-



buss peatumata läbi metsade, põldude, mägede, taiga-  
möödues linnadest, telastest, küladest. Kakskümmend  
kuheksa korda vahetuks päev ööga ja öö uuesti päevaga,  
kuni trollibuss jõuaks lõpuks Vaikse ookeani kallastele. Ja  
kogu selle aja jooksul, kogu selle hiiglasliku teekonna  
vältel läbiks tema mootorit ainult üks gramm elektrone.  
Muuseas, paljused võib huvitada küsimus: kui suure aine  
hulgas sisaldub 1 g elektrone? Võib välja arvutada, et  
ühe grammi elektrone sisaldab näiteks 4 kg raskune raua-  
tükk.

## ELEKTRONIDE LIIKUMISE KIIRUS

Sähvatas-välk, mõne sekundi pärast kuulidus kõremü-  
rinat. Meid ei imesta see, et võtame need nähtused vastu  
erinevatel aegadel. Me teame, et heli ei levi väga kiiresti  
ja et isegi väikeste vahemaade läbimiseks läheb tal aega,  
mida meie meeleorganid selgelt eristavad.

Kütt tulistab lendavat parti. Ta ei sihi pardisse, vaid  
ruumi selle ees. Ka see ei imesta meid. Haavel lendab pii-  
ratud kütusega ja kui siihik oli õige, siis selle aja jooksul,  
mis haavilil kulub vajalikku ruumiosa jõudmiseks, lendab  
ka part sinna ning ta tulistatakse alla.

Selliseid näiteid võib tuua palju. Kõikvõimalikel tege-  
vusaladel tuleb meil arvestada asjaolu, et ükski protsess  
ei kulge silmapilkselt, vaid et selleks kulub mingi aeg,  
mida on tarvis arvesse võtta.

Ja ainult siis, kui on tegemist valguse ja elektriga,  
loeme end sellest vajadusest vabaks. Me oleme veendunud,  
et maksab ainult pöörata lülitit või vajutada nupule, kui  
elektrivool hakkab silmapilkselt juhtmeid mööda tormama  
ning paneb tööle lambi, mootori või mingi muu seadeldise.  
Kusjuures juhtmete pikkus ei mängi antud juhul mingit  
rolli.

Kas on see nii?

Kogu austuse ja armastuse juures elektri vastu tuleb tunnustada, et nii see ei ole. Elektrivool ei levi silmapilkselt ning praktiliselt ei saa teda selles suhtes võrdustada valgusega. Peale selle on vaja tuua seigust «elektrivoolu» nimetusse endasse.

Oma füüsikaliselt olemuselt osutub elektrivool liikuva teks elektrilaenguteks — enamikul juhtudel elektronideks. Liikuv elektron ongi elektrivool. Kuid elektron ei hakka liikuma iseenesest, niisama heast peast. Selleks peab elektronile mõju avaldama teatud põhjus. Põhjused võivad olla mitmesugused, sealhulgas mehhaanilised — mingi osakese löök. Meid kõige enam huvitavatel juhtudel hakkab elektron liikuma elektri- või magnetvälja mõjul. Kuid voolukandjate-elektronide liikumine on väga aeglane.

Mis toimub juhtime «sees»? Elektrivoolu moodustamisest võtavad osa vabad elektronid, mida juhtides leidub tohutul hulgal (vabade elektronide arv on ligikaudu võrdne aatomite arvuga). Kui ka juhis voolu ei ole, ometi ei jää need elektronid paigale. Nad on pidevas kaootilises soojusliikumises. Ent ei tule arvata, et elektronid liiguvad metallis kergelt ja vabalt. Nende liikumine on raskesti etendatav. Elektronid põrkavad lakkamatult kokku nii üksteisega kui ka aatomitega ning muudavad selle tulemusena oma suunda, vähendavad või suurendavad kiirust ning paiskuvad tihti vastassuunas tagasi.

Faktiliselt moodustab elektronide soojusliikumise kiirus juhtmetes kõigest mõnikümmeend tuhat kilomeetrit sekundis. Elektronide soojusliikumine ei oma peaaegu mingisugust elektrilist toimet, kuigi elektronide igasugune liikumine kujutab endast elektrivoolu. See seletab soojusliikumise kaootilise iseloomuga: mingis suunas mingi kiirusega liikuvate elektronide kindlale hulgale vastab alati samasugune hulk samasuguse kiirusega vastassuunas liikuvaid elektrone. Seepärast ei avalda nad elektrilist toimet, kuna nende poolt loodud väljad on vastupidised ja kustutavad üksteist.

Kui elektronidele mõjub kõrvaline elektriväli, siis tekib peale sellise kaootilise liikumise veel elektronide korraldatud liikumine ühele poole, mille määrab välja märk. See ei tähenda, et välja olemasolu korral liiguvad kõik vabad elektronid ühes suunas. Kiirus, mille elektronid välja mõjul omandavad, on võrdlemisi väike, kuid ta liitub soo-

justliikumise kiirusega. See tähendab, et välja mõjumise suunas liikuvad elektronid suurendavad oma kiirust, elektronide liikumine vastassuunas aga aeglustub. Need, mille kiirus oli väike, väiksem kiirusest, mille annab väli, muudavad liikumissuunda ja hakkavad liikuma välja mõjumise suunas. Kokkuvõttes läbib välja mõjumise suunas juhi ristlõiget sekundis rohkem elektrone kui vastassuunas. Mida tugevam on elektriväli — mida suurem on ahelas mõjuv pinge, seda suurem on vahe erinevas suunas liikuvate elektronide hulgas — seda tugevam on elektrivool, mille suuruse määrab elektronide arv, mis läbib ajatühikus juhi ristlõiget.

Milline on siis elektronide liikumise kiirus, mille kutsub esile elektriväli?

Kahe pörke vahelajal võib välja mõjul toimuva elektronide liikumise kiirus juhtmetes ulatuda mõne kilomeetriti sekundis. Kuid arvuatud pörked viivad selleni, et elektronide faktiline nihkumine välja mõjumise suunas toimub väga väikese kiirusega. Nihkumise määrab lõppude lõpuks väljatugevus, ning väljatugevusel 1 volt ühe sentimeetri pikkuse juhtmelõigu kohta on see umbes 10 cm/s.

Kuid selline väljatugevus on väga suur ja esineb harva. Et luua misugune väli 1 km pikkuses juhtmes, on talle vaja anda pinge 100 000 V. Tegelikult esinevad väljatugevused on tunduvalt väiksemad ning elektronide liikumise kiirus välja mõjumise suunas mõõdub millimeetritega või isegi millimeetri osadega sekundis. Näiteks on elektronide liikumise kiirus valgustusvõrgus 1—3 mm/s. Tunni aja jooksul liiguvad elektronid kõigest 10 meetrit edasi. Kui elektrivoolu levimise kiiruse juhtmetes määraks elektronide kiirus, siis oleks elektriline side moeldamatu. Moskvasi Vladivostokki saadetud telegramm jõuaks pärale 100 aasta pärast. Selle saaksid kätte adressaadi lapselapselapsed. Aga elektrilamp — lihtne pirn lühtris — tuleks sisse lülitada pool tundi enne seda, kui meil on vaja valgust, sest varem ei jõuaks elektronid temani. (Nendes näidetes eeldame, et meil on tegemist alalisvooluga, mis tekitatakse elektronide liikumisega ühes suunas. Vahelduvvoolu korral võnguvad elektronid samasuguse väikese kiirusega keskmise asendi ümber ega nihku üldse suuremate vahemaade faha.)

Elektronide liikumise kiirus vaakuumis on suurem kui juhtmetes. See seletub asjaoluga, et siin põrkavad elektro-



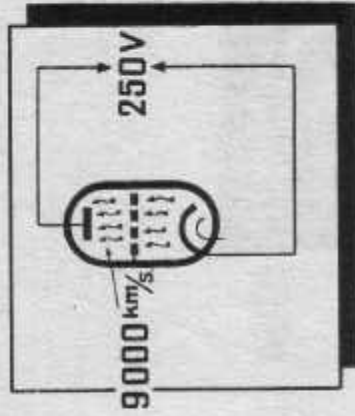
nid vaid suhteliselt väheste hõrendatud gaaside molekuli-  
dega, mis on pärast pumpamist alles jäänud. Me peame  
siis silmas sellist vaakuumi astet, mis esineb faktiliselt  
elektronlampides. Seepärast määratakse elektronide liik-  
mise kiirus sel juhul ainult välja kirendava mõjuga ning



ta. Gletab tunduvalt soojuslikud kiirused. 250-voldise  
anoodpinge korral lendavad elektronid elektronlampides  
läbi katoodi ja anoodi vahelise ruumi kiirusega umbes  
9000 km/s. Veel tunduvalt kiiremini kihutavad elektronid  
televiisoritorudes, kus neid kannustab mitme tuhande vol-  
dine pinge.

Elektronide soojusliku liikumise suund juhitmeles on  
kaoofiline. Igal antud ajamomendil on teatud hulgal elekt-  
ronidel suund, et nad peaksid saftuma juhi piiridest välja.  
Kuid juhi pinnakihi läbida on elektronidel väga raske,  
kuna see tõukab neid juhi sisse. Selleks et välja tungida,  
peavad elektronid omandama suure kiiruse. Näiteks sel-  
leks, et lennata välja volframist — metallist, millest  
tehakse raadiolampide hõõgniite, peavad elektronid saa-  
vutama kiiruse 1270 km/s.

Sellise kiiruse võivad elektronid omandada ainult juhi



lugeva kuumutamise tagajärjel. Kui vajalik kiirus on saa-  
vutatud, hakkavad elektronid lendama juhist välisruumi —  
algab elektronide emissioon. Volframjuhti tuleb normaalse  
elektronemissiooni saamiseks kuumutada umbes 2500° C-ni.

Seega kõigub elektronide kiirus valgustusvõrgus ja  
tavalistes elektronaparatuuris, näiteks raadioaparatuuris,  
ligikaudsetes piirides millimeetri osadest kuni mõne  
tuhande kilomeetri sekundis. Seejuures esinevad suured  
kiirused ainult hõõguvates juhtides ja elektronlampides,  
teistel juhtudel on liikumiskiirus millimeetreid sekundis.

Aga kuidas on lugu elektrivoolu «silmapiilkse» levimi-  
sega? See ei ole ju fiktsioon! Elektripirn laes süttib prak-  
tiliselt üheaegselt tüliti pööramisega.

Nimelt sellepärast oli monevõrra cespool öeldud, et  
«elektrivoolu» mõistesse endasse tuleb tuua selgus. Füüsi-  
kaliselt on elektrivool enamikul juhtudel väga aeglaselt  
liikuvate elektronide voog. Kuid püüame tähelepanelikult  
jälgida voolu mehhanismi.

Meil on pikk juhe, mille üks ots on ühendatud akumu-  
laatori (või mõne muu vooluallika) poolusega, teine aga  
jäáb vabaks. Akumulaatori elektromotoorne jõud teostab  
selles lahthes ahelas mõnesuguse elektronide ümberpaigu-  
tamise. Kui juhe on näiteks ühendatud akumulaatori posi-  
tiivse poolusega, siis tekib tema vabas otsas elektronide  
puudujääk, mis vastab positiivsele laengule, akumulaatori  
vabal klemmil aga luuakse elektronide ülejääk (negatiivne  
laeng). Kui nüüd juhtme vaba ots ühendada akumulaatori

teise klemmiga, siis püüavad elektronid klemmist juhtmesse minna, et täita seal elektronide pundujääki. Elektronide liikumine, nagu teame, toimub iseenesest aeglaselt, ent niipea kui esimesed elektronid hakkavad liikuma, sunnib nende väli liikuma elektrone, mis asuvad eespool. Nende elektronide väli ergutab omakorda liikuma järgmisi elektrone jne. Tulenusest on tekkinud elektronide liikumise sündiv väli suure kiirusega mõõda juhet. Ja see kiirus — välja levimise kiirus — on tõe poolest suur, niivõrd suur, et praktiliselt ei ole vale lugeda teda «hetkeliseks». Kui me pöörame lambi lüliti, siis kandub väli miinusaajutalise kiirusega piki juhet edasi ja sunnib liikuma elektrone lambi nõõgniidis, mille tagajärjel toimub selle kuume-nemine.



Kuid siiski oleks ebaõige väita, et elektrivool (sellise tõlgenduse juures) levib valguse kiirusega. Kui lühistalv ahel on väga lühike ja sirgjooneline, siis ei erine voolu levimise kiirus tõe poolest oluliselt valguse kiirusest (300 000 km/s.). Pikkades juhtmetes on voolu kiirus aga valguse kiirusest väiksem, kusjuures vahe sõltub juhtme liigist (vooluliini liigist). Sellega tuleb praktiliselt arvestada. Näiteks on olemas aparaadid juhtmeliinide vigastuste kindlakstegemiseks. Need töötavad raadiolokaatori põhimõttel: liini saadetakse vooluimpulss, mis peegeldub vigastuse kohalt ja pöördub tagasi lähtepunkti, kus ta kinni püütakse. Impulsi väljasaatmise ja tagasi jõudmise

vahelise aja järgi määratakse kaugus vigastatud kohani. Sellisel juhul on vaja täpselt teada voolu levimise kiirust antud liinis, muudu ei ole saadud kaugus õige.

Mootimised ongi näidanud, et õhuliinides kõigub voolu levimise kiirus 270 000 ja 290 000 km/s. vahel, maa-alustes kaablites 194 000 ja 290 000 km/s. vahel, aga kõrgsageduslikes jõukaabrites on ta kõigest 160 000 km/s. — peaaegu kaks korda väiksem valguse kiirusest.

Seega on erinevaid «voolu kiirusi» väga palju. Olenenvalt sellest, millisest seisukohast teda vaadelda, võib ta võrduda nii millimeetri murdosaga kui ka sadade tuhandete kilomeetritega sekundis, kuid ta ei ole kunagi võrdne valguse kiirusega (tühjuses).

## NELI ELEKTRIVOOLU LIIKI

Mis on siis elektrivool?

Meie päevit on füüsika-alased teadmised väga laialt levinud ning enamik vastab sellele küsimusele kahe sõnaga: «Elektronide voo».

Kuid selline vastus peegeldab ebatäpselt füüsikaliste nähtuste olemust.

Määratlus «elektronide voo» kuulub sellesse ajajärku, kui inimestel tuli kokku puutada peamiselt juhtmetes voolu näol esinevate elektrinähtustega. Sellisel juhul kujutab elektrivool endast tõe poolest elektronide korrastatud edasiliikumist, selle liikumise iseloomu aga võib võrrelda vooaga. Elektrienergia kandjateks on siin vabad elektronid, mis liiguvad massiliselt ühes suunas, ning nende liikumist võib õigusega nimetada vooks.

Kuid selline määratlus ei vasta kaugeitki alati tegeffektsusele.

Väga levinud elektrienergia kandjateks on ioonid. Normaalses olekus on ioonid elektriliselt neutraalsed: tuuma positiivne laeng tasakaalustatakse täielikult negatiivsete elektron-

katete elektronide laenguga. Kuid aatomid võivad kaotada elektrone või haarata liigseid, «ülenormilisi» elektrone. Mõlemal juhul muutub aatom iooniks.

Puuduva elektroniga aatomil on positiivne, liigse elektroniga aatomil aga negatiivne laeng. Ioonide liikumine kujutab endast samuti elektrivoolu. Väliste ilmingute järgi ei saa kindlaks teha, missugused elektrilaengute kandjad antud juhul liiguvad — elektronid või ioonid.

Kuid ioonid on kohmakamad kui elektronid; kujutab ju ioon endast tervet elementaarosakese süsteemi. Seetõttu ei saa ioonid kaugeltki kõigis juhtides vabalt liikuda. Kerget liikuvate osakestega vedelates juhtides võivad ioonid edasi rihkuda, ning vedelikes moodustub elektrivool mitte ainult elektronidest, vaid ka ioonidest. Akumulaatorite ja galvaanieleментide elektrolüüdis voolavad ioonised ja elektroonsed voolud; positiivsed ioonid liiguvad ühes ja elektronid vastupidises suunas.

Elektrolüüdis ioonid liiguvad. Kuid «siseneda» tahkete elektrodidesse, mille abil vool elemendist või akumulaatorist välja juhitakse, ioonid ei suuda. Seetõttu toimub vedeliku ja elektrodide vahelisel piiril ioonise voolu oomoodi muundumine elektroonses ja vastupidi. Positiivsed ioonid, tõmbudes negatiivse elektroodi poole, millele on kogunenud liigseid elektrone, omandavad seal puuduvad elektronid ning muutuvad neutraalseteks aatomiteks. On selge, miks see toimub. Elektronide endi kiirus tahkes elektrodis ja elektrivälis, mis mõjub elektrolüüdis, ei ole küllaldased selleks, et elektronid võiksid pinnakihi takistust ületada ning välja tungida. Ent kui elektrodile tuleb tihedalt juurde positiivne ioon, siis tekib sedavõrd tugev väli, et elektron rebib end elektrodist lahti.

Elektronidest väesustunud positiivse elektroodi juurde tõmbuvad nii vabad elektronid kui ka negatiivsed ioonid, mis annavad oma liigsed elektronid ära ning muutuvad samuti neutraalseteks aatomiteks.

Sellele tuleb lisada, et ioonideks, mis moodustavad voolu vedelikes, võivad olla niihästi liigsete või puuduvate elektronidega aatomid kui ka vastaval viisil ioniseeritud molekulid, s. o. aatomite ühendused.

Ioonne vool tekib ka gaasides — neonlampides, gasotronides jne. Elektronlampide põhivool on elektroonne, kuid siin võivad paralleelselt eksisteerida ka ioonised voolud, sest lambi kolbi jäänud gaasi aatomid ja molekulid

võivad ioniseeruda kokkupõrgetel suure kiirusega lendavate elektronidega. Näiteks põhineb elektronkiirtorude töö peene elektronidekimbu (elektronkiire) kasutamisel, kuid kõrvuti sellega tekivad torudes ka ioonid. Nende ioonidega (hapniku negatiivsete ioonidega) pommitamise tõttu ilmuvad televiisorite ekraanidel kurva kuulsuse võitnud «ioonlaigud». Käesoleval ajal ehitatakse lakude välimiseks elektronkiirtorudesse erilised ioonlõksud.

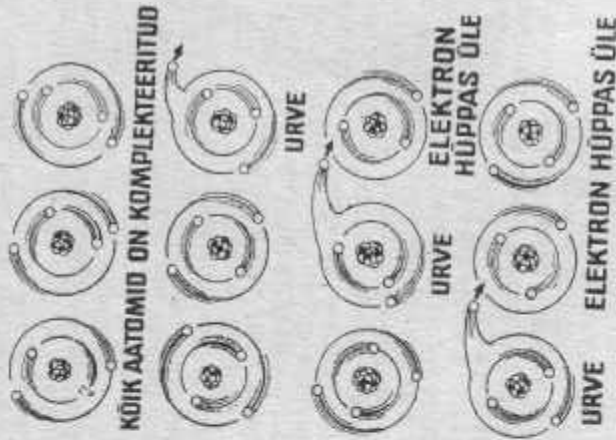
Suure omapäraga paistab silma elektrivoolu füüsikaline loomus pooljuhtides. See on väga keeruline ja muudab oma iseloomu seoses paljude põhjustega — pooljuhi materjaliga, temperatuuriga, lisandite olemasoluga.

Puhas pooljuht sarnaneb tugeva jahutuse korral isoläätoriga. Kõik tema elektronid püsivad kindlalt oma aatomites. Seetõttu ei suuda väline elektrivälil esile kutsuda laengute liikumist — pole laenguid, mis võiksid liikuda. Tulemusena ei teki elektrivoolu. See on isolaaator, temale on rakendatud pinge, kuid voolu ei teki. Ent pooljuhtide aatomites ei püsi elektronid siiski nii kindlalt kui isolaaatorites. Kuumutamisel, kiiritamisel valguse või nähtamatute kiirtega saavad elektronid täendavalt energiat, millest piisab selleks, et end aatomist lahti rebida ja saada võimalust edasi liikuda. Tulemusena ilmuvad pooljuhtides vabad laengud, mis tekitavad juhtivuse. Sellest järgneb muuseas üks pooljuhtide iseloom — kuumutamisel nende juhtivus suureneb, samal ajal kui juhtides see väheneb — aatomite võnkumise suurenev ulatus takistab elektronide liikumist. Muidugi, ka pooljuhtides takistab aatomite võnkumise tugev nennine kuumutamisel elektronide liikumist, kuid selle teeb tasa vabade elektronide arvu suurenemine, samal ajal kui juhtides vabade elektronide arv kuumutamisel praktiliselt ei kasva.

Kuumutamise või kiiritamise tagajärjel pooljuhis tekitavad vabad elektronid põhjustavad tavalise elektronjuhtivuse. Kuid on olemas suur rühm pooljuhte, mida iseloomustab mõnevõrra teistsugune juhtivus. Sellistes pooljuhtides rebitakse kuumutamise või kiiritamise tulemusena elektronid samuti aatomitest lahti. Aatom, kaotanud elektroni, muutub positiivseks iooniks. Selline positiivne ioon tõmbab elektrivälja mõjul enda juurde puuduva elektroni «normaalset» naaberaatomilt, muutes viimase positiivseks iooniks. See ioon omandab puuduva elektroni omakorda järgmiselt aatomilt jne. Seejuures jäävad kõik



atomid oma kohtadele, kuid positiivne ioon nagu liiguks rakendatud pinge mõjul negatiivse pooluse poole. Saame midagi sarnast seia tüüpi ilufuustikuga, mida nimetatakse «jooksvaks tuleks». Et lüüa liikuva tule illusiooni, ei ole tingimata vaja liigutada lampi. Võib üles seada lampide ahela ning süüdata neid järgemööda.

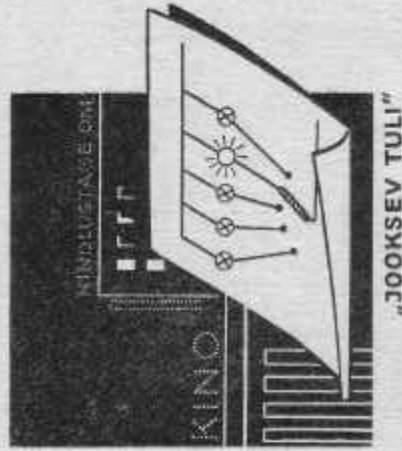


Füüsikud nimetavad liikumatul positiivset iooni, s. o. puuduva elektroniga aatomit, «auguks» ehk urveks, voolu aga, mis tekib urve näiva liikumise tagajärjel — urvevooluks. Viimane erineb ioonset voolust selle poolest, et ioonise voolu puhul ioonid topipoolest liiguvad.

Sõltuvalt pooljuhi liigist räägitakse, et tal on elektron- või urvejuhtivus. Mõnede pooljuhtide juures võib vastava tüüpi ioonise voolu tekkimist plasmas — elektronide ja täielikult või peaaegu täielikult elektronidest «puhastatud» aatomite

niim. Tema töölemine seisab peamiselt vajalikul hulgal erinevate lisandite juurdeandmisel. Lisandiatomid, milles on üks elektron rohkem kui pooljuhi aatomis, tekitavad elektronjuhtivuse. Kui lisandiatomites on üks elektron vähem kui pooljuhis, siis soodustab see urvejuhtivuse tekkimist.

Tavaline elektronjuhtivus metallides, ioonne ja elektron-ioonne segajuhtivus vedelikes ja gaasides, elektron- ja urvejuhtivus pooljuhtides kujutavad endast nelja kõige tavalisemat juhtivuse liiki, mida laialdaselt kasutatakse tehnikas. Nagu näeme, ei teki elektrivool mitte alati elektronide liikumisest ja mitte alati ei sobi see liikumine



kokku mõistega «vool». Urvejuhtivust võib sarnastada ennemini mingi teatejooksuga, mitte kuidagi aga vooluga.

Kuid ka vaadeldud neli liiki ei ammenda elektrivoolude kogu mitmekesisust. Füüsikud näiteks saavad võimsaid prootonite ja heeliumi tuumade vooge, mis omavad positiivset laengut ja mille liikumine kujutab endast seetüüpi elektrivoolu. Mõningaid füüsikalisi katseid saadab positiivsete elektronide ilmumine, mille liikumine on samuti elektrivool. On välja kujunenud võimalused kasutada voolu tekkimist plasmas — elektronide ja täielikult või peaaegu täielikult elektronidest «puhastatud» aatomite

mituumade segus, tulevaste magnetühendruunaamilliste generaatorite plasmas tekib elektrivool nii elektronide kui ka positiivsetelt laetud aatomituumade liikumisel.

Niisjuures, meie päevil tuleks küsimusele «mis on elektrivool?» vastata: see on elektrilaengute korrastatud liikumine.

## MILLISE SUUNAS VOOLAB ELEKTER

Kas saab vastata sellele küsimusele?

Kaugelel aegadel, kui füüsikud uurisid suhteliselt väga kitsast neile tuntud elektrinähtuste ringi, toodi sisse positiivse ja negatiivse elektrimõisted. Plussmärk omistati «klaasielektrile» — elektrilaengule, mis tekib klaasil selle hõõrumisel siidiga. Negatiivseks hakati lugema «eboniidi-elektri» — laengut, mis tekib villaga hõõrutud eboniidil. Edaspidi lepitati kokku lugeda, et elekter voolab plussilt miinuslele.

Selline terminoloogia osutus mugavaks ning on säilinud meie päevini. Selle alusel on formuleeritud kõik elektrirõpetuse põhiseadused, reeglid ja sõltuvused.

Kuid sellise terminoloogia mittevastavus elektrinähtuste füüsikalisele olemusele sai selgeks juba mõõdunud sajandi lõpul, millal avastati elektronid. See avastus näitas, et elektrivoolul on «teraline» struktuur ja ta kujutab endast pisimate negatiivsete laengute — elektronide voogu. Elektronid liiguvad miinuselt plussile, s. o. vastupidises suunas sellega, mis oli kehtestatud elektrotehnika koolikoolis.

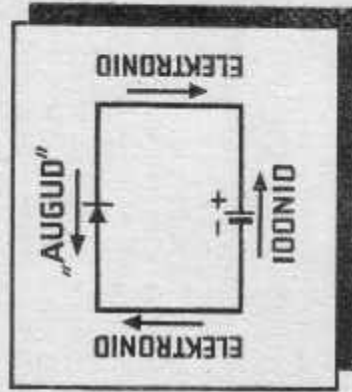
Tekkis kahesus ja segadus. Paljudel juhtudel, kui jutt oli voolu suunast, tuli spetsiaalselt ära märkida, kuidas mõista suunda — voolu või elektronide järgi. Eriti vabalt annab see terminoloogia kahesus end tunda raadioelektronikas, kus skeemide ja aparatuuride töö selgitamine

seks on sageli vajalik arvestada just nimelt elektronide liikumise suunda. Missuguses suunas näiteks «juhhib» elektrilamp? Kui lugeda «voolu järgi», siis juhhib lamp anoodilt katoodile, kui aga «elektronide järgi», siis katoodilt anoodile.

Mõnikord avaldatakse mõtet vajadusest kõrvaldada terminoloogia kahesus ja kehtestada ühtsus ettekujutus voolu suunast.

Kas selline ühtsusamine on teostatav?

Seda ei ole nii kerge teha, nagu näib. Muidugi, kogu ilmuvast kirjandusest võib kõrvaldada voolu plussilt miinusle voolamise vana tõlgenduse ja sisse viia... Kuid mis siis sisse viia? Elektronide liikumise suund? Seda oleks lihtne ja õige teha sel juhul, kui elektrivoolu tekitaksid ainult elektronid või üldse ainult negatiivsed laengud. Kuid on teada, et eksisteerib kahemärkist voolukandjaid, ja ühe



ja sama välja toimel liiguvad nad üksteisele vastu. Galvaanilemendi välisahelas liiguvad elektronid ühes suunas, kuid elemendi sees liiguvad positiivsed ioonid vastupidises suunas. Urvejuhtivusega pooljuhi sees liiguvad augud ühes suunas, juhtmetes liiguvad elektronid neile vastu, ja vooluallikas liiguvad positiivsed ioonid jällegi vastupidises suunas. Tulenusena liiguvad voolukandjad suletud ahela kahes lõigus ühes, aga kahes teises lõigus — vastupidises suunas.

Missugune nähtus ka võtta voolu suuna määramisel aluseks — näiteks voolu poolit tekitatud magnetvälja — ikkagi astub areenile kahesus, niipea kui asi läheb voolukandjateni. Ja muuseas saab selgeks, et õpikutes toodud kruvireeglid või vasaku käe reeglid on õiged ainult teatud voolukandjate suhtes.

### KUI 1 EI VÖRDU $10 \times 0,1$

Näib, nagu oleks asi selge. Need suurused on võrdsed. Kuid see ei ole alati õige. Kas näiteks  $1 \text{ mm}^3$  ristloikega juhtmel ja kümnel paralleelselt ühendatud  $0,1 \text{ mm}^2$  ristloikega juhtmel on ühesugune takistus? Raadiotehnika ei ole. Tänu sellele, et kõrgsagedusvoolud ei voola kogu juhtme paksuse ulatuses, vaid ainult mööda selle pinda, osutuvad kümne juhet kasulikumaks, kuna nende üldpindala on umbes kolm korda suurem kui ühe samasuguse ristloikega juhtme pindala.

Sellel kõrgsagedusvoolude voolamise isearasusel põhineb erilise mitmekülgise juhtme — lütsendraadi kasutamine. See kõrgsagedusjuhtme koosneb suurest arvust (kuni 20) üksikatest peentest kiududest diameetriga  $0,07 - 0,2 \text{ mm}$ , mis on omavahel läbi punutud ja suletud ühisesse siidmähisesse. Kõik kiud peavad olema üksteisest isoleeritud kogu pikkuse ulatuses ning ühendatud ainult otses. Kui nad ei ole isoleeritud, kaovad kõik juhtme parameetrid, kuna voolud ei lähe siis mitte kümnet eri teed mööda, vaid ühist teed pidi nagu ühekülgises juhtmeski.

Selleks et parimal viisil kasutada juhtmete materjali — vaske —, on vaja rakendada võimalikult õhemaid kiude, siis läbib vool neis suuremat osa kogu metallist.

### MIS ON NEGATIIVNE TAKISTUS

Sõna «takistus» all mõeldakse elektrotehnika ja raadiotehnika takistust, mida osutab elektrilaengu te liikumisele keskkond, kus see liikumine toimub.

On aineid, milles laengu liikumine on peaaegu võimalu, selliseid nimetatakse isolaatorteks. Reas ainetes on laengu liikumine tunduvalt raskendatud, niisuguseid materjale hakati nimetama pooljuhtideks. Tunduv hulk aineid kuulub juhtide kategooriasse. Neid isoleerimustab asjaolu, et liikuvad laengud kohtuvad seal minimaalset takistust. Kuid ka kõige paremad juhid, sellised, nagu hõbe või vase, osutavad laengute liikumisele ikkagi teatud takistust, mille ületamiseks tuleb kulutada energiat.

Kas võib esineda juhte, mille laengute liikumine toimub ilma takistuseta?

Me teame kaht sellist juhtu.

Esimene neist — laengute liikumine ruumis, mida me tingimisi nimetame tühjuskes (vt. lk. 16). Kui sellisesse ruumi, näiteks ballooni, milles gaas on välja pumbatud ja milles ei ole elektrit, ega magnetvälja, juhtida laeng (kas või termoeemissiooni abil) ning anda sellele mingi kiirus, siis hakkab ta liikuma selle kiirusega, raskamata varutud energiat.

Teist takistuse puudumise juhtu lähedatakse mõnedes metallides üljuhivas seisundis. On kindlaks tehtud, et mitmed metallid, nende sulamid ja mõningad keemilised ühendid kaotavad tugevalt jahutamisel takistuse elektrivoolule, muutuvad üljuhitideks. Nende hulka kuuluvad näiteks alumiinium, plii, tsink, uraan, elavhõbe. Temperatuurid, mille juures lähedatakse üleminekut üljuhivas seisundisse, kõiguvad piirides umbes ühest kuni kümne kraadini temperatuuri absoluutse skaala järgi (absoluutse skaala null vastab temperatuurile  $-273,16^\circ \text{C}$ ).

Üljuhitusega seotud füüsikalised nähtused ei ole veel lõplikult välja selgitatud. Nad sõltuvad juhtide kristallstruktuuri isearasustest ja soojusvõnkumiste vähenemisest temperatuuri alanemisel, kuid vaieldamatute hoolikate katsetega on kinnitatud, et materiaalse takistus üljuhitavas



seisundis on võrdne nulliga või igal juhul väga lähedane sellele. Üljuhist rõngas ergutatud vool ei vähene ja tsirkuleerib kogu aeg, kuni püsib vajalik temperatuur.

Kas on võimalik nullist väiksem, s. o. negatiivne takistus? Katsume seda küsimust vaadelda puhtfüüsikalisesest vaatepunktist, laskumata formaalsetesse matemaatilistesse arutlustesse.

Raadiotehnikas tuleb kokku puutuda negatiivse takistuse mõistega.

Negatiivse takistusega selgitatakse neija elektroodiga lambi (tetroodi) töö iseärasust dünatronrežiimis. See ärakasus on järgmine: anoodi pingete juures, mis on lähedased pingele ekraanvõrel, kutsub anoodpinge suurenemine esile mitte lambi anoodvoolu kasvu, vaid, vastupidi, selle vähenemise. Vastuvõetud tõlgenduse järgi mõjub ahelas negatiivne takistus.

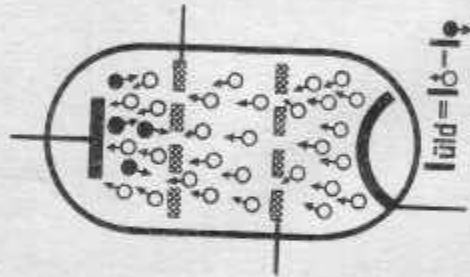
Tegelikult seletub nähtus dünatronefektiga. Elektronid, mis tekitavad anoodvoolu, loovad vastu anoodi pörkudes sellest välja teisi elektrone, mida nimetatakse sekundaarseteks.

Sekundaarielektronid, omandades loogi tagajärjel mõningase energiavaru, eemalduvad anoodist ekraanvõre suunas ja võivad sellele läheneda sedavõrd, et ekraanvõre

külgetõmbav mõju ületab anoodi külgetõmbe. Seepärast lendavad niisugused elektronid ekraanvõrele, tekitavad lambis voolu, mis on suunatud vastu pidi põhilisele anoodvoolule, ja vähendavad viimast. Tegev-anoodvool on võrdne kahe mainitud voolu vahetega.

Anoodpinge suurendamisel pörkavad elektronid suurema jõuga vastu anoodi ning loovad sellest välja rohkem sekundaar-elektrone, mis lendavad suurema kiirusega. Sekundaarielektronide arv kasvab mittevõrdeliselt — kokkuvõttes muutub tegev-anoodvool väiksemaks.

Anoodpinge edasisel suurendamisel nähtus katkeb, sest



anoodist väljalöödud elektronid tõmmatakse selle juurde tagasi ja ekraanvõre ei suuda neid enam haarata.

Nagu näeme, ei saa antud juhul rääkida mingisugusest takistusest, millel oleksid ebaharilikud omadused. Nähtuse olemus seisab teise, põhirvoolu suunaga vastupidise elektroni voo tekkimises.

Niisama sageli kasutatakse negatiivse takistuse mõistet regeneratiivvastuvõtjate, heterodüümide jne. töö selgitamiseks.

See seletus taandub järgmisele: tagasiside viib võnkeringi negatiivse takistuse ja vähendab seega tema positiivset takistust — kaotakistust. Kui negatiivne takistus saab suuruselt võrdseks positiivsega, muutub võnkeringi tegev-takistus võrdseks nulliga. Sisseviidud negatiivse takistuse edasisel suurendamisel muutub üldine takistus negatiivseks. Negatiivse takistusega võnkering muutub generaatoriks ja saab võnkumiste allikaks.

Sel juhul ei saa samuti rääkida negatiivsest takistusest kui reaalselt eksisteerivast. Võnkeringi takistus elektrilaengute liikumisele jääb muutumatuks iga tagasiside väärtuse juures.

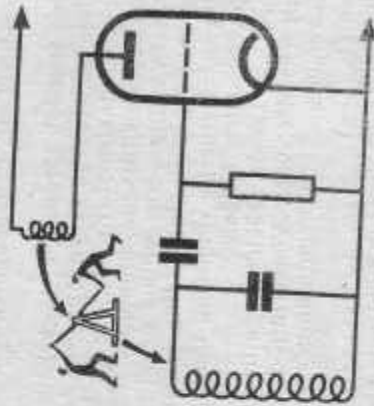
Võnkuv pendel, mis on jäetud omapead, peatub kiiresti. Kuid me võime anda pendlile tõukeid, mis ühtivad sagedusselt ja suunalt tema võnkumistega. Tougete intensiivsuse võib valida selliselt, et nad nagu kompenseeriksid kõigi «takistuste» (ohutakistus, hõõrdumine, kinnituspunktiis jne.) mõju ning pendli võnkumised muutuksid kuluvatetest kustumatuteks. Suurendades veelgi tougete intensiivsust, pendli võnkumised kasvavad (nende amplituud suureneb) ja me võime teda suutuda tegema mingit tööd. See tähtsustav tougete energia, mis kulubks muudu pendli võnkeamplituudi suurendamiseks, kulutatakse nüüd töö tegemiseks, võnkeamplituud aga jääb ühesuguseks.

Analoogiliselt võnkeringiga võiks ka sel juhul lugeda, et kõik takistused, mis varem pidurdasid pendli liikumist, muutusid negatiivseteks ning mitte ainult ei pidurda teda, vaid vastupidi, ergutavad. Kuid me teame, et nii see ei ole: pendel, tehes tööd, jätkab kiikumist ainult sellepärast, et me täiendame tougetega perioodiliselt tema energia-varu.

Niisugusel viisil kompenseeritakse energiakadusid ka võnkeringis. Tagasisidepooli välti muutub taktsid elektrivõnkumistega ja toetab neid, täiendades energiat, mis

kulutatakse võnkeringi takistuse ületamiseks ja kiirguseks.

Negatiivse takistuse mõistet kasutatakse sageli «generiivata» kristalldetektorite töö selgitamiseks. Viimaste hulka kuulub mitmeid detektoreid O. Lossevi tsinkitdetektorist kuni kaasaegse germaaniumdetektorini, kaasa



arvatud uusimad tunneldioodid. Niisuguste detektorite genereerimist selgitatakse negatiivse takistusega lõigu olemasoluga nende karakteristikul. Kui töötame sellel karakteristikul lõigul, siis läbi detektori kulgeva voolu suurenemisega ei kaasne mitte pingelang, nagu tavade detektoril, vaid selle vähenemine.

Füüsikalised protsessid, mis toimuvad seda liiki detektorites, ei ole täielikult välja selgitatud. Kuid on selge, et nad kutsuvad detektori (diodi) kristallile esile täiendava voolu, mis suunalt ühitib põhivooluga. Näiteks kasvab tunneldioodis mõningatel pingetel vool tunduvalt kiiremini millel ei ole küllalt energiat potentsiaalbarjääri ületamiseks, lähuvad läbi selle barjääri just nagu läbi mingisuguste tunnelite. Pinge edasisel suurenemisel tunnelekt nõrgeneb ja seejärel kaob hoopis. Sel lõigul kaasneb pinge suurendamisega tunnelekti järkjärgulise vähenemise tõttu voolu vähenemine, aga mitte suurenemine, nagu oleks võinud oodata. Pinge edasisel suurendamisel ei erine tun-

neldioodi töö tavalise dioodi tööst. See tõttu täheledatakse tema karakteristikul mingil lõigul pinge suurendamisel voolu vähenemist.





Seega võib takistus elektrivoolule omada mingit kindlat positiivset väärtust või võrduda nulliga. Negatiivset takistust kui aine füüsikalist omadust ei eksisteeri, ehkki üksikud ahelad võivad neis toimuvate protsesside tagajärjel käituda nii, nagu oleks nende takistus negatiivne. Kuid seejuures asuvad nendes ahelates tingimata vooluallikad, mille energia kuulubki kõigi ahelas toimuvate protsesside alalhoidmiseks.


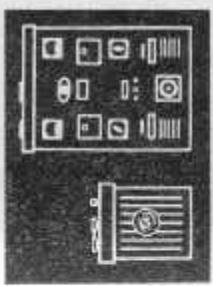
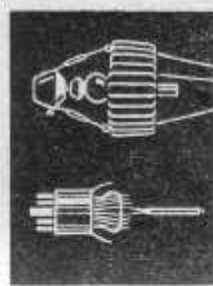
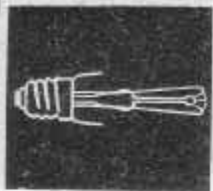
## ENERGIA MUUNDUMINE RAADIOAPARATUURIS

Raadioaparatuuri tööd iseloomustab suur hulk energialiikide vastastikkuseid muundumisi.



Kui näiteks raadiokuulaja lülitab sisse vastuvõtija «Rodina», siis toimub tema raadioaparaadis mitmeid energia muundumisi. Galvaanilelementide keemiline energia muundub elektriliseks, elektrenergia aga lampide hõõgniidides soojuseks, kusjuures soojusenergia teisendub osaliselt uuesti elektriks, andes elektronidele hoogu kuni kiiruse, mis on vajalik nende väljalennuks niidist, s. o. soodustades anoodvoolu tekkimist. Indikaatorite neoonlampides muundub elektrenergia osaliselt soojuseks, kuumutades gaasi ja pirmi kesta, osaliselt valguseks, tekitades kõigile tuntud punast helendust. Lampide hõõgniidide helendus on energia kolmekordse muundumise tulemus: keemiline elektriliseks, seejärel elektriline soojuseks ja lõpuks soojas valguseks. Energia muundumiste pika ahela viimaselki lükk on elektrenergia muundumine valjuhääldis mehhaaniliseks — heliks.

Iga raadioaparaadi töö on rikas taoliste muundumiste näidetest.

Väliskuju	Energia muundumise liigid	Aparatuuri elemendid
	Mehhaaniline elektrifitseks	Elektrodünaamilise mikrofoni, grammofooni helipedaal
	Elektriline mehhaaniliseks	Valjuisäädi, elektrigrammofooni mootor; mõõteriistade liikuv süsteem
	Valgus elektriliseks	Fotoclement, foto-skkoop, päikesematari
	Elektriline valguseks	Televiisorite ja otsalilograafide elektroonkiretorud, häälestuse optiline indikaator

Väliskuju	Energia muundumise liigid	Aparatuuri elemendid
	Keemiline elektrifitseks	Galvaanicelement, akumulaator (tühjendamine)
	Elektriline keemiliseks	Akumulaator (laadimine)
	Soojus elektriliseks	Termoelement, katood (elektronide hoovõit kuni kiiruseni, mis on vajalik väljalennuks)
	Elektriline soojuseks	Raadiolampide hõõgniidid



Väliskuju	Energia muundamise liigid	Aparatuuri elemendid
	Elektriline magnetiliseks	Magnetofoni salvestuspea
	Magnetiline elektriliseks	Magnetofoni üleskirjutuse taasesustuspea

Eespool toodud tabelis on näidatud 10 raadioaparatuuris kõige levinumat energia muundamise liiki. Paljudel puhkudel on tabelis toodud etappidid vahel veel mitu vahepealist ja kõrvalisemat. Näiteks optilise hääletusindikaatori töös, mis on toodud elektrilise hääletuseks muundumise näitena, võib loendada mitmeid teisigi muundumisi: elektriliseks — soojuseks (katoodi kuumenemine), soojus — valguseks (katoodi helendus) ja elektriliseks (elektronide väljumine katoodist), elektriliseks (ekraani helendus) jne.

Tuleb arvestada, et üht liiki energia üleminek teiseks on alati seotud esmase energialiigi koguse vähenemisega mitmesuguste kadude tõttu, mis enamikul juhtudel lähevad soojuskiirguseks. Katoodi soojusenergia kulub elektronidele hoo andmiseks kuni kiiruseni, mis on vajalik nende väljalennuks, ning väheneb niipalju, kuipalju viisid endaga kaasa väljalennanud elektronid.

Selles suhtes on huvitav tabelis toodud energia muundumise näidetest kühnes. Magnetilistele teatud üleskirjutuse reprodutseerimisel magnetofonis lindi magnetiline energia ei vähene, vastasel juhul oleks iga järgnev reprodutseerimine eelmisest nõrgem. Lindi liikuv magnetväli tekitab mootori energia arvel taasesustuspeas vahelduva magnetvälja, mille energia kulutatakse elektrivoolu tekitamiseks mähise keerdudes. Magnetilise energia muundumine elektriliseks toimub just nimelt viimases lülis taasesustuspea magnetväli—pooli mähis, kuid mitte lülis lindi magnetväli—taasesustuspea mähis, kuna lindi magnetiline energia ei vähene.

## MEHHAANILISED, ELEKTRILISED JA ELEKTROMAGNETILISED VÕNKUMISED

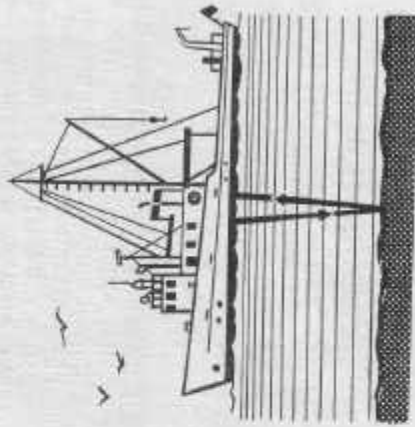
Raadiotehnikat võib täie õigusega nimetada võnkumiste profsesside tehnikaks.

Raadioside saab teoks elektromagnetiliste lainete abil, mis kujutavad endast perioodiliselt muutuvat elektromagnetilist välja; raadioaparatuuri töö põhineb vahelduvvoolude — elektrivõnkumiste, s. o. juhtides toimivate elektrilaengute võnkumiste kasutamisel; telefonide ja mikrofonide membraanid, valjuhääldite difuusorid, helipeade rõõlad teostavad mehhaanilisi võnkumisi; magnetvälja intensiivsuse kõikumised magnetofonide helipeades on nende aparaatide töö aluseks; fotoelementid kujutavad endast rüütu, mis kasutavad valguse võnkumisi.

Seda loetelu on kerge pikendada. Võiks näiteks nimetada infrapunaseid ja ultravioletseid võnkumisi, mida kasutavad mõningad fotoelementid, piesoplaaatide ultrahelivõnkumisi kajaloodides jne.

Võnkumiste maailm on avar, tema alustamine raadiotehnika poolt läineb iga aastaga. Allpool toodud tabelis on ära näidatud võnkumiste kahe põhiligi — mehhaanil-

liste ja elektriliste võnkumiste — seni tundma õpitud spektrid. Viimases rubriigis on ühendatud elektrilaengu- ja elektromagnetiliste välgude võnkumised, s. o. elektromagnetilised lained. Tabelis näidatud erinevate tsoonide piirid



on ligikaudsed ja tinglikud. Nagu ei saa näiteks tõmmata teravat piiri pikkade ja keskmiste lainete vahele, nii ei saa seda täpselt määrata ka ultravioletsete ja röntgenkiirte, kuuldava ja ultraheli vahel.

Mehhaanilised võnkumised	Sagedus (Hz)	Elektrivõnkumised
Infraheliid Kuuldavad helid	10 10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup> 10 <sup>4</sup> 10 <sup>5</sup>	Tehnilised vahelduvvoolud Hellsagedusvoolud
Ultraheliid	10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup> 10 <sup>8</sup> 10 <sup>9</sup> 10 <sup>10</sup> 10 <sup>11</sup>	Pikad raadiolained Keskised raadiolained Lühikesed raadiolained Ultrahelikesed (meetrised) raadiolained Deetsimeetrised ja sentimeetrised raadiolained Millimeetrised raadiolained

Mehhaanilised võnkumised	Sagedus (Hz)	Elektrivõnkumised
Soojusvõnkumised	10 <sup>12</sup> 10 <sup>13</sup> 10 <sup>14</sup>	Infrapunased kiired
Võnkumised aatomites ja molekulides	10 <sup>15</sup> 10 <sup>16</sup> 10 <sup>17</sup> 10 <sup>18</sup> 10 <sup>19</sup> 10 <sup>20</sup> 10 <sup>21</sup> 10 <sup>22</sup>	Nähtav valgus Ultravioletsed kiired Röntgenkiired Gammakiired Kosmilised kiired

Tabeli algsagedus on 10 Hz. Sellise ja veel madalama sagedusega mehhaanilisi võnkumisi on saanud tavaks nimetada infrahelideks. Me ei kuule neid. Kuid suure võimsuse korral tekitavad infrahelivõnkumised organismis ebameeldiva vältumise. Näiteks võib olla niinimetatud «mere hää» — võmsad infrahelivõnkumised, mis tekivad rannikul laineite ja tuulepuhangute sageduse kindla kombinatsioonil.

Infrahelisagedustega elektrivõnkumised — vahelduvvoolud sagedusega 10 Hz piires — leitavad laialdast kasutamist automaatikas mitmesuguste automaatseemide kasetamisel, samuti ka teistel tehnikaaladel.

Sageduskeskaala tähtsaks piiriks on sagedus 15—16 Hz. Niiisuguse sagedusega mehhaanilised võnkumised muutuvad kuuldavaks. Sellest sagedusest algab helide maailm. Vahelduvvoolu sagedusega 15—16 Hz kasutatakse rohkem arvulises aparatuuris nii elektroakustilisel kui ka teistel eesmärkidel. Sellise sagedusega vahelduvvoolu kasutatakse samuti tehnikas — jõuvõrkudes.

Edasi tuleb märkida sagedusi 50—60 Hz. Need on tavaliselt heade vajuhääldeite poolt reprodutseeritava sagedusriba alampiiriks. Peale selle on nad vahelduvvoolu valgustusvõrkude kõige levinumaks sageduseks.

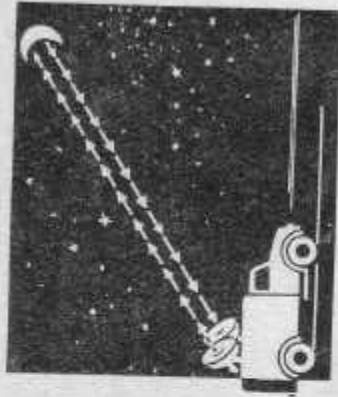
Helisagedusriba ülempiir asub 16·10<sup>3</sup> Hz juures. Kõrgemal sagedusel inimkõrv tavaliselt vastu ei võta. Edasi algab ultrahelisageduste ala, millel on palju suurepäraseid omadusi. Ultrahelisagedustega mehhaaniliste võnkumiste rakenduspiirkond laieneb kiiresti. Ultraheliga töötavad

kajaloed, hüdrolokaatorid, defektoskoobid on saanud tavalisteks tehnilisteks seadmeteks. Kõige mitmekesisemates seadeldistes kasutatakse ultraheli punustavat toimet. Ultraheli rakendused on väga mitmekesised — ultraheli-mikroskoopidest kuni pesupesemiseni ultraheli abil. Ultrahelisagedusega mehhaanilisi võnkumisi tekitabakse reeglina elektriliste vahenditega, seetõttu rakendatakse niisuguse sagedusega elektrivõnkumisi erakordselt laialdaselt.

Raske on nimetada ultrahelisageduste mingit kindlat ülempiiri. Kõige levinumad on umbes kuni  $10^6$  Hz-lised sagedused, kuid juba on saadud ja leiavad järkjärgulist rakendamist veelgi kõrgemad sagedused — kuni mõne megahertsini.

Elektrivõnkumised kujutavad endast elektrilainete võnklikumisi juhtides. Alates kõige madalamatest infrahelisagedustest kaasneb nende võnkumistega vahelduvate elektriväljade ja magnetväljade tekkimine ümbriruumis.

Sagedustel üle  $10^6$  Hz on signaalide edastamiseks mugav kasutada juhi ümber tekkivat elektromagnetilist välja, mis levib valguse kiirusega, kandes endaga teatud



energiat. Sellist juhist «lahti rebitud» välja nimetame raadiolaineteks. Raadiolainetel on samasugune sagedus nagu neid esilekutsuvatel elektrivõnkumistelgi. Käesoleval ajal on läbi uuritud ja leiavad nii või teisiti rakendamist raadiolained sagedustega umbes kuni  $10^9$  Hz (millimeetritelained).

Võnkumiste tabeli tähtsaimaks piiriks on sagedused  $10^3$  —  $10^{14}$  Hz. Kuni selle piirini teostavad mehhaanilisi võnkumisi suured ainemassid, mis liiguvad tervikuna. Suuremate sagedustega mehhaanilised võnkumised kuuluvad juba soojusvõnkumiste hulka, mida teostavad üksikud



molekulid ja aatomid. Neid võnkumisi saadab kõige pikema laineliste infrapunaste (soojus-) kiirte kiirgus, s. o. võnkuvad molekulid või aatomid on seega elektromagnetiliste lainete allikateks.

Lühemaajalisi infrapunaseid kiiri tekitavad juba atomisised protsessid, nimelt elektronide üleminekud tuumast kaugematele katetelt tuumale lähematele katetele. Kui aatom saab mingisuguse energiahulga, näiteks põrkelt teise osakesega, siis hüppavad elektronid tuumale lähemalt katetelt üle kaugematele (mida lähemal on kate tuumale, seda väiksem on sellel asuvate elektronide energia). Kuid elektronid ei püsi seal kaua ja pöörduvad «oma» katetele tagasi, andes energia ülejäägi ära kiirguse näol. Väliskatete elektronid annavad liigse energia ära infrapunase ja nähtava valguskiirguse, tuumale lähemal asuvate katete elektronid aga ultravioletse kiirguse ja röntgenikiirte näol. Veel suuremate sagedustega elektromagnetilisteks laineteks on gammakiired. Need ei teki elektronide üleminekute tagajärjel ühelt kihilt teisele, vaid aatomituuma toimivate protsesside tagajärjel. Mõningatele tuumaprotsessidele kaasneb alfa- ja beetaosakeste (heeliumi tuumade ja elektronide) väljapaiskumine tuumast ning gammakiirte kiirgumine.



Elektromagnetiliste võnkumiste tabeli sulevad kosmilised kiired. See võib põhjustada arusaamatust. Kujutavad mis lendavad kosmilises ruumis hiiglasliku kiirusega. Miks nad sattusid siis elektromagnetiliste võnkumiste hulka?

Liikuvad elementaarosakesed käituvad üheaegselt nagu osakesed ja nagu lained. Tavaliselt vaatleme elektrone kui materiaalseid osakesi, millel on kindel mass. Ent kui lasta elektronide kimp läbi väga väikese ava, ilmnevad nende laineomadused. Sagedus, mis vastab neile lainetele, sõltub osakeste liikumiskiirusest (vt lk. 45). Elektronid, mis liiguvad selliste kiirustega, millega neil tuleb praktiliselt tegemist teha, omavad näiteks sagedust umbes  $6 \cdot 10^{16}$  Hz ( $6 \cdot 10^{16}$  Hz (lainepikkus  $0,005 - 0,000005 \mu$ ). See vastab röntgenikiirte sagedusele. Osakesed, millest koosnevad kosmilised kiired, liiguvad palju suuremate kiirustega, millele vastavad sagedused umbes  $10^{22} - 10^{26}$  Hz. Need on kõige suuremate sagedustega elektromagnetilised võnkumised, mida tunneime.

## MIS ON VAAKUUM

Küsimusele «mis on vaakuum» vastatakse harilikult — «hõrendatud õhuga ruum» või «ruum nõus, millest õhk on välja pumbatud».

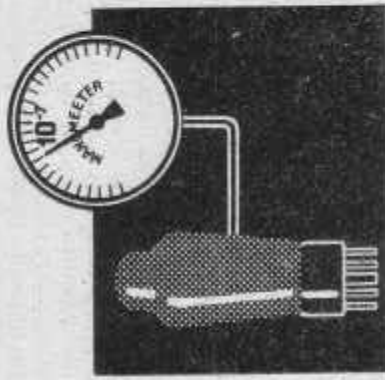
Kas taoliste vastustega võib rahulduda? Kas hõrenduse iga astet võib nimetada vaakuumiks ning kas vaakuumi aste on mingis seoses atmosfäärirõhuga?

Tõepoolest, oletame, et balloonis on õhk hõrendatud 10 000 korda, võrreldes tema tihedusega normaalse atmosfäärirõhu juures, s. o. rõhk balloonis on 0,076 mm elavhõbedasammast.

Kas balloonis on vaakuum? Ja kas võime jääda arvamuse juurde, et balloonis on vaakuum, kui see balloon tõsta 100 km kõrgusele maapinna kohale, kus õhurõhk on

48

kõigest 0,007 mm elavhõbedasammast. Osutub ju sel juhul õhu tihedus balloonis 10 korda suuremaks kui väljaspool. Kui balloon ei ole vastupidav, siis ta lõhkeb nagu pomm. Kus on nüüd vaakuum, ballooni sees või väljaspool?



Kaasaegne füüsika ei seo vaakuumi mõistet rõbu suurusega nõus või väljaspool, vaid gaasi molekulide vaba tee pikkusega temas. Gaaside molekulid on lakkamatult kaootilises soojusliikumises ja nende kiirused on väga suured: toatemperatuuril on õhumolekulide soojusliikumise kiirus umbes 450 m/s, s. o. läheneb kuuli kiirusele. Liikudes igas suunas, põrkavad molekulid alahselt üksteisega kokku. Mida tihedam on õhk, seda rohkem molekule sisaldub ruumühikus ja seda sagedamini molekulid põrkavad.

Kui õhku hõrendada, siis hakkavad molekulid harvemini kokku põrkama. Keskmiselt tuleb neil kahe põrke vahel läbi lennata pikem tee; seda teepikkust nimetatakse vaba tee pikkuseks.

Füüsikalises vaatepunktist loetakse vaakuumiks niisugust hõrendust, mille puhul keskmine vaba tee pikkus on suurem anuma mõõtmetest. Sel juhul põrkavad molekulid harva, suurem osa molekule ei kohta oma liikumisel anuma ühest seinast teise muid molekule.

Miljonikordsel hõrendamisel (rõhk on siis umbes 0,001 mm elavhõbedasammast) on õhumolekuli keskmine

vaba tee pikkus 10 cm. Kuna tavaliste vastuvõtu-võimenduslampide balloone mõõtmised on alla 10 cm, siis võib füüsika seisukohalt ruumi nende lampide sees sellise hõrenduse puhul juba vaakuumiks lugeda.

Kuid lambi heaks lööks ei ole selline vaakuumi aste küllaldane. Tohutult hulgalambi katoodid anoodile lendavad elektronid kohtuvad oma teel siiski küllalt palju õhumolekule, elektronide põrked nendega on sagedased. Nende põrgete tulemusena õhumolekulid ioniseeruvad, anoodvool kasvab järsult, positiivsed ioonid sadestuvad negatiivselt laetud võrel, muudavad tema laengut ja järk-likult ka lambi töö iseloomu. Vastuvõtjates ja võimendites viib see muuseas tugevate moonutuseni. Seetõttu püütakse raadiolampides saavutada tunduvalt suuremat hõrendust, mis ulatub kuni  $10^{-7}$  mm (0,000001 mm), s. o. rõhku alandatakse umbes 10 miljardit korda, võrreldes normaalse atmosfäärirõhuga. Sellise hõrenduse juures mõeldetakse molekulide vaba tee pikkust kilomeetritega ja teel katoodilt anoodile võib ainult umbes üks elektron miljoni kohta kajastuda lambi töös.

See on hiiglaslik arv. Kõige väiksemate mooniseemne-keste diameeter on umbes 0,5 mm. Paigutades neid korrapärase ridadeana, võime 1 mm<sup>3</sup>-sse mahutada 8 seemnekeste. Missuguse ruumala hõlvavad siis 40 triljonit sellist seemnekest?

Lühine arvutus näitab, et niisuguse hulga mooniseemne-keste hoidmiseks on vaja boonet mahutavusega 5000 m<sup>3</sup>, s. o. kuupi serva pikkusega umbes 17 m.

Kuid molekulid on niivõrd väikesed, et isegi nende kümnetriljoniliste hulka mahutamiseks on vaja tüüri mikroskoopilisi ruumala. Gaasimolekuli diameeter on keskmiselt  $1 \cdot 10^{-6}$  mm — üks miljondik millimeetrit. Kui need 40 triljonit molekuli, mis jäid lambi ballooni, laduda tihedasti üksteise kõrvale, siis võtavad nad enda alla ainult  $1 \cdot 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>-se ruumala. See on 250 miljoni korda väiksem lambiballoomi ruumalast. Kõigi pärast pumpamist lampi jäänud molekulide ühtlase jaotuse korral leidub lambiballoomi igas kuupmillimeetris umbes 80 000 molekuli.



See arv on samuti väga suur, kuid et luna õiget eltekujutust sellest millisel kaugusel molekulid üksteisest asuvad, on vaja kõik suurused üle kanda harjumuspärasesse mastaapidesse.

80 000 molekuli ühtlase jaotumisel 1 mm<sup>3</sup>-s asuvad nad üksteisest umbes 0,02 mm kaugusel. See vähemaa ületab 20 000 korda molekuli diameetri. Läheme üle astronoomilistele mastaapidele. Maa asub Kuust kaugusel, mis ületab Maa diameetri umbes 25 korda. Umardades võib öelda, et Kuu on Maale 1000 korda lähemal kui üks molekul teisele lambiballoonis. Et seda endale veelgi paremini ette kujutada, pöördume tagasi mooniseemnekeste juurde. Kaks väikselmat mooniseemnekest, mis on lahutatud 20 000 korda nende diameetri ületava kaugusega, asuvad ükstei-

## KUI PALJU ÕHUMOLEKULE JÄÄB LAMPIS

Niisuguse tohutu hõrenduse juures, nagu saavutatakse raadiolambis, jääb sinna umbes üks kümnemiljardik osa sellest õhuhulgast, mis seal oli enne pumpamist.

Selline vähenemine on kolossaalne!

Kui kaugus Maalt Päikeseni väheneks 10 miljardit korda, siis lähutaksid Maad ja Päikest ainult 15 m — keskmise lausega tänav. Niipalju kordi vähendatud Maa muutuks terakeseks diameetriga umbes 1 mm.

Ja siiski jääb sellise hõrenduse juures tavaliste mõõtmega elektronilambi, näiteks 6K3 ballooni veel 40 - 10<sup>2</sup> (40 triljonit) molekuli.

sest 10 m kaugusel. Minnes üle eluolulistele mastaaipidele võib öelda, et kaks mooniseemnekest 50 m<sup>2</sup>-lise pindalaga toas — see on molekuli «tühnik» elektronilambi.

On loomulik, et katoodit anoodile lendavad elektronid peaaegu ei kohta oma teel õhumolekule; sellised kohtumised on võimalikud vaid harvade eranditena.

## MIKS HÖÖGNIIT LÄBI PÖLEB

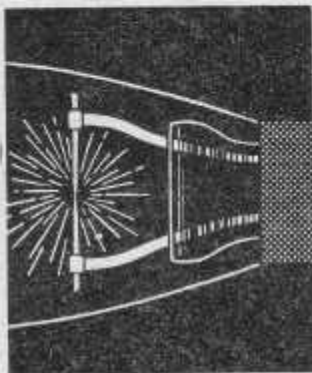
Miks lampide hõõgniidid läbi põlevad — või vähem täpselt, kuid see-eest lühemalt väljendades — miks lamid läbi põlevad? Te ostsite elektron- või valgustuslambi; ta töötab mõne aja, kuid lõpuks põleb läbi, ehkki töötin- gitud ei muutunud — talle antakse alati ühesugune, normaalne küttinge. Mjites seisab niisuguse läbipõle- mise «füüsika», miks üks ja seesama vool, mis alguses oli normaalne, osutus hiljem niidile hukutavaks?

Vaadates läbipõlenud valgustuspirni märkame, et tema balloon on seestpoollt tumenenud. Tumeda kirme ilmumine seletub niidi materjali — volframi aurude sadestumisega ballooni seinel. Valgustuspirnide hõõgniidid töötavad umbes 2500°C juures. Sellisel temperatuuril algab volframi märgatav aurustumine. Niidi läbipõlemise protsess on tavaliselt järgmine: niidi paksus ei ole kogu tema ulatuses absoluutselt ühesugune, kohati on niit mõnevõrra jämedam, kohati peenem. Seal, kus niit on peenem, on tema takistus loomulikult suurem, mille tagajärjel see koht kuumeneb tugevamini (kuumenemine on võrdeline takistuse suurusga). Järelikult toimub ka niidi aurustumine sellel kohal intensiivsemalt, millest niit peeneneb veel rohkem.

Kokkuvõttes tuleb välja, et aurustumise intensiivsus mine toob endaga kaasa niidi peenemise, see aga omakorda viib aurustumise suurenemisele.

Protsess lõpeb niidi läbipõlemisega — ülesulamisega — kohas, mis oli kõige peenem. Tuleb välja täpselt

vanasõna järgi: peenike koht katkeb kiiremini. Loomulikult mängivad peale niidi paksuse oma osa ka tema jahutamistingimused. Näiteks põlevad niidid harva läbi hoidjate juurest, mis soodustavad soojust eemalejuhtimist. Kui niit hoidja kõrvalt läbi põleb, siis tähendab see, et ta selles kohas oli palju peenem kui ülejäänud osas.



Niidi materjali aurustumine on elektronlampide juures vähem märgatav kui valgustuspirnidel, sest elektronlampide hõõgniidid töötavad madalamatel temperatuuridel. Kuid läbipõlemise mehhanism ise on neil samasugune: niidi metall aurustub kõige intensiivsemalt seal, kus niit on eriti peenike. Otsese küttega lambid põlevad sagedamini läbi kui kaudselt kütavad, sest tavaliselt on otsese küttega lampides niidid peenemad ja peale selle on nende jahutustingimused lunduvalt halvemad. Kaudse küttega lampide hõõgniidi kokkupuutumine portselaniga või teisest materjalist isolaatoriga, mis eraldab hõõgniiti katoodist, soodustab soojuste äraandmist.

On täiesti ilmne, et isegi väike ülekuumenemine vähendab tugevasti hõõgniidi eluiga — peenikeste kohtade peenemine toimub ülekuumenemise korral suurema intensiivsusega. Illustreerimiseks toome ühe arvu: volframi aurustumise kiiretamine tema temperatuuri tõusmisel on võrdeline temperatuuri 38-nda astnega, s. o. T<sup>38</sup>.ga.



## KAITSMED PÕLEVAD LÄBI SISSELÜLIMISEL

Väga harva juhtub, et raadioaparaadis või televiisoris põleb kaitse läbi töö ajal. Harilikult põleb see läbi sisselülamise momendil. Eile lülitasite oma vastuvõtja pärast vastuvõtu lõppemist ise välja. Täna lülitate ta sisse — ei tööta. Olüvaatus näitab, et kaitse on läbi põlenud, järelkult võis see juhtuda ainult sisselülamise momendil.

Millega seda seletada?

Lampide hõõgniidid on tehtud metallist. Metallide takistus elektrivoolule suureneb kuumenemisel. Selles on kerge veenduda. Millega võrdub näiteks lambi 6K4II hõõgniidi takistus? Me teame, et tema küttepinge on 6,3 V, küttevool — 0,3 A. Sift määrame Ohmi seaduse järgi takistuse:

$$R = 6,3 : 0,3 = 21 \Omega.$$

Relvastume oommeetriga ja moodame selle lambi hõõgniidi takistuse, viies tema juhtmed kolmanda ja neljanda jala juurde. Oommeetri näitab kõigest 4 oomi.

Mida siis uskuda — arvutatust või mõõtmist?

Nii ühte kui ka teist. Mõlemad suurused on õiged.

Oommeetri näitas külma niidi takistust, kuid arvutuse tegime lambi normaalse töörežiimi jaoks, sest just nimelt nendes tingimustes on tema küttevool 0,3 A. Külmal hõõgniidil on takistus 4  $\Omega$ , hõõguval — 21  $\Omega$ .

Me võime niisamasuguse katse teha valgustuspirniga. Sajaväliste 127-voldise pirni arvutatud takistus on 160  $\Omega$ , kuid oommeetri näitab külma pirni takistuse mõõtmisel kõigest 13  $\Omega$  — rohkem kui 12 korda vähem arvutatud väärtusest.

Kui lambi 6K4II takistus kuumenemisel ei suureneks, siis küttevool ei oleks mitte 0,3, vaid 1,5 A.

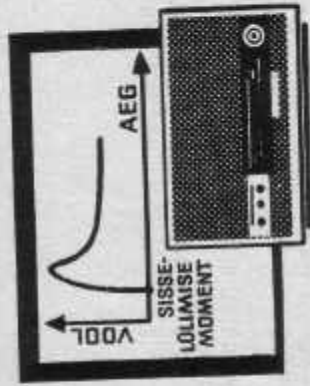
Sisselülamise momendil ei ole lampide niidid kuumenenud ning seepärast läbib neid väga tugev vool, mis niikuivõrd ületab normaalse küttevoolu. Sedamööda, kuidas niidid kuumenevad, suureneb nende takistus ja väheneb vool. Vool on kõige suurem sisselülamise momendil, kui hõõgniidid ei ole veel üldse kuumenenud ning nende takistus on

54

minimaalne. Seetõttu võib vastuvõtja, televiisori või võimendi sisselülamisele tähele panna vooluhüpet, mis suuruselt ületab mitu korda väljakujunenud normaaltrežiimis tarbitava voolu.

See vooluhüpe võib läbi põletada kaitseme, kui see on võetud ilma vajaliku varuta või kui olemasolev varu osutub kulutatuks.

Võib juhtuda, et kaitseme vastupidavuse varu ei ole suur. s. o. kaitset läbipõletav vool (tema traadi sulatamiseks



vajalik vool) ületab vaid veidi normaalse vooluhüppe, mis tekib aparaadi sisselülamisele. Sel juhul on küllalt võrgu- pinge mõningast suurenemist nominaalväärtusega võrreldes, et kaitse põleks sisselülamise momendil läbi.

Juhtub ka nii, et algul omas kaitse vajaliku vastupidavuse varu, kuid aja jooksul soodustasid samad põhjused, mis viivad hõõgniidi läbipõlemisele (vt lk. 52), kaitseme traadil väiksema diameetriga lõikude moodustumist. See traat ei asu vaakuumis; kuumenemisel ta hapendub ja tema diameeter väheneb. Lõpuks väheneb diameeter mingil traadilõigul sedavõrd, et traat ei kannata välja voolu vastuvõtja sisselülamisele ning põleb läbi. Seepärast ei põle kaitseme tavaliselt läbi mitte kohe pärast aparaadi ülesseadmist, vaid mõni aeg kestnud ekspluaatoremise järel.

Niisiis, kaitseme põlevad kõige sagedamini läbi aparaadi sisselülamisele, kuid mõnel juhul võib see juhtuda ka väljalülamisele.

55

Väljalülitamise momendil tekivad aparaadis ekstravoolud, mis põletavadki kaitsme läbi. Pooljuhttriöödidega vastu võtjates viivad ekstravoolud sageli rivist välja ka triööde, kui ei ole tarvitusele võetud eriaabinõusid.

## KUS ON PEIDUS ELEKTRONLAMBI TAKISTUS

Elektronlampi tunnevad kõik. Ta on iga raadiovastu-voija, televiisori, magnetofoni vajalik detail, kui mitte tugevda müdugi neid, kus ta on asendatud transistoridega. Iga lamp vajab elektrilist toidet ja tarbib anoodpatarei ning küttepatarei voolu.

Küttevoolu suurus sõltub lambi hõõgniidi andmetest — tema takistusest kuumutatud töölokorras ja toiteallika pingest. Kuid millest sõltub lambi läbiva anoodvoolu suurus?

Küsimus ei oleks nagu raske. Voolutugevus ahelas võrdub rakendatud pinge ja ahela takistuse jagatiseaga. Kui elektronlambile anda, ütleme, 100 V, rakendades plussi anoodile, milnuse aga katoodile, siis läbib lampi vool, mille suuruse määrab lambi takistus.

Kuid siin varitsevad inimest, kes tunneb elektrotehnikat ja hakkab tutvuma raadiotehnikaga, ootamatud raskused. Lõepoolest, mis on elektronlambis takistuseks? Lambi anoodi ja katoodi vaheline ruum on tühi, seal on õhk välja pumbatud (faktiliselt ei ole väljapumpamine ideaalne ja lambi balloonis on gaasijääke, kuid meie näites ei mängi nad rolli). Ent millega võrdub tühjuse takistus?

Meie tuttav elektrotehnika läks sellest küsimusest väikides mööda-ega vaadeldud seda. Võtke tahke aine, vedelik, gaas, olgu isegi plasma — siin on kõik küllalt selgelt. Isolaatorid, juhid, pooljuhid — kõik on samuti arusaadav! Kuid tühjus? Milline takistus seal siis on, kus «midagi ei ole»?

Elektrik võib proovida arutleda näiteks nii.

Ilmselt on tühjus isolaator. Kujutab ju elektrivool endast laengute liikumist, kuid tühjuses laenguid ei ole, seetõttu ei saa temas tekkida ka voolu. Aga kui nii, siis, tähendab, tühjus on isolaator. Seda on muidugi keeruline kontrollida. Võtame elektronlambi ja ühendame oommeetri sondid tema anoodi ja katoodiga — riist ei näta midagi. Anoodi ja katoodi vahemiku takistus on lõpmatu suur. Järelikult on tühjus isolaator.

Kuid moelnud veidi, saab elektrik aru, et siin midagi ei klapi. Lamp ju töötab, tähendab, tema sisemuses olevat tühjust läbib vool. Ning mitte ainult lambis. Näiteks on viimased saavutused kosmose uurimise alal näidanud, et mõnede Päikesel toimuvate protsesside tagajärjel paisatakse sealt välja elektrone, mis jõuavad läbi planeetidevahelise ruumi tühjuse ilusti Maale. Kuid elektronide liikumine on ju vool. Tähendab, tühjus ei ole isolaator. Võib-olla isegi vastupidi. Seal liikudes ei kohta elektroneid fookkeid. Tähendab, tühjusel nagu ei oleks mingisugust takistust.

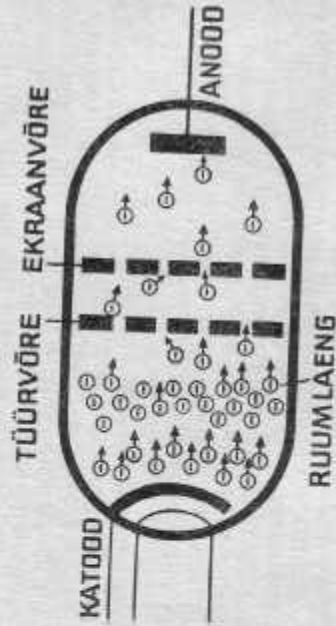
Järelikult võivad laengud tühjuses liikuda. Kuid võrreldes juhtide, pooljuhtide ja isolaatoritega on tühjus siiski eriline keskkond. Nii juhib, pooljuhis kui ka isolaatoris on laengud olemas. Materjalide juhtivust vaatlennende laengute liikumise võimalikkuse seisukohtalt, mis seal juba olemas on. Aga tühjuses neid ei ole, ent kui neid sinna viia, siis võivad nad seal liikuda vabamalt kui ükski kõik millises teises keskkonnas.

Nüüd on juba kerge mõista, mis määrab elektronlampi läbiva voolu. Katoodi ja anoodi vahelisse ruumi juhitakse elektrone, milleks kasutatakse katoodi termoemissiooni katoodi kuumenemise ja eritab elektrone. Kui kõik katoodi poolt väljakiiratud elektroneid jõuavad anoodile, siis on vool suurim. Peale seda võib anoodipinget suurendada, kuid anoodvool ei kasva.

Lambi tegelikes töötingimustes ei kasutata ära kogu katoodi emissiooni, faktiliselt on anoodvool väiksem emissioonvoolust. Kujutleme end katoodist väljalendava elektroni osas. Me tunneme positiivselt laetud anoodi külgetõmmet, kuid samaaegselt tajume ka nende elektronide eemalolekuvat jõudu, mis lendasid välja enne meid ja asuvad meie ja anoodi vahel (on ju neil elektronidel negatiivne laeng). See ei ole veel kõik. Väljalennul saime mingi

küruse, tänu millele lendasime katoodist mingile kaugusele. Nüüd on katoodi ja meie vahel teatav hulk elektrone, mis lendasid välja meist hiljem ning tõukavad meid katoodist eemale. Aga katoodis endas on positiivsed ioonid, mis tõmbavad meid enda poole.

Seega mõjuvad katoodist väljalennanud elektronidele üksiteisele vastukäivad jõud: väljalennul saadud kiirus viib teda anoodi poole, positiivne pinge anoodil piitab teda nihutada samas suunas, varem väljalennanud elektronid tõukavad teda katoodile tagasi, hiljem väljalennanud elektronid tõukavad teda anoodi poole, katoodis leiduvad positiivsed ioonid tõmbavad teda katoodile.



Väga keeruline? Jah, keeruline! Kuid see pole veel kõik. Katoodi ja anoodi vahelisel teel on üks või mitu võret, mille potentsiaal aitab elektronidel lennata anoodile (positiivne potentsiaal) või siis takistab seda (negatiivne potentsiaal). Kõigi nende põhjuste summaarsest mõjust sõltubki elektronide hulk (katoodist väljalennanud elektronide koguarvu suhtes), mis jõuab anoodile, moodustades lambi anoodivoolu. Ülejäänud katoodist eraldunud elektronid moodustavad osalt plüve katoodi ja võre vahel, osalt aga (kõige aeglasemad) langevad tagasi katoodile.

Sellistest põhjustest sõltub lambi läbiva voolu tugevus. Kui me tahame harjumuse järgi öelda, et voolu suurus lambi anoodahelas sõltub lambi anoodpingest ja takistusest, siis kõigi ülaltähendatud põhjuste pluss katoodi emis-

iooni summat peamegi lugema lambi takistuseks. Siis võime täiesti loogiliselt väita, et lambi takistus on muutuv takistus, sest piisab näiteks tema võrepotentsiaali vähesest muutmisest, et lambi anoodivool kasvaks või kahaneks (muidugi oletusel, et lambi emissioon pole veel ammendatud). Muutes võrepotentsiaali, võib lambi anoodivoolu muuta nullist — lamp on «suletud» — kuni suurima väärtuseni — kasvatatakse ära kogu katoodi emissioon.

## MIKS LAMP VOIMENDAB

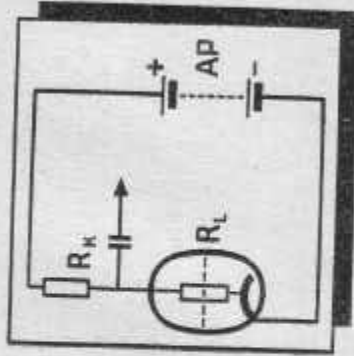
Miks annab elektronilampide rakendamine võimaluse võimendada elektrivõnkumisi? Allpool on toodud selle elektronilampide isearasuse üks selgitamisvõimalus.

Võimenduskaskaadid elektrihel koosneb vooluallikast, lambist ja koormustakistist (lambi kütteilika ei ole põhimõttelist tähtsust ning seda me ei vaatle).

Mis määrab voolu tugevuse vaadeldavas ahelas? Anoodipareti  $P_a$  pinge on konstantne. Koormustakisti  $R_k$  ei muutu sumuti. Jäab järelikult ainult takistus — lamp  $R_l$ . Inimselt sõltub voolutugevus ahelas just sellest takistusest.

Eelnevas loigus rääkisime sellest, et lambi takistus on ebataoline. Lampi ei saa füüsikalisel sumastada juhtide, pooljuhtide või isolaatoritega. Vool, mis läbib lambi normaaltingimustes — anoodipareti plussi thendamisel anoodiga ja niimise — katoodiga —, sõltub mitmetest vaadeldud tingimustest. Kuna anoodipareti pinge, katoodi emissioon ja teised tingimused lambi tööprotsessis ei muutu, määrab teda läbiva voolu suuruse ainult võrepotentsiaal. Lambi võrdlemine muutuva takistiga lubab meil kujukalt selgitada lampkaskaadi võimendus mehhanismi. Sellise loigenduse eesmärgiks ei ole sugugi lambi ja lambiga kaskaadi töötamise teinud teooriate ümberlõkkamine, kuid me loodame, et ta aitab lugejal ülevaatlikumalt ette kujutada seda, mis toimub raadiolambis ja miks see võimendab.





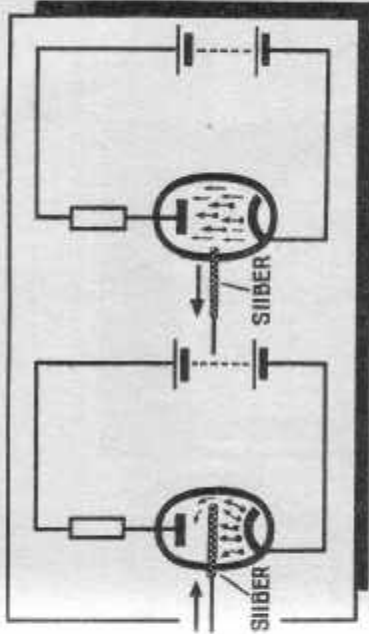
Niisiis, meie kaskaad koosneb anoodpatarist, lambist ja koormustakistist. Lampi loene muutuvas  $R_L$  määrab võrepotentsiaal. Signaali puudumisel on võrepotentsiaal konstantne ja pinge jaotub ahelas vastavalt takistite  $R_K$  ja  $R_L$  suurusele. Nende võrdse korral on pingelang kummaski ühesugune.

Mis juhtub, kui lambi võrele saabub signaal ja hakkab muutma tema potentsiaali, koos sellega ka lambi takistust  $R_L$ ? Ilmselt toimub seejuures ahelas pingelangu ümberjaotumine. Kui takisti  $R_L$  muutub väiksemaks (võrepotentsiaal muutus positiivsemaks), siis pingelang  $R_L$ -l väheneb, aga toimub vastupidine — pingelang  $R_K$ -l väheneb.

Seega viib pinge kõikumine võrel pinge kõikumistele koormustakistil  $R_K$ . Nende kõikumiste kogu on ühesugune, s. o. pinge kõikumine  $R_K$ -l kordab täpselt võrepotentsiaali ja sellega seotud  $R_L$  suuruse kõikumisi.

Võrepotentsiaali väike muutus — väike signaalipinge — muudab  $R_L$  suurust, mille tagajärjel muutub pingelang koormustakistil  $R_K$ . Kuid see pinge kõikumine  $R_K$ -l kujutab

endast kaskaadi väljundpinget. Tuleb vältida, et väike signaalipinge (vahelduvpinge) kutsuks koormustakistil  $R_K$  esile muutumise iseloomult täpselt samasuguse, kuid palju suurema amplituudiga, s. o. võimendatud vahelduvpinge.

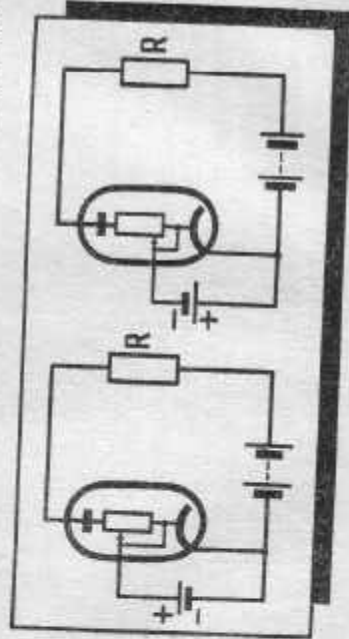


Nii võimendab lampkaskaad. Võimendamine toimub anoodpatarist energia kulutamise arvel — voolu tugevdamine läbi lambi viib patarist energiakulu suurenemisele.

Populaarteaduslikes raamatutes võrreldakse võre toimel tihti mitte lambi takistuse muutmise, vaid omamoodi siilbriga, mis laseb katoodilt anoodile suuremat või väiksemat voolu.

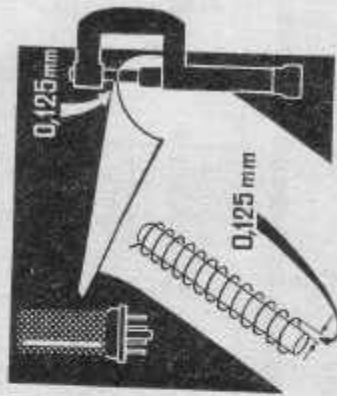
## ELEKTRONLAMPIDE MÕOTMED JA NENDE PARAMETRID

Karakteristiku tõus on elektronlampide olulisimaks parameetrik. Erilist tähtsust omab tõusu suur väärtus lampidel, mis on ette nähtud töötamiseks ultrakõrgetel sagedustel.



Suure tõusu saavutamise viise tuntakse hästi. Peamis-  
teks nendest on katoodi emissiooni suurendamine ja tüür-  
võre lähendamine katoodile.

Millise piirini võib selles suunas minna? Seda võib  
väga hästi näidata pentoodi 6Ж4 abil. Sellel lambil on  
suur, kõrgeendatud küttevõimsusega katood, võre aga on  
katoodist kõigest 0,125 mm kaugusel.



0,125 mm — see on kirjutuspaberit lehe paksus. Sellisel  
kaugusel asub võre 800—900° C-ni kuumutatud katoodist.  
Piisab võre väiksemastki deformatsioonist, et tema ja  
katoodi vahel toimiks lühühendus. Hiljem väljatöötatud  
lampidel on võre ja katoodi vaheline kaugus veel väiksem  
ning ulatub 0,05 mm-ni! Niisuguste lampide tootmine  
nõuab erakordselt kõrget täpsust ja on tunduvalt raskem  
kui tavalistel lampidel valmistamine.

Kuid lambi tõustu suurendamine suurte katoodide kasu-  
tamise ja võre katoodile lähendamise teel viib tüürvõre  
ning katoodi vahelise mahtuvuse, s. o. lambi sisendmahtu-  
vuse suurenemisele, mis on väga ebasoovitav ultrakör-  
getel sagedustel, kuna tulemusena väheneb võimendus.  
Siin «lunastab välja» ainult see, et võre ja katoodi vahe-  
lise kauguse vähenemisel kasvab tõus tugevamini kui  
mahtuvus. Nende suuruste vahel on huvitav sõltuvus: võre  
ja katoodi vaheline mahtuvus kasvab võrdeliselt kauguse  
vähenemisega nende vahel, kuid karakteristliku tõus kas-  
vab võrdeliselt sama suuruse ruuduga. Kui mahtuvus kas-  
vab, tõuseb, kaks korda, siis samaaegselt kasvab tõus neli

korda ning tulemusena osutub tõusu ja mahtuvuse vahe-  
kord kasulikumaks.

See tõusu jaoks kasulik sõltuvus dikteeris lampide eda-  
sise arengutee — nende mõõtmete vähendamise.

Oletame, et tavatise lambi konstruktsiooni on muude-  
tud: tema elektroode on lähendatud ning lähendatud üks-  
teisele selliselt, et nendevaheline kaugus vähenes  
kaks korda, elektroodide pindala aga neli korda. Kuidas  
avaldub see karakteristliku tõusus ja võre-katoodi mahtu-  
vus?

Pindala neljakordse ja elektroodidevahelise kauguse  
kahekordse vähendamise tulemusena väheneb mahtuvus  
kaks korda. Teisiti on lugu tõusuga. Katoodi aktiivse pind-  
ala neljakordne vähenemine toob endaga kaasa tõusu nel-  
jakordse vähenemise, kuna katoodi emissioon on võrdeline  
tema aktiivse pindalaga. Võre ja katoodi vahelise kauguse  
kahekordne vähenemine aga viib tõusu neljakordsele suu-  
renemisele, ning tulemusena tõus ei muutu, ta jääb sama-  
suguseks, nagu oli enne elektroodide vähendamist. Järeli-  
kult viis elektroodide vähendamine mahtuvuse vähenemi-  
sele muutumatu tõusu juures: mahtuvuse ja tõusu vahe-  
kord muutus kasulikumaks — kahekordistus.

Selles suhtes annab lampide mõõtmete vähendamine  
häid tulemusi ja seepärast ongi «pöiallampid» tavalistest,  
s. o. «vanadest» oktaavsookliga klaas- ja metall-lampidest  
tunduvalt paremad. «Pöiallampide» geomeetriselised mõõt-  
med on väiksemad; peale selle on nende nagu tavalampi-  
degi juures rakendatud ahinõusid kontaktialgade vahelise  
mahtuvuse vähendamiseks. Tulemusena õnnestus isegi sel-  
liste võrdlemisi lihtsate «pöiallampide» nagu 6Ж1П ja  
6Ж3П puhul saada head suhet mahtuvuse ja tõusu vahel,  
mis lubab neid efektiivselt kasutada töötamiseks ultrakör-  
getel sagedustel.

Sellelt seisukohalt on veelgi paremad düimilimätsuursed  
lampid.

## KAHEVÖRELISE TAASSÜND

Küsi ke kogenud raadioamatöörilt: kui palju lambitüüpe jaseb praegu välja meie tööstus? Arvatavasti ei suuda ta Teile vastata. Ja mitte ainult raadioamatöör, vaid isegi raadiospetsialist ei suuda vastata sellisele küsimusele — nii mitmekesised on meie ajal vastuvõtu- ja võimenduslampide tüübid.

Teisiti oli jugu raadioamatöörismi koidikul. Alguses lasti välja ainult üht universaalset lampi — P-5 tüüpi trioodi, mis tähtis raadiovastuvõtjas kõige mitmekesisemaid funktsioone, oli nii-öelda kuldsete kätega. See oli olse ke küttega volframkatoodiga triood. Sel ajal toideti lampe patareidest või akumulaatoritest, kuna kaudse küttega katoodi, mida saab toita valgustusvõrgust, veel ei olnud. Niisugune toiteviis läks väga kulukaks, kuna volframist hõõgniit nõudis kõrget töitemperatuuri — üle 2000°C, ning selleks oli vaja ka suurt elektrilist võimsust.

Järgmiseks sammuks vastuvõtu-võimenduslampide arengus oli mikrolampide ilmumine. Raadioamatöörid nimetasid neid heilitavalt «mikruškadeks». Need tooriumkatttega katoodiga lambid tarvitasid kümme korda väiksemat küttevoolu, omades samasuguseid parameetreid nagu lambid P-5. Kuid mõlemate jaoks oli peate sellele vaja umbes 80-voldiseid anoodpingeallikaid. Kaheksakümnevoldine patareid oli esiteks kolmakas ja teiseks suhteliselt kalline. Ja siin aitaski raadioamatöore hädast välja lamp, mille polnud mitte üks, vaid kaks võret — Mikro-DC. Teine, abivõre paiknes sellel lambil mitte nii nagu kaasagsetel tetroodidel või pentoodidel, s. o. tüürvõre ja anoodi vahel, vaid teises kohas — katoodi lähedal, katoodi ja tüürvõre vahel, ning sai seetõttu katoovõre nimetuse. Sellele võrele anti madal positiivne pinge — mõni volt — ja ta aitas elektronidel end katoodilt lahti rebida ning mõningat lisakiirust omandada. Tänu sellele jõudsid niisugused kiirerakendatud elektronid kergemini anoodile ja osutus küllaldiseks rakendada mitte enam 80 V, vaid kõigest 10–12 V.

Kujutlege end selle aja raadioamatööri kohal — kolmenelja taskulambipatareiga sai ta samasuguseid tulemusi

nagu varem kolmakas ja kalli anoodipatareiga. Lampidele Mikro-DC oli vaja niisama madalat toitepinget nagu kaasagsete transistoride jaoks! Lampide Mikro-DC baasil löid raadioamatöörid palju õnnestunud «madalavõldise» toitega vastuvõtjakostruktsioone. Kuid varsti pärast seda ilmunud valgustusvõrgust toidetavate kaudse küttega lampide puhul langes anoodtoite probleem ära — valgustusvõrk võimaldas odavasti ja lihtsalt saada vajaliku suurusega pinget.

Kuid miks siis kahevõreline ei säilinud otsese küttega lampide seerias, kus ökonoomse loitmise probleem pole kunagi areenilt lahkunud? Asi on selles, et nende lampide ökonoomsus on ainult näiv. Nad vajavad toepoolsest väikest anoodpinget, kuid see-est tarbivad anoodipatareist palju suuremat voolu kui katoovõreleta lambid. See võre osutus väga aplaks. Ökonoomsuse tõus saavutati palju efektiivsemalt hariliku võrede päigutusega lambi katoodi ja konstruktsiooni täustamisega.

Nii läikus katoovõreiga lamp kauaks ajaks lavalt.

Kuid mõned aastad tagasi kohtusime temaga uuesti, seekord oli tal aga hoopiski teistsugune missioon.

Asi on selles, et kaasagsetes impulss-signaalide vastuvõtjates — televisiooni- ja raadiolokatsioonivastuvõtjates — on vaja väga suure karakteristliku tõesuga lampe, mis võimaldavad võimaldada laias sagedusribas. Ja siin tuli meenutada katoovõre iseärasusi. Et neid mõista, vaatleme lambis toimuvaid protsesse veidi üksikasjalisemalt.

Kõik katoodilt lahtrabitud elektronid ei jõua anoodile, paljud neist takerduvad katoodi ja tüürvõre vahel, moodustades seal elektronipilve — ruumlaengu. Võre nagu käsitaks ruumlaengu elektrone — jaseb neid anoodile suuremal või vähemal hulgal. Seega on ruumlaeng tegelikult elektronide allikaks, mille arvel muudetakse lambi anoodvoolu. Seda elektronpilve nimetakse vahel tegev- ehk virtuaalseks katoodiks.

Virtuaalse katoodi peamine iseärasus seisab selles, et tema diameeter on tunduvalt suurem kui tavallise hõõgkatoodi diameeter, järelikult aga on suurem ka aktiivne pindala, mis annab elektrone anoodvoolu loomiseks. Virtuaalse katoodi leitud palju vabu elektrone, mis asuvad tüürvõrele väga lähedal. Kõik viib selleni, et väiksemad pingemuutused tüürvõrel kutsuvad esile suurt anoodvoolu muutusi, s. o. suureneb lambi tähtsaim parameeter —



karakteristiku tõus, mis omab, nagu juba märgitud, otsustavat tähtsust efektiivse võimendamise puhul. Peale selle — ja mis on väga oluline — osutub taoliste lampide sisendmahtuvus väiksemaks kui tavalistel lampidel.

Nagu alati, tuleb eeliste eest ka tasuda. Katoodvõrega lampide korral on tasuks täiendav voolutarvitus toiteallikast, mille tagajärjel, nagu varem öeldud, osutusid need lambid patareivastuvõimjate jaoks lõppude lõpuks ebaotstarbekaks, sest katoodvõre vool võib isegi ületada lambi anoodvoolu!

Kuid uusi katoodvõrega lampe toidetakse valgustusvõrgust ja lüäne voolukuid ei oma mingit olulist tähtsust, samal ajal aga õigustavad teda liiaga need väärtused, mis lamp juurde saab.

Meil on seda tüüpi lampideks pentoodid 6Ж20II, 6Ж21II, 6Ж22II.

## MIKS ANOODID KUUMENEVAD

Võimenduslampide anoodid kuumenevad lühiajaliseks ajaks. Võimsatel võimenduslampidel kuumenevad need niivõrd, et muutuvad lausa punaseks. Suurte generaatorlampide korral on vajalik anoodide eriline jahutamine vee või õhu abil, mida võivad nad üles sulada.

Aga miks siis anoodid kuumenevad? Vastus ei valmistaks nagu raskusi: neid kuumutab elektrivool. Läbi lambi voolab anoodvool ja kuumutab anoodi, kõiki elektroode, mida ta läbib, ja üldse kogu lampi. Elektrivooluga kaasneb alati soojuste eraldumine. Peterburi teadlane Lenz ja üheaegselt temaga inglase Joule tuletasid tuntud seaduse, mis ütleb, et voolu läbimineku abelast eraldub soojushulk

$$Q = 0,24 R I^2 t \text{ cal.}$$

kus  $R$  on abela takistus,  $I$  — vool,  $t$  — aeg.

See valem ei tekita kahtlust, kuid temas sisaldub  $R$ . Kus on siis meie juht see  $R$ ?

Tõepoolest, selleks et elektrivoolu energia muutuks soojuseks, on vaja, et vool kohtaks oma teel takistust. Elektrivoolu moodustavad elektronid annavad aineosakestega kokku põrgates neile oma energiat, suurendades nende kiirust või võnkumise ulatust, aga see ongi see, mida me kuumenemiseks nimetame.

Kuid lambis meil ei õnnestu leida takistust, mis kõlbaks soojuste eraldamiseks. Katoodi ja anoodi vahelise ruumi läbivad elektronid peaaegu ilma põrgetelu, seepärast soojust seal ei eraldu (vt lk. 50). Jääb üle anood.



Anoodvool voolab tingimata läbi anoodi, mis kujutab endast kindlat elektrilist takistust.

Kuid see takistus on erakordselt väike ja eralduv soojushulk tübine. Selles on kerge veenduda katse põjal. Radioaparadi lõpplampi, näiteks 6П3С, anoodvool on umbes 50 mA. Otsige üks vana lamp 6П3С, eemaldage balloon, võtke välja anood ja lihtluga ta abelasse, kus vool on 50 mA. Te näete, et anood ei kuumene üldse.

Seda tulemust on kerge kinnitada arvutusega. Lõpplampi anoodi takistus on umbes 0,01 Ω, anoodvool 0,05 A. Olahoodud Joule'i-Lenzi valemist järgneb, et niisuguse voolu juures eraldub anoodil sekundil jooksul 0,000 006 cal. 46 tundi on vaja hoida voolu 50 mA, et anoodil eralduks selline soojushulk, mis kuulub 1 cm<sup>3</sup> vee soojendamiseks 1° C võrra. See tõttu ei saa rääkida anoodi märgatavast kuumtamisest anoodvoolu pooll.

Kuid siiski anoodid kuumeneb. Ja kuumeneb väga tugevasti. Milles siin siis lugu on?

Anoodid kuumutab anoodivool, kuid see ei ole lavaline kuumutamise, mida tekitab juhti läbiv vool. Anoodid kuumeneb elektronide järsu pidurdumise tõttu.

Elektronid liiguvad katoodi ja anoodi vahelises ruumis kiirusega, mida mõõdetakse tuhandete kilomeetritega sekundis (vt. lk. 25). Jõudes anoodile jätkavad nad liikumist selles, kuid juba kiirusega, mida mõõdetakse millimeetritega sekundis. Anoodi pinnal toimub elektronide järsk pidurdumine, elektronid porkavad vastu anoodi aine osakesi ja annavad neile oma liikumisenergia üle. Tulemusest muundub kineetiline energia soojuseks ja anoodid kuumeneb.

Niisugust löökidest tekkivat kuumenemist kohtame elus sageli. Võtke vasar ja lööge temaga mitu korda tugevasti vastu metallitükki — metall soojeneb märgatavalt. Nii kuumutavad ka elektronid anoodi, lüües teda loendamatu kordi.

Muidugi on kuumutamise mehhanism sellel juhul sisuliselt niisamasugune nagu voolu kulgemisel läbi takistuse: elektronid, põrgates kokku aine osakestega, annavad neile oma energiat. Kuid elektronide suurema kiiruse tõttu eraldub soojust palju rohkem.

## MIDA ANNAB ANOODIDE MUSTAMINE

Elektronipommitamise tagajärjel lampide anoodid kuumenevad. See on ohtlik kahes mõttes. Esiteks võib metallist liiga kõrge temperatuuril hakata eralduma gaasi, teiseks tekitab anoodi kuumenemine katoodi liiskuumenemist. Võrdlemise madalal temperatuuril töötavate oksiidkatoodide jaoks võib see osutada hukatuslikuks, sest oksiidkatoodide emissioon kaob ülekuumenemisel kiiresti.

68

Kuidas saab vähendada anoodi kuumenemist?

Kõige lihtsam tee on anoodi pindala suurendamine, selleks et iga tema ruutsentimeetri kohta tuleks väiksem hajutamisevõimsus. Kuid niisugune viis on seotud lambi üldiste mõõtmete suurenemisega, mis teeb ta kallimaks ja suurendab aparatuuri mõõtmeid. Et vähendada anoodi temperatuuri ilma tema mõõtmeid suurendamata, on vaja leida võimalus juhtida eralduv soojus eemale. Kuna anood asub vaakuumis, on soojuse kõrvaldamine võimalik ainult kiirgamise näol.

Füüsikast on teada, et parimat kiirgusvõimet omavad mustad kehad. Seda iseärasust kasutataksegi anoodide jahutamiseks. Katsed on näidanud, et mustad anoodid kuumenevad tunduvalt vähem kui teised samast materjalist tehtud anoodid.

Vastuvõtu-võimenduslampide anoodid tehakse niklist. On olemas mitu nikli mustamise viisi. Kiirguse suhtes annab parimaid tulemusi karboniseerimine — nikli pinnale kantakse nikli kuumutamiseks bensooli ja vesiniku aurudes õhuke süsinikukiht.

Karboniseeritud anood talub 4—5 korda suuremat võimsust kui karboniseerimata anood. Selliste anoodide kasutuselevõtmine lubas tunduvalt vähendada lõpplampide mõõtmeid. Väikese gabariidiga lampide puhul, millel on väikesed elektroodid, tuleb mustata mitte ainult lõpplampide, vaid üldse kõigi lampide anoodid.

## ELEKTROODIDE SINAKAS HELENDUS

Kui eemaldada töötava vastuvõtja tagumine sein, võib sageli näha ilusat pilti — anoodi, aga mõnikord ka lambi ballooni sinakat helendust. Iseloomult meenutab see neonlampide elektroodide punakat helendust. Neonlampide elektroodid oleksid nagu kactud 1—2 mm paksuse

69

punase valguse «kihtiga». Niisamasugune helenduv kiht tekib ka raadiovastuvõtjate lõplampide elektroodide lähedal, näib ainult mõnevõrra õhemana, on sageli katkendlik, moodustades erineva suuruse ja kujuga laike, ja omab väga ilusat sinakast tooni.

Helenduv «kiht» on ebapüsiv ning pulseerib raadio saate helide taktis.

Raadioamatööride ja -hulajate seas on laialt levinud veendumus, et helendus on tingitud gaasi olemasolust lampi balloonis. See tõttu loetakse helendust praaktamini tunnuseks.

Tegefilid ei seletu niisugune helendus mitte gaasiakadega lambris, vaid luminesentsiga, s. o. sama füüsikalise nähtusega, mis tingib elektronkiiretoru ekraani, optilise häälestusindikaatori jt. helenduse. Ühesugune on ka luminesentsi tekkimise põhius — elektronvoogudega põmitamine. Elektronid, põrgates tugevasti vastu lumineseeriva aine molekule, viivad neid «ergutatud» seisundisse, mis avaldub selles, et üks aatomil elektronidest hüppab oma orbitidil (kattel) teisele, kõrgema energiatasemele orbitidile. Pöörduhes tagasi oma esialgsesse orbitidile, eraldab elektron energia ülejäägi footoni ehk valguskvandi — välkseima värgusosakese kiirgamisega.

Mis on siis antud juhul luminofooriks — helenduvaks aineks? Selliseks luminofooriks on mitmesugused juhustitud elektroodide metallpinda katvad kõrvalised ained. Nende hulka kuuluvad katoodi oksiidkõhi aurustunud molekulid, mis on sadestunud elektroodidel, aga samuti ained,

mis on elektroodidele sattunud lampi monteeritud inimese sõrmedelt. Vaakuumtehnikute keeles ühendatakse kõik need ained ühise nimetuse alla — saast. See saast ongi juhustlikuks luminofooriks, mille tõttu lampi elektroodid helenduvad.

Kust võetakse aga luminofoori ergutavad elektronid? Millega seletada seda, et helendub mitte ainult anoodi sisepind, vaid tihti ka välispind, monikord koguni ballooni siseosade osa?

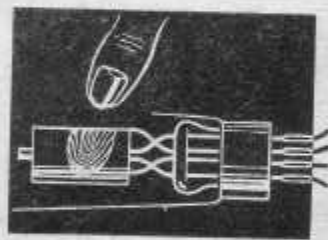
Anoodi siseosade osa helendub

anoodivoolu otsese toime mõjul. Kuid tuleb arvesse võtta, et kõik elektronid, mis lendavad katoodist välja, ei jõua anoodile. Osa neist lendab mööda, põrkab tugevasti vastu ballooniklaasi ja lööb sealt välja sekundaarelektroone (nimetatud dünatronefekt). Neid elektrone lömbab külge anood, nad põrkavad vastu selle välispinda ja sumivad helenduma seda katva juhustliku luminofoori. Põrgates vastu klaasi, panevad elektronid ka selle helenduma. Elektronide voog pulseerib vastavalt tüürvõre potentsiaali ja anoodipinge muutustele, mis toimuvad kooskõlas vastuvõtava saate modulatsiooniga. Füüsikaliselt kujutab pulseerimine endast anoodivoolu moodustavate elektronide kiiruse ja arvu muutumist. Loomulikult muutub koos sellega ka kiirgus, mille heledus sõltub otseselt luminofoori põmitavate elektronide kiirusest ja arvust.

Kerge on seletada ka asjaolu, et elektroodide helendust võib märgata peamiselt lõplampide juures. Nendel lampidel on võimas katood, kõrge anoodipinge ja suur anoodivool. Lõplampide elektroodid asuvad katoodist kaugemal kui väikestel vastuvõtu-võimenduslampidel, mis loob soodsamad tingimused elektronide anoodist möödalipsamiseks. Peale selle on just nimelt lõplampidel tavaliselt klaasballoonid, mille läbi helendus on hästi jälgitav.

Kuigi lampi elektroodide helendust ei saa nimetada normaalseks nähtuseks, kuna ta seletub elektroodide ja ballooni saastumisega kõrvaliste ainetega, ei saa seda pidada ka oluliseks puuduseks, mis häivendaks lampi töö ja kuulutaks ette tema peatset riknemist.

Kuid see ei tähenda, et lampides ei või olla gaasi. Monikord esineb lõepooltest «gaasiga» lampe, kuid nendes ei helendu mitte elektroodide pind ega mõned ballooni osad, vaid kogu lampi siseosade ruum. Sellised lambid annavad tugevasti moonutatud vastuvõtu ja lähevad tavaliselt väga kiiresti rivist välja.





## KUHU KAOVAD ELEKTRONID

Elektronidel, mis liiguvad juhis ja tekitavad oma liikumisega elektrivoolu, on väga väike keskmine kiirus (vt lk. 23). Raadioaparatuuris kasutatavate pingete puhul moodatakse elektronide liikumiskiirust millimeetritega sekundis.

See-eest avaneb elektronlambi vaakuumis — katoodi ja anoodi vahelises ruumis — elektronidele vaba tee (vt lk. 50). Elektronide liikumiskiirus elektroodidevahelises ruumis määratakse nende väljalennukiirusega katoodist ning anoodipinge ja võrepingete kiirendava mõjuga. Faktiliselt liiguvad elektronid meie vastuvõtu-võimenduslam-pide elektroodidevahelises ruumis kiirusega umbes 5000–10 000 km/s.

Elektronide liikumiskiiruse võrdlemisel juhtmetes ja lambi elektroodidevahelises ruumis tekib loomulikult küsimus: kuhu siis kaovad elektronid, mis tohtu kiirusega kanduvad läbi katoodi ja anoodi vahelise ruumi? Jõudnud anoodile, aeglustub ju elektronide liikumine otsekohe. Nad hakkavad liikuma aeglaselt, kuid anoodile saabuvad niisamasuguse hüglasliku kiirusega üha uued elektronid parved. Tulemusena peavad elektronid kogunema anoodi pinnale, sest nende väikese liikumiskiiruse tõttu metallis ei jõua nad sealt ära voolata.

Tekib ka teine küsimus: kust võetakse elektronid, mis moodustavad lambi anoodivoolu?

Kuidas lahendub see raadiolambi anoodivoolu mõistatus?

Toodud arutlused ei olnud muidugi õiged. Tuletame meelde, millega määratakse voolu suurus. Tä määratakse elektronide arvuga, mis voolab sekundis läbi juhi ristlõike. Elektronlambi ahela igas punktis (ühendusjuhtmete, katoodi, anoodi, toiteallikate ja anoodi-katoodi vahelise ruumi igas lõigus) voolab läbi ristlõike sekundis ühesugune arv elektrone — voolu suurus on igas ahela punktis ühesugune.

Milles siis seisib meie arutluste ekslikkus? Me tulime ebaõigete tulemustele, järeldades, et mida suurem on elektri-

ronide kiirus, seda rohkem neid kandub sekundis läbi juhi ristlõike. See ei olnud õige. Selgitame küsimuse näite varal.

Oletame, et piki teed liigub kolonn inimesi, kes lähevad kümne kaupa reas. Et read üksteist ei segaks, hoitakse nende vahel ühemeetrilist intervalli. Tee ääres seisev vaataja näeb, et tee ristlõiget läbib ühe sekundi jooksul kümme inimest — üks rida. Kuna sekundi jooksul peab tee ristlõiget läbima üks rida, aga ridade vahemaa on meeter, siis on silmanähtav, et read peavad liikuma kiirusega 1 m/s. = 3600 m/h = 3,6 km/h.

Kolonnil teel on kitsas ühe meetri pikkune sild, millest üle saab minna ainult ühekaupa. Selge, et sillani jõudnud rida peab peatuma ja algama üksinaaval üleminekut. Niisama silmanähtav on, et silla juures tekkiva korgi vältimiseks ning silla ületanud inimeste uueks rivistumiseks ja liikumise jätkamiseks endises tempos tuleb neil sillast üle joosta. Lihtsuse mõttes loeme, et kogu ümberriivistus teostatakse silmapilkselt ja et jooksvate inimeste vaheline intervall on endiselt 1 m. Sellisel juhul peab kogu ahelikuks veninud rida jooksmas üle silla 1 sekundi jooksul, iga selle rea liikmel on aga ülejooksuks aega ainult 0,1 sekundit. 1 m pikkuse silla ületamisel 0,1 sekundi jooksul peab jooksja arendama kiirust 36 km/h.

Kokkuvõttes ei muutu mete teel midagi. Igas kohas sealhulgas ka sillal, läbib tee ristlõiget 10 inimest sekundis. Kuid liikumiskiirus ei ole ühesugune — teel on ta 3,6 km/h, sillal aga 36 km/h.



seks ning silla ületanud inimeste uueks rivistumiseks ja liikumise jätkamiseks endises tempos tuleb neil sillast üle joosta. Lihtsuse mõttes loeme, et kogu ümberriivistus teostatakse silmapilkselt ja et jooksvate inimeste vaheline intervall on endiselt 1 m. Sellisel juhul peab kogu ahelikuks veninud rida jooksmas üle silla 1 sekundi jooksul, iga selle rea liikmel on aga ülejooksuks aega ainult 0,1 sekundit. 1 m pikkuse silla ületamisel 0,1 sekundi jooksul peab jooksja arendama kiirust 36 km/h.

Kokkuvõttes ei muutu mete teel midagi. Igas kohas sealhulgas ka sillal, läbib tee ristlõiget 10 inimest sekundis. Kuid liikumiskiirus ei ole ühesugune — teel on ta 3,6 km/h, sillal aga 36 km/h.

Samuti on lagu elektronlambis. Lambi anoodahela iga lõiku läbib ühesuguse ajavahemiku jooksul ühesugune arv elektrone. Kuid nende «tihedus» ei ole ühesugune. Juhis liiguvad nad aeglaselt, «tiheda massina». Lambi elektroodidevahelises ruumis muutub nende «riivi» hõredaks, seepärast peavad elektronid ridade hõrenemise tõttu tekkivad kadude tasatagemiseks liikuma kiiremini.

## KUI PALJU NIMETUSI ON OLNUD ELEKTRONLAMBIL

Iga uus tehniline seade saab ilmaletulemisel nimeluse. Sageli annab selle nimetuse konstruktor või leiutaja. Esialgne nimetus võib aparaadile jääda igaveseks, kuid pole harvad ka juhused, milal see ei osutu küllalt õnnestumaks ja asendatakse edaspidi teisega, mis iseloomustab aparati paremini.

Sellisest nimevahetusest pole pääsenud ka elektronlamp, kuid erinevalt paljudest teistest seadmetest on ja vahetanud palju nimesid ja isegi veel praegu on tal neid mitu.

Esimised lambid kandisid meil nimetust «vaakuumrelee». Kõrvuti sellega levisid mõnevõrra «katoodelees», «elektronrelee» ja «elektronklapp». Käibel oli ka nimetus «katooditoru». 20-ndate aastate algul hakati erinevates variantides tarvitama terminit «lamp», «vaakuumlamp», «katoodlamp», «elektronlamp», «võimenduslamp», «raadiolamp».

Selline nimetuste mitmekesisus seletub paljus tõlkijate tööga, kes tõlkisid lampide nimetusi erinevatest väliskeeltest, kooskõlastamata neid juba levinud nimetustega.

Kõikidest nendest on kõige õigemaks ja just nagu lõplikult kinnitumaks «elektronlamp», kuigi kõrvuti sellega esineb sageli ka «raadiolamp».

Nimetusi «relee» ja «klapp» kui elektronlambi tööprintsiipidele täielikult mittevastavaid nüüd enam ei kasutata. Termin «toru» on säilinud vaid ühendis «elektronikiiretoru».

## HELILAINETE PIKKUS

Elektromagnetilisi võnkumisi, mida kasutatakse raadio- saateleks, iseloomustab lainepikkus või sagedus. Näib, et enamikule raadioamatööridest ja raadiokulaajatest on harjunumad ja arusaadavamad lainepikkused, aga mitte sagedused. Lainepikkused, näiteks 1200, 300 ja 42 m on «arusaadavamad» kui neile vastavad sagedused — 250 ja 1000 kHz ning 7,145 MHz.

Kuid helivõnkumisi oleme harjunud määrama ainult sagedusega. Mida ütleb teile väljendus «helilaine pikkusega 2 m»? Kas see toon on madal või kõrge? Korraga on isegi raske ette kujutada, kas võime sellise lainepikkusega heli kuulda või mitte.

Seejuures võib helivõnkumisi, samuti nagu elektromagnetilisi iseloomustada nii sageduse kui ka lainepikkusega. Selleks et teada saada elektromagnetilise laine pikkust, on vaja raadiolainete levimise kiirus jagada sagedusega.

Täpselt samuti on vaja teha ka helilainete pikkuse määramisel.

Helilainete levimise kiirus õhus  $+15^{\circ}\text{C}$  ja normaalse atmosfäärirõhu juures (760 mm elavhõbedasammast) on 340 m/s. Järelikult

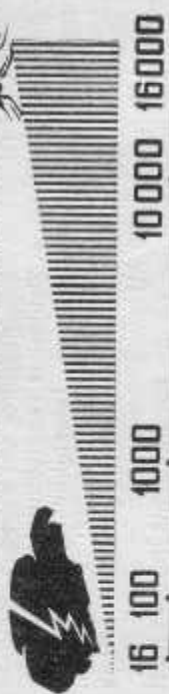
$$\text{lainepikkus meetrites} = \frac{340}{\text{sagedus hertsides}}$$

Sellest avaldisest on kerge leida, et lainepikkusele 2 m vastab heli sagedus 170 Hz, sest  $340 : 170 = 2$ . Täheleandab, helilainet pikkusega 2 m võime kuulda. 170 Hz on kannis madal toon; see on ligikaudu kõige madalam toon, mida võib tekitada naisehääl.

Millise pikkusega helilaineid me siis kuuleme?

Kuulmisorganite sagedusdiapsoon ei ole erinevatel inimestel ühesugune, eriti selle ülempiiri osas. Kõik ei kuule sääsepirinat, nahkhiirt või tsikaadi sirinat, millele vastavad sagedused 12 000—16 000 Hz. Ohed võivad nautida lõunamaa pargi täielikku vaikust, samal ajal kui teistele tundub, et park on täidetud tsikaadide sirinast ja kihulaste pirinast. Kuid keskmiselt kuuleb inimene sagedusi alates 15—16 kuni 16 000 Hz-ni. Nendele sagedustele vastavad lainepikkused 21 m-st kuni 2,1 cm-ni. Kõuekõminatete lainepikkus on 21 m ümber, kuid sääsepirinal umbes 2 cm.

## KUULDAVATE HELIDE DIAPASOON



Inimhäääl on võimeline tekitama helilaineid pikkusega umbes 4 m-st kuni 28 cm-ni, lugedes põhisageduste järgi. Kuid meie hääle helid sisaldavad palju kõrgemaid toone (oobertoone), mis annavad talle tämbriilise värvingu, tänu millele võime inimest hääle järgi ära tunda. Oobertoonide lainepikkus on tunduvalt lühem põhisageduste omast. Oidise ettekujutuse inimhääle spektrist võib anda järgmine tabel.

Hääli	Kõige madalam loon		Kõige kõrgem loon		Oobertoonid kuni	
	Sagedus Hz	Lainepikkus cm	Sagedus Hz	Lainepikkus cm	Sagedus Hz	Lainepikkus cm
Mees	80	425	500	68	8 000	4,2
Naine	170	200	1200	28	10 000	3,4

Meie parimad raadiovastuvõtjad annavad ilma suurema nõrgendamiseta edasi helilaineid 5,67 m-st kuni 3,4 cm-ni (60—10 000 Hz).

## LAINEPİKKUS JA SAGEDUS

Helilaineid me iseloomustame tavaliselt sagedusega, mitte aga pikkusega. Kas see teepoolt seletub ainult harjumusega või sunnivad meid selleks mingid kaalukamad asjaolud?

Helilaine pikkus (tähistame seda tähega  $\lambda$ ) sõltub heli levimise kiirusest. Teda võib määrata valemiga

$$\lambda = \frac{v}{f},$$

kus  $f$ -ga on tähistatud võnkesagedus.

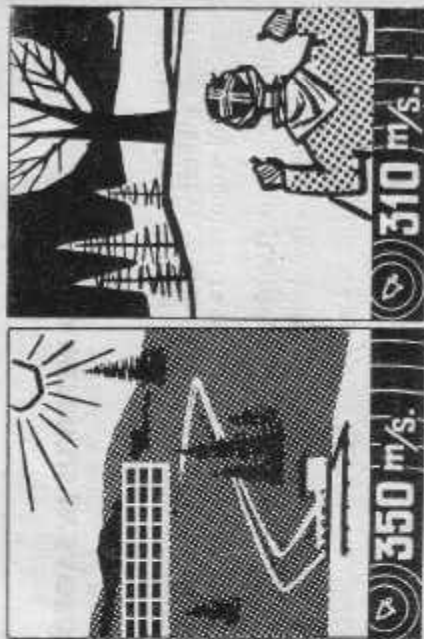
Heli kiirus õhus on muutuv suurus ja sõltub mitmest põhjusest — temperatuurist, atmosfäärirõhust, niiskusest. Allpool on toodud tabel, milles on näidatud helilainete levimiskiirus kuivas õhus normaalse atmosfäärirõhu juures, samuti aga nendele kiirustele vastavad helilainete pikkused.

Temperatuur 100-kraadise skala järgi	Helilainete levimise kiirus m/s	Helilaine pikkus sagedusel 1000 Hz cm
-182	181,5	18,1
-45	305,6	30,6
-20	318	31,8
0	331	33,1
+15	340	34
+20	342,5	34,3
+100	387,3	38,7

Kolmas arvude tuip on arvutatud ülatoodud valemil järgi  $v = \lambda f$  kolmas teel  $f$ -ga (1000 Hz).



Sellest tabelist on näha, et heli kiirus, koos sellega ka helilaine pikkus sõltuvad küllalt tugevasti temperatuurist. Selles õhutemperatuuride intervallis, mis keskmiste laiuskraadide tingimustes faktiliselt esineb, muutub heli kiirus umbes 15% võrra. Kuna heli kiirusele avaldab peale tem-



peratuuri mõju võib õhu niiskuse aste ja atmosfäärirõhu suurus (niiskuse ja rõhu suurenedes heli kiirus suureneb), on helilainete pikkuse tegelikult võimalikud muutused veel suuremad.

Oeldust võib teha järelduse, et kui me tahaksime heli iseloomustada lainepikkusega, siis tuleks meil spetsiaalselt ära märkida temperatuur, niiskus ja teised tingimused, millele ei saaks lainepikkust siduda ühegi kindla tooniga.

Enamikus tahketes ja vedelates kehades levib heli tunduvalt kiiremini kui õhus. Allpool on toodud heli kiirused ja helilainete pikkused erinevates keskkondades (vt lk. 79).

Nagu tabelist näha, on helilainete kiirus kummi umbes kuus korda väiksem kui õhus tavalistel temperatuuridel, terases, klaasis ja puus on see aga umbes 15 korda suurem.

Elektromagnetiliste võnkumiste levimiskiirus on tihjuses ja õhus praktiliselt ühesugune ega sõltu temperatuurist, rõhust või muudest põhjustest. Aga kui meil

Aine	Helilainete kiirus m/s.	Helilaine pikkus sagedusel 1000 Hz cm
Vesi	1540	154
Teras	5200	520
Klaas	5300	530
Puu, piki kiudu (keskmiselt)	5000	500
Plii	1280	128
Kummi	50	5

tuleks tegemist teha elektromagnetiliste lainete levimisega teises keskkonnas, kus nende kiirus märgatavalt erineb, siis oleks lainepikkuse kasutamine juba ebamugav, kuna lainepikkused ei vastiaks barjounud sagedustele.

Toome ühe näite. Raadiolainete kiirus tihjuses on, nagu teada, 300 000 km/s. (täpsemalt 299 776 km/s.). vees aga üheksa korda väiksem. Sagedustele 1000 kHz vastab tihjuses ju õhus lainepikkus 300 m, vees aga 33 m. Nagu näeme, on vahe väga lüüdv. Sellega seletuvad vedelikku paigutatud televiisioonianennide väikesed mõõtmised.

## SÄÄSEPIIRIN ARVUDES

Väga vähesed meie planeedi asustavad elusolendid võivad kiidelda sellega, et neid meenutatakse raadiotehnilises kirjanduses. Nende hulka kuulub näiteks nahkhiir — lokat-sloomijaama elav prototüüp. Niisuguste kilda arvatakse ka sääsk.

Mille poolest on siis sääsk kuuluis?

Sääsed on saanud kuulsaks oma pirinaga. Sääsepirin asub tooni kõrgusel ja helitugevusest inimkõrvaga vastu võetavate sageduste ja valjusenivoo de piiril, seepärast

alustab või lõpetab ta tihti akustilisi tabelleid ning teda kasutatakse kontrastseteks akustilisteks võrdlusteks ja näideteks.

Missugused arvud siis iseloomustavad sääsepinnat?

Heli, mida me nimetame sääsepinnaks, tekitavad lendava sääse tiivad. Selle sagedus kõigub ligikaudu vahemikus 12—16 kHz. Need sagedused on inimkõrva jaoks äärmiselt piir. Kõik neid ei kuule. Lapsepõlveaastalel kuuleb inimene kõrgemaid sagedusi kui küpses eas. Seepärast ei püüta isegi parimate, kõrgevaliteedilistes akustika-seadmetes saavutada üle 12—15 kHz ulatuvate helisageduste edasiandmist.

Sääsepinna võimsus on umbes  $5 \cdot 10^{-4}$  ergi. Kuna  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ W}$ , siis sääse poolt kiiratud võimsus on

$$5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-7} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ W}.$$

See on 20 miljardit korda väiksem taskulambipirni poolt tarbitavast võimsusest.

Kuid meie kõrv ei võta ju vastu kaugeltki kogu sääse poolt kiiratavat helienergiat, vaid ainult selle äärmiselt väikesel osal. Eksperimendid näitavad, et terava kuulmisega inimeste märkab sääsepinnat 2 m kauguselt. Sääse tekitatud helivõimsus jaotub seejuures kerapinnale raadiusega 2 m, mille pindala on umbes  $5 \cdot 10^6 \text{ cm}^2$ . Kerapinna  $1 \text{ cm}^2$ -le tuleb sääsepinna võimsus ( $1 \text{ cm}^2$  on kõrva sisemiskanalite pindala) on kõigest  $25 \cdot 10^{-16} \text{ W}$ .

See on kuuldavuse lävi niisugustel sagedustel.

Helilaine kujutab endast õhuosakeste võnkuvat nihkumist. Võnkumissagedus määrab heli sageduse, võnkeselgust aga sõltub heli valjus. Meie kõrv on erakordselt tundlik. Kõige tundlikum on ta sagedusel 2300 Hz. Kuuldavuse lävi sellel sagedusel on  $10^{-16} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , mis vastab helirõhule  $2 \cdot 10^{-4}$  baari.

Õhuosakeste nihkumine kuuldavuse lävele vastaval valjusel on kõigest  $0,1 \text{ \AA}$ , s. o. väiksem aatomi läbimõõdust.

Võnkuvad õhuosakesed annavad oma energia edasi kõrva trumminahale, mis hakkab ise võnkuma umbes niisamasuguse amplituudiga. Kuid nendest ultramikroskoopilistest amplituudidest piisab, selleks et kuulmisnärvi saaks teatud ärrituse, mille tagajärjel tekib meil helitaisting.

Vaatamata õhuosakeste võnkumise üliväikestele amplituudidele on võnkumisesse sattuva õhu kogumass küllaltki suur. Kui me eraldame sääsepinnat veel 1 m kauguselt, siis võngub seejuures umbes 44 kg raskune õhumass. Kui me kuuleme heli 100 m kauguselt, on võnkumises umbes 2500 t õhku.

## NAHKHIIR — ELAV LOKAATOR

Tagasihoidlik nahkhiir on populaarteaduslikus kirjanduses kuulsaks saanud oma lokatsioonivõime tõttu. Hämastamapaneva osavusega lendab ta pimeduses, laveerides majade, puukoste, juhtmete ja teiste takistuste vahel.

Teadlasi on ammu huvitanud, kuidas oskab nahkhiir lendata pimeduses, pörkamata vastu takistusi. Algu — see oli ammu, peaaegu 200 aastat tagasi — oletati, et tal on erakordselt terav nägemine. Kontrolliks püüti üks hiir kinni, kleebiti tema silmad üle ja lasti lahti. Tulemused olid hämmastavad: pimedaks tehtud hiir lendas sama osavalt nagu nägija; ta ei pörganud millegi vastu ja leidis isegi saaki.

Kuid ükskord püüti nahkhiirel kinni siduda kõrvad. Vaatlused näitasid, et kuulmisvõimest ilmajäetud hiir muutus abituks. Ta kaotas võime lennata pimeduses ja kättida putukaid, millest ta toitus.

Võib-olla kuuleb hiir mingeid hääli ja orienteerub nende järgi? Kontrolliks otsustati lasti lasta avatud kõrvadega (ja silmadega), kuid kinniseotud suuga hiir. Ja selguski, et ka sel juhul ei suuda hiir lennata — ta pörkab vastu takistusi.

Asi hakkas selguma. Nähtavasti saadab nahkhiir välja mingeid meile kuuldamatuid helisid ja orienteerub nende abil ruumis.

Mida siis hiir ikkagi kuuleb? Mis helisid ta välja saadab?

Mõistatust ei lahendatud kohe. Vaatused ja uurimised näitasid, et nahkhiir saadab välja ultraheliseid, mille sagedus ulatub 50 kHz-ni. Täiesti loomulik, et me neid ei kuule. Võtab ju inimkõrv vastu heliseid sagedusega mitte üle 16 kHz.

Raadiolokatsioonipõhimõtted on hästi teada. Raadiolokatsioonijaam saadab perfoodiliselt välja raadiolainete impulsse (sondeerivad impulsid) teravalt suunatud antennisüsteemi abil.

Jaama poolt välja saadetud sondeeriv impulss, kohales oma teel takistus, peegeldub sellelt ja pöörduv osaliselt jaama tagasi, kus ta vastu võetakse. Teades raadiolainete levimise kiirust ja aega, mis on kulunud signaali väljasaatmise ning tema kaja näol tagasisijõudmise vahel, on kerge määrata vahemaad takistusest, millelt raadiolained peegeldusid. Kiiruse puhul 300 000 km/s, läbib raadiolaine 1  $\mu$ s. jooksul 300 m. Kui kaja jõudis tagasi 2  $\mu$ s. pärast, siis on kaugus takistusest 300 m, sest signaal läbis selle tee kaks korda — saatjast takistusest ja takistusest saatjani.

Kaja võib vastu võtta ainult saatja vaikimise momendil. Peegeldunud signaal on alati väga nõrk ja väljasuudetatav signaal lümmatab ta täielikult isegi sel juhul, kui vastu võtuks kasutada eriantenni. Tegelikult aga teostatakse vastuvõttu ja saatmist ühe antenniga, mis lihitatakse kord vastuvõtule, kord saatele.

Nüüd on selge, miks sondeeriva impulsi kestus määrab lokaatori minimaalse tegvuskauguse. Kui impulss kestab 10  $\mu$ s., siis selle aja jooksul ei saa vastuvõtja kaja vastu võtta, signaal aga läbib 10  $\mu$ s. jooksul 3000 m. Järelikult ei saa niisuguse lokaatoriga avastada takistust, mis asub lähemal kui 1,5 km.

Niisama mõistetav on sõltuvus impulssidevahelise intervalli ja suurima kauguse vahel, millel lokaator võib töötada. Selle intervalli jooksul peab signaal jõudma takistusest — eesmärgini — ja tagasi. Kui kahe sondeeriva impulsi vaheline intervall on 1000  $\mu$ s., siis raadiolaine läbib intervalli jooksul 300 km. Selle aja jooksul peab signaal läbima kahekordse tee, seepärast on suurim vahemaa, mida lokaator võib määrata, 150 km.

Pöördume nüüd tagasi nahkhiire juurde. Temal ei tule mõõta suuri vahemaid. Teda ei huvita, mida tehakse kaugemal kui umbes 20 m. See-est on väga tähtis saada õige-

aseid andmeid kõigest, mis asub tema lennutee lähedal — mõne meetri kaugusel ja lähemal, muidu ta pööraks vastu takistusi.

Iga ultrahelisaade — sondeeriv impulss — kestab mitte üle 1 ms. Ultraheli levib õhus niisamauguse kiirusega nagu heli, s. o. keskmiselt 340 m/s, 1 ms. jooksul läbib heli umbes 34 cm, järelikult võib nahkhiir sellise saadetuse juures avastada takistusi vahemaadelt 17 cm ja kaugemalt. Kuna nahkhiir võib välja saata veel väiksema kestusega impulsse, siis on ta võimeline «tundma» vastujuhitavaid esemeid enda kõige vahetumas läheduses.



Saadetiste arvu sekundis muudab nahkhiir vastavalt asjaoludele. Liikumatu hiir teeb sekundis umbes kümme ultrahelisaadet. Lennus olles muudab ta saateid sagedamaks, viies nende arvu 30-ni sekundis ja isegi üle selle, sõltuvalt vahemaast takistusest, millele ta läheneb.

Nahkhiir kasutab oskuslikult oma võimet välja saata ja kinni püüda ultraheli ning see võime täientab hästi tema teisi meeleorganeid. On küllaldane näha nahkhiirt lennus, et veenduda, milliseks tähtsaks ja fõhasaks orienteerimisvahendiks on talle see võime. Hiir lendab kindralt tiheda aja puude vahel, tehes kaalamurdvaid pöördeid, ning mõeldub õigeaegselt kõigist takistustest, praktiliselt selleks nägemist kasutamata, lootes eranditult oma «ultrahelilokaatorile».

Eelmises fraasis on sõna «ultrahelilokaator» asetatud jutumärkidesse traditsiooni mõjul. Nahkhiire ultraheli-orienteerumisasparaat pole lokaator mitte ülekantud tähend-



duses. Ultraheliinüdrolokaatorid, nn. astikud\*, töötavad samal põhimõttel: nad annavad ultrahelisaateid — sondeerivad impulssse, püüavad nende peegeldusi takistustelt ja määravad kaja saabumise aja ning suuna järgi objekti suuna ja kauguse. Sisuliselt täpselt samuti töötavad ka ultrahelikajaloed.

Nagu öeldud, kasutab nahkhiir lokatsiooni tarvis ultraheli sagedusega umbes 50 000 Hz. See on väga kõrge sagedus, mis asub kaugel väljaspool inimese poolt kuuldavate sageduste piiri. Kuid nahkhiir ise võtab vastu veel kõrgemaid sagedusi, arvatavasti üle 70 kHz. Võimet kuulda selliseid sagedusi on nahkhiirele vaja loenäoliselt selleks, et otsida putukaid, millest ta toitub. Hiir püüab viimaseid lennul, nemad aga tekitavad oma tihedatega ultrahelisiidid, mille sagedus asub ülalähendatud piirides.

Analoogilist kaja kasutab Lõuna-Ameerikas elutsev lind guatšaaro — pimedate koobaste asukas. Ta kiirgab võimsaid kõrgetoonilisi katkendlikke karjeid (sagedusega umbes 7000 Hz) ja pärast iga karjet püüab takistustelt kaja.

Selleks et kasutada heli- või ultrahelilokaatorit, tuleb elusolenditel hinnata niisuguseid lühikesi ajavahemikke nagu millisekundid ja isegi mikrosekundid. Ja meil hakkab veidi kade: linnud ja nahkhiired mõeldavad täpselt ülitühikese silmapilke, kuid me ise oleme aja hindamisel võimelised ekstima mitte ainult minutite ja kümnete minutitega, vaid isegi tervete tundidega.

Kuid ei ole põhjust arvata, et meile on liiga tehtud. Inimene püüab samuti kinni millisekundeid ja nende osi. Meil on heli stereofoniiline vastuvõtmine. Me eristame suletud silmadega, et auto signaliseerib paremal, keegi räägib vasemal jne. Kuidas me seda teame?

Meil on kaks kõrv, mille vahe on umbes 20 cm. Kui heliallikas ei asu otse meie ees või taga, siis see meie kõrv, mis asub heliallikale lähemal, kuuleb varem, kaugem kõrv aga hiljem. Lihtne arvutus näitab, et kui heliallika

\* Inglisekeelsest sõnast «sodja» — tähendab hüdrolokatsiooni-seadet, mis on otse nähtud veealuste objektide asukoha määramiseks. — Tõlk.



GUATŠAARO

kaugused kummaski kõrvast erinevad 10 cm võrra, siis kaugem kõrv kuuleb heli 0,3 ms. ehk 300 μs. hiljem. Meie võimete piir on arvatavasti kusagil 100 μs. ligilädi.

Radiolokatsiooni jaama võrdlemist nahkhiirega on huvitav lõpetada mõnede arvudega. Nahkhiir on väike ja tema «lokatsiooni mehhanism» — kopsud, kurk, kuulmisaparaat koos juhtiva ajuosaga — on väga kerge; ta kaalub veidi üle poole grammi. Hiire poolt kiiratavate signaalide võimsus on umbes 10<sup>-6</sup> W, s. o. miljondik vatti. Võrdluseks võib võtta mi-õelda «samatüübilise» radiolokatsiooni jaama — lennuki oma. Selline jaam kaalub mõnikümne kilogrammi, kiiratav võimsus aga on kümnete kilovattide piires. Seejuures avastab lennuki raadiojaam mõnemetrise, nahkhiir aga kümnekilogrammise diameetriga objekte. Kui arvestada suhtelist võimalikku avastamiskaugust, siis saame, et nahkhiire lokatsiooniaparaat on palju efektiivsem radiolokatsiooni jaamast.

Paljud elusolendid kasutavad ruumis orienterumiseks ja saagi otsimiseks kuuldavaid või mittekuuldavaid kõrgsagedushelisiidid. Niisugune ümbritseva maailma tunnetamise viis on levinud tunduvalt laiemini, kui tavaliselt arvatakse, ning nahkhiir koos guatšaaroga ei ole sugugi fenomenid. Nahkhiir on lihtsalt laialt tuntud ja tema võime lennata pimedas kergesti vaadeldav. Teiste elusolendite juures on lokatsiooni meetodite kasutamist raskem märgata. Kuid näiteks ka delfiinidel on täiuslik helilokatsiooniaparaat ja nähtavuse täielikul puudumisel mõõduvad nad selle abil takistustest ja otsivad saaki. Delfiinide «saated» kujutavad endast lühikesi kõrgetoonilisi plökses, mis sagedasel kordamisel (kordumissagedus kõigub sõltuvalt vajadusest) muutuvad omaparaseks «kääksumiseks». Ilmselt kasutab delfiin ka kõrgemaid sagedusi, kuna tema isiklik kuulmisaparaat võtab vastu ultrahelisiidid sagedustega üle 100 000 Hz.

## MIKS ME ÜKSTEISEST ARU SAAME

Sellel küsimusel pole midagi tegemist keelega. On täiesti ilmselge, et me suudame mõista ainult seda, mis on öeldud meile tuntuil keeles. Ent selleks, et mõista sõna, mis on öeldud ükskõik millises keeles, on vaja kindi püüda teda moodustavast häälikust. Kui keegi ütles sõna «lhas», siis peab kuulaja täiesti selgelt eraldama, et esimeseks häälikuks selles sõnas on «l», sellele järgneb «s» jne. Kui me «s» asemel kuuleme «a», siis on sõnal hoopis teine tähendus; tuleb välja mitte «lhas», vaid «lahas».

Sellest tuleneb vaieldamatu järeldus: et teineteisest aru saada, peame eristama häälikuid, millest koosnevad sõnad. Me peame eksimatult vahet tegema hääliku «a» ja hääliku «o» või «i» jt. vahel.

Millisel viisil me seda saavutame? On ju inimhääled nii erinevad tämbri ja tooni poolest. Mõni kõnib häälikut «a» mahaka süljapinibassiga, lapsehäälele aga piiksub teda peenikese tiiskandiga, ent nii bassikõmimas kui ka peenikeses lapsehääles tabame ühte ja sama häälikut «a». Me tunneme häälikuid ära sõltumata sellest, kuidas nad on hääldatud — valjult või sosinaga, me tunneme nad ära ka karjatustes ja laulus.

Arutundmise mehhanism on väga huvitav. Osutub, et igas täishäälikus on vähemalt kaks iseloomuliku tooni ehk kaks formanti, nagu neid nimetatakse, mis määravad selle hääliku. Need formandid peavad häälikus kindlasti eksisteerima, muidu me ei suuda teda ära tunda.

Kuidas siis kindlustatakse vajalike formantide olemasolu hääldatavas häälikus? See tagatakse suuõõne teatava häälestamisega. Keele, põskede ja lõualuu vastava asetuse abil moodustame suuõõnes kaks resonanceerivat ruumala, mis rõhutavadki vajalikke formante. Hääliku kõrgus — tema toon — sõltub häälepõlvi suurusel. Seda muutes võime häälikut hääldada kõrges või madalas toonis, kuid vajalikud formandid jäävad seejuures muutumatuteks.

Proovige näiteks avada suu, suruda keeleots alumiste hammaste külge ja hääldada häälikut «a». Te teete seda väga hõlpsasti. Kuid proovige nüüd, muutmata suu kuju

ja keele asendit, hääldada mõnda teist häälikut, näiteks «i», «o», «u» vms. Sellest katkest ei tule midagi välja. Parimal juhul õmmestub teil endast välja pigistada vaid ebamäärast üminat, mis ei sarnane ühelegi täiele vastava häälikuga, kuid isegi sellise heli väljapigistamine on füüsiliselt



raske. Niisuguse katse võib teha iga häälikuga. «Häälestage» suu häälikute «a», ja proovige seda häälestust muutmata hääldada «a»-d või ükskõik millist teist häälikut. See teil ei õnnestu.

Meil on välja kujunenud automaatne harjumus häälestada oma suu valjalt viisil, ning me ei märkagi seda.

Raadioaparatuur peab vajalikud häälikute formandid kandma moonutuseta meie kõrvani. Nende moonutamine viib arusaadavuse kadumisele.

Tuleb märkida, et häälikute formantide lajumine halveneb valjuse suurenemisega normaalse, harjunud taseme suhtes. Seejärel on väga vali raadiosaade ebaselgem kui niisugune, mille valjus läheneb loomulikele. Sellega selgub võimsate tänavavaljuhääldite ülekaule, väiksem selgus, võrreldes toaväljuhäälditega. Märgitud asjaolu on väga kasulik sagedamini meenutada ka neil, kes armastavad vastuvõtjate «kurdistavalt» töötamist.

Õeldu on õige mitte ainult valjuhääldite suhtes. Kui inimene karjub, on meil teda samuti raskem mõista, kui siis, millal ta räägib normaalse häälega.

## PERVISP, TEEPER

«Teepeter, ütle, kas pahad talli mängida?»

Selles fraasis ei ole trükvigu. Ta on meelega nüüvisi kirjutatud. Kas pole tosi, ta paistab naljakana? Kuid proovige seda edasi anda telefoni teel, ja teie kaasvestleja on kindel, et kuulis: «Peeter, ütle, kas tabad palli mängida?»

Nüüsguine huvitav võimevus märgata meeleiga tehtud moonutusi on võimalik meie kõne ja kuulmise iseärasuste tõttu. Enamik kaashäälikuid sisaldab palju kõrgeid heli-



sagedusi, mis ületavad 5–6 kHz. Nende sageduste erinev jaotus spektris viibki selleni, et me eristame ühte kaashäälikut teisest. Madalate sageduste alas omab aga mõnede kaashäälikute helikoosseis palju ühist.

Tavaline linnatelefon laseb läbi sagedusriba umbes 250–3000 Hz; kõrgemaid sagedusi ta ei taasta. Seepärast jõuab telefonikõne korral meie kõrvani ainult osa helivõnkumisi, mis on vajalikud ühe või teise hääliku äratundmiseks. Osa kaashäälikuid me eristame ainult edasiantava sõna mõtte järgi ja harjumuse tõttu võtta neid vastu nagu kaashäälikuid, mis peavad seisma selles sõnas.

Väga reske, nagu nägime, on eristada häälikuid «t» ja

«p». Suurimat sarnasust omavad häälikud «s» ja «š». Häälikus «s» sisalduvad sagedused 500–8000 Hz. Sellega seltsleb muuseas asjaolu, et raadios antakse häälikut «s» edasi halvemini kui kõiki teisi: niivõrd kõrgeid sagedusi ei taasta peale telefoni enamik raadiovastuvõtjaidki. Häälik «i» nõuab mõnevõrra väiksemat sagedusriba. Jutuajamises telefoni kaudu võib neid vastastikku ümber paigutada, ning enamasti kaasvestleja ei märka, nagu ta ei märka hääliku «p» vahetamist häälikuga «t» ja vastupidi.

Allpool on loodud tabel, mis iseloomustab heli koosseisu erinevate kaashäälikute puhul.

Häälik	Võnkumiste arv sekundis		Häälik	Võnkumiste arv sekundis		Võnkumiste arv sekundis	
	mada- laim	kör- geim		mada- laim	kör- geim	mada- laim	kör- geim
h	91	2900	l	228	1932	s	450
d	90	3700	m	271	2579	z	90
t	550	6400	n	203	2169	š	80
k	90	3400	p	950	3600	t	900
h	2000	4000	r	20	4846	v	100
h	1250	3930	s	500	8000		4600

Täishäälikute korral on kõrgeimad sagedused, mis iseloomustavad üht või teist häälikut, piirides 2500–3000 Hz. Kõik kõrgemad sagedused nende häälikute koosseisus ei iseloomusta enam häälikut ennast, vaid tema tämbrit. Lõigates ära kõrge naisehaale poolt hääldatud kõrgemad helisagedused häälikus «a» või «o», kuuleme siiski sama häälikut «a» või «o» ja seejuures täiesti selgesti. Siin ei ole enam võimalik ühe hääliku asendamine teisega, isegi mitte telefoni kitsa läbilaskeriba juures.



## 1/16 SEKUNDIT

Võtame kätte postkaardi või mingi muu tüki tihedat õhukest paberit ja tõmbame kammipiididega mööda selle serva. Kuuleme mingi kindla sagedusega tooni. Kui kammil liikumist kiirendada, siis toon kõrgeneb. Käte liikumise aeglustamisega kaasneb tooni madaldumine.

Ent kammiga käe liikumist võib aeglustada ainult kindla piirini. Kui see piir on saavutatud, ei eraldi me enam tooni. See laguneb nagu üksikuteks plöksudeks ja löökideks, me ei kuule mitte madala sagedusega tooni, vaid mitut üksikut plöksu.

Meie kõrv on ehitatud nii, et ta lakkab eraldamast helidest sel juhul, kui nendevaheline intervall on väiksem 1/16—1/10 sekundist. Kaks heli, mida lahutav intervall on väiksem kui 1/16 s., sulavad üheks. Kui alavahemik helide vahel on suurem kui 1/16 s., siis helid eralduvad teineteisest.

Meie näites kammiga laguneb toon käe liikumise aeglustumisel üksikuteks plöksudeks, mida kuuleme selteparasti, et nad kujutavad endast mitteharmoonilisi võnkumisi. Kui me teeksime katse mitte postkaardi ja kammiga, vaid kehaga, mis võib võnkuda harmooniliselt, näiteks pillikeelega, siis me lihtsalt lakkaksime heli kuulmast, juhul kui tema toon madalduks 15—16 Hz-ni.

Huvitav, et sama arv (1/16) määrab ka silma puhul tähtsa tajumise läve: ta iseloomustab silma inertsiomadusi. Meie silm säilitab ärrituse umbes 1/16 s. jooksul. Kui nähtav liikumine laguneb üksikuteks hüpeteks, ent nendevaheline intervall on väiksem kui 1/16 s., siis me hüppeid ei erista ning liikumine näib sujuvana. Sellel silma iseärasusel põhinevad kino ja kaugnägemine. Rohkem kui 15—16 kaadri ülevõtmisel sekundis ei märka me enam ekraanil liikuvate esemete ja inimeste kujutiste «pulseerumist», liikumine näib meile sujuva ja pidevana. Ent kui anda sekundis edasi alla 15 kaadri, siis inimene ekraanil ei liigu enam sujuvalt; me hakkame eristama, et tema liikumine koosneb üksikutest jõnksudest ja hüpetest.

## TOONI MINIMAALNE KESTUS

Me ühendasime heligeneraatori hea dünaamilise valjuhääldiga ja kuuleme erinevate toonide kõla. Me saame suurendada või vähendada toonide kõlamise kestust, sellega nad nagu ei muutuks. Kuid kas on see lõepoolest nii? Ei, ei ole. Tegelikult on olemas kindel piir, millest kõrgemale kõlamise kestust lühendada ei saa. Ole selle piiri me lakkame kuulmast tooni ning kuuleme vaid plöksu või müra.

See piir ei ole erinevate sageduste jaoks ühesugune. Igale kuuldavale sagedusele vastab kindel arv perioode, mis peavad mõjutama meie kõrva, et me kuuleksime selle sagedusega heli. Väiksema perioodide arvu juures me ei kuule tooni, vaid tajume heli, millel puudub kindel toon. Kõige väheim perioode on vaja tooni eristamiseks madalatel sagedustel. Seliteks et me kuuleksime tooni sagedusega 50 Hz, on vaja, et kõrva mõjutaksid riisuguse sageduse neli täisperioodi, või mis on tegelikult sama, et 50-perioodilise voolu heli mõjuks meie kõrvale mitte vähem kui 80 ms. Jooksul (ühe perioodi kestus on 1/50 s., nelja perioodi kestus aga 4 : 50 = 0,08 s. = 80 ms.). Väikseim kõlamise kestus on vajalik sagedusel umbes 2300 Hz (sagedus, mille suhtes kõrv on kõige tundlikum). Me eristame selle sagedusega tooni, kui ta helitseb kõigest 15 ms. See ajavahemik vastab 34,5 võnkumisele. Allpool on toodud tabel, milles on ära nõidatud sagedus, minimaalne arv perioode, mis on vajalik selle sageduse eristamiseks, ning kõlamise aeg, mis vastab riisugusele perioodide arvule.

Tooni-sagedus Hz	Perioodide arv, mis on vajalik selle tooni eristamiseks	Selle arvu perioodide kõlamise kestus ms.
50	4	80
200	7	35
1000	16	16
2300	34,5	15
10000	300	30

Tabelist on näha, et mida kõrgem on sagedus, seda rohkem perioode peab mõjuma meile kõrvale, et me eristaksime vastava sagedusega tooni.

### LÄBILASKERIBA PIIRID

Iga raadioamatöör teab, et kõlavuse kvaliteedi parandamiseks, heli lähendamiseks loomulikule on vaja laiendada vastuvõtja ja valjuhääldi poolt taastatavat sagedusriba. Kuid kõik ei tea, et läbilaskeriba tunduv laiendamine ainult kõrgete või ainult madalate sageduste poole võib osutuda mitte kasulikuks, vaid vastupididi, kahjulikuks nähtuseks.

Kogemused näitavad, et meile kõrv vajab teatud tasakaalu taastatavate madalate ja kõrgete sageduste vahel. Nende vahetada võib väljendada väga lihtsalt: läbilaskeriba kõrgeima ja madalaima sageduse korrutis peab olema umbes 400 000. Vastuvõtja, millel kõrgeim taastatav sagedus  $F_{max} = 5000$  Hz, peab omama madalaimat sagedust  $F_{min}$  umbes 80 Hz ( $80 \cdot 5000 = 400\,000$ ).

Kui sellisel vastuvõtjal (kõrgeima sagedusega 5000 Hz) parandada madalate sageduste taastamist, laiendades läbilaskeriba kuni, ütleme, 60 Hz-ni, siis rikutakse nõutavat tasakaalu ja madalad sagedused hakkavad ebameeldivalt välja kõlama. Kui valjuhääldi taastab hästi sagedusi kuni 3000 Hz-ni, siis on tingimata vaja võimendatavate ja taastatavate madalate sageduste diapasooni laiendada kuni 50 Hz-ni, vastasel korral hakkab tunda andma basside puudujääk.

$$F_{min} \times F_{max} = 400\,000$$

92

Selline on üks meie kuulmise isearasuste poolt dikteeritud reeglitest.

GOST kehtestab ringhäälinguvastuvõtjatele järgmised sagedusarakteristiku piirid.

Vastuvõtja klass	Helisagedusriba Hz	Korrutis
I	6500	390 000
II	4000	400 000
III	150	525 000
IV	200	600 000

Nagu näeme, on vajalik vahetada kindlustatud I ja II klassi vastuvõtjatel ja peaaegu ka III klassi puhul. IV klassi vastuvõtjatel on tasakaal rikutud ja nad kõlavad halvemini. See seletub madalate sageduste puudujäägiga, mis esineb peamiselt valjuhääldi difuusori ja vastuvõtja kasti väikeste mõõtmete tõttu.

Raadioamatöörid peavad helitaasesusaparatuuri konstrueerimisel arvestama sellise madalate ja kõrgete sageduste tasakaalu vajalikkust.

### DÜNAAMILINE DIAPASOON

Teistate teatris. Sisseeni järel möödub teie silme eest. Armutute õrn sosin vaheldub valjude lauludega, juurajate vaevalkuuldavatele häälele järgneb ründavate võitlejate tugev «hurraa!» ja kurdistav tulistamine.

Nüüd kujutlege minutiks, et keegi nivelleeris kõik näidendi helid: sosin võimendus tavalise kone valjuseni, lasud muutusid vaikseteks plaksudeks, kangelased-võitlejad aga läksid rünnakule efektiivlikult, hütides pooli häali oma «hurraa!». Kas pole õigus — kui kiiresti kahvatuksid eten-

93

duse värvid, kuivõrd hallide, kahvatute, ebaloomulikkena näktsid nad meile.

Akustika keeles nimetatakse helivaljuse piire dünaamiliseks diapasoontiks. Meid ümbritseva maailma «elavad» helid muudavad oma valjust palju kordi. Suurima ja väikseima helivaljuse suhet väljendatakse tavaliselt deetsibellides. Orkestri dünaamilist diapasooni iseloomustab «valjuseriba» 60—70 db. Elektritrippingele viimisel annab see 1000—3000-kordse erinevuse.

Et anda moonutusteta edasi niisugust dünaamilist diapasooni, peab saatja olema kindlustatud võime moduleerida piirides 100% (*forte fortissimo*) kuni 100:3000 =



= 0,03% (*piano pianissimo*). Kuid selline tehine moduleerimisvõime nagu 0,03% asub juba saatja omatooni tasemel, kusjuures fooni taseme vähendamine isegi niisuguse väärtuseni on seotud suurte raskustega. Sellele vaatamata on fooni alandamine saatja dünaamilise diapasooni laiendamise ainsaks vahendiks, kuna moduiverimisvõime ei ole võimalik suurendada üle 100%.

Veel suuremad raskused tekitavad vastuvõtul. Suurim helivõime määratakse vastuvõtja maksimaalse moonutustevaba võimeusega, väikseim aga tema omanurade ja fooniga. GOST-i järgi peab esmaklassiliste vastuvõtjate fooni ja müra tase olema vähemalt 46 db madalam maksimaalsest väljundvõimsusest. See määrabki vastuvõtjate dünaamilise diapasooni. Vastuvõtjatel on ta abendatud

tunduvalt kitsamatesse piiridesse kui saatjatel. Veel rohkem «suruvad» dünaamilist diapasooni kokku mitmesugused häired, mis on eriti tugevad linnades.

Seega pole loomuliku dünaamilise diapasooni raadios edasiandmise probleem veel lahendatud, ilma selleta aga on võimatu saada loomuliku helitaasesust. Üheks võimalikuks väljanägemiseks olukorrast on osa ringhäälingu viimine ultratühilainetele (sagedusmodulatsiooniga). Sõgava modulatsiooni võimatus ja häirete puudumine võimaldavad ultratühilainet edasi anda ja taastada laiemat valjuse diapasooni kui pikkadel, kesk- või lühilainetel.

Niisugune sagedusmodulatsiooniga saadete isearaus on märgatav televiisorite töö juures. Nimelt sellepärast kõlavad televiisorid hästi isegi siis, kui neis on kasutatud valjuhääldeid, mida rakendatakse madalakesksete raadiovastuvõtjate juures.

## MIKS TÖÖTAB ELEKTRODÜNAAMILINE VALJUHÄÄLDI

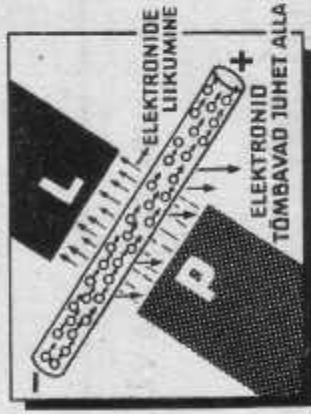
Igaühel on raske meenutada päeva, millal ei oleks kasutatud elektrimootori teeneid. Trammi, trollibussi ja metrovagunid pannakse liikuma elektrimootoriga. Külmutuskapis, toimumeajas, ventilaatoris, radiooalas, magnetotomeis töötavad elektrimootorid.

Töenäoliselt ei tule harvemini kasutada ka valjuhääldi teeneid. Valjuhääldid töötavad meie raadiovastuvõtjates, televiisorites ja magnetofonides. Nendega kohtume jaa-mades ja metros, trollibussides ja autobussides, valjuhääldi hoitab meid liiklust juhtiva auto katusel ja võtab vastu kaupluses.

Miks me kõrvutame elektrimootoreid ja valjuhääldid? Aga lihtsalt sellepärast, et nende töö rajaneb ühel ja samal põhimõttel. Muidugi ei ole pisike elektrodünaamiline valjuhääldi taskuraadiovastuvõtjas sügugi sarnane



lonkavat mõju lähenevale vabale elektronile ei tasakaalusta juhi sees miski, vastupidid, positiivsed ioonid tõmbavad teda enda poole. Suhteliselt aeglaselt liikuv elektron ei suuda seda äärelaari ületada (meenutame, et lambis tuleb selle ületamiseks metalli kuumutada, et elektronidele vajalikku kiirust anda). Järelikult ei suuda



elektronid, mis magnetvälja mõju tõttu «tahavad» juhtimest lahkuda, seda teha juhi pinnalähedases piirkittis eksistevate jõudude mõju tõttu.

Kuid elektronid peavad alluma magnetvälja eemaletõukavale jõule. Nad hakkavad liikuma selle jõu suunas, ning suutmata end juhtimest lahti rebida, tõmbavad juhet endaga kaasa.

Täpselt niisamasugusel põhimõttel töötavad kõik elektrimootorid, mooteristade raamid jt. Võimsa elektriveduri mootori rootorit, samuti nagu valjuhääldi helipooli liigutavad elektronid, mis püüavad magnetväljale alludes end juhtimest lahti rebida, kuid, suutmata seda teha, tõmbavad juhet enda järel.

Lõpuks on vaja teha väike reservatsioon. Siin kujutatud pildist võiks junda järeldusele, et voolu puudumisel elektronid juhtmes ei liigu. See pole niidugi õige. Voolu puudumisel toimub juhtmes elektronide soojusliikumine ning neid elektrone mõjutab samuti magnetväli. Kuid elektronide soojusliikumisel ei ole mingit eelistatud suunda. Üksikud elektronid liiguvad eri suundades ning püüavad vastastikuse mõju tõttu magnetväljaga tõmmata enda järel juhet

võimsa mootoriga, mis veab trollibussi või metroorongi, kuid sellele vaatamata on nad kõige lähemad sugulased

Kuidas töötab elektrodünaamiline valjuhääldi? Dünaamiku helipool kujutab endast mõningaid juhtmekeerde, mis on tugevdatud pooli karkassiga ja asuvad tugevas magnetväljas. Kuni pooli mähist ei läbi elektrivool, ei mõju temale mingeid jõude, mis püüaksid panna teda liikuma. Magnetvälja ja helipooli vahel puudub vastastikune mõju, mis võiks viia viimase tasakaalust välja.

Kuid siis ilmub helipooli keerdudesse elektrivool: poolijuhtme metallis asuvad vabad elektronid hakkasid organi-seeritud ühes suunas liikuma.

Liikuva elektroni ja magnetvälja vahel on olemas kindel vastastikune mõju. Kui elektron ei liigu täpselt välja suunas, siis mõjub temale jõud, mis püüab muuta tema suunda. Selle jõu mõjuvõime suunda on kerge kindlaks teha parema käe reegli järgi: kui parem käsi asetada magnetvälja selliselt, et peopesa oleks pööratud põhipoole poole, neli kokkupandud sõrme aga näitaksid elektronide liikumise suunda, siis väljasirutatud põial näitab jõu suunda.

Alustades oma liikumist valjuhääldi helipooli juhtmes, satuvad elektronid otsekohe magnetvälja mõju alla, mis püüab neid magnetringi pilust välja tõugata, ning alludes sellele jõule, muudavad nad oma suunda. Kui elektronid oleksid lõepoolest täiesti vabad, rebiksid nad end juhtimest lahti ja püüaksid valjuhääldi magnetringi pilust välja lennata. Algaks elektronide omapärane «magnetiline emissioon» vooluga juhtimest.

Kuid elektronide vabadus juhtmes on suhteline. Eriti suuri raskusi kohtavad elektronid juhtme pinna lähedal. Juhtimest lahkuda püüdev elektron kohtab selles tsoonis tugevaimat vastaseisu teiste elektronide ja metallioonide poolt. Meenutame, et juhtide aatomid kujutavad endast positiivseid ioone — neil puudub vähemalt üks elektron, mis on «vabaks» saanud. Kui selline elektron asub juhi siseruumalas, on tema vastastikune mõju ioonidega ja teiste vabade elektronidega tasakaalus. Nii ioonid kui ka elektronid ümbritsevad teda igast küljest võrdse hulga.

Teisiti on lugu õhukeses pinnakihtis, mille paksus on umbes 10–7 mm. Ümbritsevad ju iga aatomi tuuma elektronkihid, seepärast koosneb iga aine kõige äärmise, väline kiht elektronidest. Seda elektronide äärekihi eemate-

ja tõugata teda magnetringi pilust välja mõlemas suunas nii difuusori poole kui ka vastassuunas. Need jõud tasa kaalustuvad vastastikku, seepärast jääb juhe paigale. Ainult suurte elektronihulkade organiseeritud liikumisel ühes suunas — elektrivoolu puhul — tekivad jõud, mis viivad juhtme kindlas suunas.

### MILLEST SÕLTUB VALJUHÄÄLDI VÕIMSUS

Millest sõltub valjuhääldi võimsus? Millised konstruktsioonilised iseärasused on seejuures määravateks?

Neile küsimustele vastuse saamiseks oleks nagu kõige lihtsam pöörduda valjuhääldi andmeid sisaldavate tabelite poole. Erineva võimsusega valjuhääldi kohta käivate andmete vastandamisest võib kohe näha, mille pooltest nad üksiksest erinevad.

Lugeja võib selle läbi teha. Kuid tutvumine vastavate tabelitega viib teda kummalisele järeldusele, et kõige erinevama võimsusega valjuhääldite konstruktsioonid pole näha mingit olulist erinevust.

Võtame näiteks kahe dünaamilise valjuhääldi — transiitsiooniorgabonendi valjuhääldi ДГМ ja võimsa tänavatel kasutatava ruuporvaljuhääldi P-10 andmed:

Valjuhääldi	ДГМ	P-10
Difuusori diameeter, mm	196	170
Helipooli diameeter, mm	25,4	25,7
Helipooli keerdude arv	41	39
Helipooli juhtme diameeter, mm	0,23	0,21
Magnetiline induktiioon magnetringi pilus, gaussides	5000	4900

Nagu näeme, on mõlema valjuhääldi helipoolide mõõtmised peaaegu ühesugused; magnetilist induktiiooni võib samuti lugeda ühesuguseks, difuusorite mõõtmised on vähe väjaga väike, kuid võimsuselt erinevad nad üksteisest... 65 korda. Valjuhääldi P-10 võimsus on 10 W. ДГМ võimsus aga kõigest 0,15 W.

Milles on siis asi? Ei või ju olla, et niivõrd erineva võimsusega valjuhääldid ei oma konstruktiivseid erinevusi. Kui helipool, induktiioon magnetringi pilus ja difuusori mõõtmised on valjuhääldil võimsusega 0,15 W niisama-sugused nagu 10-vattisel, mis siis takistab meid rakendamast temale võimsust 10 W ja panna teda teenindama suurt saali või isegi väljakut?



Oleks miidugi tulutu suundida valjuhääldi ДГМ teenindama vabaõhudauditooriumi ja ületama tänavamüra. Loomulikult on tal konstruktiivseid erinevusi võrreldes võimsa kaasvenna P-10-ga, kuid need iseärasused ei leia kajastamist tabelites.

Valjuhääldi P-10 helipool võib võnkuda palju suurema amplituudiga kui ДГМ pool. Selleks et suurt amplituudidel ei tekiks moonutusi, on vaja kindlustada, esiteks, difuusori vastay konstruktsioon (võimalus suurteks niheteks ilma kaardumiseta), ja teiseks, magnetvälja muutmatus kogu helipooli teel. On vaja, et suurte võnkumiste korral pool ei väljuks väljast. See teine nõue kitsub esile vajaduse suurendada tunduvalt magnetringi piltu sügavust, milles liigub pool, s. o. suurendada magnetilise süsteemi ülemise põia paksust.

Kuid selleks et sügavas pilus luua niisamasugust magnetvälja, niisamasugust magnetilist induktiiooni nagu väikese võimsusega valjuhääldil väga madalas pilus, on vaja

tunduvalt võimsamat magnetit. Seepärast ei ole mõlenud vaadeldava valjuhääldi magnetite kaal kaugeliki ühesugune, vaatamata sellele et magnetiline induksioon nende magnetvahemikes on ühesugune. Valjuhääldi P-10 magnet kaalub 1350 g. ДГМ magnet aga kõigest 250 g.

Kuid magnetite kaalu ja magnetringi püü sügavust teatmetabelites ei näidata, teised andmed aga ei anna täpselt võimalust otsustada dünaamiliste valjuhääldite võimsuse üle.

## TELEFONITORUDEST IONOFONINI

Heli valjus sõltub sellest, kui suur on kõrva trumminahale rõhku tekitavate õhuosakeste võnkeamplituud. Esimesed raadiokulmisseadmed — telefonikõrvaklapid — paistisid silma väga kõrge tundlikkusega. Tänu sellele, et membraani ja kõrva trumminaha vahelisele väikele sületud ruumala, oli kadusid vähe ja isegi tühisest võimsusest piisas selleks, et helid selgesti kuuldavad oleksid.

Ent kui me telefoni ei suru tühedasti vastu kõrva, vaid viime ta mõningale kaugusele, muutuvad helid juba vaevalt kuuldavaks. Võnkuva membraani energia jaotub suurele õhuhõõnule ning kõrv võtab sellest vastu vaid väikese osa.

Püü vabaneda kõrvaklapidest ja kuulata raadiosaateid «varustamata» kõrvaga sundis raadioamatööre otsima võimalusi telefoni «valjusti rääkivaks» muutmiseks. Kõigepealt kõitis nende tähelepanu ruupor, mida juba ammu kasutati taolisteks eesmärkideks. Laevadel teenis



ruupor igivanast ajast peale suuliste käskluste edasiandjana võrdlemisi suurele kaugusele, kuna ta suunas heli küllaltki kitsa kimbuna. Grammofoni puhul kasutati ruuporit samuti juba palju aastaid hea eduga grammofoniplaadile kirjutatud helide väljemaks taastamiseks.

Teine valjuse suurendamise põhimõte seisab järgmises: membraani (mida sel juhul tavatsetakse nimetada difuuseriks) mõõnmete suurendamise arvel pannakse võnkuva suuremad õhumassid. Kerge paberidifusor diameetriga 20—30 cm pandi magnetpooluste vahel liikuma helisagedusega võnkuva raudankru abil; difusor sundis niisamauguse sagedusega võnkuva õhuosakesi suures ruumalas, mille tulemusena heli valjus tõusis järsult. Seda tüüpi valjuhääldiks oli «Rekord», mis rohkem kui kolme aasta kümne jooksul teenis korralikult miljonid raadiokuula-jaid.

Kuid selline valjuhääldi ei saa põhimõtteliselt loetada ilma mõningate moonutusteta. Võrreldamatult paremini käituvad elektrodünaamilised valjuhääldid, milledes difusor pannakse liikuma tugeva püsivmagneti väljas võnkuva pooli vahendusel (vt lk. 96). Seda tüüpi valjuhääldid kasutatakse kõige laiemalt kuni käesoleva ajani.

Viimastel aastatel on leidnud rakendamist veel üks tüüp difusorvaljuhääldid — kondensaatorvaljuhääldid. Sellel valjuhääldil täidab difusori aset leht õhimat metallkilet, mis on üheks kondensaatori katteks. Teine kate on massilvne, liikumatu. Katete vahele on rakendatud suur alalispinge, mille mõjul kerge liikuv kate lömbub liikumatu suunas pingule. Sellele alafispingele lisatakse helisagedusega elektrivõnkumised, mis muudavad plaatidevahelist elektrivälja niisamasuguse sagedusega, tänu millele liikuva kate pinge muutub ja ta hakkab helisageduse taktis võnkuva. Tulemusena täidab kate difusori osa.

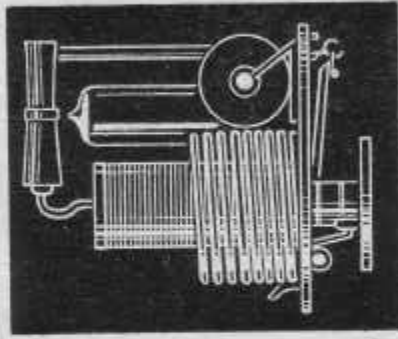
Kondensaatorvaljuhääldi taastab hästi helispektri kõige erinevamaid sagedusi. Kaasaegsetes kõrgekvaliteedilistes helitaasesetusesagregaatides kasutatakse seda tüüpi valjuhääldit küllalt laialdasel.

Kõigi difusorvaljuhääldite kõlavuse kvaliteet sõltub väga tunduval määral liikuva süsteemi omadustest ja esmajärjekorras valjuhääldi jaoks otsustavat tähtsust omava difusori konstruktsioonist ja kinnitustüvist.

Kuid hoopis hiljuti ilmus ilma membraanila ja üldse ilma nähtavate liikuvate detailideta valjuhääldi. Ent õhk on



vaja nii või teistiti liikuma panna, muidu me ei kuulaks midagi. Uues valjuhääldis, mida nimetatakse ionofoniks, ei tääda seda ülesannet mitte mehhaaniline detail — diiuaator, vaid elektrivälja, mille loob kõrgsagedusvõnkumiste (umbes 30 MHz) lampgeneraator. Eritiline kõrgsagedustransformaator tõstab nende võnkumiste pinget 10–20 kV-ni ja annab selle vardakujulisele elektroofile, mis on paigutatud raskestisula vasti kvartsklaasist torusse. Väljaspool asub teine elektroof, mis võib omada rõnga kuju. Nii luuakse kahe elektroofi vahel tugev elektrivälja, mille mõjul tekib protsess, mis on enamiku meie taitav juba kooliaastatest. Mäletate, kuidas teritatud vaskvardast paiskuvad välja kooli elektrimasina poolt loodud välgud? Tänu sellele katsele jääb meile koogu eluks: meelde, et teravik soodustab elektrilaengu äravoolamist.



Kui elektrivälja teraviku ümber ei ole küllalt tugev selleks, et kutsuda esile elektrilist läbilööki — sädet, siis tekib teraviku ümber niinimetatud koroonalähendus ehk koroonafonofonis tekib koroonafonofoniseerimine, mille tulemusena tekib koroonafonofoniseeritakse ümbritseva õhu osakesi. Nõela otsa ümber tekiks nagu ionide pilveke, mille suurus sõltub generaatorist antud pingest.

Kui nüüd kõrgsagedusgeneraatorisse sisse viia moduleerimine helisagedusega täpselt samuti, nagu seda tehakse igas saatjas, siis hakkab kõrgsageduspinge amplifitseeritud muutuma modulatsioonitaktis, järelikult hakkab samal viisil pulseerima ka ionipilveke. Pilveke ruumala muutused kutsuvad omakorda esile ümbritseva õhu poolt tekitatud rõhu muutusi, s. o. luuakse helivõnkumisi. Niitüd jääb üle vaid neid võnkumisi parimal viisil ära kasutada. Sel eesmärgil juhitakse nad ruuporis, kust helivõnkumised kiirguvadki ümbritsevasse ruumi.

Niisugune valjuhääldi, milles pole üldse liikuvaid mehhaanilisi osi, on võimeline moonutusteta taastama kõige kõrgemate helisagedustega võnkumisi: kuni 30 kHz-ni ja isegi veel kõrgemale — ultrahelivõnkumisteni.

## MIKS ON TOAS VALJEMALT KUULDA KUI VABAS ÕHUS

Teil on hea raadiovastuvõtja. Ta täidab tuba puhaste meeldivate helidega juba vaevalt pooltööd väljakeeratud valjusregulaatori juures. Sõites suvel suvilasse, otsustasite võtta raadiovastuvõtja endaga kaasa — raske on lehkuda uslavast sõbrast. Te naudite ette, kui hea on kuulata raadiosaadet vabas õhus, lillede ja roheluse keskel.

Kuid mis on juhtunud raadioga? Ta seati üles alalaadkeskse, ühendati küllalt kõrge antenniga, paremaga muidugi kui toantennilmas, ent vastuvõtja töötab väga vaiksel isegi täielikult väljakeeratud valjusregulaatori korral. Pinge ja lampide kontroll ei anna midagi: pinge on normaalne, lambid head. Veel enam, siinsamas suvilatoas töötab vastuvõtja endiselt hästi, aga nihpea kui ta viiakse vabasse õhku, väheneb tema valjus järsult.

Milles on siis asi? Ei või ju olla, et toas on vastuvõtja suurema võimsusega kui aias?

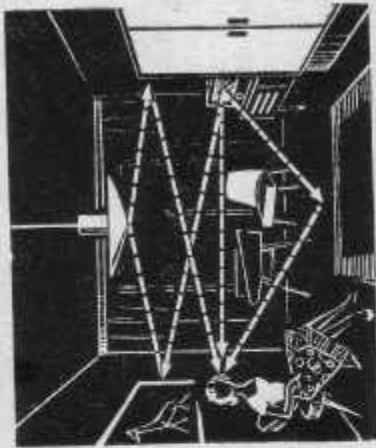
Mõistagi töötab vastuvõtja nii toas kui ka vabas õhus ühte viisi, tema võimsus ja arendatav valjus on samuti ühesugused, kuid kuuldav on toas tõepoolest valjemalt kui vabas õhus. Seletada on seda väga lihtne.

Vabas õhus lendab vastuvõtja valjuhääldi poolt loodud helilaine meieni ning kandub edasi. Me kuuleme iga valjuhääldi heli nii-öelda ainult üks kord. Teistiti on lugu toas.

Muidugi kuuleme me ka toas kõigepealt helilainet, mis on saabunud meie kõrva vahetult valjuhääldist. Kuid me ei kuule mitte ainult seda. Vastuvõtja poolt loodud helilained jõuavad toa seinteni, esemeteni jne. ning peegelduvad neilt

kõige erinevamate nurkade all. Osa peegeldunud laineid satub meie kõrvadesse ning nende mõju liitub põhilaine mõjuga. Ent ka sellega ei piirdu asi. Seintelt peegeldunud helilained põrkuvad uuesti vastu seinu, peegelduvad neilt uuesti ja jõuavad jälle meie kõrvadeni, liitudes lainetega, mis on jõudnud sinna varem.

Mõistagi väheneb helilainete energia iga peegeldumise ja helilainete kustuvad. Helilainete peegeldumiste



üldarv toas ulatub mõnesajani, kuid helitaju valjuse suurenemisel avaldavad mõju tavaliselt esimesed viis-kümme peegeldust, peale seda muutub peegeldunud lainete võimsus nii väikeseks, et nad ei saada enam oluliselt mõjutada kuulmisajastingu summaarset intensiivsust.

Helilainete korduv mõju kuulmisorganitele viib iga heli teatud pikenenemisele, kuid see on liiga väike, et mõõnendada kõlavust. Selles on kerge veenduda. Kaugused, mida helilaine läbib tavalises toas peegeldumisel, ei ületa 5—6 m. Kiirusel 340 m sekundis läbib heli selle vahemaa umbes 0,02 sekundi jooksul. Järelikult võetakse esimesed kõige valjemad peegeldunud helid vastu umbes 0,1 sekundi jooksul. Heli pikenenemist ühe kümendiku sekundit võrra me ei märka.

Kas toas võib juhtuda see, mida akustikas nimetatakse peegeldunud heli eraldumiseks põhihelist? Ei, ei või. Sel-

leks et me kuuleksime kaht heli eraldi, peab nendevaheline intervall olema mitte alla  $\frac{1}{16}$  sekundi.  $\frac{1}{16}$  sekundi jooksul läbib heli vahemaa 50 m, järelikult valju kaja — esimese peegeldumise kaja — võib saada toas, mille seinetvaheline kaugus pole vähem kui 25 m, kuid selliseid elutube ei ole olemas.

Sellest näitest on muuseas hästi näha vahe kaja ja reverberatsiooni vahel. Reverberatsioon all mõeldakse heli valjuse ja kestuse suurenemist, kuid ilma peegeldunud helide eraldumise põhihelist, kui toimub aga peegeldunud heli eraldumine põhihelist ning me kuuleme neid eraldi, siis tekib kaja.

Helivaljuse suuremine ruumis võrreldes valjusega vabas õhus esineb mitte ainult raadiovastuvõtjate töötamisel. Oraatori sõna, laul, mäng muusikainstrumentidel jms. on ruumis valjemini kuulda kui väljas. Vabas õhus tuleb oratoritel häält tugevasti pingutada, muidu on neid halvasti kuulda.

Lõpuks on huvitav esitada küsimus: kuhu siis heli lõpupeude lõpuks ikkagi kaob? Kannavad ju helilained endaga kaasa teatavat energiahulka, mis ei saa jäljetult kaduda.

Helilainete energia, mis peitub õhuosakeste mehhaanilises liikumises, muundub lõpuks soojuseks. Heli kustub toas selle tagajärjel, et helilainete energia kulutatakse õhuosakestevahelise hõõrdumise ületamiseks ning toaseinte ja kõigi esemete kuumutamiseks. Kuid temperatuuri tõus on nii väike, et avastada me seda müüduki ei suuda. Vestluses raadiovastuvõtja kasutegurist (vt lk. 115) tuuakse näide helitõnkumiste äärmiselt väikese võimsuse kohta. Me ei märkaks temperatuuri tõusu toas isegi siis, kui raadiovastuvõtja poolt aasta jooksul eraldatav helienergia eralduks ühekorraga.

## HÄÄLETU VALJUHÄÄLDI

Sõnakombinatsioon «hääletu valjuhääldi» näib rumalana. Kuid...

Te sisenesite haiglapalatisse. Täielik vaikus. Umbes

kümme haiget lebab vooditel. Kaks magavad, üks loeb. Ülejäänud lebavad erinevates poosides. Akki, just nagu käskluse järgi, naeratavad nad, seejärel aga hakkasid laginal naerma.

Nähes teie arusaamatust väljendavat pilku, naeratas teid saatev arst ja lausus:

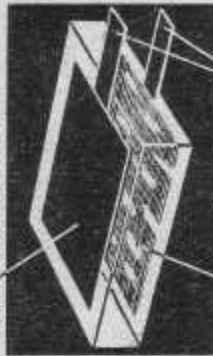
«See on raadio. Nad lebavad rääkivatel patjadel.»

Lähemalt vaadates märkate, et iga voodi peatsi lähedale on üles seatud kontaktpesa, millest ulatub juhe padja alla. Teie palve peale näitas arst selle kummalise «rääkiva padja» mehhanismi. Translatsioonivõrguga ühendatud kontaktpesast tulev juhe lõpeb lameda sõrmepikkuse tseluloidvutlarikesega, mille laius on umbes 1 cm ja paksus mitte üle 3 mm.

Kuni ta ei puutu kokku tahkete esemetega, ei anna ta välja mingisuguseid helisid. Ent kui viia ta kokkupuutesse mingi esemega — lauaga, karbiga, ajalehaga —, hakkab ta kõlama nagu valjuhääldi.

Selles tseluloidvutlarikeses asub piesoelement. Translatsioonivõrgust tuleva helisagedusega voolu toimel pain-

METALLISATSIOON



PIESOELEKTRIK  
METALLISATSIOONI  
VÄLJUND

duub piesoelement koos elastse vutlarikesega sagedusega, mis on võrdne voolu sagedusega, ning paneb membraanidena võnkuma esemed, mille külge ta on surutud. Selliselt sünnivad helid.

Padi on membraaniks liiga pehme ega hakka kõlama, kuid ta annab piesoelementi võnkumisi küllalt hästi edasi padjal lebavale peale ning annab võimaluse võtta helisid

vastu mitte kõrvadega, vaid ükskõik millise peaosaga. Seejärel ei ole raadiosaate kuulamiseks sugugi vaja liik asetada padjale kõrv. Pea võib asetseada padjal ükskõik kuidas, raadiosaade on ikkagi kuuldav.

Kuid ta on kuuldav ainult sellele, kelle pea lebab padjal. Padi ise ei kõla, seepärast ei kuulu keegi foasviitbijatatest mitte midagi.

Sellised «hääletud valjuhääldid» on väga mugavad haiglapalates, ühiselamutes, puhkekodudes jm. Ühed foasviitbijatatest tahavad kuulata saadet, teised mitte. Kuidas siis teha? Valjuhääldit sisse lülitada ei tohi. Telefoni-kõrvaklappe on ebamugav kasutada: nad suruvad kõrva ja pead, sunnivad säilitama kindlat peasendit.

«Hääletul valjuhääldil» neid puudusi ei ole. Ta võimaldab kedagi segamata kuulata raadiosaateid, koormamata pead kõrvaklappidega ja sundimata teda olema kindlas asendis.

Piesoelementi paigutamine tihedalt ümbritsevasse tseluloidvutlarikesse on vajalik tema kaitsmiseks vigastuste eest. Piesoelementid ise on haprad ja muutuksid ilma selise kaitseta kiiresti kõlbmatuks.

## SEE EI OLE MINU HÄÄL

Te kirjutate esimest korda elus oma hääle magnetofonilindile. Huviga lülitate sisse helitaastuse ja ... petute: valjuhääldist ei kosta mitte teie, vaid mingi võõras, tundmatu hääl.

Kuid ümbritsevad isikud ei ole millegipärast moonutusest aru saanud; nad kinnitavad, et hääl on väga sarnane. Milllega siis seletada seda lahkuminekut? Miks tunnevad kõik teie hääle ära, teie ise aga mitte?

Kõiki helisid, mis jõuavad meieni väljastpoolt, võtame vastu kõrvadega, kuid omaenese hääle helisid me ei püüa kinni mitte kõrvade, vaid koljuluudega. Keelepaelte vibratsioon antakse vahetult edasi luudele ja nende kaudu kuul-



misnärville. Ent edasiandmisel luude kaudu omandab heli teise värvingu kui edasiandmisel õhu kaudu. Me oleme harjunud oma hääle tämbriaga, mis on iseloomulik edasiandmisele luude kaudu, seepärast ei tundnud me teda ära, kui meil tuli teda vastu võtta «õhu»ks. Kõik ümbristevad aga on loomulikult harjunud teie hääle «õhutämbriaga» ja tunnevad seepärast ta magnetofoni üleskirjutuses kohe ära.

Muidugi, kui me räägime või laulame, võtavad ka meie kõrvad õhust helisid vastu, aga ärritus, mis jõuab meie kuuldenärvini mööda luid, on tunduvalt tugevam ärritusest, mille loovad trummi- naha võnkumised, ning hääle peamise tämbriilise värvingu määrabki «luutraks». Selles on kerge veenduda. Proovige rääkida midagi ühesuguse valjusega ja kuulata end al- gul tavalisel viisil, seejärel aga suletud kõrvadega. Te veendute, et, sulgenud kõrvad, kuulete end palju valjemini, Kõrvade kinnikatmisega välistasite kõigi kõrvaliste mürade mõju kuuldenärvile. Kõrvalised mürad aga mõju- sid teie hääle helile maskeerivalt, seepärast muutus see suhteliselt valjemini kuuldavaks. Mida suurem on ruumis müra, seda teravam on vahe.

**KUI VALJULT  
ON KUULDA!**



Kõrvade kinnikatmisega välistasite kõigi kõrvaliste mürade mõju kuuldenärvile. Kõrvalised mürad aga mõju- sid teie hääle helile maskeerivalt, seepärast muutus see suhteliselt valjemini kuuldavaks. Mida suurem on ruumis müra, seda teravam on vahe.

Kuid raadiolainete ja valguslainete füüsikaline olemus on ju ühesugune: mõlemad kuuluvad elektromagnetiliste lainete hulka ja erinevad vaid sageduselt. Kaasajal loeme raadiolaineteks elektromagnetilisi võnkumisi lainepikku- sga umbes mõnest millimeetrist mõne kilomeetrim, val- guslained aga omavad lainepikkust 0,36—0,76  $\mu$ , s. o. 0,00036—0,00076 mm.

Kuivõrd raadiovastuvõtjat ja silma võib sellest seis- kohast lugeda ühesuguse eesmärgiga aparatuurideks, võime võrrelda nende tehnilisi omadusi. Vastuvõtja ja silma kõige kergemini võrreldavaks näitajaks on nende tund- likkus.

Inimsilma tundlikkus on väga täpselt kindlaks tehtud. Nagu teada, sõltub silma tundlikkus üldisest valgustusest. Päeval, päikesevalguses ei näe me näiteks põleva paberossi luid, kuigi õel aga võib seda eristada poole kilomeetri kau- guselt. Kõige teravamaks muutub meie nägemine pärast viibimist pimedas vähemal 20—30 minuti jooksul. Seda teravuse astet nimetatakse hämarnägemiseks. Kui me ju- tume sisenema kinnu seansi ajal, tunneme end täiesti abi- tutena ja oleme sunnitud kobades edasi liikuma, komista- des iga minut toolidele ja vaatajatele. Ent mõne aja pärast me eristame juba vaevata isegi väikesi esemeid ning loeme vabalt näiteks ajalehepealkirju.

Saavutamud hämarnägemise teravuse, reageerib meie silm umbes  $10^{-6}$  luksit tugevusele silmaava valgustusele. Kui sellist valgust väljendada elektrühikutes, tuleb välja, et ta vastab umbes  $1,5 \cdot 10^{-12}$  W/cm<sup>2</sup> energia- tihedusega elektromagnetilisele väljale.

Milline on siis raadiovastuvõtja tundlikkus? Standardi järgi peab I klassi vastuvõtjate tundlikkus olema mitte alla 50  $\mu$ V. Arvestades keskmise ringhäälinguvastuvõtuantenni tegev kõrgust, loeme, et selline emj juhitakse vastuvõtjasse, kui vastuvõtava jaama väljatugevus vastuvõtukohal on umbes 10  $\mu$ V/m. Sellise välja erieenergia on  $1,3 \cdot 10^{-13}$  W.

Seega on I klassi ringhäälinguvastuvõtja umbes 10 korda tundlikum silmalt. Kuid tuleb märkida, et selleks tuleb vastuvõtjas kasutada umbes kümme kaasaegset võimenduslampi, mis annavad miljonitesse ulatava üldise võimenduse.

Eriotstarbeliste vastuvõtjate tundlikkus on ringhäälin- guvastuvõtjate omast kümmeid ja isegi sadu kordi suurem.

Kuid jäädes vastuvõtjale alla tundlikkusest, ületab silm

## RAADIOVASTUVÕTJA JA SILM

Raadiovastuvõtja kujutab endast aparraati, mis on mä- ratud raadiolainete vastuvõtmiseks. Meie silm on optiline aparraat, mille ülesandeks on valguslainete vastuvõtmine.



tođa mõõtmatault «vastuvõteta» sagedusdiapasooni suhtes. Silm võtab vastu sagedusi  $4 \cdot 10^4$ – $8 \cdot 10^4$  Hz, s. o. hiiglaslikku riba lausega  $4 \cdot 10^4$  Hz (400 kvadriljonit hertsi), samal ajal kui kogu raadiotehnika poolt kasutatav sagedusriba haarab sagedusi umbes  $10^6$ – $3 \cdot 10^{10}$  Hz, s. o. miljardeid kordi väiksemat riba.

Meie silm on erakordselt lairibaline aparaat.

## MITU KORDA VÕIMENDAB VASTUVÕTJA

Raadiovastuvõtja võimendab tema sisendisse antud signaalide pinget tohutu arv kordi. Kaugete jäämade vastuvõtul on pinge vastuvõtja sisendis mõnikümned mikrovolti, lõplambi anoodahelas aga arendatakse sellise signaali puhul umbes 100 V-ist vahelduvpinget, mis vastab umbes kahe miljoni kordsele võimendusele.

Milliste vastuvõtjate elementidega siis teostatakse seda võimendamist?

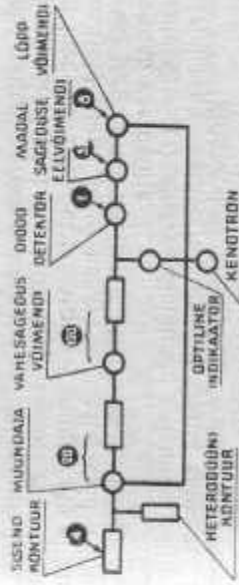
Võimendamiseks kasutatakse vastuvõtjas elektronlampe (või transistore), milles sisseantud pinge ja võimsuse võimendamine toimub patarei energia arvel, ja võnkerings, milles signaali pinget tõstetakse tänu resonantsomadustele.

Kuid kõik praegu kõlge laialdasemalt levinud superheterodüünset tüüpi vastuvõtja lambid ei võta osa signaalide võimendamisest. Kenotron ja häälestuse optiline indikaator seda ei tee. Sama võib öelda ka detektordioodi, heterodüüni kontuuride ja heterodüünlambi kohta, kui viimase funktsioon on vaidab vastuvõtjas eraldi lamp.

Ent ka võimendamisest osavõtvad vastuvõtja detailid ei anna kaugeltki võrdset osa üldisesse võimendusse. Muunduslambiga kaskaad võimendab vähe, lõplambiga kaskaad veelgi vähem. Suurima võimenduse annab vahesagedusvõimendi.

Võimenduse ligikaudne jaotus on näidatud joonisel, kus

ringkestega on tähistatud lambid, ruudukestega aga võnkeringid. Tüübilt on see vastuvõtja II klassi superheterodüün. Arvud lampide ja kontuuride juures näitavad võimendust Arv 1 tähendab, et antud detail ei võta võimendamisest osa. Vastuvõtja võnkeringide hulgast annab



ainult sisendkontuur pingevõimendust. Oleianud võnkeringidega kaskaadides saadakse võimendus lampide ja kontuuride koostöö tulemusena.

Kaks miljonit korda ei ole kaugeltki vastuvõtja võimenduse piiriks, ent ka sellist võimendust on raske millimeetri võrrelda. Suurendab ju parim mikroskoop ainult kõigest 1000 korda ja isegi võimsaim kaasaegne elektronmikroskoop, mis võimaldab vaadelda suuri molekule, võimendab umbes 100 000 korda.

Mürad — välised ja sisesed — on raadiovastuvõtja tööleeks muhtluseks. Nemat panevadki raadiovastuvõtjate tundlikkusele faktilise piiri.

Äga kui suurt tundlikkust õnnestub vastuvõtjates siiski saavutada?

Riikliku standardi järgi on I klassi ringhäälinguvastuvõtjate jaoks ette nähtud tundlikkus 50  $\mu$ V. Faktiliselt on nende vastuvõtjate tundlikkus mõnevõrra suurem ja kõigub umbes 20–50  $\mu$ V piirides. Parimate eriotstarbeliste vastuvõtjate tundlikkus on umbes 1–10  $\mu$ V.

Suurim tundlikkus on taevakahade lokatsiooniks ja kosmiliseks sideks kasutatavatel vastuvõtjatel, seda mõeldakse mikrovoltdi osadega.

Erakordset tundlikkust omavad raadioteleskoopide vastuvõtjad. Need on võimelised vastu võtma signaale energiaga 10–17 W/m<sup>2</sup>. Sellise energiaga looks Vladivos-tokis põlev taskulambipirn Moskvast.

## 15 MILJARDI KORDNE VÕIMENDUS

Kahe miljoni kordne võimendus on iseloomulik keskmisele vastuvõtjale (vt lk. 110). Kuid lõpuks ei ole vastuvõtjad loodud selleks, et võimendada pinget. Me ei hinda vastuvõtjaid pinge järgi nende väljundis, vaid väljundvõimsuse järgi. Meid huvitab, millist helisagedusega võimsust annab vastuvõtja.

Vastuvõtava jaama raadiolainete antennile mõjumise tagajärjel saab vastuvõtja antennilt teatud võimsust, mis kulutatakse mingi pinge loomiseks vastuvõtja sisendtakistül. Kui vastuvõtja ei saaks antennilt võimsust, siis tema sisendvõnkeringis ei tekiks pinget.

Keskmine raadiokuulamisanantenn võib ju hul, kui temas mõjub emj 100  $\mu$  V, parimal võimatusel vastuvõtjale edasi anda mitte üle 10<sup>-10</sup> W. II klassi vastuvõtjate väljundvõimsus ei ole alla 1,5 W. Seega võimendatakse antennist vastuvõtjasse saabuvat võimsust 10<sup>-10</sup> W 1,5 W-ni, s. o. 15 miljardit (15 · 10<sup>9</sup>) korda.

Vastuvõtja miljonitega mõõdetav pingevõimendus kahvatub niisuguse tohutu arvu kõrval. Mis on 15 miljardit? Võtame kopika — väikese metallmündi väärtusega 1 kop. See kaalub täpselt 1 g. 15 miljardit kopikat annavad summa 150 milj. rubla ja kaaluvad 15 000 t. Meie autotööstus laseb välja üli-võimsaid veoautosid kandejõuga 25 t — kuulvad Minski isekallutajad. 15 miljardi kopika veoks on vaja kuuesajast niisugusest veoautost koosnevat kolonni. Selline kolonn venib maanteel 9 km pikkuseks. Kui 15 miljardit kopikat laduda üksteise peale, saaksime 13 600 km kõrguse «sambakese».

Seda tähendab 15 miljardit. Niisuguseks kolossaalseks võimsusvõimenduseks on meie tagasihoidlik raadiovastuvõtja võimeline loo-



mulikult selle energia arvel, mida ta ammendab toiteallikatest. Võimsamad vastuvõtjad annavad väiksema tugevusega välju loovate jaamade vastuvõtul veel kümneid ja sadu kordi suuremaid võimendusi. Raske on leida sobivaid võrdlusi taoliste võimenduste jaoks.

## KAS INIMESEL JÄTKUB JÕUDU RAADIOVASTUVÕTJA TOITMISEKS

II klassi raadiovastuvõtja nsgu näiteks «Baltika» tarbib valgustusvõrgust umbes 70 W. Võrreldes teiste, levinumate elektrirüüstadega — pliididega, teekannudega, triikraudadega, külmutuskaappidega — pole see energia suur. Vahest ainult jootekolvid ja väikesed pirnid tarbivad vähem.

Aga kas inimesel jätkub jõudu toita sellist vastuvõtjat? On kindlaks tehtud, et võrdlemisi kestva töö võib inimene arendada võimsust umbes kümneidik hobujõudu. Kuna 1 hj on elektrirühikutesse üleviiduna võrdne 736 W-ga, siis tuleb välja, et inimene võib normaalses tingimustes arendada umbes 75 W-ist võimsust — niipalju ongi vaja vastuvõtja toitmiseks.

Populaariteaduslikus kirjanduses võib leida klaasitäre jahtuva tee poolt soojuse näol kaotatava energia kõrvutamist tööga, mida see energiahulk võiks teha. Taoline kõrvutamine võib tavaliselt ootamatute tulemuste.

Tööpoolet, üks klaas mahtuvusega 200 cm<sup>3</sup> (0,2 l) kaotab jahtudes 100-st kuni 20° C-ni (toatemperatuurini), s. o. 80° C võrra.

$$0,2 \cdot 80 = 16 \text{ kcal.}$$

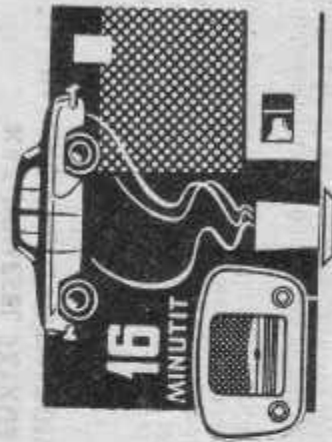
Kuna kilokalor on ekvivalentne 427 kGm tööga, siis võivad 16 kcal teha tööd

$$16 \cdot 427 = 6832 \text{ kGm.}$$

Tulemus on rabav. Meil laialt levinud sõiduauto «Moskvits» kaalub 1030 kg. Oletame, et koos nelja reisijaga kaalub ta 1300 kg. Tähendab, jahtuva teeklaasi energia arvet võib sõiduauto «Moskvits» koos nelja täiskasvanud reisijaga tõsta

6832 : 1300 = 5,2 m

kõrgusele, s. o. ühekorde maja katusele. Ei ole midagi imestada, et seda liiki näide on ühes J. Perelmani raamatu pealkirjastatud «Nähtamatu vägilane teeklaasiv».



Äga vaatame, kui kuu suudab see «vägilane» toita vastuvõtjat «Baikal».  
1 kGm on ekvivalentne 2,72 · 10<sup>-3</sup> Wh = 2,72 · 60 = 163,2 · 10<sup>-3</sup> Wmin. Järelikult, 6832 kGm annavad

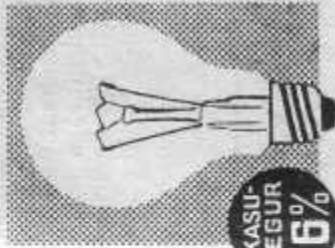
163,2 · 10<sup>-3</sup> · 6832 = 1115 Wmin.

Kuna «Baikal» poolt tarbitav võimsus on 70 W, siis  
1115 : 70 = 16 min.

«Vägilane», kes võib «Moskvitsi» koos seestistujatega paisata majakatusele, suudab toita vastuvõtjat kõigest 16 minuti jooksul, mille mõeldumisel klaasist tühjast teest sünnitatud jõud kütavad täiesti kokku.

Radiovastuvõtjale poolt tarbitavat võimsust arvesta-

114



lakse tavaliselt kümnete vattidega. Suuruselt on see võimsus kõige lähemal elektripirnide poolt tarbitavale võimsusele. Enamikus kasutame pirne võimsusega 10—15-st kuni 100 W-ni. Samasugune on ka radiovastuvõtjate võimsus.

Kuid nagu teada, on pirn tõeline elektrenergia raiskaja. Tema kasutegur küübib vaid 6%-ni. Ainult 6% tarbitavast energiast muundab pirn valguseks, ülejäänud 94% aga hajutab ta sihitult soojuse näol.

Millised on selles suhtes raadioaparaadid?

Nad jäävad elektripirnidest kaugemale maha. Seda on kerge näha kõigile teadaolevate arvude kõrvutamisel. Umbes 50 W tarbiva raadiovastuvõtja väljundvõimsus on 2 W ümber, tähendab, tema kasutegur ≈ 4%. See on 1,5 korda väiksem kui elektripirnil. Kuid see arv ei ole lõplik. Vastuvõtja annab 2 W elektrivõimsust väljuhääldisse. Kuid väljuhääldi kasutegur on kõigest 1% ümber. Seega on meie vastuvõtja poolt antav helivõimsus, mida me kasutame, 0,02 W, vastuvõtja kasutegur aga kõigest 0,04%.

Neli kümnetuhandikku tarbitavast energiast muundab võrgust toidetav raadiovastuvõtja kasulikuks produktiivniiks — heliks, kõik ülejäänud aga läheb loa soojendamiseks.

Kõige ökonoomsemad on transistorvastuvõtjad. Nende kasutegur ulatub elektrivõimsuse järgi 50%-ni. Kuid



8

115

kabjuks «rikub» selle tehnilise kõrgsaavutuse valjuhääldi oma üheprotsendilise kasuteguriga. Tulemusena on transistorvastuvõtja kasutegur «heli järgi» ainult 0,5% piires. Raadiovastuvõtja jaoks on see muidugi väga hea, kuid elektriseadme jaoks üldse häbiväärsest väike kasutegur.

## VASTUVÕTJA VÕIMSUS JA TOA PINDALA

Ringhäälinguvastuvõtjate väljundvõimsus kõigub 0,15 W-st kõige lihtsamatel patarelvastuvõtjatel kuni 4—5 W-ni võrgust toidetavatel I klassi vastuvõtjatel. Ent millist võimsust on tegelikult vaja selleks, et raadioaada oleks tavaliste mõõmetega elutubades valjult kuulda?

Valjus on kaunis tinglik ja individuaalsest maitsesest sõltuv mõiste. Ühtedele meeldib kuulata nii, et valjusest piisaks vaevalt täielikuks arusaamiseks tingimisel, et toas on vaikne, teised ei tunnista vastuvõttu muudu kui täielikult väljakeeratud valjusregulaatori juures.

Kõige täielikumalt on erineva kubatuuriga ruumides hea kuuldavuse tagamiseks vajaliku elektrilise helivõimsuse küsimust uuritud helikinos, ent loomulikult käivad kõik teatmeanded sellelt alalt suurte ruumide kohta ja on väljendatud vattides saali ruumala kuupmeetri kohta. Kui arutada need andmed ümber rakendamiseks mõistetele, mis on tavalistel elutubadel ning anda nad paremaks riikustamiseks mitte ruumala, vaid pindala kohta (tugedes, et toa kõrgus on keskmiselt 3,5 m), siis tuleb välja järgmine tabel.

Toa pindala m <sup>2</sup>	Valjuhääldile antav võimsus W	Toa pindala m <sup>2</sup>	Valjuhääldile antav võimsus W
5	0,15	20	0,5
10	0,3	25	0,6
15	0,4	30	0,7

116

Selles tabelis toodud võimsusteile vastav valjus on suur. Et juttu ajada, kui vastuvõtja töötab nii valjult, tuleb häält lösta.

Võrdluseks võib märkida, et tavalise grammofoniga keskmise valjusega plaadi mängimisel on helivõimsus, ümberarvutatuna vattidele, umbes 0,2 W. Valjuhääldile on vaja anda 0,2 W, et saada samasugust valjust, nagu arendab grammofon. Inimhääle võimsus normaalse valjusega rääkimisel on samasuguse ümberarvestuse kohaselt 0,001 W piires.

Need arvud näitavad, kui võrd suur on meie raadiovastuvõtjate «võimsusvaru». Juba III—IV klassi vastuvõtjate võimsus on täiesti küllaldane kõige suuremate elutubade jaoks.

Võimsusvaru on vajalik kõlavuse loomulikkuse jaoks. Vastuvõtja keskmine normaalkoormus on kolmandik tema võimsusest. Võimsuse ülejääk jääb varusse. Kui sellist lagavara ei ole, on vastuvõtt moonutatud.

## MIKS TEKIB VÕRE PUUDUTAMISEL UNDAMINE

On olemas väga levinud viis vastuvõtja madalsagedusosa korrasoleku kontrollimiseks — madalsagedusvõimendi esimese lambi tüürvõre (või otsevõimendusega vastuvõtjates detektorlambi võre) puudutamine sõrmega. Kui võimendi on korras, siis kuulub valjuhääldist puudutamisel mõrgamist meenutav tugev madala tooniga undamine.

Seda meetodit kasutavad laialt kõik raadioamatöörid. Kui vastuvõtja pole korras, suundub käsi kõigepealt auto-maatset helipea väljundklemmi poole. Hakkab vastuvõtja «mõrgama» — tähendab, vigastus on tekkinud kõrgsageduskaskaadides, et hakka — ei ole korras madalsagedusosa või lampidel ei ole pinget.

117



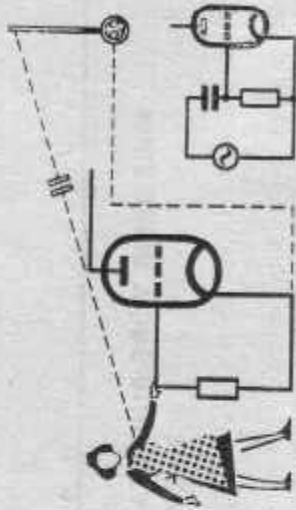
Kuid igaüks, kes kasutab sellist vastuvõtja kontrollimise viisi, ei anna endale aru, miks kutsub võreväljundi puudutamise esile undamise. Selleks et väljuhääldi tekitaks mingi heli, tuleb ju võimendi sisendisse anda vastava sagedusega pinge. Millise pinge ja missuguse sagedusega viime võimendisse, puudutades sõrmega tema sisendit?

Võimalik, et mõned inestavad, saades teada, et võimendi sisendi puudutamisel viime temasse osa valgustusvõrgu pingest. Kuid see on siiski nii.

Meie ja valgustusvõrgu vahel on alati mingi mahtuvus. See võib olla väga väike, kuid siiski osutuda küllaldaselt, selleks et võrele satuks pinge, mis pärast võimendamist suudab panna väljuhääldi kõlama.

Proovime arvutada, milliseks osutub pinge võimendi sisendlambi võrel, kui inimese mahtuvus 220 V-lise valgustusvõrgu suhtes on kõigest 1 pF.

Vahelduvvoolule sagedusega 50 Hz kujutab kondensaatori mahtuvusega 1 pF takistust  $3 \cdot 10^8 \Omega$  ümber. Kui sisendlambi võre kaotaktistus on 1 M $\Omega$ , siis võrgupinge osutub



rakendatuks pingejagajale, mis koosneb kahest takistusest:  $3 \cdot 10^8$  ja  $1 \cdot 10^6 \Omega$ . Lambi võre on ühendatud jagaja väiksema õlaga ja tema osaks langeb kolm kümnetuhändendikku võrgupingest — umbes 0,07 V.

Sellest pingest piisab täielikult, et panna väljuhääldi kõlama. Vastuvõtja saab helisalvestuselt pinget umbes 0,1—0,2 V; seejuures annab ta ära kogu oma võimsuse. Seepärast ei ole imeks pandav, et ainult umbes kaks korda väiksema pinge andmisel saadakse küllalt vali heli.

Tuleb arvestada, et veel suurem mahtuvus-kui keha ja valgustusvõrgu vahel tekib tavaliselt keha ja vastuvõtja juhtivastuvõtja vahel. Sellest järeldub, et juhtivastuvõtja vahel tekib tavaliselt keha ja vastuvõtja vahel antakse aladist juurde veel vahelduvpinge teinte harmooniline (100 Hz), mida võimendatakse veelgi rohkem.

Kerge on veenduda, et just nimelt see põhjus kutsub esile väljuhääldi undamise. Patareivastuvõtja madalsagedusvõimendi sisendi puudutamise mõningal kaugusel valgustusvõrgust ei kaasne meile tuttavat «mõirgamist».

Seega, puudutades võimendilambi võret, lülitame tu skeemi, saades ise potentsiaomeetri «valgustusvõrk—maa» üheks osaks.

## TRANSFORMAATOR LAMBI ASEMELE

Transformaatori abil võib tõsta vahelduvvoolu pinget.

Kuidas kasutada seda transformaatori võimet parimal viisil vastuvõtjas? Kas ei võiks transformaator olla abiks lampideta vastuvõtja loomisel? Pärast vastuvõetud modulit leitud signaali detekteerimist ja helisagedusega pinge eraldamist võiks, nagu näib, transformaatori abil selle pinget palju kordi tõsta — niisuguse väärtuseni, mis on küllaldane väljuhääldi tööks.

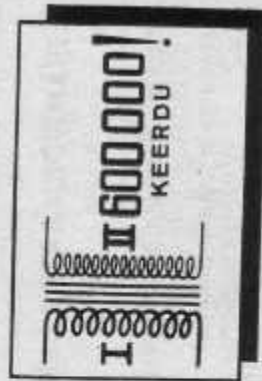
Kahjuks ei tule sellest midagi välja, sest väljuhääldi tööks ei ole vaja mitte ainult pinget, vaid ka teatud võimsust, transformaator aga võimsust ei tõsta; vastupidi, edasiandmisel primaarabelast sekundaarabelasse läheb osa võimsust kaduma.

Kuid näib, et sellest takistusest pääseb mööda. Üks vähestest aparaatidest, mille tüürimist teostatakse praktiliselt võimsuskaota, on elektronlamp. Seepärast võib kujutleda endale väljult rääkivat vastuvõtjat ainult ühe väljundlambiga. Detektori poolt eraldatud pinget tõstetakse transformaatori abil ja antakse edasi väljundlambi võrele,

tulemusena luuakse selle anoodahelas aga vajalik helisagedusvõimsus.

Kui vastuvõtja võtab vastu kõrvaklappidega halvasti kuuldava jääma signaale, siis pärast defektorit saadakse voldi saajandike osade suurune helisageduspinge. Patareidel töötava väljundlambi tööks aga on vaja tema võrele anda umbes 4—4,5 V. See tähendab, et pärast defektorit on vaja tõsta pinget umbes 400—450 korda. Näib, et transformatori abil on niisugune ülesanne üsna lihtne lahendada: võtame sekundaarmähisesse 400 korda rohkem keerde kui primaarahelasse, ning saamegi nõutava pinge.

Praktikas aga osutub, et kõik ei ole kaugeltki nii kerge. Et valjuhääldi kõlaks hästi, peab ta ühtlaselt taastama kõiki helisagedusi, s. o. kõigi taastatavate sageduste pinget tuleb võimendada ühtemoodi. Selleks peab transformatori primaarmähiset olema küllalt suur induktiivtakts-



tus kõige madalamate sageduste suhtes. On vaja, et see takistus oleks 2—3 korda suurem defektori sisetakistusest. See aga tähendab, et primaarmähises peab olema küllalt palju keerde; mitte kümneid ja isegi mitte sadu, vaid tuhandeid. Vastasel juhul võimendatakse madalaid sagedusi väga halvasti.

Madalate helisageduste (80—100-st 200—300 Hz-ni) enam-vähem ühtlaseks võimendamiseks peab keskmiste määrimetega südamikü puhul (ristlõige 20×20 mm<sup>2</sup>) primaarmähises olema 1500—2000 keerd. Kuid siis on sekundaarmähises nõutav 1500·400=600 000 keerd. Sellist keerde arvu ei saa praktiliselt mähkida, järelikult ei saa rääkida nõrkade jaamade valjuhäälselt vastuvõtust.

120

isegi kui piirduda telefonis hästi kuuldavate jaamade valjuhäälsel vastuvõtuga — need tekitavad defektorit väljundis pinge 0,1—0,2 V —, on sekundaarmähises vaja umbes 40 000 keerd — samuti väherealine arv. Selleks et mähkida nii palju keerde keskmiste määrimetega südamikule, oleks vaja väga peent juhet ning transformatori valmistamine oleks seotud suurte tehniliste raskustega.

Vastuvõtavate määrimetega reaalne transformator onaks primaarmähises nii vähe keerde, et tema sagedus-karakteristik ei rahulda üldse: madalaid sagedusi taastatakse väga halvasti ning sageduse tõusuga võimendus üha kasvab. Seda soodustab ka veel asjaolu, et sekundaarmähise suur omamahtuvus kutsub sekundaarahelas esile resonantsi kõrgsagedusalas. Tulemusena on sageduskarakteristikul selles piirkonnas veel tugevam tõus.

Kõik see viib selleni, et kõrgemad sagedused hakkavad järevalt domineerima ja saade koosneb ainult karjetest korgetel sagedustel, mis summutavad kõik teised helid. Kui arvestada veel kadusid sekundaarahelas, siis saab selgeks, et vaatamata pinge tunduva tõstmise näiliselt lihtsusele transformatori abil on see ülesanne helisagedusdiapasoonis seotud niivõrd suurte raskustega, et palju lihtsam on kasutada ühe- või kahelambilist võimendit. Sellega selgubki, miks kaasaegsetes madalsagedusvõimendites lahendatakse see probleem just nimelt niiviisi.

## VÄLJAVENITATUD VÕI ASENDATUD DIAPASOONID

Oleks kaasaegsetesse ringhäälinguvastuvõtjatesse siseviitud täiustuseks on miinimetatud «väljavenitatud diapasooni» lühilainetel. Iga raadiokuulaja teab hästi, kui kerge on häälestada vastuvõtul sellistel «väljavenitatud diapasoonidel» — sugugi mitte raskem kui pikkel või keskilainetel.

121

Nii on lugu sellepärast, et püsivkondensaatorite lülitamisel paralleelselt ja järjestikku muutuva kondensaatoriga vahendatakse järsult sageduste suhtelist kattumist: kondensaatori rootori täispööre ei muuda sagedust mitte enam 3 korda, nagu pikkael ja kesklainetel, vaid kõigest umbes 1,1 korda, s. o. ainult 10% võrra. Niisugune kattumine hõlmab ainult ühte lõikudest, mis on ringhäälingule eraldatud lühilainediapasoonis, näiteks 25-meetrist, 40-meetrist jms. laineala.

Peab ütlema, et kindlalt juurdunud nimetus «väljavennitatud diapsoon» on sisuliselt ebaõige. Venitatud — see tähendab laiem, laiemaks venitatud. Selle sõna mõtte järgi peavad väljavennitatud diapsooni piirid olema laiemad kui harilikul diapsooniil, s. o. lainete kattumine peab olema, ütleme, mitte 3 korda suurem nagu harilikult, vaid 5—6 korda suurem. Meil ei ole mitte venitatud, vaid tugevasti lühendatud diapsoon: kattumise piire on vähendatud peaaegu 30 korda. Väljavennitatud diapsoonis ületab kõige pikem laine kõige lühemat ainult 1,1—1,2 korda. See aga tähendab, et diapsoon ei ole venitatud, vaid enne ahendatud, tugevasti vähendatud. Kuid selle vähendamise tulemusena on skaala tugevasti veninud: see väike ala, mida diapsoon kattis temas harilikku skaala puhul, on nüüd veninud üle kogu skaala. Seepärast oleks seda täiuslust õigem nimetada «väljavennitatud skaalaks», mis vastab rohkem tegelikkusele.

## SUPERMÜRA JA PUTUKAD

Kuidas töötab elektronlambiga võimenduskaasid? Töötamise üldskeem on lihtne. Lambi võrele antakse vahelduv pinget. Vastavalt pingemuutustele muutub anoodivoolu suurus. Läbides anoodkoormustakistit loob anoodivool vahelduva pingelangsu, mis ongi kaasadi väljundpingeks.

122

Pilt on tõepoolest selline ainult tingimusel, et muutmata pingete korral elektroodidel jääb anoodvool rangelt konstantseks.

On see nii ka tegelikult? Kas võib anoodvoolu rangelt konstantseks pidada?

Tegelikult ei säilita anoodvool täielikku konstantsust muutumatu pinget korral võrel, anoodil ja kõigil teistel elektroodidel. Lõpptulemusena sõltub anoodvoolu suurus katoodi emissioonist — ajatühikus katoodi poolt kiirtatavate anoodile jõudvate elektronide arvust, katoodi emissiooniga allub teatud kõikumistele. Ohesuguste ajatühikude jooksul ei kiirga katood rangelt ühepalju elektrone. Vähe kiirtatavate elektronide arvus on tühine, kuid ta on siiski olemas, ja vastavalt sellele teostab anoodvool väikesi katoodipinge ilmnemisele anoodkoormustakistil.

Anoodvoolu moodustav elektronide voo ei oma niisugust ühtlast struktuuri nagu näiteks veejuga. Ennem on ta sarnane haavlijoale, mis voolab välja, ütleme, mingist anumast; seejuures ei ole erinevatel ajamomentidel väljalangevate haavlite arv ühesugune. See analoogia, samuti aga asjaolu, et lambi anoodkoormusel loodud vahelduvpinge on valjuhääldis või telefonis kuulda müra, mis oma iseloomult meenutab pudenevate haavlite müra, andsid aluse nimetada see nähtus «haavelelektiks».

«Haavelelekti» poolt ühes kaasadis loodud müra ei ole peaaegu märgatav, ent kui pärast kahisevat kaasadi on veel mitu võimendusastet, siis müra võimendatakse ja ta võib ulatuda sellise väärtuseni, et seda ei saa jätta arvestamata. Mida rohkem on lambis elektroode, seda rohkem mürasid ta tekitab. Kõige vähem kahisevad trioodid. Pentoodid kahisevad umbes 2—3 korda trioodidest tugevamini. Kõige rohkem kahisevad paljuvõrelised muundus- ja seguslambid. Kõne all olev erinevat tüüpi lampide isearaus on väga ebasoodne. Loomulik, et vastuvõtjate ja võimendite esimestes kaasades on soovitatav kasutada kõige vähem «lärmakaid» lampe, kuna nende poolt loodud müra võimendatakse järgnevate kaasadi poolt. Selles suhtes on kõige tänuväärsemad trioodid — just need lambid, mida esimestes kaasades ei tarvitata.

Superheterodüünvastuvõtjate esimeses kaasadis töötavad enamikul juhtudel kõige intensiivsemalt kahisevad muunduslambid. Nende loodud müra võimendatakse väs-

123



tuvõtja kõigis lampides ja on väljunud reeglina väga tugevasti kuulda. See müra on saanud «supermüra» nime. See ei tähenda muidugi, et olsevimendusega vastuvõtjates mürad puuduksid. Kui tundlikkus on kõrge, on mürad ka niisuguses vastuvõtjas küllalt suured.

Supermüraga võitlemise parimaks viisiks on võimenduskaardi kasutamine enne muundamist, s. o. kõrgsagedusvõimendi sisseviimise superheterodüümvastuvõtjasse. Kõrgsagedusvõimendis kasutatakse pentoode, mis kahisevad muunduslampidest tunduvalt vähem. Selle kasutamist kaadi poolt võimendatud signaalid tulevad muunduslampi võrele palju kasulikuma signaali- ja müra pingete suhtega. Ent see viis on kallis ja leiab rakendamist ainult esmaklassilistes vastuvõtjates.

Lambid kahisevad seda vähem, mida suurem on nende karakteristikuko tõus suhteliselt väikese anoodvoolu juures. Arvutus näitab näiteks, et kõrgsageduspentood 6K3 tekitab ringhäälinguvastuvõtja sisendis müra pinget  $1 \mu\text{V}$  ümber, televiisioonipentood 6X4 aga kõigest  $0,25 \mu\text{V}$  piires. Lamp 6A7 — sagedusmuundaja — annab müra pinget umbes  $5 \mu\text{V}$ , s. o. 20 korda rohkem kui 6X4. See aga tähendab, et signaalid pingetega alla  $5 \mu\text{V}$  lämmatatakse täielikult ja  $10 \mu\text{V}$ -se pingega signaalid on kuulda tugeva müra foonil. Kahisevad mitte ainult lambid, vaid ka takistid ja isegi võnkeringid.

Müra suurust on seotud ka vastuvõtja poolt läbilasitava sagedusribaga: tegev müra pinget on võrdeline ruutjuurega läbilaskeribast. Mida laiem on riba, seda tugevamini avalduvad «haavelelekti» tekitatud mürad. Seepärast on laia läblaskeriba omavates kõrgevaliteedilistes vastuvõtjates mürad suhteliselt tugevamad kui vastuvõtjates, mis läsevad läbi kitsamat riba. Selles suhtes on kõrge ebasoodsamates tingimustes televiisioonivastuvõtjad, mille läblaskeriba laius on umbes 4 MHz. Need «müraavad» ringhäälinguvastuvõtjatest kümneid kordi tugevamini.

124

Televiisioonivastuvõtjad annavad võimaluse mitte ainult kuulda lampide müraid, vaid ka näha neid. Kui vaadata töötava televiisori ekraanile, võib sellel märgata hulgaliselt justkui sagivaid kihulasi. Televiisioonitöötajale profes-



sionaalses žargoonis nimetatakse neid punkte «putukateks». «Putukad» kujutavad endast tunduvalt määral televiisori esimeste lampide võimendatud müraid. Mida tundlikum on televiisori, seda rohkem «putukaid» (või «tunds») on ekraanil.

## SÜDAMIKUGA ANTENN

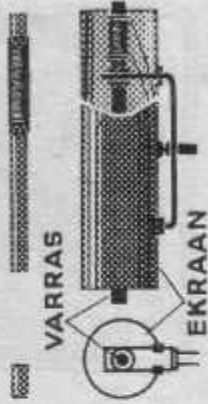
Me oleme harjunud sellega, et südamikud on transistoritel, drosselitel, poolidel. Ent kuidas saab asetada südamikku antenni?

Muidugi, välisantenni on raske südamikku paigutada, kuid miski ei saa meid segada mähkimast antennijuhet pikale pulga- või vardakujulisele südamikule. See varras

125

peab olema valmistatud suure magnetilise läbitavusega magnetodielektrikust (kõrgsageduslikust magnetilisest materjalist), näiteks karboniitirauast, sellestamast, millest tehakse südamikke võnkeringide poollde jaoks, või — veel parem — ferriidist.

Miks indutseeritakse emi transformatori sekundaar-mähises, mis on mähitud primaarmähisest eraldi ühisele südamikule? Aga sellepärast, et südamik, millele on mähitud sekundaarmähis, tekib vahelduv magnetväli. Iga kord, kui magnetväli keeru sees muutub, ergutatakse kee-rus emi.



Ferronagnetilised materjalid on märkimisväärsed selle poolest, et kui nad magnetvälja asetada, siis tekib nende sees rohkem jõujooni kui ümbritsevas ruumis.

Neid kahte asjaolu ongi kasutatud magnetantenni loo-miseks, mida me pealkirjas nimetasime südamikuga anten-niks. Saatejaam loob vahelduva elektromagnetilise välja; antud juhul huvitab meid selle magnetiline komponent. Magnetväli on suunatud horisontaalselt. Kui sellesse mag-netvälja paigutada ferromagnetiline varras, siis selle sees on magnetväli palju kordi tugevam. See on vahelduvväli. Kui ferromagnetilisele vardale mähime keerud, siis indut-seeritakse nendes vastav emi, kuna nende sees asub vahel-duv magnetväli. Loomulik, et kuna südamik on tehtud vardakuulisena, ilmub temas kõige tugevam magnetväli siis, kui varda suund ühtib välja magnetjoonte suunaga. teiste sõnadega, kui südamiku telg on paigutatud risti vas-tuvõtava jaama suunaga.

Seepärast on magnetilisel antennil suunatud toime: ta võtab kõige paremini vastu siis, kui tema südamik on orienteeritud risti jaama suunaga. Mida suurem on südä-miku materjali magnetiline induktstioon, seda tugevam on

tema magnetväli. Kaasagsetel materjalidel on suur magnetiline läbitavus, seepärast võivad nendest valmistatud südamikud omada kõigest 3—5 cm<sup>2</sup>-st ristlõiget. Niisugused südamikud kindlustavad küllaldase magnetvoo antenni keerdukes. Seepärast ei kujune magnetantennid kuigi suurteks: nende pikkus on ringhäälingudiapasooni lainete jaoks kõigest 20—30 cm.

Raam- ja magnetantennid on üldiste omaduste järgi ja vahekorra suhtes magnetväljaga ühesugused. Orientat-siooni suhtes on nad sisuliselt samuti ühesugused. Et raam-antenniga vastu võtta, on vaja, et keeru tasand ühtiks saa-tejaama suunaga. Et aga vastu võtta magnetantenniga, on vaja paigutada see nii, et südamiku telg oleks risti selle suunaga, kuid seejuures ongi keerdude tasand suunatud just jaamale.

Tuleb märkida, et raam- ja magnetantennide suuna-vat mõju võib täielikult täheldada vaid vastuvõtul avatud kohas. Tubades on metallemed sekundaarseteks kiirgaja-teks ning vastuvõtt saadakse antenni orienteerimisel nendele.

## 1000 VOLTI ANTENNIS

Sõna «antenn» tähendab kreeka keeles vunitse või putu-kate katsesarvi. Me viime oma katsesarved-antennid laialiruumi — eestrisse, nagu seda varem nimetati — ja püüame seal välja meile vajalikke raadiosaateid.

«Saagi» haaramine väljendub mikroskoopiliste pingete tekkimises antennis. Pinged on nii väikesed, et nende üle peetakse arvet võlgi miljondikes osades — mikrovolttides. Vajadus nii väikeste võlgi osade mõõtmise järele tekkis just niimelt raadiotehnikas. Teistel tehnikaaladel ei ole tul-nud tegemist teha taoliste tühist pingetega. Tavalliste apa-raatide abil on neid võimatu mõõta ja isegi avastada. Nende mõõtmiseks kasutatakse keerulisi etiseadmeid. Trimorgä-

nism ei taju selliseid pingeid, seepärast võib antenni, nagu näib, langeda täiesti ohutuks, kuigi rangelt võttes on ta vooluga juhe.

Ent see ei ole sugugi nii. Mõnikord — see võib juhtuda iga aastajaal — hakkab antennist pudenema sädemeid. Kui mõne sentimeetri pikkused sädemed hakkavad valju raginaga hüppama antenni ja maandatud esemete vahel, kõige sagedamini antenni languse ja maandusjuhime vahel. Niisugusel juhul ei ole soovitatav antenni puudutada — võib saada väga tugeva löögi. Täpiliselt hüppab veel enne antenni puudutamist tema ja kae vahelt läbi säde, mis põhjustab teravat valu.

Mis on elektrisäde?

Sellele küsimusele on kerge leida vastust füüsikaõpikust. Säde on õhiks viitsiks, kuidas elektrivool läbib gaase. Gaasides tekib elektrivool nii liikuvatest elektronidest kui ka ioonidest. Ohus on alati mingi hulk vabu ioone. Näiteks  $1 \text{ cm}^3$ -s toaõhus on neid mõni tuhat.

Kui kahe gaasilises keskkonnas asuva juhi vahel on elektripinget, siis hakkavad gaasioonid nende juhtide vahel liikuma. Küllalt suure pinge puhul muutub ioonide kiirus nii suureks, et nad ioniseerivad gaasi molekule ja aatomid, põrgates oma liikumisel nendega välimatult kokku. Tekkinud ioonid alustavad omakorda liikumist ja ioniseerivad teisi aatomeid.

Seda kiiresti kasvavat laviinitaolist laengut nimetataksegi elektrisädemeks. Ioonide poolt elektrisädemes loodud rõhk ulatub mõnesaja atmosfäärini.

Elektroodidevaheline kaugus gaasis, mida säde suudab ületada, sõltub niihästi pinge suuruselt kui ka mitmest teisest põhjusest: gaasi rõhust, tema koosseisust, vabade ioonide arvust, elektroodide kujust jn. Kõige kergemini hüppab säde läbi teravike vahelt. Selleks et «lüüa» sädemega läbi teravikevaheline kaugus 15 mm, on toaõhus vaja pinget 20 000 V piires. Kui elektroodid on ümarad või tasased, siis suudab niisugune pinget läbi lüüa vahemikust lausa mitu korda suurem.

Igaüks, kes on jälginud sädemete hüplemist antenni ja maandatud esemete vahel, teab, et säde võib olla küllaltki pikk. Ei ole haruldased sädemed pikkusega 10–20 mm, 2–4 mm pikkused sädemed aga on üsna tavalised. Seejuures on nende tekkimiseks isegi teravike vahel vaja tuhendeid volte.

Kust siis võetakse niisugused tohutud pinged?

Mõistagi ei ole siin tegemist raadiojaamade signaalidega. Selliste suurte pingete ilmumine seletub teiste põhjustega.

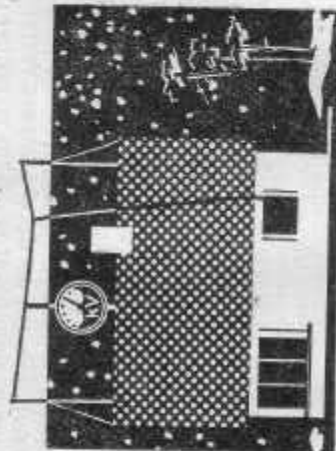
Kõige sagedamini toimub kõrgepinge indutseerimine antennides äkese ajal. Äikeselahenduste puhul, mida nimetame välglöökideks, indutseeritakse ümbruskonnas olevates juhtides elektrilaengud. Kui juhid on maandatud, voolavad indutseeritud laengud kohe maasse; kui nad on aga isoleeritud, jäävad laengud juhtidel püsima, võivad koguneda ja saavutada väärtusi, mis on küllaldased sädelahenduseks nende ja maa vahel.

Antennid on alati hästi isoleeritud ja suure ulatusega, seepärast laaduvad nad suure pingeni isegi küllalt kaugel äkese tegevusrajoonist, s. o. kohast, kus vahetult toimuvad äikeselahendused.

Kuid laengud võivad antennidele ilmuda ja koguneda ka muul ajal.

Lumehelbed kannavad tihti elektrilaenguid. Pundutades langemisel antenni, annavad nad sellele oma laengud üle. Kui õhk on kuiv — see esineb tavaliselt tugevate külmade puhul — võivad miljonid lumehelbed antenni laadida lõpuks väga kõrge pingeni. Samasugune nähtus on järgitav ka suvel kuiva tolmuse tuule korral. Tolmukübemekeed, põrgates vastu antenni, laevad selle.

Sellised on vahel antennijuhimist pudenevate sädemete põhjused. Need sädemed on ohtlikud. Nad võivad anda väga valusa löögi, kahjustada vastuvõtjat, vahel aga



9 Raadiotehnika



põhjustada tulekahju. Et seda vältida, on vaja alati pärast vastuvõtu lõpetamist antenn maandada. Samuti on vaja katkestada vastuvõit ja maandada antenn neil juhtudel, kui tugevnevad atmosfäärilähendused, s. o. ragnad, mis saavad ja lähmatavad raadiovastuvõttu. Need ragnad annavad tunnistust sellest, et ühel või teisel põhjusel teki vad antennis ebatavaliselt suured laengud.

Antenne maandatakse tavaliselt äikeseümberlülitiga. Oeldust on selge, miks nendel ümberlülititel peab maandus olema viidud noa juurde. Sel juhul läheneb antenni maad damisel antenniga ühendatud klambrile maandatud nuga ning kui antennis on laeng, siis noa küllaldaselt lähenemi sel hüppab säde antenni ja noa vahel. Maandamist teostav inimene kammata ei saa. Kui aga noa külge ühendada antenn, siis selle puudutamisel võib saada löögi.

## MAANDUS LILLEPOTIS

Üks paljudest lugejatest, kes nii või teistiti reageeris «Huvitava raadiotehnika» esimesele väljaandele\*, märkis oma kirjas:

«Hiljuti lehitsesin ma ajakirja «Raadioamatöör»\*\* esimesi aastakäike. See hea ajakiri on leidnud alati oma lehekülgedel ruumi lõbusateks naljadeks. Minu tähelepanu kõl tis üks «naljakonsultatsiooni» nõuannetest — kasutada maandamiseks lillepotti. Pole vaja tuhmida mullas, kaevata sinna metall-lehti ega joota juhtmeid veevärgitorude külge. Piisab raadiovastuvõtja maandamispesa ühendamisest mullaga-aknal seisvas lillepotis. Sellele nõuandele kaasnes karikatuur.

Minu raadiovastuvõtja seisib laual. Nagu kõik kuulsagedsed raadiovastuvõtjad töötab ta ilma maanduseta.

\* Jutt on veekeelsest väljaandest. — Tõik.

\*\* Vene keeles ilmutv ajakiri «Радиотехника» — Tõik.

Aknal oli mitu lillepotti. Mulle tuli pähe kontrollida «nõuannete». Lõikasin tükikesse juhet, selle ühe otsa ühendasin raadiovastuvõtja maandamispesaga, teise aga torkasin poti niiskesse mulda. Ja kujutlege minu hämmeldust, kui ma veendusin selles, et naljanõuanne ei anna sugugi naljatulemusi — vastuvõtja hakkas paremini tööle, vastuvõtu väljus kasvas märgatavalt!

Millega seda seletada?\*

Kõige lihtsam antenn on sirge juhe. Vastuvõtja (või saatja) on vaja ühendada juhtme keskkõhaga. Antennil oleks nagu kaks vuntsi. Nimelt niisugused antennid olid esialgu raadioaparaatidel; sageli kasutati selleid antenni ka praegu. Kui üks «vuntis» eemaldada, väheneb antenni efektiivsus järsult.

Kuid nüüd me kasutame ringhäälinguvastuvõtuks reeglina ühte «vuntsi», sest kaasagedsed vastuvõtjad on väga tundlikud, vastuvõetavad jaamad aga väga võimsad. Peale selle mängib valgustusvõrk, mis nii või teistiti on ühendatud raadiovastuvõtjaga, maanduse osa, õigemini antenni teise poole osa. Seepärast on talalt juurdunud veendumus, et raadiovastuvõtjatele pole maandust tarvis.

Seda veendumust laendatakse tihti ka patareivastuvõtjatele, mida tegelikult teha ei tohi. Patareivastuvõtjatel mängivad antenni teise poole osa mingil määral toitejuhtmed, mis ühendavad vastuvõtja šassiid patareidega, kuid väga tihti on need liiga lühikesed ega suuda antenni efektiivsust vajalikul määral tõsta. Sellistes tingimustes on igal liigesel juhtmel suur lähtsus, seda suurem, mida pikem ta on.

Kõige tõenäolisemalt teostas kirja autor vastuvõttu patareivastuvõtjaga, kusjuures maandust tal ei olnud. Vastuvõtjaga oli sisuliselt ühendatud vaid üks «vuntis». Sellise antenni efektiivsus on madal, seepärast parandas maandumis lillepottis oluliselt antenni, mille tagajärjel vastuvõtu väljus tõsis. Maandusjuhtme ühendamine lillepotti mullaga ei mängi antud juhul olulist osa. Palju tähtsam on vastuvõtjat potiga ühendav juhe ise — ta on nagu vastukaaluks, mis asendab maandust. Mullapott sai samuti selle vastukaalu osaks, seda suuremaks, mida mahukam ta ise on ja mida parem on kontakt juhtme ning mulla vahel.

Vastuvõtjavalidaja kiri toimetusse peab raadioamatöörile ja raadiokulaajatele meenutama tähelepaneliku suhtumise vajadust antennisse. Tuleb meeles pidada, et antenni-

seadeldis koosneb antennist ja maandusest või vastukaalust. On vaja igal juhul eraldi katse teel kontrollida, kas maandamist on vaja või piisab heaks vastuvõtuks maanduse asemel — vastukaalust, mis tekitab valgustuse võrguga, pikkade juhtmetega, mis lähevad toiteallika juurde jms.

Aga kuidas on siis lugu ajakirja «Radioamatöör» näitanõuandega?

Ei ole kahtlust selles, et «nõuandes» autorid ei arvestanud kõiki asjaolusid. Nad naersid selle üle, et mõned kogemusteta inimesed annavad mullale tähtsust nagu kindlale ainele, mida võib võtta igal kujul ja koguses. Kuid nad ei arvestanud seda, et isegi 1—2-meetrise juhtme ja lisaks sellele teatud hulga voolu juhtiva niske mulla ühendamine raadiovastuvõtjaga võib olla vastukaaluks, mis parandab märgatavalt vastuvõttu, tõstab antenni efektiivsust

## KAKS LÄBIPAISTVUSE AKENT

Kellel pole olnud juhusst nautida üist taevast! Selle tohutu kuppel oleks nagu kaetud sinakasmusta sametiga, mis on üle külvatud tähtede kuldsete pritsmetega.

Põhjatu õine taevas tekitab mõtteid maailmaruumi ääretusest, kaugelest võrastest maailmadest.

Näib, et selgel õöl ei sega miski taevast vaatlemast. Ohk on valkne ja läbipaistev, on kadunud soe vine, mis päeval varjas kaugusi. Vaatled taevast ja tunned, et sinu ja vilkuvate tähtede vahel pole midagi peate tohutu vähe-maa.

Kuid see taju on petlik. Maa on kaetud katetega nagu soomusega. Neid katteid on palju. Eristatakse troposfääri (0—16 km), stratosfääri (16—32 km), kemosfääri (32—80 km), ionosfääri (80—400 km). Kaugemal asub ruum, mida mõnikord nimetatakse ekzosfääriks, sagedamini aga kosmiliseks ruumiks. Viimaste uurimuste järgi, mis on

teostatud tehiskaaslaste ja raketide abil, on Maa vesiniku-atomeist koosnev kroon, mis ulatub 20 000—30 000 km kaugusele. Peale selle on umbes 100 km kõrgusel tolmukihid, mis kujutab endast mikrometeooride kontsentrati. Lõpuks on ümber Maa avastatud kiirgusvööndid — elektromagneetilise kiirguse kogumid.

Kõiki neid rohkearvulisi kihte võib läbipaistvaiks nimetada ainult väga tingimisi.

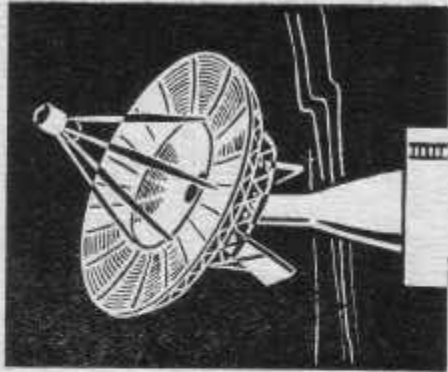
Millise mõtte me paneme sõnasse «läbipaistev»? Me nimetame läbipaistvaks seda, läbi mille võime näha. Näha — see tähendab vastu võtta valguskiiri. Kuna valguskiired kujutavad endast aga elektromagnetilisi võnkumisi, siis võiks nagu teha järelduse, et läbipaistvaks keskkonnaks on selline, mis laseb läbi elektromagnetilisi võnkumisi.

Selline järeldus ei vasta tegelikkusele. Maa atmosfäär ja viimasel ajal avastatud täendavad kihid on teatava sagedusega elektromagnetiliste võnkumiste jaoks läbipaistmatud. Oigermiini, Maa gaasi- ja muud kihid lasevad läbi vaid kahte väikest lainevala kogu meile tuntud elektromagnetiliste võnkumiste tohutust spektrist, mis ulatub kõige kalgimatest  $\gamma$ -kiirtest (kuni umbes  $3 \cdot 10^5$  MHz) pikimate raadiolaineteni (kuni umbes 10 kHz). Neid löike nimetatakse läbipaistvuse akendeks.

Esimene läbipaistvuse akna olemasolu annabki meile võimaluse nautida üist taevast. Läbi selle akna tungivad meieni nähtavad valguskiired ( $4 \cdot 10^8$ — $8 \cdot 10^8$  MHz) ja mõningal määral ka lähedased ultravioletsete ja infrapunaste kiirte lõigud. Läbi selle akna kannab Päike meile valgust ja soojust.

Kaua aega — alates päevast, millal meie esivanemad vaatavad esimest korda taevasse, kuni peaaegu viimase ajani — uuriti maailmaruumi ainult läbi selle «akna». Teleskoopidega, fotoaparaatidega, spektroskoopidega ja teiste vahenditega kogusid teadlased neid andmeid maailmaruumi kohta, mida kandsid valguskiired. Teritatud inimhoiatus suutis valguskiirte teravmeelsema analüüsi leel nendest väga palju «ammutada». Selle analüüsi tulemustel põhineb kõik, mida me praegu teame maailmaruumist: nii üldised seadused, millele allub taevakhade liikumine, kui ka need kehad ise, nende ühendid, nende temperatuur, mass, liigikaudsed mõõtmised, koosseis, liikumise suund, kiirus jm. Opetilised võivad luua täpse taevakaardi,

nagu see päistsis Maalt tubandeid aastaid tagasi, võivad öelda, milline on taevas 100 aasta pärast, võivad ennustada taevanähtusi tunduvalt täpsemini kui meteoroloogilisi ilmingusi nende enda planeedil. Edusammud kosmose välitutamisel, mis on kuulsaks teinud viimased aastad, kinnitavad hiilgavalt kõigi astronoomiliste arvutuste täpsust.



Kuid valguskiirte poolt kantav informatsioon ei ole ammendamatu. Nende analüüsimise abil ei ole võimalik saada kõiki teadusele vajalikke andmeid maailmaruumi kohta. Seepärast osutus erakordselt hinnatavaks teise läbipaistvuse akna avastamine, mille olemasolu võis aimata juba ammu, kuid mille uurimise ja kasutamise algus sai võimalikuks alles viimase 10–15 aasta jooksul tänu raadioelektronika edusammudele. Läbi selle «akna» võivad tungida kosmosest meie juurde Maale (ja lahkuks Maalt vastupidises suunas) raadiolained pikkusega umbes 1 cm-st kuni 30 m-ni, s. o. 30 000-st kuni 10 MHz-ni. Lühemad ja pikemad lained neelduvad atmosfääris ega läbi seda.

Esmakordselt kasutati seda akent praktiliselt 1946. a. Kim raadiolotseerimiseks. Sellest ajast peale on raadiolo-

134

kantorit «kompinud» maailmaruumi meie päikesesüsteemi raamides palju kordi. Erakordselt õnnestunud oli Veenuse raadiolotseerimine 1961. a. Raadiolokantoorite signaalid on jõudnud juba Päikeseni.

Kuid raadiolokatsioon on vaid väike osa maailmaruumi teise akna — raadioakna — kasutamisest. Kosmosest meieni kanduvate raadiolainete katsetamine ja uurimine näitab, et neid laineid väljastavad taevakehad ning et nad kannavad täendavat informatsiooni, mida sageli pole võimalik saada valguskiirte. Märgime siin selgituseks, et on juba avastatud palju tumedaid mateeriakogumikke, mis hiirgavad raadiolaineid, mitte aga valguslaineid, ning on seeläbi jäänud märkamatuks. Tulemusena on hakanud kiiresti arenema uus astronoomiaharu — raadioastronoomia, mis on varustatud raadioteleskoopide ja teiste vahenditega maailmaruumi uurimiseks raadiolainete kinnipüüdmise ja väljasaatmise ning nende analüüsi abil.

Aja möödumisel laieneb maailmaruumi raadioakna kasutamine järjest. Kahtlemata kasutab side kosmoselaevade ja tehiskaaslastega, teistel planeetidel asuvate kosmonautidega jt. paljuski seda «akent».

## MIKS ATMOSFÄÄR NEELAB RAADIOLAINEID

Raadiosaatejaama antennist eraldus elektromagnetiline laine ja kandus ruumi. Atmosfäär neelab raadiolaineid. Vaid teatud kindla pikkusega lainetele on atmosfäär võrdlemisi läbipaistev (vt. lk 133). Lühemad ja pikemad lained neelduvad atmosfääris palju suuremal määral.

Milles seisab selle neeldumise «mehhanism»? ja miks osutub see ühe või teise pikkusega lainete jaoks selektiivseks?

Meie atmosfäär kujutab endast veeauru ja paljude gaaside segu. Kõigi nende atmosfääri koostisosade molekuli-

135



lid ja aatomid kujutavad endast erinevaid kombinatsioonide osakestest, millel on elektrilaeng ja magnetväli, samuti oma kindel võnkesagedus. Liikuv elektromagnetiline laine sumbib elektrilisel laetud osakesi võnkuma (samuti nagu ta sumbib neid võnkuma vastuvõtuantennis). Osakesed, mille omaagedus ühtib liikuva laine sagedusega, hakkavad võnkuma tugevasti — suure hooga. Selleks kulub energiat, mida pole võtta kusagilt mujalt kui elektromagnetiliselt lainelt. Laine energia raisatakse resoneerivate osakeste viimiseks tugevasse võnkumisse ja ta kahaneb. Mida rohkem on selliseid osakesi ja mida pikem on atmosfääris laine poolt läbitav tee, seda rohkem ta kustub.

Atmosfäär koosneb kindlastest gaasidest, millest osa on ioniseeritud. Nendel gaasidel on kindlad resonantssagedused, mida nad neelavad. Sagedused, mis ei kohti oma teel resoneerivaid osakesi, läbivad atmosfääri minimaalse neeldumisega. Nii tekivad läbipaistvuse aknad

diolaine peab läbima, on 300 km. Kuna sekundis katab raadiolaine 300 000 km, siis 300-kilomeetrise vahemaa ületamiseks on tal vaja  $300 : 300\,000 = 0,001$  s, s. o. 1 ms.

Olgu niisuguse saatja impulsi kestus 1  $\mu$ s, impulsside arv sekundis aga 1000, mis vastab meie poolt kindlaksti tehtud impulsside vaheaegade kestusele.

Järelikult kiirgab taoline saatja ainult  $\frac{1}{1000}$  osa tööajast.

Ööpäevas on 86 400 s. Tähendab, ööpäeva jooksul kiirgab saatja vaid  $\frac{86\,400}{1000} = 86,4$  s. = 1 min. 24,6 s., s. o. poolteise minuti jooksul! Kui seda arvu veidi ümardada, tuleb välja, et sellises režiimis töötava impulss-saatja väljundkaskaad teeb 7-tunnilise tööpäeva alles ühe tööpäeva jooksul.

Selline võib olla meie arvutuste veidi ootamatu tulemus.

## IMPULSS-SAATJA TÖÖPÄEV

Raadiolokatsioonijaamade saatjate väljundkaskaadid töötavad väga lühikeste ajavahemike jooksul, mis vastavad impulsside väljasaatmisele. Impulssidevahelise aja jooksul selliste saatjate väljundkaskaadid ei tööta.

Kuid milline on siiski faktiliselt niisuguse saatja väljundkaskaadi «tööpäev»? Millise ajavahemiku töötab see kaskaad tegelikult ja kui palju ta puhkab ööpäevase ekspluaatirimise puhul? Ilma arvutusest on sellele küsimusele raske õiget vastust anda, sest impulsside tihedus — sadu ja tuhandeid kordi sekundis — sumbib oletama, et isegi impulsside endi äärmise lühiajalisuse puhul nende summaarne kestus polegi nii väike.

Katsume teha ligikaudse arvutuse.

Oletame, et raadiolokatsioonisaatja peab avastama objekte kuni 150-kilomeetristel kaugustel. Tee, mille raadi-

## MÕISTATATUD SALADUS

Semi oli Maa kaaslane — Kuu — mähitud saladuskat-tesse. Inimesed olid hästi uurinud poolt Kuud, teine osa oli aga niivõrd kindlalt varjatud meie pillude eest, et näha teda oli võimatu. Inimesed isegi ei unistanud sellest. Tiirleb ju Kuu ümber Maa niivõisi, et meie poole on pööratud ainult tema üks külg, teine aga on Maa asukate pilgu eest varjul.

Nõukogude inimeste geniaalsus avastas kuupinna teise poole saladuse. Ja otsustaval osal mängisid selles paljastamises raadiotehnika ja raadioelektroonika.

Nagu teada, kolmas nõukogude kosmoserakett, jõudnud Kuu piirkonda, mõõdus temast, ning liikunud üle Maalt nähtamatu kuupinna osa, fotografeeris seda ja andis saadud kujutise edasi Maale. Selle teostamiseks oli rakettile üles seadud terve raadiotehnilise aparatuurikompleks.

Olesanne jagunes kaheks osaks: esimene — näha Kuu saladuslikku poolt, ja teine — saata nähtu edasi Maale.

Kui oletada, et Kuu vastaskülge õnnestub raketi abil

näha, siis kerkib küsimus: kuidas anda nähtut edasi Maale? Oli ju Kuust vastasküljelt moodalendavalt raketiilt televisioonilekande tegemine suure kauguse tõttu raske.

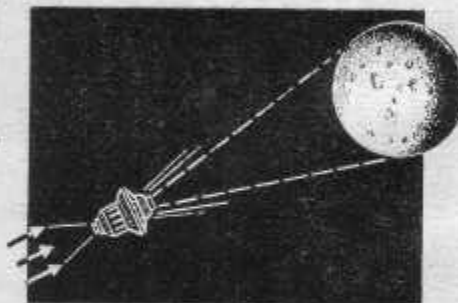
See pärast võeti vastu järgmine tehniline otsus: lennates Kuu vastaskülje kohal fotografeeris kosmoselaevul olev fotoaparaat Kuud, saadud kujutiste ülekanne Maale toimus aga hiljem, juba pärast raketi kaugenemist Kuust ja lähenemist Maale. Sel eesmärgil loodi keerulisim fotoaparatuur, mis liiutus jäädvustati erillisele filmile, seejärel ilmutati ja kuivatati film automaatselt. Pärast seda liiutus vaja liikul momendil jällegi Maalt saadud käskluse järgi sisse televisiooniaparatuur, mille abil fotokujutis anti raadio kaudu edasi Maale umbes samal põhimõttel, nagu harilikus «maapealses» kaugnägemises antakse edasi filme.

Maal vaadeldi televisioonikujutist vastuvõtu momendil ja jäädvustati ühtlasi mitmesugusel viisil, selleks et seda võiks edaspidi detailiselt uurida.

Meie ebatavaliste saavutuste ajastul näib kirjeldatud katses põhimõte lihtsana, kuid milliste tohutute tehniliste raskustega oli see seotud!

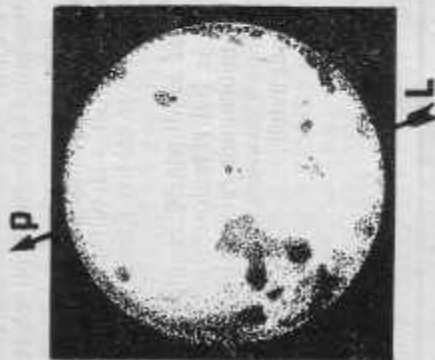
Me ei räägi enam keerulise automaatikasüsteemi abil teostatud fotovõtte ja televiisioonisaate raskusest suurte vahemaade korral. Et räägi ka raketi jaoks määratud mitmekülgseima väikegabariidilise ja toekindla raadioelektroni aparatuuri konstrueerimise ja loomise erakordselt raskustest, selle aparatuuri kindlustamisest häireteta töötavate elektritoiteallkatega. Ent kuidagi ei saa peatumata jätta neil raskustel, mis olid seotud raadiosignaali saatmisega ja vastuvõtuga niisuguse tohutu kauguse juures.

Maal, umbes poole miljoni kilomeetri kaugusel, oli vaja



vastu võtta raketilt kõigest umbes mõnevõrtise võimsusega saatja poolt läkitatud signaale.

Saatja kiirgab energiat igale poole ning maapinnale jõuab vaid tühine osa sellest. Viimase võib välja arvutada, kui arvestada, et kogu saatja võimsus jaguneks nagu 500 000-kilomeetrise raadiusega kerapinnale. Niisugustes tingimustes annab iga raketi saatja poolt kiiratud võimsuse vatt Maal pinna ruutmeetrile umbes  $3 \cdot 10^{-38}$  W, s. o. tulemusena osutuvad vastuvõetavad signaalid umbes miljard korda hõrgemateks maapealsetelt raadioaunadelt



vastuvõetavatest signaalidest. Ja need signaalid on vaja avastada ning küllalt hästi eraldada nende tugevate häirete foonil, mida loovad vastuvõtjas nii selle oma sisemised kui ka kosmilise päritoluga häired.

Taoliste nõrkade signaalide vastuvõtmine lahendati kõrge tundlikkusega vastuvõtja ja suure efektiivsusega vastuvõtuantennide abil. Vaatamata kujutiste kõrgele täpsusele, mis ulatus kuni 1000 reani kaadril (s. o. 1,5 korda rohkem kui tavaliise maapealse kaugnägemises), oli vastuvõtja läbilaskeriba mürarivoo alandamiseks järsult kiirendatud. Viimane operatsioon osutus võimalikuks sellepärast, et fotolindile jäädvustatud liikumatu kujutise edastandmise kiirus võis erinevalt tavaliisest kaugnägemisest olla tugevasti vähendatud.

Töökindluse garanteerimiseks oli kogu aparatuur nii raketil pardal kui ka Maal dubleeritud ning rivist välja langenud aparate võis maapealsest komandopunktist antud signaali järgi viivitamatult asendada varusolevatega.

Väljatöötatud eelneva fotografeerimisega ülekandesüsteemil oli veel see väärtus, et kujutist võis korduvalt edasi anda.

Samuti oli ette nähtud, et suurtel kaugustel Maast loomuks kujutiste üleandmine aeglaselt, väikestel kaugustel aga kiiremas režiimis.

Raadioelektrooniline aparatuur oli ehitatud põhiliselt transistoridel.

Nagu juba mainitud, fikseeriti televisioonisignaale Maal mitmesugusel viisil — fotolindile, magnetlindile (vt lk. 171), skiatronidele ja lahtise üleskirjutusena elektroonilisele paberile.

Kõik need koos kindlustasid raadiosidekanali Maa — raketil kõrge töö- ja häirekindluse.

Seega teostati nõukogude raketil abil esmakordselt inimkonna ajaloos kõrge täpsusega kujutiste ülekanne raadio teel ülisuurtele kaugustele.

Nüüd on võtet tehtud ja ilmutatud. Kannatamatult võtate filmi ilmutuspaaigist välja... Kuid mis see on? Mitte ühelgi võttel ei ole kujutis välja tulnud, õigemini on kõikidel neist vaid nõrgad jäljed ja mingi kitsas riba, mis mõnel kaadril asub üleval, teistel all või keskkohta lähedal. Ohel kaadril pole aga isegi riba.

Kõigepealt hakkasid teid huvitama need kummalised kitsad ribad. Te hangite luubi ja uurite neid. Suurendamisel võib nende juures üht-teist taibata. Siin on silm ja osa nina, siin mingisugune oks...

Millega siis seletub niisugune kummaline tulemus?

Kõik seletub väga lihtsalt. Temaile omase kirelusega näitas fotoaparaat puhtsüdamikult seda, millele oli suunatud objektivi. Kuid tegelikult pole televisioriekraanil mingeid kujutisi, meile ainult näib, et nad on olemas. Kujutised televisioriekraanil on nägemispete. Kui me suudaksime avada silmi ainult mikrosekundi kümnendikeks või sajandikeks osadeks, näeksime tumedat ekraani ja sellel ühtainsat väikest heledat punkti.

Igal antud momendil helendub televisioriekraanil vaid üks tilluke punkt. Punkt jookseb mööda ekraani, joonistades välja rea rea järel ning muutes pidevalt heledust. Kord süttib ta väga heledalt, kord peaaegu kustub, mõnikord aga kustub lõpolest täiesti. Ühe kabekümneviendiku sekundi jooksul jõuab punkt kogu ekraani ülevalt alla täis joonistada, paigutades sellele 625 rida, ning naasta uuesti algusse. Kuid meie silmal on võime säilitada saadud kujutist umbes  $\frac{1}{16}$  s. jooksul, seepärast ei erista me punkti kiiret liikumist. Liikumisjälg sulab meie jaoks kokku üheks seotud kujutiseks sarnaselt sellega, nagu raketit paistab meie õise taeva tumedal foonil mitte liikuva punkti, vaid heleda vöödi kujul.

Fotoaparaati aga petta ei saa. Ta jäädvustab ainult seda, mida ta lõpolest «näeb». Meie näites oli fotoaparaat avatud 0,001 s. Niisuguse ajavahemiku jooksul jõuab punkt ekraanile joonistada vaid 15,5 rida — kitsa riba, mis kutab  $\frac{1}{20}$  osa kaadrist. Seepärast oligi igal võttel ainult riba, mis asus kaadri selles osas, kus teda tabas aparatuur avatud objektivi.

Miks aga oli meie võtetel siiski näha nõrk viihe kujutisele? See seletub asjaoluga, et televisioritoru ekraanil on mõningane järelehelendus. Need ekraanipunktid, mida elektronkiir on just alles läbinud, jäävad nõrgalt helen-

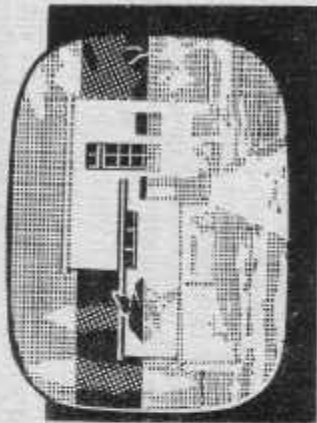
## FOTO TELEVIISORIEKRAANIL

Täna antakse kaugnägemise kaudu edasi kinofilmi, milles mängivad teie lemmiknäitlejad. Te otsustasite jäädvustada nende kuu fotolindile. See poleks nagu raske asi, fotoaparaat on teil hea, film on üsna suure tundlikkusega, teie televisior annab väga heleda ja selge kujutise. Sellistes tingimustes ja sellise tehnika juures võib teha suure kiirusega võtteid, kartmata allavalgustamist. Himmangu tegemisel jäi teie valik peatuma ekspositsioonil  $\frac{1}{1000}$ . Nii väikesel säritusajal korral ei tule vote kindlasti ähmane.



duma, kustudes järk-järgult mõne sajandiku või isegi tuhandendiku sekundi jooksul. Selle järelhelenduse jäädvustamiseks võte nõrga jäljena kujulisest.

Millega aga seletada, et ühel võtetest ei olnud üldse midagi? Seletus on väga lihtne — võte oli tehtud kahe kaadri vaheajal, s. o. kiire tagasimineku ajal viimasest punktist esimesse. Tagasimineku kestus on just 0,001 s, s. o. võrdne meie säritusajaga. Kui elektronkiir tagasim



ineku ajal ei kustuks, leitaksime võttelt viltuse joone, mis tõmbaks ekraani alt üles läbi. Kuid tagasiteel kiir kustub, seepärast ei ole teda filmil näha. Seal võib märgata vaid kujulise viimaste ridade nõrku kontuure — ekraani järelhelenduse tulemust.

Siit järeldus: televiisoriekraanilt on vaja kujutisi foto grafeerida mitte väiksema kui 1/25-sekundilise säritusajaga, muidu ei tule terve kaader välja.

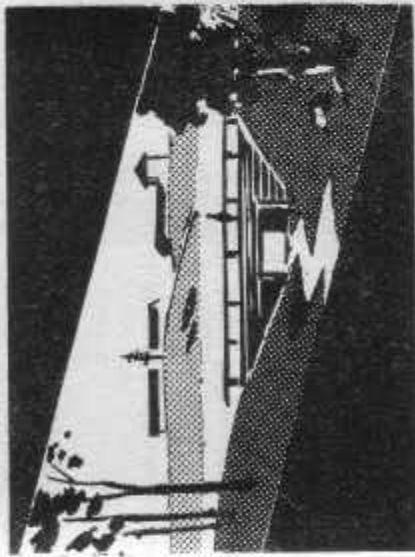
Olakirjeldatud tulemused saadakse võtetel keskkatiga, näiteks iiriskatikuga aparaatidega. Kuid sellised katikud pole kõigil fotoaparaatidel, seepärast võivad televiisoriekraanilt tehtud võtete tulemused olla ka teistsugused.

Võte on tehtud ja ilmutatud. Fotograafi inimestuseks ei tulnud välja kogu pilt. Üldvõti on must ning sellel on näha vaid kaidriba vastavate osade kujulisega.

Niisugusel «viltusel» võttel on kaks süüdiast — suur võttekiirus ja katiku rufookonstruktioon. Pilukatikud on enamikul nimmetatud väikseformaadilistest fotoaparaati-

dest, millega fotograaieritakse kinofiilimie. Seda tüüpi aparaatides liigub filmi ees must, valgust mitteläbilaskev vertikaalpiluga rufoo. Piltu suurus ja liikumiskiirus sõltuvad pealeseatud säritusajast. Objektivi poolt vaadatuna liigub piltu paremalt vasakule. Filmil saadakse ümberpööratud kujutis, seepärast liigub piltu mõnda võtet faktiliselt vasakult paremale, s. o. samuti nagu joonistuvad ekraanil välja read.

1/50 s. jooksul joonistab kiir ekraanile kogu kaadri, mahutades sellele ühe 312,5 paaris- või paaritu reaga välja (faktiliselt on ridadid mõnevõrra vähem, kuid see ei oma meie arutluste jaoks tähtsust), kuna meil on kehtestatud üldreealine e. vahelduv laotus\*. Kui piltu läbib kaadri 1/50 s.



jooksul, siis osutub võttel eksponeerituks viltune riba, kuna rida liigub piki kujutist ülevaati alla, piltu aga liigub vasakult paremale.

Riba faktiline laius sõltub piltu laiusel, kalle aga säritusaja kestusest. Mida lühem on säritusaeg, seda väiksem on riba kalle. Kui säritusaeg on 1/50 s. ja katiku rufoo liikumise algus ühtlalt kiire liikumise algusega piki ülemist

\* Vahelduva laotuse korral lootatakse algtul kõik paaritud, seejärel aga paarituvõttelised read. — Tõlk.

rida, siis läbib rüba võtte just selle ülemisest vasakust nur-  
gast alumise parema nurgani.

Siit järeldus: selleks et saada pilukatikuga aparaadiga  
televisoriekraanilt täisväärtuslikku võtet, on vaja säritus-  
aeg teha pikemaks kaadri mõlema välja üleandmise kestus-  
est, s. o. pikemaks kui  $\frac{1}{10}$  s., näiteks  $\frac{1}{10}$  s. Kui säritus-  
aeg on väga pikk, võivad liikuvad kujutised «lataki val-  
guda».

## TUHANDEID KILOMEETREID MÕÖDA TELEVISORIEKRAANI

Rida rea järel joonistab elektronkiir televisoriekraanile.  
Read ühinevad liikumatuteks kaadriteks, kaadrite vahel-  
dumine tekitab ekraanil liikumise. Ekraanil loksub meri,  
kõhutavad rongid ja autod, töötavad tööpingid, töötavad ja  
puhkavad, lõbutsevad ja nukrutsevad inimesed. Me vee-  
dame poolteist tundi televisoriekraani ees, kuni antakse  
edasi uut filmi, etame ühte elu selle kangelaadiga, ületame  
koos nendega faktustsi ning röömustame nende edu ja või-  
tude üle.

Vilksatas vümane kaader ning film lõppes. Millise teo  
ja millise kiirusega läbis siis elektronkiir mõõda ekraani  
selle 1,5 h jooksul?

Seda pole raske arvutada. Meil kehtiva standardi järgi  
jaguneb televisorikujutis 625-ks reaks; sekundis antakse  
edasi 25 kaadrit. Järelikult joonistab elektronkiir sekundis  
 $25 \times 625 = 15\,625$  rida.

Ühe rüba joonistamise kestus on  $1 : 15\,625 =$   
 $= 0,000\,064$  s. = 64  $\mu$ s.

Selle 64  $\mu$ s. jooksul ei joonista elektronkiir ekraanile  
mitte ainult meie nähtava rea, vaid teeb ka «hüppe» järg-  
mise rea algusesse. Tagasikäigu aeg on umbes 8  $\mu$ s., see-  
pärast on kiire poolt ühe rea läbimise tegelik kestus umbes  
56  $\mu$ s.

144

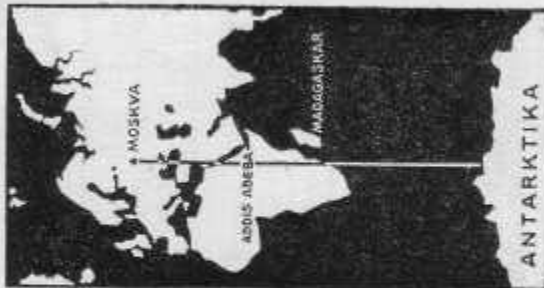
Nüüd on alguses püstitatud küsimustele juba kerge  
vastata. 18-sentimeetrise elektronkiiretoruga televiisoril on  
rea pikkus 14 cm. Tähendab «televisoripunkt» läbib  
66  $\mu$ s. jooksul 14 cm. Sekundis läbib ta  $14 : 0,000\,056 =$   
 $= 250\,000$  cm, tunnis aga veel 3600 korda rohkem:  $250\,000 \times$   
 $\times 3600 = 900\,000\,000$  cm = 9000 km.

«Televisoripunkt» kihutab kõige väiksemal televiisori  
ekraanil kiirusega 9000 km/h.

See on kaks korda suurem vinti-  
püssikuuli algkiirusest. Filmi  
edustandmise aja, s. o. 1,5 h  
jooksul teostab «punkt» mõõda  
televisoriekraani 13 500 km pik-  
kuse teekonna. Kujutleme enda-  
le, et, alustanud oma jooksu  
Moskvast, suundus see «punkt»  
lõunasse. Veidi rohkem kui 8 mi-  
nutit pärast jõuab ta Musta mere  
äärde Novorossiiski piirkonnas.  
33 minutit pärast väljalendu  
Moskvast lendab meie kiiretti-  
valine «punkt» mõõda Addis  
Abeebast — Etiopia pealinna.  
Vael 7 minutit hiljem, kandudes  
piki Kesk-Aafrika tasandikke,  
lõikab ta ekvaatorit Viktooria  
järve lähedal 13 minutit hiljem  
lahkub ta Madagaskari saare  
traaversis Aafrikast ja sööstab  
India ookeani vetesse. Lõpuks,  
sekunditel, mil me jätame hü-  
vasti filmi kangelaadiga, jõuab meie «televisoripunkt»  
lõunapolaarjoonele ja lõpetab oma hoogsa jooksu kusagil  
Antarktika kümnisel.

Selle on televisoriribadeks lahutatud filmi «ulatus»  
Märgime, muide, et filmi kaadritega kinolindi pikkus on  
9700 m.

Vaatamata sellele, et toodud arvud on väga suured, on  
nend kaugnägemise jaoks minimaalsed, kuna me võtsime  
aliteks televiisori KBH-49 ekraani — kõige väiksema tele-  
visoriekraanidest. Teist tüüpi televiisori ekraanid on suu-  
remad, seepärast on ka vastavad arvud nende jaoks suure-  
mad. Mõned neist on toodud tabelis.



Televiisor	Rea pikkus cm	Punkti liikumise kiirus mõõlda ekraani km/h	Punkti poolt 1,5 h jooksul läbitav tee km
«Rekord»	28	18 000	27 000
«Znamia»	34	21 000	31 500
«Almaz»	44	28 000	42 000
«Topaz» (projekt- siooniteleviisor)	120	77 000	115 500

Tabellist nähtub, et eriti suured on arvud, mis käivad projektsooniteleviisorite \* kohta. Filmi edasiandmise aja jooksul läbib punkt projektsoon-klubiteleriisori «Topaz» ekraanil tee, mis 3 korda ületab maakera ümbermõõdu, tee, mille läbib televiisioonipunkt suure projektsooniteleviisori ekraanil, võrdub aga kaugusega Maast Kuuni.

## TELEVIISOR RAADIOLOKAATORINA

Üheks väga ebanormaalne puuduseks, mis halvendab järevalt televiisioonikujutiste kvaliteeti, on kaheksamine. Kaheksamine seisab teise, tavaltiselt tunduvat nõrgema kujutise ilmumises ekraanile normaalsest kujutisest paremal. Mõnikord võib ekraanil loendada isegi mitut korduvat kujutist.

Millega siis seletub niisugune ebanormaalne nähtus? Kui elektromagnetiline laine — saatjaama poolt saadetud signaal — jõuab vastuvõtuantenni, ilmub ekraanile vastavas kohas helenduv punkt. Kui see laine oma edasistel teel kohtab takistust, peegeldub ta sellelt. Jõud nud vastuvõtuantenni, kutsub peegeldunud laine esile teise, esimesest paremal asuva punkti ilmumise antud rea-

\* Projektsooniteleviisorisites saadakse kujutis subteltselt viitkesel ekraanil ning seda suurendatakse hiljem optilise projektsioon- või peegelsüsteemi abil. — Tõlk.

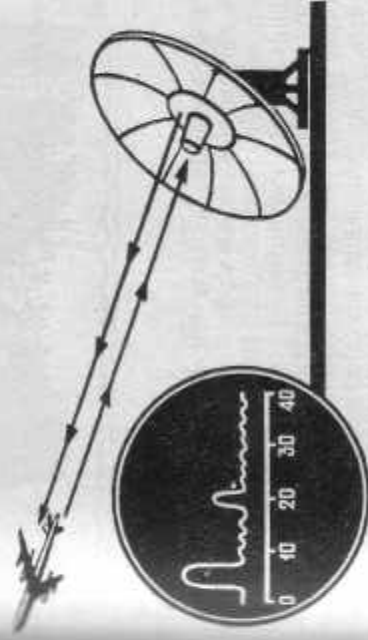
Vastuvõetud signaalile vastava esimese punkti ja peegeldunud signaali vastuvõtule vastava teise punkti vaheline kauguse määrab nagu raadiolokatsiooniski reaalaotuse kiirus ja vastuvõtuantenni kaugus takistusest, millelt laine peegeldus. Neid televiisori «raadiolokatsiooniski» andmeid on kerge välja arvutada.

Ühe rea lootamise aeg on olemasolevas televiisioonistandardis 56  $\mu$ s. (vt lk. 144). Televiisori KBH-49 on rea pikkus 140 mm, järelikult läbib kiir 1 mm piki rida

$$0,000\,056 \cdot 140 = 0,000\,000\,4 \text{ s} = 0,4 \mu\text{s}$$

jooksul.

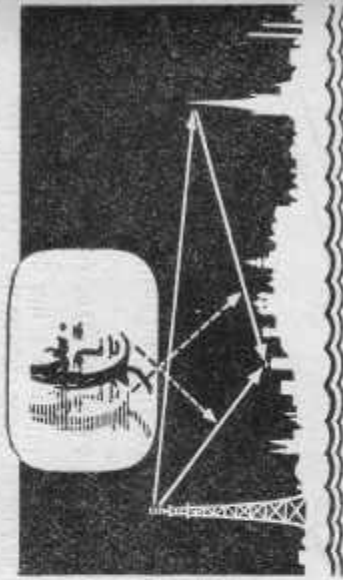
Raadiolainete levimise kiirus on 300 000 000 m/s.; 0,4  $\mu$ s jooksul läbib raadiolaine 300 000 000  $\times$  0,000 000 4 = 120 m.



Need 120 m kujutavad endast teed, mille raadioaine peab läbima antennist takistuseni ja tagasi, seepärast on kaugus antennist takistusest kaks korda väiksem, s. o. 60 m. Seega vastab rea 1 mm televiisori KBH või üldse iga 18-senti meetrise (6-tollise) toruga televiisoriekraanil takistuse kaugusele umbes 60 m. Kui niisuguse televiisori ekraanil saadakse teine kujutis 2 mm kaugusel põhikujutisest paremal, siis, tähendab, peegeldus laine takistusest, mis asub umbes 120 m kaugusel antenni taga.

Suurema diameetriga elektronkiiretorudega televiisorisites tulevad teised arvud.

Suurim kujutistevaheline nihe (KBH-49 ekräänil) mida on tulnud jälgrida, ei ole ületanud 25—30 mm, mis vastab takistuse kaugusele 1,5 km. Töenäoliselt osutub takistuste suuremate kauguste korral peegeldunud laine niivõrd nõrgaks, et ei loo ekräänil nähtavat kujutist. Siin



on kohane märkida, et kogu televiisori rida vastab takistuse kaugusele 8 km 400 m; teiste sõnadega, televiisor (või raadiolokaator) võimaldab määrata kaugust peegeldava esinele kuni 8,4 km piirides.

Teine kujutis on televiisoriekraanil selgesti näha siis, kui nihe põhi- ja peegeldunud kujutiste vahel on vähemalt 0,5 mm. Väiksemate nihete korral ei erista me enam kaht, vaid näeme üht mõnevõrra laialivalgunud, ebateravat kujutist. Selles suhtes on raske osutada mingile kindlale piirile, kuid nähtavasti ei vähenda antenni taga 3—4 m kaugusel olevate majade seinad märgatavalt kujutise teravust.

Tuleb märkida, et teine kujutis võib ilmuda mitte ainult signaali peegeldumisel antenni taga asuvalt takistusest vaid ka juhul, kui signaal peegeldub vastuvõtuantenni ja saatelama vaheliselt kõrgel asuvalt takistusest. Siis võib kujutiste nihkumise suuruse järgi otsustada selle üle, kui võrd on peegeldunud kiire tee pikem otsekiire teest. Kahenemine võib tekkida samuti sobituse puudumisel antenni fiidri ja televiisori sisendi vahel.

148

Miks rikub peegeldunud kiir kujutist, kuid ei halvenda heli? Helisaate raadiolained peegelduvad ju täpselt samuti nagu kujutise signaale kandvad lained.

Teoreetiliselt peab heli moonutamise peegeldunud signaali antennile mõjumise tõttu muidugi aset leidma, kuid need moonutused on niivõrd väikesed, et me ei suuda neid märgata. Leheküljel 10 on toodud meie helitajusse puutuvad andmed. Kaht heli on võimalik eraldi kuulda vaid siis, kui nendevaheline intervall ei ole alla  $\frac{1}{16}$  s, s. o. 60 ms. piires. Peegeldunud kiired mõjutavad aga vastuvõtutenni mõne mikrosekundi pärast. Kui mingi heli kestus suureneb mõne mikrosekundi võrra, siis me seda lihtsalt ei märka.

## LENNUK TEKITAB VAIBUMISI

Raadioamatöörid on ammu ajast tuttavad vastuvõtuvaibumisega. Neil segadel, kui lühilaineid veel ei kasutatud, tekitasid kaugete kesklainelaamad vaibumised kauguvõtu harrastajatele palju ebameeldivusi.

Kui vastuvõtjate diapason laienes lähemate lainete poole, veendusid raadioamatöörid, et uuel diapasonil on vaibumisi veel teravamalt tunda.

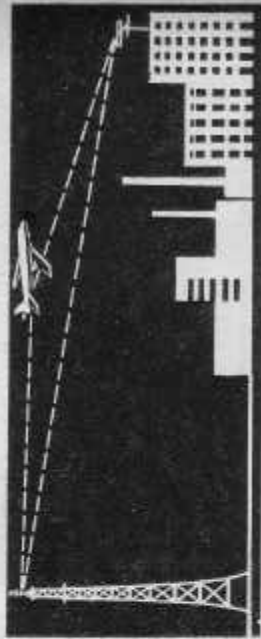
Mis on siis vaibumiste põhjuseks?

Raadiolainete levimise iseloomu uurimine selgitas vaibumiste päritolu. Need tekivad jaamade juures, mis töötavad antud konkreetsetes tingimustes ionosfääril peegelduda võivatel lainetel, kui raadiolained jõuavad raadiovõtjani mitul teel mööda. Ionosfääril peegeldunud kiire tee on pikem kui otsekiirel, seepärast võib vastuvõtuantenni jõudnud peegeldunud laine osutada otselainega nii laasis kui ka vastaslaasis olevaks. Esimesel juhul on vastuvõtt tugevam, teisel aga nõrgem. Sama võib juhtuda ka siis, kui me otsekiirt üldse vastu ei võta, vastuvõtuantenni jõuavad aga ainult erinevaid teid läbinud peegeldunud kiired.

149



Kui raadiolaineid peegeldav objekt oleks liikumatu, siis me ei märkaks vaibumisi. Ohtede jaamade vastuvõtt oleks tugevdatud, teiste oma nõrgendatud. Niisugune tugevdamine ja nõrgendamine oleksid püsivad ja me arvaksime lihtsalt, et esimesi jaamu on paremini kuulda kui teisi. Kuid tegelikult peegelduvad raadiolained pidevalt



võnkuvalt ionosfäärit. Raadiolaineid peegeldav ionosfäär võngub, peegeldunud lainete poolt läbitud teed muutuvad, tulemusena lained kord liituvad, kord lahutuvad.

Vahendeid vaibumistega võitlemiseks on õnnestunud leida. Heaks kõrvaldamismeetodiks on vastuvõtt laialivaldud antennidega. Sel juhul kasutatakse ära asjaolu, et vaibumised pole kahes üksteisest mõnevõrra eemal asuvas punktis üheaegsed.

Mõjuvaks viisiks on võimenduse automaatse reguleerimise sisseviimine vastuvõtjasse. Vastuvõtja tehakse valjul vastuvõtjul mittekasutatava võimendusvõimega. Ent kui vastuvõtt muutub nõrgemaks, suureneb automaatselt võimendus ning vastuvõtu valjus püsib endisel tasemel.

Kuid milleks siin lennukid?

Aga vaat milleks. Kesk- ja lühilainete «epohhili» tundsid raadioamatöörid ja -kuulajad vaibumise põhjusi ainult teoreetiliselt. Need peitusid kusagil pilvetagustes sfäärides, väljaspool kättesaadavuse piire. Kuid saabus kaugnägemise ajastu, ning vaibumised muutusid mitte ainult kuuldavateks, vaid ka «nähtavateks».

Lennuväljade ja -trasside lähedal elavad televaatajad teavad, milliseid tugevaid ja ebameeldivaid häireid tekita-

150

vad kaugnägemisvastuvõtule lennukid. Lennuki möödumisel hakkab kaugnägemissignaali vastuvõtt kord tugevema, kord nõrgema. Televisioritkraan «hingab», kuju liigub on ebamugav vaadata.

Ultraühilained, millel antakse edasi kaugnägemist, on lähikesed ning neid peegeldavad hästi sellised võrdlemisi suured objektid nagu lennukid. Tulemusena jõuavad vastu võtanemini kaks kiirt: üks neist on tavaline otsekiir, teine aga lennuki poolt peegeldatud kiir. Sõltuvalt mööma kiire teepikkuste vahekorras, võivad need olla faasis või vastasfaasis, tähendab, signaal antennis võib olla nii tugevdatud kui ka nõrgendatud. Lennuk lendab, raadiolainete teepikkuste vahekorrad muutub kogu aeg ning viib selleni, et vastuvõtt kord tugevneb, kord nõrgeneb. Lennuk tekitab tõelist vaibumisi. Neid me nimetamegi lennukihäireteks.

## KUIDAS TULEB MÕISTA SÜNKROONSUST

Kõigis kaugnägemisraadios seletustes räägitakse, et saatja ja vastuvõtva elektronkiiretorude kiired peavad liikuma täiesti ühtemoodi: nad alustavad üheaegselt liikumist ning igal ajahetkel peab vastuvõtva toru kiir asuma samas ekraanipunktis, kus saatetoru kiirgi.

Kas on see tõepoolest nii? Kui aga mitte, siis kuidas tuleb seda mõista?

Oletame, et mingil momendil alustas saatetoru lootav kiir liikumist piki esimest rida. Vastavalt sellele läkitas saatja sünkroonse impulsi — signaali, mille järgi peavad piki sama rida alustama liikumist kõigi vastuvõtutorude elektronkiired.

Kuid elektromagnetilised lained ei levi ju silmapilkselt, vaid kiirusega 300 000 km/s. Oletame, et meie televiisor

151

asub 3 km kaugusel saatjast. Selle vahemaa katmiseks kulutavad lained

$$\frac{3}{300\,000} = 0,00001 \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

Võib küsida, kas tasub arvestada mikrosekunditega.

Tööpolest, igapäevases elus ei arvesta me aega mikro sekundites. See on liiga väike ajafolk (kuigi meil vahel, tosi küll, automaatselt, tulebki arvestada just niivõrd väikesest ajavahemikku — vt. lk. 84). Kuid ülikõrgsagedus tehnikas pole mikrosekund tühi asi.

Saatjast 3 km kaugusel asuva televiisori vastuvõtutoru kiir alustab liikumist 10  $\mu\text{s}$ . möödudes saatetoru kiire liikumise algusest. Meie maal vastuvõetud televisioonistandardi puhul jookseb kiir ühe rea läbi umbes 56  $\mu\text{s}$ . jooksul. Sel momendil, millal vastuvõtutoru kiir alustas liikumist

## 700 MIKROSEKUNDIT



on saatetoru kiir läbinud juba umbes viitendiku rida. 64  $\mu\text{s}$  pärast (rea läbimise aeg + tagasikäigu aeg) alustab saatetoru kiir liikumist juba piki järgmist rida, meie televiisoritru kiir aga lõpetab veel esimest.

Veel suurem erinevus on 30 km kaugusel saatjast. Siin on vastuvõtutoru kiire mahajäämus saatetoru kiirest juba 100  $\mu\text{s}$ . või ülekantuna ridadele — umbes kaks rida.

Kui lugeda, et Tallinna televisioonitsentri saadete suurim vastuvõtukaugus on umbes 200 km, siis saame, et saatetorkaamera ja niisugusel kaugusel asuva televiisori kiir

152

hakkuminek ületab juba 10 rida, arvestades aga meil kasutatavat ülerealist laotust — isegi 20 rida. On ju 200 km katmiseks raadiolainetele vaja 700  $\mu\text{s}$ . Üldiselt, mida kaugemal asub saatja televisioonivastuvõtjast, seda rohkem hilineb kujutis vastuvõttekraanil.

Huvitav on märkida, et see väide tekitab mõnedes raamatu esimese väljaande\* lugejates kahtlusi — kas ei räägi niisugune asi vastu relatiivsusteooriale. Nad arutlesid umbes nii: aga kuidas võib Tartu televiisori vaataja kindlalt teha, et tema televiisori ekraanile ilmub kujutis hilinemisega? Kui ta kontrollib enda kella järgi, mis on õigeks seadud Tallinna ajasignaali järgi, siis hilinemist ei ole, kuna ajasignaali ise hilineb samapalju nagu televisioonisignaali. Tulemusena alustab kiir tema televiisori ekraanil liikumist kella järgi mikrosekundi peal üheaegselt selle alguse signaali saatmisega Tallinnast Tallinna kella järgi. Veel enam, hilinemist ei saa avastada isegi Tallinnas õigeks seadud ja Tartusse üle viidud kella järgi, sest relatiivsusteooria järgi aeglustab kell liikumisel oma käiku ning saabumisel Tartusse osutub ta Tallinna kellast samapalju mahajäänuks, nagu on raadiosignaali vaja Tallinna ja Tartu vahemaa katmiseks. Seepärast, näete, kujutise hilinemist kontrollida ei saa.

Tegelikult on hilinemise kontrollimine lihtne asi. Piisab kahe televiisori ülesseadmisesest poolel teel Tartu ja Tallinna vahel, millest üks võtab signaale vastu vahetult Tallinnast, teine aga Tartu kaudu, oletame, et Tartu retranslatsioonijaamast. Kiirte käigu jälgimisel mõlema televiisori ekraanil osutub, et teine kiir hilineb esimese suhtes just 700  $\mu\text{s}$ . Niisugune hilinemine on täiesti reaalne, ta tekib seetõttu, et raadiosignaali ei levi silmapilkselt. See nähtus on raadiolokatsioonil aluseks; tema, paraku, viibki mõnikord kujutise kahelemisele meie televiisori ekraanidel

\* Jutt on venekeelsest väljaandest. — 76/6.

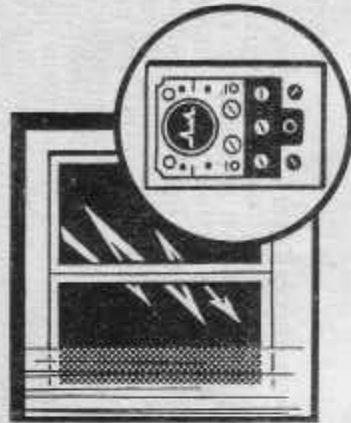
## VALGUSEST KIIREMINI

See pealkiri sunnib lugejaid ettevaatusele. Kuidas siis nii — valgusest kiiremini? On kindlaks tehtud, et valguse kiirus — 300 000 km/s. — on suurim looduses võimalik kiirus, mida ületada ei saa. See seisukoht on kogu tänapäeva füüsika aluseks, üheks nurgakiviks.

Kuid me peame kohe ütleva — pealkirjas pole mingit «pettust». Jutt on liikumisest, mille kiirus toepoolsest üleb valguse kiiruse, s. o. kühnib üle 300 000 km/s.

Rüüstaks, mis pretendeerib niisuguse ebatüüpilise rekordi püstitamisele, on elektronikiiretoru.

Suurimate kiirusteni küünib punkti liikumine selliste elektronikiiretorude ekraanil, mis töötavad ostsillograafides — erilistes mõõteriistades, mis annavad võimaluse jälgida ekraanil elektriprotsesside käiku.



Siin me jõudsime kiirusteni, mis on valguse kiirusele lähedased ja ületavad seda. Me ei hakka vaatlema tavalist ostsillograafi, kus punkti liikumise kiirus ekraanil on samasugune nagu televiisoritel ja raadiolokaatoritel. Pöördume eriliste ostsillograafide juurde, mis on määratud

ultrairete protsesside vaatlemiseks. Välg on sellise jaoks liiga aeglane protsess, aga kestab ta ju kõigest  $10^{-7}$  s., s. o. kümne miljondiku sekundit.

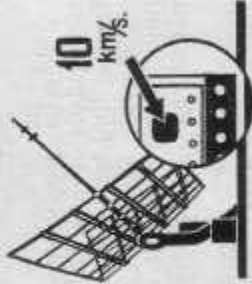
Muidugi, selleks et registreerida nii kiireid protsesse, peab punkt liikuma mööda ekraani ebatavaliselt kiiresti. Toepoolsest, rea läbib ta  $10^{-9}$

sekundiga, s. o. ühe miljardiku sekundi jooksul. Selle ajaajõugu jaoks on oma nimetus — nanosekund. Nagu näeme, kestab välg tervelt 100 nanosekundit. Rea pikkus ostsillograafi ekraanil on 10 cm. Punkt läbib selle kiirusega 100 000 km/s.

Taolise toruga ostsillograaf võib registreerida välgust tuluhat korda kiiremaid protsesse, s. o. protsesse kestusega kõigest 0,1 ns. Sellise protsessi registreerimisel joonistab punkt mingi kovera kogupikkusega 4–5 cm ümber, arendades kiirust 400 000–500 000 km/s, s. o. valguse kiirusest suuremat kiirust.

Niiis, «pettust» ei ole. Valguse kiirus on toepoolsest ületatud, kuid... Ka siin oma «kuuld». See kiirus ei kuulu materiaalse osakesele. Erinevates asendites loovad helenduva laengu erinevad elektronid. Nende liikumisele järgnev langemine ekraani erinevatesse osadesse loob punkti liikumise illusiooni. Tegelikult pole ju see, mida me ekraanil näeme, punkti liikumine. See on rea punktide järjestikune ilmumine ühele poolele.

Alalõik  $10^{-10}$  s., mida äsja mainiti, on väga väike. Seda võib ette kujutada ainult võrdluse teel. Meil on lühikeste ajaloikude jaoks igapäevane moodsu — silmapilk. See «ühik» ei olegi nii väike, ta võrdub umbes 0,3 sekundiga (aeg, milleks silm pilgutamiselt sulgub). Seega on  $10^{-10}$  s.



niisamapalju kordi väiksem silmapilgust, kuipalju silmapilk on lühem ... 30 aastast. Võrdses ajamastaabis asuvad 10<sup>-10</sup> s. ja 30 aastat silmapilgust ühesugusel kulgusel, ainult et üks kasvamise, teine aga kahanemise suunas.

### RIDADE ARV JA SAGEDUSRIBA

Televisioonikujutise teravust lavatsetakse iseloomustada ridade arvuga, milleks ta jaguneb. Seda arvu nimetatakse tihti teravuse standardiks.

30-ndate aastate algul oli meil 30-realine kaugnägemine. 30-ndate aastate lõpul, pärast mehhaaniliselt kaugnägemiselt elektroonsele üleminekul, oli kujutis Leningradi saadetes lahutatud 240 reaks, Moskvas aga 343 reaks. Televisioonisagade taaselustamisel päras Suurt Isamaasõda kasutas Leningrad lahutamist 441 reaks, Moskva aga 625 reaks. Varski kinditati kujutise lahutamine 625 reaks kõigile meie televisioonisagaafiatele kohustusliku üleliidulise standardina. See teravuse standard on üks kõrgemaid maailmas.

Ridade arv üksi ei iseloomusta televisioonisaaete teravust. Ridade arv määrab vertikaalse teravuse, s. o. üksikute elementide arvu, mida võib sisaldada vertikaaljoonetelevisioonikraanil; teravus (või lahutusvõime) piki horisontaali — elementide arv, mida võib sisaldada kujutise rida — sõltub aga saatja poolt kiiraltavast ja vastuvõtja poolt taastatavast sagedusribast.

156

Meil on vastu võetud kujutise formaat 4×3, s. o. kujutise pikkus ületab 1,33 korda kõrguse. See formaat vastab kindlalt tarvitavale standardile; silmale on seda meeldiv vaadata.

Lahutuselemendi poolt joonistatud rastri mõõtmed on suuremad vaadeldava kujutise omadest, kuna iga rea ja kaadri lõpul antakse edasi erisignaali, mida kasutatakse saatvate ja vastuvõtivate elektronkiiretorude kiire tagasi- ja püüandamiseks, samuti lootuse sinkroniseerimiseks saatjas ja vastuvõtjas. Rea puhul on pimedav impulss pikem kui kaadri puhul, mille tagajärjel rastri nominaalvõrrus erineb kujutise faktilisest formaadist (kaadri formaadist) ja on ligikaudu 1,47.

Piki vertikaali lahutub kujutis 625 reaks. Kui arvestada, et iga kujutise element peab olema ruut, mille külje pikkus on võrdne rea lausega, siis on elementide arv reas

$$625 \cdot 1,47 = 920.$$

koogu kujutis koosneb aga 625 · 920 = 580 000 elemendist. Kaadri püüdes on näha 575 · 765 = 440 000 elementi.

Niisuguse kujutise teravus on ühesugune piki vertikaali ja horisontaali. Teeme kindlaks ühe elemendi edasiandmise kestuse. Selleks on meil vaja teada, kuipalju aega kulub ühe rea väljajoonistamiseks. Meil kehtiva standardi järgi looguneb televisioonikujutis 625 reaks; sekundis antakse edasi 25 kaadrit. Järelikult joonistab elektronkiir sekundis

$$25 \cdot 625 = 15\,625 \text{ rida.}$$

Ühe rea väljajoonistamine kestab

$$1 : 15\,625 = 0,000\,065 \text{ s.} = 64 \text{ } \mu\text{s.}$$

Järelikult on ühe elemendi edasiandmise kestus

$$64 : 920 = 0,07 \text{ } \mu\text{s.}$$

Kui ühel real kahest kõrvuti olevast kujutiseruudukest on üks valge, teine aga must, siis televisioonisaaajat modulaarvool peab muutmata kahe elemendi edasiandmise aja

157



looksul miinimumist maksimumini. Järelikult peab selle voolu sagedus olema

$$\frac{1}{2 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6}} = 7\,000\,000 \text{ Hz} = 7 \text{ MHz.}$$

Kuna aga saatja poolt kiiratava sagedusriba määrab kõrgeim modulaatsioonisagedus, siis televisioonisaitu riba peab moodustama 7 MHz.

Meie kaasaegsed televiisorid läsevad läbi sagedusriba umbes 5 MHz. On kerge välja arvutada, et sellise riba korral pole ühe elemendi edasiandmise aeg mitte 0,07  $\mu$ s, vaid

$$\frac{10^6}{2,5 \cdot 10^6} = 0,1 \mu\text{s.}$$

Ühe elemendi edasiandmise niisuguse kestuse korral on reas

$$\frac{64}{0,1} = 640 \text{ elementi.}$$

Seejuures on lahutusvõime piki horisontaali ligikaudu

$$640 : 1,47 = 440 \text{ joont.}$$

See ongi ligikaudne joonte arv, mis määratakse kindlaks televisiooni proovitabeli vertikaalkiilu järgi, s. o. kujutise faktiline teravus piki horisontaali. Standardi täieliku kasutamise puhul peab kujutise horisontaalriba koosnema 920 elemendist, faktiliselt aga koosneb ta 5 MHz-lise sagedusriba puhul kõigest 640 elemendist, kogu kujutise koosneb aga 580 000 elemendi asemel 625 \cdot 640 = 400 000 elemendist.

Allpool on toodud tabel, milles on näidatud horisontaalsuunalise teravuse ligikaudsed väärtused ja elementide üldarv kujutises erinevate sagedusribade puhul.

Sagedusriba, MHz	Lahutusvõime	Elementide arv kujutises
3	260	240 000
3,5	310	280 000
4	350	320 000
4,5	400	360 000
5	440	400 000

Tabelist on näha, et kui proovitabeli vertikaalkiilu järgi määratud ridade arv on 420, siis ulatub televisiooni poolt kiiratav sagedusriba umbes 4,75 MHz-ni.

Seeга määravad televisioonikujutise teravust niikuiasi voolu piki vertikaali, teine aga piki horisontaali.

Loomulikult ei sõltu läbilasitava sagedusriba laius ainult televiisorist, vaid ka antennist. Seejärest nimetatataksegi parimaid televisiooniantenne lairibalisteks.

## PEOPESA VÄLJASIRUTATUD KÄE KAUGUSEL

Meie silma lahutusvõime on niisugune, et soodsa valgustuse korral eraldab silm kaht musta joont väigel foonil ainult juhul, kui nende vahemik on näha nurga alt, mis ei ole väiksem ühest nurgaminutist.

Geomeetriast on teada, et üheminutilise nurga all on silma esel, mille kaugus ütleab 3440 korda tema läbimõõdu. 1 m pikkune joonlaud on näha üheminutilise nurga all 3440 m kaugusest. Järelikult on kahe joone eraldamiseks 3,4 m kaugusel asuvalt ekraanilt vaja, et joonte vaheline kaugus ei oleks alla 1 mm.

Kui valgustus on optimaalsest nõrgem või tugevam, siis silma lahutusvõime väheneb. Katsed näitavad, et valgustuse korral, mida keskmiselt omab televisioonekraan, on silma lahutusvõime umbes 1,5 minutit. Sellest järeldub, et 45 cm kõrgusel ekraanil, mis asub 3 m kaugusel, eristab silm umbes 300 horisontaaljoont.

Viimastel arvudel on otsene side meie televisioonisandardiga. Kui me eristame valgel ekraanil 300 horisontaaljoont, siis see tähendab, et ekraanile on kantud vaheldumisi 600 musta ja valget joont.

See ongi meie televisioonisandard. Selle standardiga on ette nähtud kujutise lootamine 625 reaks, kuid faktiliselt

sest saadakse ekraanidel mõnevõrra vähem ridu — umbes 600. Standard on kehtestatud lähitudes arvestusest, et meil silm suudab eraldada 600 rida 45 cm kõrgusel ekraanil 3 m kaugusest.

Silma ja ekraani vahelise kauguse (3 m) suhte ekraani kõrgusse (45 cm) on 7. See on väga tähtis arv: ta määrab parima kauguse, millelt tuleb vaadata televiisorekraanile. Nagu näha toodud arvutusest, on see võrdne ekraani seitsmekordse kõrgusega. Televiisoril «Rekords» on ekraani kõrgus 21 cm, tähendab, parima nähtavuse tingimuste tagamiseks on teda vaja vaadata 147 cm kaugusest. Allpool toodud tabelis on antud parima nähtavuse kaugused levinud mõõtmetega televiisorekraanide jaoks.



Suurema eemaldumise korral ekraanist ei süüda normaalne inimsilm eraldada kujutise pisimaid üksikasju, väiksema kauguse korral tuleb välja kujutise ribalikus, s. o. read muutuvad nähtavateks.

Ekraani suurus cm	Kaugus, millelt on vaja vaadata cm	Ekraani suurus cm	Kaugus, millelt on vaja vaadata cm
10×14	70	24×32	170
13×18	90	39×51	280
18×24	130	300×400	2100

Selleks et leida televiisorekraani ees head asendit, ei ole lingimata vaja võtta moodsuulini. Väga mugav on kasutada kaft. Kaugus televiisorekraanini on normaalne sel juhul, kui ettesirutatud käe peopesa katab ekraani ligikaudu täielikult. Kasutage seda võtet, ja te veendute, et see aitab teiepoolest leida soodsaimat kaugust ekraanini. Kui te kasutate jäätsega televiisorit ja ekraanil on suuremad nähtavad mõõtmised kui ülaltoodud tabelis, siis tuleb teil temast kaugemale minna. Iga ekraani korral saadakse parim nähtavus siis, kui ettesirutatud käe peopesa ühtib ligikaudu ekraaniga.

On huvitav, et see võte kehtib ka kinos. Kui kinos istuda parimaile kohtadele — umbes 14.—16. reas — ja sirutada käsi ette, siis katab peopesa parajasti ekraani. Lähematest ridadest näib kujutis ekraanil mõnevõrra laiavalguvana, kaugematel kohtadel istudes aga vähenevad tema nähtavad mõõtmised sedavõrd, et väikseimad detailid lähevad juba kaduma. Keskmised read kindlustavad suurima selguse ja kujutise optimaalse suuruse.

See näitab muuseas, et väide «kinos on paremini näha kui televiisoris, sest kinoekraan on suurem» ei ole õige. Kinos on ekraan teepoolest suurem kui televiisorigil. Ent



vaatajad istuvad temast palju kaugemal, seepärast on kinoekraani ja televiisorekraani nähtavad mõõtmised umbes ühesugused. Kasutades eespool mainitud «ettesirutatud käe» meetodit, on kerge selles veenduda. Parimatelt kohtadelt näeme televiisori- ja kinoekraani ühesuguse nurga all — umbes 12° piki horisontaali. Kuid me teame, et kinoekraan on suurem, seepärast näib meile, et tema nurkmõõt-

med on suuremad. Siin avaldub ka nähtus, et kui me vaatame lähemal asuvale televiisoriakraanile, tuleb meil mõnema silma optilisi telgi rohkem kokku viia kui siis, millal me vaatame kaugel asuvale kinoekraanile, selleks vajaliku lihastepinge järgi oleme aga harjunud alateadlikult kaugusi hindama.

Kinos on paremini näha peamiselt sellepärast, et seal on suurem teravus. Kinoekraanil ületab elementide arv miljoni. Taoline teravus on kaugnägemises veel saavutamata, kuid pole kahtlust, et see küsimus lahendatakse juba lähemas tulevikus.

## SILMA TELEVISIOONIPARAMEETRID

Kõigepealt on vaja selgitada lõigu nimetuse mõtet. Inimesestmõistetavalt ei vaadelda inimese nägemisorganit siin televiisorina. Juttu on sellest, millised parameetrid peavad kaugnägemisel olema, selleks et meie nägemise võimalused oleksid täielikult rahuldatud. Taolised arvud pakuvad huvi ja aitavad kujutleda, kui võrd palju võib kaugnägemist teravuse seisukohast veel täustada.

Normaalne silm võib kõrguse seitsmekordisel kaugusel olevat ekraanil näha mitte üle 1500 horisontaalrea. Igas sellises reas on

$$1500 \cdot 1,33 \approx 2000 \text{ elementi.}$$

Elementide üldarv kujutlises on

$$2000 \cdot 1500 = 3\,000\,000.$$

Ühe rea edasiandmise kestus (25 kaadri puhul sekundis) tuleb

$$\frac{1}{25 \cdot 1500} \approx 0,00003 \text{ s.} = 30 \text{ } \mu\text{s.}$$

arvestades aga kiire tagasiikumist (vt. lk. 144) — 22  $\mu\text{s.}$

Niisuguseks saateks vajalik sagedusriba tingimuseel, et saaks kindel piir kahe naaberlemendi vahel, on umbes 150 MHz.

Seega on meie nägemise võimaluste täielikuks kasutamiseks vajalikud järgmised televiisiooniparameetrid:

ridade arv	1500,
sagedusriba	150 MHz,
nähtav elementide arv kujutlises	3 000 000.

Kuna modulatsioonisagedus peab olema vähemalt 10 korda väiksem saatja kandesagedusest, ei saa kandesagedus olla alla 1500 MHz. Niisugune sagedus vastab lai-riipikkusele 20 cm. Järelikult 12°-se horisontaalvaatenurga poolt (nurk, mis vastab 7—8-kordsele ekraani kõrgusele) määratud mõõtmetega televiisioonikujutiste edasiandmiseks kujutise formaadi 4×3 puhul silma lahutusvõimele vastava teravusega meeterlained ei kõlba. Nad ei suuda mahutada selliseks ülekaandeks vajalikku sagedusriba. Tuleks kasutada lühimaid deitsimeeterlaineid.

Loomulik, et maksimaalseks lähenemiseks «originaalile» on vajalikud niihästi «read» ja «punktid» kui ka gradatsiooniarv — taastatavate mustalt valgele üleminekute arv. Kaasaegses televiisioonis ei arvestata rohkem kui kümne sellise üleminekuga. Proovitabeli gradatsiooniskaalad on jaotatud kümneks lõiguks, faktiliselt eristame neid televiisoriakraanidel kaheksa ümber. Seejuures aga võib meie silm eristada neid üle 100. Selles suhtes hoiab kaugnägemine oma vaatajaid näjapajukil. Võrdluseks võib öelda, et kinos (mustvaige) taastatakse 30 gradatsioonit ümber, parimail filmidel ja hea aparatuuri korral aga kuni 50.

Kui jutt läks juba kinole, on vaja rääkida ka selle teravusest. Ülalpool oli öeldud, et märgitud tingimustel eristab meie silm televiisoriakraanil kuni 3 miljonit elementi. Kinos taastatakse vastaval pindalal umbes miljon elementi. Ja me kõik veendume muidugi kino suuremas teravuses, kui pärast paljusid päevi kestnud televiisoriakraanist satume kinno. Ent kaugnägemine pole teravuse tasemelt sugugi mitte erand. Me näeme iga päev palju sellise teravusega kujutisi, nagu need esinevad televiisioonis. Need on trükkikojaametodil ajakirjades ja ajalehtedes trükitud pildid. Televiisoriakraanile vastaval pindalal sisalduvad

need joonised umbes 350 000 elementi — ligikaudu sama palju kui televisioonikujutiski (trükkikojaklõõses on umbes 25 punkti ruutmillimeetrit).

Miks ei suuda meie silm tajuda suuremat arvu elemente, kui oli märgitud eespool? See seletub meie silma füüsilise ehitusega. Silma võrkkest koosneb nägemisnärviga otsust, mis võtavad vastu valgusärritusi ja annavad neid edasi peaaegu nägemisentsentrisse. Selleks et me saaksime ette kujutuse eseme kujust ja üksikasjadest, on vaja, et tema kujutis võrkkestal katalaks vähemalt mitu nägemisnärvil otsa. Kui eseme kujutis langeb vaid ühele närvitsõlmale, siis näeme punkti, eseme kuju ja ehituse üksikasjad kaovad.

Sellele lisandub veel silmaava diffrageeriv toime. Kõik viib selleni, et meie silm on võimeline eristama vaid detaile, mida ta näeb umbes ühemüütilise nurga all (täpne arv sõltub heledusest ja teistest tingimustest). Sellest lähtudes võib välja arvutada, et televisioonikraanil peab kujutis olema jaotatud 1400—1500 reaks. Nisugune standard vastaks «originaalile» — me näeksime kujutisi samasuguse teravusega nagu legellikkuseski, arvestades muidugi, et säilivad kõik ülejäänud vajalikud tingimused — nõutav heledus, küllaldane gradatsiooniarv jt.

## 1/2 KOPIKAT AASTAS

Toas valitseb poolehäämarus. Diivanil on end mugavalt sisse seadnud vaatajad. Nende ees helendub televisioonikraan, mis on kõltnud tähelepanu.

Selline pilt on tuttav kõigile. Televisioone arvutab meil juba 8 miljonini, televaatajaid on aga kümneid miljoneid. Televisiooni muutumas üheks kõige levinumaks igapäevastest elektrivahenditest ja see sunnib teda tõsiselt arvestama. See kehatab mitte ainult televaatajate endi kohta, kes planeerivad oma jõudeaega vastavalt televi-

164

siõnisaatekavadele, vaid ka klubide ja parkide administratsioonide ning isegi... energeetikute kohal.

Kui saade on huvitav, istuvad miljonid inimesed kodu televisioone ees. Televisiooni tarbib elektrit. Olgugi et televisiooni tööks vajalik võimsus pole suur — kõigest 150—200 W, kuid televisiooneid on palju. Kui lülitada ühekorraga sisse 5 miljonit televisiooni, siis on nende tootmiseks vaja umbes 800 000 kW. Et varustada elektritrienerglaga kõiki meie televisiooneid, peab juba praegu töötama elektrijaam võimsusega ligi miljon kW.

Kuid nii on see ainult praegu\*. Seitse aastaku lõpuks suureneb televisioone arv peaaegu neli korda. Nende varustamiseks energiaga vajatakse mitut suurt rajooni elektrijaama. Seega ei tunne energeetikud asjata huvi televisioonisaatekava vastu. Televisioone tootmine on muutumas riikliku tähtsusega probleemiks.

Kas televisiooni poolt tarbitavat elektrit tootmiseks kulub vähendada? Kas televisiooni kasutab tootmiseks kuluvat energiat hästi ära?

Tutvumine televisioonile näitab, et selles suhtes ootab konstruktooreid veel määratu suur töö. Võib liialdamata öelda, et hulk energiat raisatakse televisioonis ilmaasjata.



Igasugust tehnilist seadet, mille tööks kulutatakse energiat, iseloomustatakse kasuteguriga. Võimsal elektritransformaatoril on 99%-le lähedane kasutegur. Ainult 1% transformatorile antud energiat läheb kasutult raisku, muundudes soojuseks. See on väga kõrge kasutegur, mida seatakse alati eeskujuks. Auto kasutegur on umbes 25% veduril — 7% piires. Tavaliste vaigustuslampide kasute-

\* S. o. 1962. a., millal ilmus raamatu venekeelele väljaanne — Tõlk.



gur on madal — kõigest 6% lähedal. Luminesentslambid kütavad elektritunni kohta tunduvalt ratsionaalsemalt, nende kasutegur ulatub kuni 15%-ni.

Milline on televiisori kasutegur?

See on erakordsest väike.

Oletame, et televiisor tarbib valgustusvõrgust 170 W.

Sellist võimsust tarbivad paljud väga levinud televiisoriid.

**KASUTEGUR 7%**



näiteks «Rekord», «Rubini» jt. Televiisori «kasulikuks toodanguks» on kujutis ekraanil ja tema valjuhääldi poolt tekitatud heli.

Televiisori helitaasesustusast, mis on raadiovastuvõtjaks, oli juba juttu lk. 115. Televiisori helikanali kasutegur on umbes 0,006%.

Võib-olla on kujutisega olukord hoopis parem?

Paraku on ka siin asi väga halb. Pole eriti kerge kindlaks teha, milline võimsus kulub kujutise saamiseks, kuna see sõltub kujutise heledusest, heledate ja tumedate laikude hulgast jne. Kuid meid huvitavad mingid keskmised arvud, seepärast võtame televiisorienergia helenduse energiaks umbes 0,05 W. Siit leiame, et televiisori kasutegur kujutise järgi on umbes 0,03%, s. o. peaaegu 5 korda suurem kui kasutegur heli järgi. Selline võrdlemisi kõrge kasutegur seletub asjaoluga, et elektronkiiretoru muundab valguseks peaaegu 10% elektronkiire energiast.

Televiisor «Rekord» tarbib 170 W. Tariifi järgi 4 kop. kilovatt-tunni eest maksab tema töötund 0,68 kop. Oletame, et televiisor töötab 3 h päevas. Siis kulub tema toitmisele ööpäevas 2,04 kop., kuus 61 kop., aastas 7 rbl. 34 kop.

Kui palju läheb siis sellest summast televiisori «kasuliku toodangu» arvele äärmiselt madalat kasutegurit arvestades? Otsuses mõttes krossid! 7 rbl. 34 kop. suurusest

166

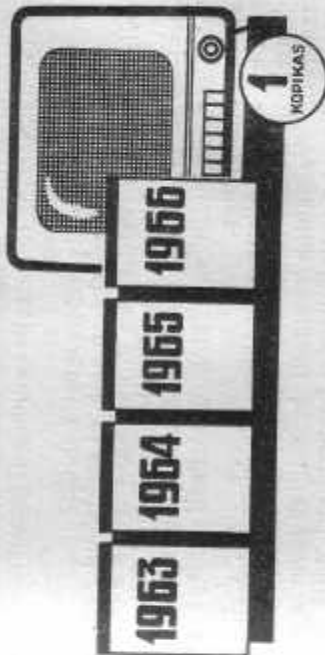
summast moodustab maks kujutise ja heli eest umbes 0,25 kop. See ei ole viga — ainult kakskümmend viis sajendikku kopikat. Me vaatame terve aasta 3 h päevas televi-



lioonikujutisi, kuulame helisaadet, ja kõik see maksab ainult veerand kopikat!

Kuhu aga läheb siis ülejäänud raha, mis me maksame? Asetage käsi töötavale televiisoriile — see on soe. Elektrienergia muundub temas soojuseks. Kogusummas 7 rbl. 34 kop. maksame ainult 0,25 kop. kasuliku toodangu, ülejäänud aga toa soojendamise eest. Kui lülitatakse sisse miljonid televiisoriid, siis tootab mitu võimsat elektrijaama meie elamute kütteks!

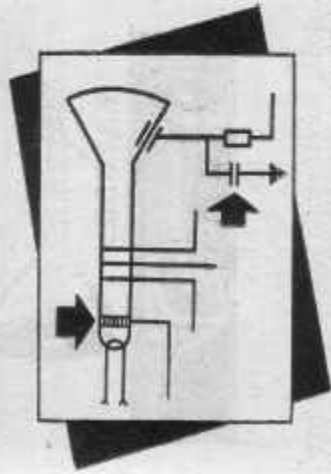
Need arvud näitavad, kui võrd tähtis on televiisori kasuteguri tõstmine. Kas selleks on olemas teid? Ont! Saab tõsta nii valjuhääldi kui ka elektronkiiretoru kasutegurit, saab täiustada elektronlampe ja tõsta nende ökonoomsust.



167

lakkub elektronide kiirgamine. Peale selle moodustub katoodi ümber nagu kõikidel elektronlampidel elektroni pilv, mille inendumise arvel säilib elektronide voog ka teatava aja jooksul pärast katoodi kiirgamise lõppu. Seejärel ei katke elektronide voog kineskoobis kohe pärast televiisori väljalülitamist.

Kõrgepinge antakse torule läbi kondensaatorit sisaldava filtri. Kui kondensaatori isolatsioon on hea, siis ta



säilitab laengut (nagu öeldakse, «hoiab laenguts») mõni aeg pärast seda, kui kõrgepingealladi lakkab töötamast televiisori väljalülitamise tõttu.

Seega eksisteerivad mõne aja jooksul pärast televiisori väljalülitamist ekraani helendumiseks vajalikud tingimused: katood kiirgab elektrone, anoodil on kõrgepinge. Selle mõjul püüavad elektronid liikuda ekraanile, pörkavad sinna vastu ja sunnivad teda helenduma.

Mülline osa ekraani pinnast hakkab helendumaga?

See sõltub mitmest põhjusest.

Vana tüüpi ümmarguste elektronkiiretorudega televiisorites kasutati magnetilist fokuseerimist. Fokuseerimiseks vajalik magnetväli loodi pooliga, mida läbis vool. Televiisori väljalülitamisel vool katkes, fokuseeriv magnetväli lakkas olemast. Seejärel ei fokuseeritud katoodi poolt kiiratavat elektroni kimpu. Kimbu diameetri määras peamiselt toruvarre diameeter. Kallutusvool puudus, seepärast pörkas toruvarre poolt «kujundatud» elektronkiir vastu

kuid peamine, mis võib anda tõepoolest suurt efekti, on elektronlampide asendamine transistoridega, s. o. pooljuhtseadistega. See annab võimaluse televiisorite poolt kasutatavat energiat mitmekordselt vähendada.

## HELENDUV LAIK TELEVIISORIEKRAANIL

Kes ei mäletaks piduliku hetke, millal esmakordselt lülitati sisse vastotatud televiisori! Uue televaataja jaoks pole ebahuvitavaid saateid. Ta vaatab kõike algusest lõpuni.

Kuid nüüd soovis saate läbiviija meeldiva naeratusega head ööd. Juba on kõlanud viimane akord. Televiisortomarik haarab lüüti järele. Klõps! Ja äkki süttib ekraanil hele laik. Vahel ei ole see mitte laik, vaid hoopis pisike helendav punkt, mis püsib kaunis kaua.

Televiisori peremeest haarab ärevus. Kas ei tähenda laik või punkt mingit riket televiisoris? Kas ei ähvarda see televiisori kiire rivist väljalangemisega? Miks tekib helendav laik või punkt, kui televiisor välja lülitada? Tuhanded kirju selliste küsimustega lendab raadiokonsultantsioonipunktidesse, toimetustesse, kaugnägemiskeskustesse ja raadiokomiteedesse.

Millega siis seletada nüsugust nähtust?

Ekraani helendumiseks on vaja, et elektronid annaksid talle küllalt tugevaid lööke. Kineskoobis eritab elektroni katood, vajaliku kiiruse annab neile anoodpinge. Tähepärast, elektronide kiirgamine katoodist peab kestma ka pärast televiisori väljalülitamist ning üheaegselt sellega peab säilima anoodpinge.

Just nimelt nüsugune nähtus leiabki aset televiisoris Kineskoobi katood on kaudse küttega, tal on suur soojusmahtuvus. Ta jahtub aeglaselt ja säilitab mõneks ajaks pärast televiisori väljalülitamist temperatuuri, mille juures

ekraani keskohta ja kutsus esile 2—4 cm-lise diameetriga helenduva laiigu ilmumise. Laik oli üldiselt ümmargune, kuid katoodi defektide puhul võis helenduv laik olla korrapärase kujuga, mõnikord rebitud ääretega.

Täisnurksetel elektronkiiretorudel on elektrostaatiline fokuseerimine. Helenduva laiigu tekkimise põhitingimused on nendel torudel samasugused nagu ümmargusteigi, kuid



hea isolatsioon korral säilib fokuseerimispinge mõni aeg pärast televiisori väljalülitamist. Seepärast fokuseeritakse elektronkiirt ja nende torude ekraanil ei teki helenduvat laikuga nagu ümmarguse ekraaniga torudel, vaid ainult väike hele täpik. Täpi heledus on loomulikult suurem helenduva laiigu heledusest ümmarguste torude ekraanil, sest sel juhul ei haju elektronid üle küllalt suure laiigu pinna, vaid kontsentreeruvad väikesesse täpikesse.

Millest siis räägivad helenduv laik või punkt televiisori ekraanil?

Nad räägivad sellest, et elektronkiiretoru katoodil on hea emissioon, kõrgepingelaladi filtri kondensaatori isolatsioon aga kõrge kvaliteediga. Seega pole laik või punkt mitte televiisori defekt, nagu vahel mõeldakse. Väsitupidi, nende ilmumine annab tunnistust toru ja kõrgepingelaladi filtri heast kvaliteedist.

Helendaval laiigul või punktil on veel mõned iseärasused, mis kutsuvad televiisoriomanike juures esile arusaamatust.

Nende hulka kuulub näiteks selline: miks püsib helenduv laik ekraanil kõigest 1—2 sekundit, punkt aga helendab vahel mitu korda kauem?

170

Seletub see üsna lihtsalt. Laiigu suure pindala helen-duse hoidmiseks on vaja küllalt intensiivset elektronkiirt. Kui see nõrgeneb alla teatud piiri, siis helendus katkeb. Ent sellestamast kiiret punktiks kontsentreerituna piisab filtsi väga väikese täpi pindala helenduse esilekutsumiseks. Seepärast helendubki punkt laiust kauem.

Teine iseärasus näib sageli hoopis arusaamatuna: miks ei ilmu helenduv punkt kaasaegsete täisnurksete torude ekraanile vahel kohe pärast televiisori väljalülitamist, vaid alles mõni aeg hiljem? On ju punkti tekkimist põhjustavad tingimused kõige soodsamad nimelt esimesel hetkel pärast televiisori töö lõppu, edaspidi aga kaovad järkjärgult.

Antud juhul on selgitus järgmine: heade uute lampide ja korralike detailide puhul jätkub kallutuse mõju vahel ka pärast televiisori väljalülitamist, mistõttu nõrgenenud kiir paisatakse laiati üle terve ekraani, mida see üleni helen-dama panna ei suuda. Kuid kallutus hakkab kiiresti pearmiselt sellepärast, et võrgualadi filtri kondensaator laadub kiiresti tühjaks. Pärast seda hakkab kiir fokuseeruma ühte punkti ja paneb selle helenduma. Selle ajavahemiku jooksul, kui kiir paiskub üle kogu ekraani, me helen-dust ei märka, me hakkame seda nägema alles siis, kui kiir peatub. Väliselt paistab see väga efektsena — televiisor on välja lülitatud, tema ekraan on kustunud, kuid 1—2 sekundit hiljem tekib äkki selle tsentris pimestavalt hele punkt.

## TELEVISIOONISAATED MAGNETLINDILT

Paljude aastate jooksul on eksisteerinud niisugune hea ja täpiline termin — magnetiline helisalvestus. Kõigile on ta arusaadav, kõik on temaga harjunud. Ja äkki, kuidagi järsku, ootamatult selgus, et ta on muutunud kõlbma-

171

tuks, et teda ei saa sisuliselt kasutada, et antud tehnika valdkond on oma nimetusest juba üle kasvanud.

Esimene loogi magnetilisele helisalvestusele andsid elektronarvutid. Nendes seadmetes on mäluelemendid, milles pikaks või lühikeseks ajaks talletatakse vajalikud andmed, ülesanded, vahearuutuste tulemused jne. Sel eesmärgil kasutatakse sageli magnetilist salvestust. Salvestustehakse kodeeritud kujul, kõige sagedamini kahendsüsteemis esitatud arvudega. See on magnetiline salvestus, kuid mitte helisalvestus. Heli on nimetusest kadunud.

Edasi astus areenile kaugnägemine. Televisioonisaadete säilitamist täiustati põhjalikult. Seni oli televisioonisaadete võimalik säilitada ainult ühel viisil — võtta nad filmilindile. Väga vaerikas meetod. Kinomenetlusel ülesvõetud televisioonisaadete on võimalik taastada parimal juhul vaid mõne tunni pärast, kinofilmide tootmistehnoloogia ise on aga seotud keeruka sisseade kasutamisega.

Kas ei saaks leida lihtsamat viisi televisioonisaadete säilitamiseks?

See osutus võimalikuks. Ootamatut abi andis selles raskes asjas magnetofon.

Televisioonisignaali kujutab endast elektrisignaali. Magnetmenetlusega võib üles kirjutada iga elektrisignaali. Teatud piirid paneb siin vaid sagedus. Mida kõrgem on sagedus, seda kiiremini peab liikuma magnetofonilint. Seda on kerge mõista järgmiste arutluste abil. Pole kahtlust selles, et signaal võib salvestada ja taastada vaid siis, kui signaali sageduse ühe perioodi jooksul lint nihkub edasi sellise vahemiku võrra, mis tunduvalt ületab magnetofoni pealaua. Kuidas aga on selles suhtes lugu kaasaegsete magnetofonidega?

Kuni viimase ajani oli magnetofonides suurimaks lindi liikumise kiiruseks 770 mm/s. Kui salvestatavate signaalide sagedus on ainult 1 MHz, siis toimub voolu täielik muutumine ühel perioodil 1  $\mu$ s. jooksul. Selle aja jooksul jõuab lint vaid 0,7  $\mu$  võrra edasi liikuda, samal ajal kui pilu laius on umbes 20  $\mu$ . Seega, kuni pilust möödub lindi laiusega võrdne lõik, toimub umbes 30 vooluvõnget. Neid ei saa üles kirjutada, sest nad satuvad üksteise peale. Kaugnägemises aga kasutatakse palju laiemat sagedusriba — kuni 6 MHz.

Seepärast on televisioonisaadete magnetiliseks salvestamiseks ainult üks viis — järsult suurendada magnetlinde

liikumise kiirust. Isegi kui oletada, et magnetpea piltu laiust võib tunduvalt vähendada, on lindi liikumise kiirust ikkagi tarvis suurendada kümneid ja sadu kordi.

See osutuski võimalikuks, kuigi, tõsi küll, mõnevõrra kindlusel teel, kasutades niinimetatud reaviisilist salvestamist.

Kujutleme endale vooli, mille ümber on paigutatud neli magnetpead, millest igaüks on eelneva suhtes rea laiuse võrra — veidi rohkem, kui pilu pikkuse võrra — alla poole nihutatud. Vooli pöörleb, teljega paralleelselt liigub aga vooli külge liibudes ja omamoodi «rennil» moodustades lint. See lindi renn katab alla veerandi magnetpeadega vooli ümbermoodust.

Magnetpead nagu joonistaksid lindile rida. Esimese kindrea joonistab esimene pea. Vaevalt jõuab see lindilt lahkuda, kui teisest servast saabub teine pea ja hakkab joonistama teist rida. Et lint liigub vooli telje suhtes, siis teise pea saabumise momendiks on esimene rida lahkunud ja teine rida paigutub selle alla (lugedes lindi liikumise suunas). Edasi joonistatakse välja kolmas ja neljas rida, mille järel algab kõik otsast pealt, s. o. esimene pea jõuab uuesti lindile jne.

Kas niisuguseks salvestamiseks on vaja nelja magnetpead? Neli pead kindlustavad salvestuse pidevuse. Sel hetkel, kui lindilt lahkub üks pea, jõuab sinna järgmine. Andes peadega voolile suure pöörte arvu, võib kindlustada lindi kiire liikumise pea suhtes (või pea kiire liikumise lindi suhtes, mis on seesama).

Oletame, et vool teeb näiteks 15 000 pöört minutis.

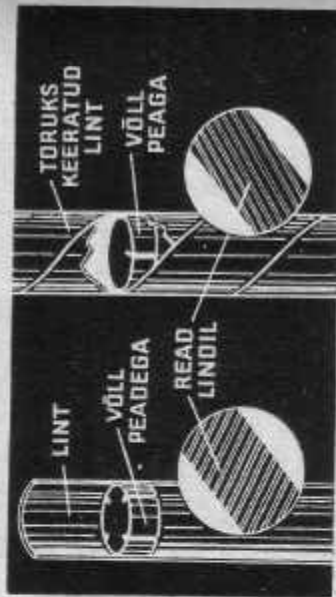
Järelikult kestab veerand pöört (ühe pea tegevussfaar) 0,001 sek. Lindi laius on umbes 50 mm. Siit pole raske arvutada, et pea liikumise kiirus lindi suhtes on umbes 50 000 mm/s., samal ajal kui parimates magnetofonides saavutab see kõigest 770 mm/s.

Toodud arvud on täiesti reaalsed. Moskvas heli salvestamise instituudis on konstrueeritud magnetofon televisioonikujutiste salvestamiseks, mille andmed on: neli magnetpead, lindi laius 50 mm, vooli pöörte arv 15 000 minutis, lindi liikumise kiirus piki vooli 385 mm/s. Leninigradi tehases «Lenkinap» on konstrueeritud veidi teiste andmetega magnetofon: lindi laius 70 mm, neli pead, vooli pöörte arv 12 000 minutis, lindi liikumise kiirus 385 mm/s. Umbes samasugused andmed on ka välismaa televisiooni-



kujutiste, sealhulgas värviliste kujutiste salvestamiseks määratud magnetofonidel.

Kuid kõik konstruktorid pole kasutanud nelja pead. Jaapani konstruktorid läksid teist teed. Nende konstrueeritud magnetofonis on võlli kõigest üks magnetipea, see-eest haarab lint kogu võlli. Sel eesmärgil on ta pööratud toruks



Proovige mähkida selline toru paberilindist ja joonistage saadud toru sisse pfiatsiga rõngas. Nüüd pöörake lint lahti ja vaadake, mis teil välja tuli. Ommarguse rõnga asemel tuli lindile väga pikk kaldjoon. Kui joonistada kaks üksteise suhtes veidi nihutatud rõngast, siis võib veenduda, et teine rida on ilma ajavaheta esimese jätkuks, s. o. üleskirjutuse pidevus kindlustatakse ühe peaga. Magnetpeaga võib teha kujutiste salvestamiseks määratud jaapani magnetofonides kõigest 3600 pööret minutis, s. o. 3—4 korda vähem kui nelja peaga magnetofonides.

Televistioonisadele magnetilindile salvestamine on palju tähtsam, kui see alguses võib paista. Osutub näiteks, et kinovõtteid on kasulikum teha mitte kinokaameraga, vaid telekaameraga magnetilindile. Nüüguine lint on palju odavam; ta on otsekohe, ilma ümbertöötamiseta valmis kujutiste taastamiseks; vajaduse korral võib linti korduvalt kasutada, kustutades vana üleskirjutuse; võtteid võib teha tunduvalt väiksema valgustuse juures, sest televistioonis saateorude tundlikkus on palju suurem filmi tundlikkusest. Ühesõnaga, eeliseid on väga palju kuni selleni välja, et ni

mustvalgeid kui ka värvilisi kujutisi kirjutatakse ühele ja samale lindile. Paistab, et tulevikus hakkab film välja surema ja teda asendab magnetlint. Nüüguust võimatust on vaja arvestada kui ühte signaalide magnetilise üleskirjutamise tehnika tõenäolist arenguperspektiivi.

See asjaolu, nagu tähelepanelik lugeja tõenäoliselt tuba märkas, sundis loobuma nimehüüesest «magnetiline helisalvestus» ja kasutama üldisemat nimetust — «magnetiline signaalisalvestus», kuna kujutiste salvestamine pole enam helt salvestamine! Helisalvestuseks pole ka mõned teinud magnetilise salvestuse ligid, nagu näiteks signaalide salvestamine arvutus- ja programmeerimisseadmete magnetmäts.

Nii oleme stsuliselt uue tehnikavaldkonna sünni tunnistanud.

## MUSTA EKRAANIGA TORU

Meie ees on sisselülmita televiisori ekraan. Kuidas nimetada tema värvust või heleduse astet? Ei saa ju väita, et ta on must. Ennem ütled, et see on mingi segu valgevõitu, kreemikavõitu, kollasevõitu ja rohkekassinisevõitu toonidest. «Võitus»-lõpuga sõnade üliküllus näitab, kui raskelt on ekraani värvi iseloomustada mingi ühe sõnaga.

Küll oleks hea, kui televiisoriekraan oleks must! Määrab ju tema värv kujutise mustad kohad. Kui me televiisori sisse lülitame, hakkab piki tema ekraani jooksuma elektronkiir. Kiire ja ekraani kohtumispaik on seda heledam, mida heledam peab olema kujutis selles kohas. Seal aga, kus peab olema kujutise must koht, ekraan ei helendu üldse; me näeme ekraani sellisena, nagu ta näib meile tavalt värvile ja toavalgustuse heledusele. Kui «süttamata» ekraan oleks täiesti must, muutuks kujutis kontrastsamaks, teda oleks parem valgus vaadata — alati ei ole ju mugav ega võimalikki tuba pimendada.

See ei ole ainult kaugnägemise nõudmine. Elektronkütoretorüde ekraanid on saanud juba väga paljude mõõteriistade ja seadmete detailideks. Nende ekraanidel tekkitavate kõverate järgi otsustab lendur või insener teda huvitava protsessi käigu üle. Ent heledal ekraanil on raske eraldada isegi väga eredat kõverat. Kui toru oleks aga must, küll siis oleks tema ekraanil kõik hästi näha! Ekraani võib muudugi varustada varjuga, kuid seda pole alati mugav kasutada, eriti lenduritel. Musta ekraaniga toru on parem.

Selliseid musta ekraaniga torusid hakatakse tegema. Must ekraan pole lihtsalt must luminofoor. Niisugusel torul on poolbipaisiv ekraan, kogu toru sisemus on aga must. Hele punkt või hele joon eraldub mustal foonil täiesti selgesti isegi heledas pürikesvalguses.

Ja las sellise ekraaniga aparaadil ollagi süngevõitu ilme, see-est tõuseb tunduvalt kujutise kvaliteet.

## NÄHTAMATU MUUTUB NÄHTAVAKS

Kas võib näha nähtamatut? Arge mõelge, et siin on jutt sellest, kas võib avastada optilise nähtavuse piiride laga asuvat eset, kui ei ole abiks mingit optilist aparaati. Niisuguseid esemeid saab, nagu teada, hästi avastada raadiolokatsioonil abil. Me tahame siin rääkida sellest, kuidas võib näha selle sõna tavalises mõttes seda, mis normaalses tingimustes pole nägemisele kättesaadav. Näiteks kuidas võib näha pimeduses.

Peale valguskiirte kiirgab iga helenduv keha tavaliselt veel nähtamatuid infrapunaseid kiiri. Need kiired pärinevad molekulide soojusliikumisest, mis on olemas iga kehas, kui selle temperatuur on kõrgem absoluutselt nullist. Infrapunased kiired kujutavad endast elektromagnetilisi laineid, mis pikkuselt asuvad valguslainete ja raadiolainete vahel (pikemad valgus- ja palju lühemad raadiolainetest) (vt. lk. 43). Nende lainete pikkusi mõõde-

lakse mikroni osadest kuni sadade mikroniteni. Sellise pikkusega laineid ei võta nägemisorganid enam vastu. Kui keha on tugevasti kuumutatud ja asub meie lähedal, siis niisama tema poolt kiirata vaid infrapunaseid kiiri soojuse allol, kuid eemalasuvate soojusallikate jaoks meie näha tundlikkusest ei piisa ning me ei avasta nende soojuskiirgust.

Kaasaegne tehnika on võimaldanud luua erakordselt kõrge tundlikkusega aparaate, mis avastavad tühiseid soojushulki. Niisuguste aparaatide abil ei paku raskusi avastada meid ümbritsevate tavalist temperatuuri omavate esemete poolt kiiratud soojust. Kuid avastada ei lähenda ikkagi näha. Avastatud infrapunased kiired on vaja veel muundada tavalisteks valguskiirteks. Ja sellised aparaadid on samuti olemas. Nende abil on loodud paljud õise nägemise seadeldised, mis on esmajärjekorras määratud sõjalisteks eesmärkideks, näiteks pimeduses näha võimaldavad binoklid, õised sihikud automaatlaskevelvadele, mis võimaldavad snaiiperitel tulistada õised «nähtamatuid» märke, ja paljud teised.

Iga õise nägemise aparaadi kõige huvitavamaks osaks on elektronoptiline muundaja, milles infrapunased kiired muundatakse tavalise inimsilmiga nähtavateks valguskiirteks.

Sellise muundaja ehitusprintsip taandub järgmisele: vaadeldavalt objektilt tulevad infrapunased kiired projekteeritakse objektiivi abil erilisele fotokatoodile, mis on tundlik nende kiirte suhtes. Vastuvõetud infrapunaste kiirte mõjul hakkab fotokatoode kiirgama elektrone, kusjuures nende arv on võrdeline kiirguse intensiivsusega, s. o. antud katoodi punkti langevate infrapunaste kiirte energiahulgaga. Vaadeldava objekti «heledad», kui neid nii võib nimetada, s. o. kuumemad punktid, millest infrapunaseid kiiri tuleb rohkem, loovad ka elektronide suurema väljalennu, «tumedad» aga väiksema.

Fotokatoodi poolt kiiratud elektrone kiirendatakse elektriväljas ja suunatakse edasi fluorestseerivale ekraanile, mis koos fotokatoodiga asub vaakuumkolvis. Ekraani põlmilamine elektronidega kutsub esile helenduse, mille meie silm võtabki vastu nähtava kujutisena. Igaie fotokatoodi punktile vastab oma punkt ekraanil. Mida rohkem elektrone kiirgab antud punkt fotokatoodile, seda heledam on vastava punkti helendus fluorestseerival ekraanil. Kõigi

punktide kogusumma annab vaadeldava objekti kujutise. Et pommitavate elektronide energia oleks suur ja kitsuks esile ekraani küllalt heleda helenduse, luuakse tema ja fotokatoodi vahel mõne kilovolti suurune kõrgepinge. Kiirendava elektrivälja mõjul omandavad elektronid suure energia; varutud energia annavad nad ära valguse kujul lõõgil vastu ekraani.

Infrapunased kiired leiavad kombinatsioonis mitmesuguste elektronaparatuuridega üha laiemat rakendust tehnikas. Neid kasutatakse kõige mitmekesisematel juhtudel, kui on vaja avastada esemeid, mille temperatuur erineb ümbruse omast.

Võib tuua palju juhte, näiteks lennukite hoiatamine kokkupõrke eest õhus, lennukilt maastiku kujutise nägemine, s. o. tema soojusliku kaardi saamine pimedal ööl (kuna maapinna mitmesuguste osade, ehitiste, teede, metsade jne. temperatuur on erinev), reaktiivlennukite avastamine (tugevasti kuumenenud gaasijoa eraldamine); neid kiiri võib rakendada raketite automaatseks juhtimiseks kiirete pommituslennukite suunas ja kasutada veel paljudes eesmärkideks niihästi sõjassjanduses kui ka rahulikus elus.

## 25 KORDA ÕHEM JUUKSEKARVAST

Püsivmahtuvusega kondensaatorites on väga levinud dielektrikuks vilgukivi — kergesti kihistuv materjal. Vilgulehekese paksust kondensaatorites mõeldakse millimeetri kümnendike ja isegi sajandike osadega, kuid ikkagi nad kihistuvad. Huvitav, milline on siis vilgulehekese vähim saavutatav paksus.

Vilgulehekese vähim paksus, mida seni on õnnestunud saavutada, on 4  $\mu$  (0,004 mm) piires. Need lehekese on 25 korda õhemad inimese juuksekarvast (keskmiselt 100  $\mu$ ) ja peenemad isegi ämbliku niidist, mille paksus on umbes 5  $\mu$ .

178

Paberikondensaatorites kasutatakse vahelahina erilist õhukest ja läbipaistvat kondensaatoripaperit. Kõige õhema sortide paksus on 5–6  $\mu$ , katsekempleridel aga 3  $\mu$ .

## VEEL 4 KORDA ÕHEM

Õliõhukest lehekeseid, mida võib saada vilgukivi lõhestamisel, näivad siiski küllalt paksudena, võrreldes teise materjaliga, mida kasutatakse ühes raadiotehnikaharus — piesotehnikas.

Nagu teada, peavad piesoelektriliste telefonitorude, helisalvestajate ja mikrofonide põhiosad — piesoelementid — olemata kahelt poolt kaetud juhtiva kihiga. Sellise kihina kasutatakse lehtõhbedat — õhbedakihti paksusega 1  $\mu$ . Ohku visatuna langeb selline leheke väga aeglaselt. Ta nagu ujaks õhus.

Üks mikron kujutab endast pikkusmõõtu, mis on juba kõrvalt nähtavate valguskiirte pikkusega. Meie silm reageerib elektromagnetilistele võnkumistele, mille lainepikkus on väiksem kui 0,76  $\mu$ .

Huvitav, et lehtkulla ja -õhbeda valmistamise kunsti valdasid vene meistrid juba väga ammu. Selliseid õhukesi metalllehekese oli vaja kuldamiseks ja hõbetamiseks ning vene meistrid valmistasid neid käsitsi, tagades metalli puu- ja hammrikestega pingutatud seannahal.

Ebaharilikult õhuke on metallikiht, mis kantakse vahaplaatidele grammofooniplaatide valmistamisel. Vahaplaatide metalliseerimisel katoodaurustamise meetodil vaakuumis on kattekihi paksus kõigest 0,003  $\mu$ , s. o. võrdne röntgenikiirte lainepikkusega.

179

179

## SAGEDUSRIBA

Heli üleskirjutamis- ja sidetehnikas ning akustikaasvatsetakse heliallikaid, samuti helide edasiandmiseks ja taastamiseks kasutatavaid kanaleid ja aparatuuri iseloomustada sagedusribaga. Sagedusriba all mõeldakse neid piire, mille vahel asuvad heliallika sagedused, või neid sageduse piire, mida antud seade võib läbi lasta ja taastada.

On üldtuntud, et heli üleskirjutamise ja sidetehnikal ei ole käesoleval ajal veel võimalust opereerida niisuguste sagedusribadega, mida on vaja täielikult toomistiku kolmese jaoks. Näiteks on inimhääle heaks taastamiseks vaja vähemalt 12 000—15 000-hertsilist sagedusriba, ringhäälinguajaamad aga võivad mitmetel põhjustel tavaltiselt kasutada vaid 4500-hertsilist riba. Sellega seoses on huvitav vaadeid, millised on sagedusribad, mida käesoleval ajal kasutatakse erinevates sideliikides.

Saate liik	Kasutatav sagedusriba Hz
Käsitelograaf	60
Kürtelgraaf	1200
Telefon (kõne)	3400
Amplituudmodulatsiooniga ringhääling	4500
Fotoelograaf	5500
Kolmekanaliline sideaparatuur	30 000
Sagedusmodulatsiooniga ja tavalise deviatatsiooniga ringhääling	75 000
12-kanaliline sideaparatuur	150 000
Kaagnägemine	8 000 000
Raadiolobatsioon	10 000 000

Tabelis loetletud aparatuuri tunnevad raadioamatöörid kõige vähem paljukanalilist aparatuuri. See on kõrgsageduslik traatside aparatuur, mille laias sagedusribas on eraldatud mitu kitsamat riba. Igüks neist ribadest sisaldab kandevasgudust («allsagedust»), mis on moduleeritud

oma helisagedusega ja mida võib kasutada saateks. Kolmekanalilisel aparatuuril on näiteks kolm sellist kanalit oma allsagedustega. Iga kanalit võib kasutada üheks kahepoolseks telefontikoneks või 18-ks telegraafisaateks. Järelikult võib kolmekanalilise aparatuuri üheaegselt edasi anda näiteks kaks telefontikoneid ja 18 telegraafisaadet, arvestades ühte tavalist telefontikoneid.

Alljärgnevas tabelis on toodud sagedusribad, mida võivad läbi lasta kaasagedused traatsidekanalid ja erilised raadiokanalid.

Sidekanal	Sagedusriba laius kHz
Tavaline linnadevaheline traatliin (täiendavate sagedustega)	5
Kõrgsageduskaabel	150
Eriline linnadevaheline koaksiaalikaabel	4 000
Raadioreleeliin (sentimeetritelmetel)	500 000
Kaabelühitidega sideliinid millimeetritelmetel	kuni 40 · 10 <sup>6</sup>

Nagu sellest väikesest tabelist näha, on tavalise traatliini sageduste läbilaskevõime väga väike. Kõrgsageduskaablid läsevad läbi niisuguse sagedusriba, et nende abil võib üheaegselt edasi anda ringhäälinguprogrammi, fotograafi ja väga paljusid telefontikoneid ja telegraafiliidusi. Erilist kõrgsageduslikku koaksiaalikaablit võib kasutada isegi televisioonisagedustele. Ribalaiuse rekordi loovad raadioreleeliinid. Raadioreleeliini abil võib üheaegselt edasi anda täieliku seigusega televisioonisagedusi ja suurt arvu raadio- ja fotosaateid, telefontikoneid jms. Sellega ongi seletatav eriline tähelepanu, mida praegu ootatakse raadioreleesidele arendamisele.

Muidugi pole nad vabad ka puudustest. Nende hulka kuuluvad suure hulga vastuvõtu-saateilülidega liinide hääletamise komplikatsioonid, töökindluse garanteerimise raskus jne. Kuid raadioreleeliine siiski ehitatakse ja länu nendele oleme juba seotud Euroopa televisioonitorvuga. Järjekorras on lainejuhtliinid.

Ringhäälingusaated pikkadel ja kesklainetel on piiratud ribaga 4500 Hz. Niisuguse võrdlemisi kitsa riba määrab muuseum vajadus paigutada nendele diapasoonidele



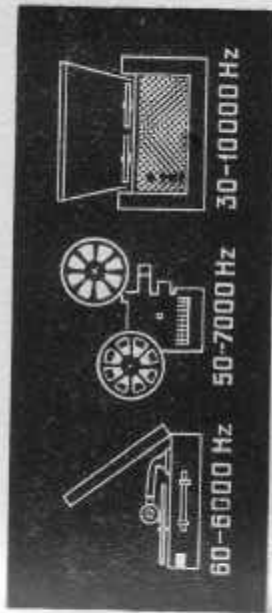
võimalikult palju saatejaamu, mis võiksid töötada üksteist segamata. Tunduvalt suuremat sagedusdiapasooni häärtel vahel lühilainetel võib jaamu paigutada «laheadamalt», see pärast kasutavad nad laiemat sagedusriba — kuni 5–6 kHz, ning nende saatet kõlavad loomulikumalt, «mahilakemalt» kui pikkadel ja keskilainetel. Veel «lahedam» on ultralühilainetel, eriti sagedusmodulatsioonil korral, kuu loomuliku väljusegradatsiooniga võib täielikult edasi anda kogu kuuldavate sageduste riba.

Milline on siis heli salvestusseadmete sagedusriba? Heli salvestuse peamiste liikide kohta on andmed toodud tabelis.

Helisalvestuse liik	Üleskirjutatavate sageduste riba Hz
Mehaaniline (grammofoniplaat)	60–6000
Optiline (kinofilm)	50–7500
Magnetiline (ferromagnetiline lint)	30–10000

Kõige laiemat sagedusriba võib salvestada magnetilisel meetlusel. Head kaasagedsed magnetofoniid salvestavad kogu sagedusriba praktiliselt peaaegu tervikuna, mis kindlustab kõrgekvaliteedilise heli.

Milline on siis sagedusriba, mida lasevad läbi kaasagedsed taastamisseadmed? Nimelt nemad ju määravad kõlavuse kvaliteedi. Kui head ka poleks mikrofonide, saatjate

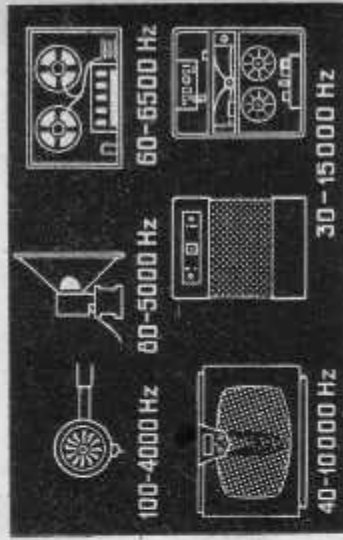


liikide, võimendite, grammofoniplaatide, ferromagnetiliste lintide jne. omadused — meie kõrv võtab vastu vaid seda, mida taastab ahela viimane lüli — helitaastav seade. Helitaastavateks seadmeteks on käesoleval ajal grammofonide mehaanilised helitaastajad ja elektroonikaamilised väljuvõimendid, mida kasutatakse optilise ja magnetilise üleskirjutuse ja raadiosaadete taastamiseks. Järgnevas tabelis on toodud andmed nende seadmete poolt taastatavale sagedusribade kohta.

Helitaastav seade	Taastatavate sageduste riba, Hz
Mehaaniline (membraan — grammofoni ruupor)	100–4000
Elektronikaamiline väljuvõimendi	80–5000
Agregaat kahest väljuvõimendist (vastab I klassi endioolale)	50–6500
Agregaat mitmest kõrgema klassi väljuvõimendist (parimad radioolad ja kinoseadmed)	40–12000
Parimad agregaadid mitmest kõrgetama kvaliteediga väljuvõimendist (kontrollseadmed)	30–15000

See tabel selgitab, miks grammofoniplaatide taastamine elektrilisel meetlusel ületab kvaliteedilt akustilise taastamise: grammofon pole võimeline edasi andma niisugust riba, mis on plaadile kirjutatud, samal ajal kui head elektrilised väljuvõimendisseadmed taastavad selle täieli-





kult. Üldse taastavad parimad valjuhääldite agregaadid laiemat riba kui see, mida võib ükskõik millisel viisil üle kirjutada. Taastamistehnika on käesoleval ajal üleskirjutamistehnikast ette läinud.

## SAGEDUSRIBA JA SAATESAGEDUS

Lk. 180 on ära toodud erinevate saateliikide jaoks vajalikud sagedusribad. Ribade laius erinevus on tohtu alates käsitelegraafi saadete jaoks vajalikust mõnekümnest hertsist kuni televisiooni jaoks nõutava mitme megahertsini.

Sagedusriba laius on tihedalt seotud saatja sagedusega. Oletame, et valime sagedust amplituudmodulatsiooniga ringhäälingusaatja jaoks. Kas me oleme selles valikus vabad, kas võime peatuda ükskõik millisel meeldival sagedusel, näiteks sagedusel, mis vastab 10 000-meetrisele lainele?

Ei, ei või. Saatja sageduse ja edasiantavate sageduste

riba laius vahel on sõltuvus: tavaliselt arvestatakse, et edasiantavate sageduste riba laius ei tohi ületada 10% saatja kandesagedusest. Ringhäälingusaate sagedusriba peab olema 4500 Hz, s. o. 4,5 kHz. Seepärast on amplituudmodulatsiooniga ringhäälingusaateks vaja 45 kHz-ist suuremat kandesagedust, s. o. lähemat lainet kui 6600 m, telefonisaateks, kus vajatakse 3,4 kHz-ist riba, on vaja lähemat kui 8800-meetrisele lainel töötavat saatjat. Ringhäälingusaadete pikematel lainetel kui 6600 m ja telefonisaadete üle 8800 m kaasnevad muutused, mis on seda suuremad, mida rohkem laineikkus ületab osutatud piirväärtust.

Alljärgnevas tabelis on toodud mõned laineikkused ja nende vastavad saateks võimaliku sagedusriba piirväärtused.

Laineikkus, m	Sagedus, kHz	Suurim saateks võimaliku sagedusriba laius, kHz
20 000	15	1,5
2000	150	15
200	1500	150
20	15 000	1500
2	150 000	15 000

Sellest tabelist on näha, et 10 000 m pikemad lained võib toimuda umbes samasuguse pikkusega lainetel nagu amplituudmodulatsiooniga ringhäälingusaated jne. Televisioonisaadeteks kõlbavad vaid väga tühikesed lained — lähemad kui 10 m. Faktiliselt kasutatakse kaugnägemiseks umbes 0,5—7-meetriseid laineid.

## MIS LIIGUB KIIREMINI — HELİPEA VÕI NÕELI

Pealiskaudsel vaatlusel võib see küsimus näida mõtetuna. Kuid...

Tavaliste mõõtmega plaadil (diameetriga 25 cm) on vagude väikseim raadius 6 cm piires, suurim umbes 12 cm. Keskmise vagude raadius on järelikult 9 cm, keskmine keeru pikkus aga ligikaudu 54 cm.

Plaadi raadiuse ühel sentimeetril asub keskmiselt 37 vagu, 6 cm-le (vahe suurima ja vähima raadiuse vahel) mahub 222 keerdu, kuna aga keeru keskmine pikkus on 54 cm, siis kogu helivao üldpikkus on umbes 120 m.

Milline on siis helipea liikumise kiirus? Seda on lihtsari arvutada. Plaadi läbimängimine kestab ligi 3 minutit, vao pikkus aga, nagu me äsja nägime, on 120 m. Järelikult on helipea liikumiskiirus ümmarguselt 2,5 km/h — see on aeg-



laselt sammuva jalakäija kiirus. Kuid tuleb arvestada, et see on keskmine kiirus. Plaadi alguses on kiirus suurim ja võrdub umbes 3,4 km/h, lõpus aga, kus keeru raadius on väike, langeb ta kuni 1,7 km/h. Märgime muuseas, et ühe keeru läbimängimise aeg on keskmiselt 0,77 s.

Arvutuses ei pööratud tähelepanu sellele, et vastavalt üleskirjutatud heli sagedusele ja valjusele omab vagu kühnakuid. Me arvutasime moduleerimata vao pikkuse. Kään-

186

lud suurendavad vao pikkust 3—5 korda, s. o. vao faktiline pikkus võib ulatuda kuni 600 m-ni. Helipea nõela ots järgib kõiki vao kühnakuid ja sama ajavahemiku jooksul, millega helipea jookseb läbi 120 m, teeb nõel, õigemini tema ots, umbes poolkilomeetrise tee. Pool kilomeetrit 3 minutiga — keskmine kiirus 10 km/h. Et helipeast mitte maha laada, piisab jalutamisest, aga kui tahame jõuda järele helipea nõela otsale, tuleb kaunis kiiresti joosta.

Märgime muuseas, et helipea töö põhineb nimelt asjaolul, et nõel järgib vao kühnakuid, helipea ise aga liigub pigi korrapäraselt spiraali. Selle liigumise mittetäitmise korral helipea ei saaks töötada.

Toodud arvutus oli tehtud plaatide jaoks, mis on määratud läbimängimiseks kiirusega 78 pööret minutis. Praegu lastakse välja kauamängivaid plaate, mis liiguvad kiirusega 33,33 pööret minutis, kusjuures plaadi raadiuse sentimeetritele tuleb umbes 100 keerdu. Niisuguse tavaliste mõõtmetega plaadi läbimängimiseks kulub 15 min. Keerdude arv küünib 600-ni moduleerimata vao 330-meetrise kogupikkuse juures. Keeru läbimängimise aeg on 1,8 s. Helipea keskmine kiirus — 1,1 km/h, suurim — 1,5 km/h, vähim — 0,75 km/h.

Vao käänakud on kauamängival plaadil väiksemad kui tavalisel: moduleeritud vao pikkus ületab moduleerimata vao oma ligikaudu 2 korda, olles järelikult umbes 650—700 m.

Vao pikkuse rekordid loövad suurendatud formaadiga kauamängivad plaadid. Nende moduleerimata vao pikkus on ca 1 km, moduleeritud vaol aga kuni 2 km.

## DETEKTORI EVOLUTSIOON

Päevast, millal A. S. Popov kasutas esimest korda oma detektorit elektromagnetiliste lainete avastamiseks, on möödunud üle 65 aasta. Sellest ajast peale on detektorit

187

nagu ka muud raadiovastuvõtja elemente pidevalt täiustatud, kuid kuni praeguse ajani on ta jäänud iga vastuvõtja kohustuslikuks osaks.

Huvitav on jälgida muutusi, mida detektor on selle aja jooksul läbi teinud.

A. S. Popovi vastuvõtjas oli detektoriks peenikese metallipuruga täidetud toruke — koheerer. Elektromagnetiliste võnkumiste mõjul vähenes järsku viimistega täidetud vahemiku takistus ja seda asjaolu kasutaski A. S. Popov elektromagnetiliste lainete avastamiseks ümbritsevas ruumis.

Koheereril on väga väike tundlikkus. Ta ei leidnud laialdast rakendamist ning asendati peatselt detektoriga, mis koosnes algul sõe- ja terasepulgakeste paarist (A. S. Popov, 1901. a.), pärast aga mingi mineraali kristallist ja seda puudutavast metallteravikust. Detektori töö põhines sellel paari omadusel juhtida hästi voolu ühes suunas ja peaaegu üldse mitte — vastassuunas.

Kuni Teise maailmasõjani laialdast kasutamist leidnud kristalldetektorite suurimaks puuduseks oli töö ebakindlus. Ohesuunaline juhtivus ei ole kogu kristalli pinnal, vaid ainult selle üksikutele punktidel. Tundliku punkti leidmine polnud kerge, peale selle leidmist aga tuli detektorit igrati hoida tõugete ja raputuste eest, kuna teraviku väikese mastki nihkest tundlikust punktist kõrvale püüas sellele, et detektor lakkas töötamast.

Näis, et elektronlambi ilmumine lahendas detektorimise probleemi. Diood juhib voolu ainult ühes suunas, seega on hea detektor. Diood töötab kindlalt, ei karda põrutusi.

Kuid diood osutus nõrkade signaalide suhtes vähem tundlikuks kui kristalldetektor. Peale selle on hõõgniidid toitmiseks vaja patareid või mõnda teist allikat. Niivõrd ei tõrjunudki diood kristalldetektorit tolle aja raadiovastuvõtjatest välja.

Tõhutult tundliku kolme elektrodiga lambi ilmumiseen esilekutsitud pööre raadiovastuvõtutehnikas viis armulid detektori täiustumisele. Lampvastuvõtjates hakati kasutama ainult lampdetektoreid — trioode, mis surusid kristalldetektorid täielikult välja. Kõige laiem laeviko leiutis võredetektor, mis paistab silma suure tundlikkusega ja omab võimet detekteerida väga nõrku signaale. Võredetektoril eeliseks kristallilise ees oli see, et ta samaaegselt ka

võimendas signaali, kuna kristalldetektor ei andnud mingit võimendust. Tänu niisugustele headele külgedele haaras võredetektor lampvastuvõtjates paljudeks aastateks peaaegu monopoliseisundi. Detektorilt nõuti sel ajal peamiselt kõrget tundlikkust.

Pärast üleminekut superheterodüüniskeemidele kaotas detektori kõrge tundlikkuse oma aktuaalsuse, kuna nõrkade kõrgsagedusvõnkumiste võimendamine enne detektorit ei olnud enam raskusi. Esiplaanile kerkis minimaalsete mootorite vajadus. Just sellest küljest osutus võredetektor kõige ebarahuldavamaks — ta moonutas märgatavalt.

Mõnevõrra paremaid tulemusi andis selles suhtes anooddetektor, kuid nagu näitasid uurimised, kindlustas vähimaid moonutusi lihtne diooddetektor. See läks kindlalt praktikasse ja oli viimaste aastate jooksul praktiliselt ainukeseks detektoritüübiks superheterodüünvastuvõtjates. DiOOD detekteerib eriti hästi suhteliselt suure amplituudiga signaale ning õieti valitud skeemielementide korral ei loo praktiliselt moonutusi.

Kõrgematele sagedustele ülemineku käigus muudeti superheterodüünvastuvõtja skeemi elemente, kohandades neid uutele tingimustele. Muutmatus jäi vaid detektor — diOOD tuli oma ülesannetega hästi toime. Veelgi enam, detektorilainetel laiense detektori rakendusala: diOOD asendatakse keeruliselt mitme elektrodiga lampe; ta osutus kõige õnnestunumaks segustiks superheterodüünis detseimeeter-laprasooni jaoks. Kuid fõasageduste edasine tõstmine köidutas tõsiselt diOODi laitmatut reputatsiooni: sentimeeter-lainetel ei suutnud ta enam töötada. Anoodi ja katoodi vaheline mahtuvus, mis tavalistel diOODidel küübib 3—4 pF-ni, osutus selliste sageduste jaoks ülemäära suureks; ta sumteerib diOODi ja loob kõrgsagedusvõnkumiste jaoks kõrvaltee, kuna tema takistus on nende jaoks tühiselt väike, näiteks 10 cm pikkuste lainete puhul vaid umbes 13 Ω.

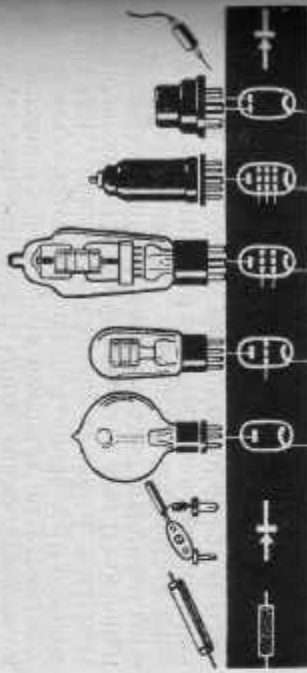
Siin tuli jälle meelde tuletada kristalldetektorit, mis pärast mõningat konstruktiooni muutmist osutus läiesti köiblikuks fõöks ülikõrgetel sagedustel. Tal on tühine mahtuvus, kuna teraviku kokkupuutepinda kristalliga mõõdetakse mikroni osadega.

Kaasaegsed ülikõrgete sageduste jaoks määratud kristalldetektorid on vabad põhipuudusest, millest räägiti alguses — «punkti» ebapüsisusest, nende mahtuvus on viimastega aga 0,1—0,2 pF-ni. Konstruktisioon tagab kindla töö.



Kristalli materjalina kasutatakse räni, teravikuks aga peenemikst volframtraati. Veel paremaid tulemusi annavad germaniumdetektorid, mis on levinud just viimastel aastatel, nende traatteravikku võib vahel isegi kristalli pinna külge keevitada.

Kristalldetektoreid kasutatakse raadiolokatsiooni- ja televisioonivastuvõtjates. Laialt rakendatakse neid ka raadiomootoraparatuuris mootimisteks kõrgetel sagedustel.



Siega on detektor röhkem kui 50 aasta jooksul läbi läinud huvitava arengutee: kristalldetektor — diood — triood — mitme elektroodiga lamp — diood — kristalldetektor. Kas see tähendab, et ring on sulgunud ja raadiotehnika tagasi pöördunud? Mitte mingil juhul. Ta ei ole pöördunud lähtepunkti — vana detektori juurde tagasi. Kuigi meie päevade kristalldetektoris kasutatakse sama põhimõtet, seisab detektori tehniline teostus võrreldamatult kõrgemal tasemel. Selle detektori püsivust ja töökindlust ei saa küldagi võrrelda raadiotehnika esimeste päevade kristalldetektori omadustega.

## KRISTALLDETEKTORI SALADUS

Kas on võimalik arvutada, mitu miljonit lund on kogu maailma radistid ja raadioamatöörid raisanud kristalldetektori tundliku «punkt» leidmiseks!

Alles kõige viimasel ajal said raadioamatöörid püsiva punktiga detektorid, mis vabastasid detektorvastuvõtjate omanikud väsitavast vajadusest kompida kristalli spiraalikeelega.

Mis imelik «punkt» see siis on?

Ole 40 aasta hoidis kristalldetektor oma «punkt» saladust. Erinevatel aegadel loodi erinevaid hüpoteese kristalldetektori töötamise füüsika seletamiseks. Näiteks levitati «kaarhüpoteesi», mille järgi detektori töö seletus mikrooskoopiliste elektrikaarte tekkimisega spiraali teraviku ja kristalli kontakti vahel. Hiljem ilmus «kontaktihüpotees», mille järgi detektori ühesuunalise juhtivuse määrab kontaktpotentsiaal.

Kuid «kontaktihüpoteesile» sai osaks sama mis «kaarhüpoteesile».

Kristalldetektori «saladuselt» hakkas kate kerkima alles viimastel sõjaeelsetel aastatel. Kristalli detekteeriv toime muutus pooljuhtide juhtivusmehhanismi iseärasuste resultaadiks.

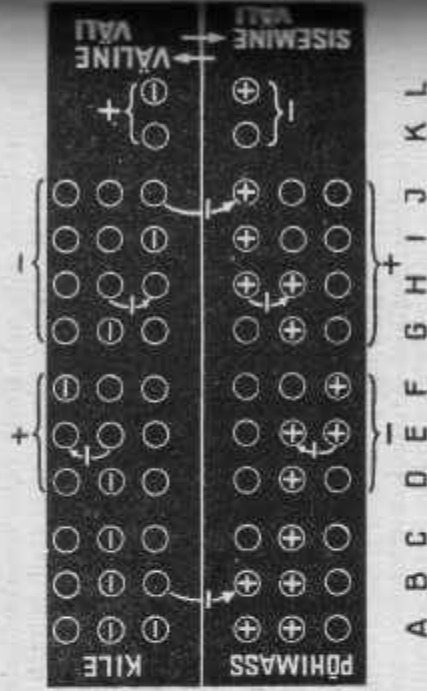
Lk. 28 oli juba juttu kaht liiki juhtivusest pooljuhtidel — elektron- ja urvejuhtivusest. Detekteerivate kristallide iseärasuseks on asjaolu, et nende pinnal tekib kile, mille juhtivus on teistsugune kui ülejäänud kristallil. On kristallil näiteks urvejuhtivus, siis on tema pinnakilel elektronjuhtivus ja vastupidi. Pinnakile ja ülejäänud kristalli kokkupuutepiir moodustab erilise tsooni, mida nimetatakse fokkeliiks ja mille paksus on kõigest mõni kümnetuhandedik millimeetrist.

Oletame, et on olemas kristall, mille põhimassil on urvejuhtivus, pinnakilel aga elektronjuhtivus, s. o. pooljuhtipõhimassil on mingi huik lisandiatomeid, mis kergesti loovutavad ühe oma elektroni, pinnakilel aga on lisandiatomeid, mis kergelt haaravad üleiigseid elektrone.

Jälgime kõige üldisemates joontes elektrilisi protsesse,

mis kulgevad pinnakile ja pooljuhi massi kokkupuutetus-  
nis. Paremaks näitlikustamiseks on joonisel toodud peened  
aatomite «tulbad», mis asuvad kiles ja kristalli massis rist-  
kile pinnaga.

Tulp (A) iseloomustab kile ja massi kokkupuute alg-  
momenti. Kile koosseisu kuuluv liigse elektroniga aatomi  
osutus kõrvuti olevaks pooljuhi põhimassi puuduva elektro-  
niga aatomiga, s. o. osutus asuvas urbe kõrvale. Nende



kähe aatomi vaheline elektrivälj sunnib elektroni negatiiv-  
selt aatomilt positiivsele üle minema (B). Tulenusena  
muutuvad kokkupuutuvad aatomid neutraalseks, kokku  
puutetusoni laenguid ei jää ning tekib tõkkekiht (C).

Kui kristallile anda pinge plussiga kilel ja miinusega  
massil (D), tekib kristall sees elektrivälj, mis on joonisel  
näidatud noolekestega (E). See väli nihutab elektrone noo-  
lekeste suunas. Välja mõjul annavad kileaatomid kaugemal  
olevad liigseid elektrone omavad kileaatomid neid veelgi  
kaugemal asuvatele aatomitele, lisandiurbed kristalli mas-  
sis aga läituvad elektronidega, mida annavad tõkkekiht  
eemal asuvad aatomid. Tulenusena muutub tõkkekiht lase-  
maks (F) ja tema takistus kasvab. Nisuguse polaar-  
sega pinge korral kristall voolu ei juhi.

Vastupidise polaarusega pinge pealeandmisel piit  
muutub (G). Elektronid hakkavad liikuma vastassuunas  
(H, I ja J). Tõkkekiht hakkab ahenema ja võib hoopis  
kaduda. Seega omab kristall ühepoolset juhtivust.

Taolistel arutlustel tekib tavaliselt kahtlus: miks ei toi-  
nu tulbas (D) näidatud tingimustel elektronide vahetust  
kile ja kristalli massi aatomi vahel? Lahutusjoonest all-  
pool asub sel juhul lisandi-aatom, mis kergelt loovutab  
elektroni, üla- ja allpool aga lisandi-aatom, mis meeeldi võtab  
liigse elektroni vastu. Mis aga puutub kristallile rakenda-  
tud elektriväljale, siis see soodustab nisugust elektroni üle-  
minekut (K). Aga selliste arutluste korral peab meeles  
pidama, et kui elektroni üleminek tõepoolest toimub (K ja  
L), siis tekib nende kähe aatomi vahel otsekohe väli, mis  
põhjab elektroni algseisundisse tagasi viia.

Kokkuvõttes mõjub elektroni kaks välja: äraläinud  
elektroni kimmi hoida pühed väljeline ja teda tagasi tuua kat-  
suv sisemine väli. Tavaliselt on «sisemine» väli tugevam,  
sest aatomid asuvad üksteisele väga lähedal. Kuid võib  
juhtuda, et välise välja «jõud käib üle» ja elektronide üle-  
kandumine tõepoolest algab. See lähendab, et tõkkekiht on  
stabiilne foonid — kristall on sattunud läbilöögipingele alla.  
Maldav «punkt» lahkub olemast ja tuleb otsida uut.

Seega sõltub kristalli takistus rakendatud pinge polaar-  
susest: ühes suunas on ta suurem (tõkkekiht tugevneb),  
teises aga väiksem (tõkkekiht väheneb või kaob hoopis).  
Tänu nisugusele ühesuunalisele juhtivusele kristall detek-  
teerib.

Pinnakiht pole kristalli erinevates kohtades ühesugune.  
Selle iseloom sõltub põhjustest põhjustest ja eriti kõrvaliste  
ainete lisanditest. Seetõttu tuli «punktis» otsida. Loomulik,  
et mida väiksem on spiraalikesse ja kristalli kokkupuutepind,  
seda rohkem on šansse ühtlase kilega pinna leidmiseks.  
Sellepärast oli vaja spiraalikesse teravikku hästi teritada:  
kontakti pindala peab olema mikroni kümnendikes osades.  
Teraviku liiga tugev surve võis kile kahjustada, seepärast  
tuli kristalliga kontaktis olev traat keerata spiraali — see  
piiras surve tugevust. Tugevate elektrimpulsside, näiteks  
intensiivsete atmosfäärilahenduste mõjul kile purunes ja  
«punkt» nihkus paigast ära, seepärast ei säilinud leitud  
punkt kauaks.

All esimestel aastatel, kui kristalli töötamise füüsika  
oli selgunud, õpiti tegema vastupidava, ühtlase pinnakilega

kristalle ja kindlustama parimat kontakti nendega paaris töötavate juhtmekestega.

Tänapäeva räni- ja germaaniumdetektoritel on väga suur tundlikkus ja üsna püsiv spunkts. Meie mälestustes lihtsaima detektorvastuvõtjaga lahutamatu seotud kristalldetektorid töötavad nüüd edukalt kõige keerulisemas raadioaparatuuris — televisioonis ja raadiotelekaatsioonis.

## ELEKTRONLAMBI KONKURENDID

Elektronlambi ei nimetata asjata imelambiks. Ta on lihtsastele andnud võimaluse teostada paljugi aastatuhandete ühistustest.

Oma edusammud ja võidud võlgneb elektronlamp asjaolule, et tema töö põhineb elektronide kasutamisel, mis lendavad tohutu kiirusega lambisiseses ruumis ja alluvad peaaegu silmapilksele juhtelektroodide käskudele.

Kas mingi teine seade suudab konkureerida elektronlambiga?

Osutub, et suudab.

Elektronlamp tundis konkurentide minevikus. Tal on väga tõsised konkurendid ka käesoleval ajal.

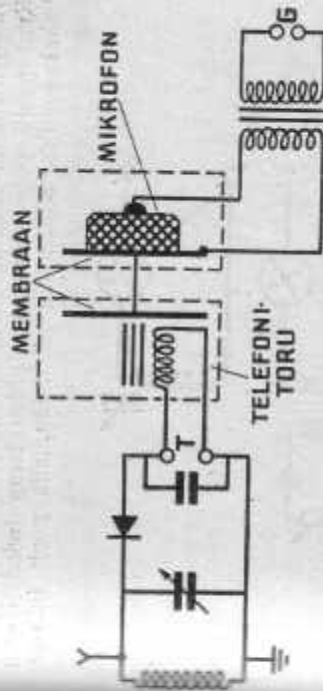
Esimenesena püüdis elektronlambiga võistelda miinimatuud mikrofonvõimendi.

Võimendi põhiosadeks on telefonitoru ja süsimikrofon, mille membraanid on omavahel järgalt ühendatud. Telefonimähisele vahelduvpinge andmisel võib mikrofoniahelas patarel energia arvel saada mõnevõrra võimendatud pinget.

Niisugused võimendid tarvivad väga suurt voolu — umbes veerand amprit, kuid nende põhivuuduseks on tugevad moonutused. Minevikus rakendati neid peiratult vaid kuulumishäiretega inimestele määratud kuuldeaparaatides. Kuuldeaparaatidele esitatud nõuetest olid põhilisemad kergus ja kompaktsus. Moonutused ei mängi eriti suurt rolli, oleks vaid selgesti kuulda.

194

Esielgu oli elektronlampidel kuuldeaparaatides, raske mikrofonvõimendiga konkureerida lampide suurte mootimele ja väikese ökonoomsuse tõttu. Kuid uue tüüpi lambid, muuhulgas põial- ja ülirmiinatüüsed lambid, äga seejärel ka transistorid, andsid võimaluse konstrueerida



väga kompaktsed, kergeid ja ökonoomseid kuuldeaparaate, mis võimaldavad saada suurt võimendust väga loomutruu laastamise juures. Seepärast ei kasutata kuuldeaparaatides enam mikrofonvõimendeid. Käseid kasutada neid võimenditena detektorvastuvõtjate jaoks ei krooninud edu mitte pel põhjustel, millest peamisteks on jällegi olulised moonutused ja suur voolutarvitus.

Teiseks elektronlambi konkurendiks oli kristalliline tsinkiitdetektor, mis O. V. Lossevi poolt Nižni Novgorodi raadiolaboratooriumis väljatöötatud eritise meneluse tulemusena võis teatud tingimustel genereerida ja võimendada.

Lossev konstrueeris niisuguse detektoriga vastuvõtja — kristalltüüpi, mis oli palju tundlikum kui tavaline detektorvastuvõtja. Kristalltüüpid levisid mõningal määral, kuid need tõrjus välja elektronlamp, mis töötas palju püsivamalt ja andis suuremat võimendust.

Seega õnnestus elektronlambil minevikus oma konkurentidega küllaltki kergesti toime tulla.

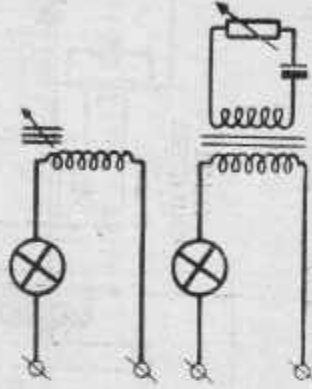
Võreldamatult raskemat võitlust tuleb elektronlambil konkurentidega pidada meie päevil.

13\* Raadiotehnik

195

Mitmetel rakendusosaladel võistlevad elektronlambiga edukalt magnetvõimendid.

Magnetvõimendite tööpõhimõte seisab järgnevas. On teada, et pooli takistuse suuruse vahelduvvoolule sõltub induktiivsusest. Südamikuga poolidel sõltub induktiivsus südamiku magnetilisest läbitavusest. Me võime näiteks valgustuslambi vahelduvvoolu võrku lülitada läbi pooli. Kui poolil pole südamikku, põleb lamp heledalt. Kui hakata poolisse südamikku nihutama, siis pooli takistus



hakkab kasvama ja lambi hõõgumise heledus vähenema. Mida sügavamale sisse südamikku lükata ja mida kõrgem on aine magnetiline läbitavus, seda nõrgemaks jääb lambi hõõgumine.

Magnetilist läbitavust võib muuta südamiku magnetiseerimisega alalisvoolu abil. Kui meie katses mähkida pooli südamikule täiendav mähis ja lasta sellest läbi alalisvool, siis võib voolutugevuse muutmisega reguleerida lambi hõõgumise astet. Alalisvoolu puudumisel täiendav mähises on lambi hõõgumine kõige tugevam.

Magnetiseerides südamikku alalisvooluga võib muuta vahelduvvoolu tugevust sekundaarmähises, mis on mähtud samale südamikule. Suurepärase on nähtus, et väga väikesed alalisvoolu muutused primaarahelas kutsuvad osi tunduvaid voolumutusi sekundaarmähises. Sarnaselt sellega, kuidas elektronlambi anoodvool reageerib tundlikult pingemuutustele võrel, reageerib ka vool transformaatari sekundaarahelas kõige väiksematelegi alalisvoolu muutustele magnetiseerivas mähises. See transformaatoreite ise-

arvus lubab neid kasutada võimendamiseks, s. o. ehitada magnetvõimenditeid.

Magnetvõimendid lubavad saada tohutuid võimendusi — kümneid ja isegi sadu tuhandeid kordi; nad on väga kompaktsed, ei karda tõukeid ega põrutusi ning neil on veel palju hinnalisi omadusi. Kuid on ka puudusi. Peamiseks nendest on asjaolu, et esialgu töötavad nad hästi vaid võrdlemisi madalatel helisagedustel. Ent on alust arvata, et see puudus ületatakse. Igal juhul rakenduste ring, peamiselt väga tundlike releede kujul, millest magnetvõimendij elektronlambi välja tõrjub, laieneb järjest.

Magnetvõimendid on elektronlambile potentsiaalsetelt ohutikum võistlejad, kuid vahest veelgi suurem «õhts» ähvardab viimaseid pooljuht-elektronseadiste poolt.

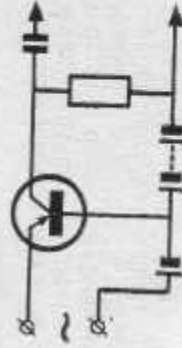
O. V. Lossevi kristaadin ei kannatanud omal ajal elektronlambi survet välja ja loovutas oma positsioonid edukamale võistlejale. Kuid teda ei unustatud täielikult. Nii Lossevi genereerivate kristallide kui ka tavalistele kristalide-ektorite töös oli palju arusaamatut. Juurdlevad uurijad — teaduse jäljeltsijad jätkasid uurimisi, mis osutusid erakordselt viljakaks. Eostus ja arenes uus teadusharu — teadus pooljuhtidest.

Pooljuhtseadistel on palju hinnalisi omadusi. Nende rakendusala ja liigid laienevad pidevalt. Kuproks- ja seleenalaadid, uusimad termogeneraatorid — kõik need pooljuhtseadmed on kindlalt juurdunud tehnikasse.

Eriti suuri edusamme on viimaste aastate jooksul teinud pooljuhtseadised — kristalldioodid ja -trioodid (transistorid).

Juba nimetus ise räägib väga palju. Kristalldioode ja -trioode, mis sisuliselt on vanad kristalldetektorid, nimetatakse nagu lampe dioodideks ja trioodeks. Need nimetused pole naljatleavad, mitte sellised, mis asetatakse jutumärkidesse. Nad peegeldavad loepoolest parimal viisil uusimat tüüpi detektorite omadusi. Need kristalldetektorid võivad nüüd real rakendusosadel asendada elektronlampi ja annavad sageli isegi paremaid tulemusi kui lamp.

Kristalldioodides toimuvad kõik protsessid umbes küm-





neluhändendiku millimeetri paksuses kihtis. Kristallidoodi sisendmahtuvus on ühe kümnendiku pikofaradi piires, mis on aga seda väiksemad, mida kõrgem on sagedus. Vaakuum- ja kristallidoodi jõud osutusid ebavõrdselt Kristall võttis revanši ja tõrjus lambi ühelt positsioonilt välja, tulles muuseas suurepäraselt toime segust ühesa netega.

Kuid see võit polnud, sõjaväelises keeles väljendades lokaalne, s. o. ei piirdunud ühe teatud määral juhusliku ja vähetähtsa kohaga. Tehi kindlaks, et kristallid võivad võimendada ka elektrivõnkumisi (vt. lk. 201). Elektronlambil tuleb taanduda ja loovutada reas rakendustes kohi pooljuhtseadistele.

## VEEL ÜKS KONKURENT

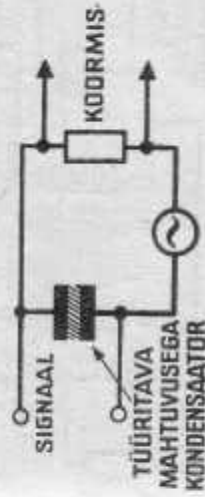
Minevikus õnnestus luua elektronlambile veel üks konkurent, kusjuures esimesel pilgul oli raske isegi ette kujutada, et ta on selleks võimeline. Selliseks konkurendiks, mis imelikul viisil see ka pole, on kondensaator. Tõsi, see pole tavalist tüüpi, vaid eriliste omadustega dielektrikuga kondensaator. Dielektrikul on esiteks üllisuur dielektriline läbitavus  $\epsilon$  ja teiseks võime muuta kondensaatorile rakendatud pingele mõjul  $\epsilon$  väärtust küllalt suurtes piirides. Niisugused omadused on muuseas sellistel dielektrikutel nagu baariumtitaanaadid ja baarium-strontiumititaanaadid.

Niisuguse dielektrikuga kondensaatorile rakendatud pingele väike muutus toob endaga kaasa mahtuvuse järsk muutuse. Tavaliistes kondensaatorites dielektrikumit kasutatava materjali jaoks on selline  $\epsilon$  muutumine suureks puuduseks, kuna mahtuvuse suuruse ebapüsivus (selle sõltuvus pingest) ei luba kasutada kondensaatorit seal, kus on vaja kindlat mahtuvust. Kuid sama omadus viis mõnede võimatuks kasutada taolise dielektrikuga kondensaatorite

198

torit võimendite loomiseks, mis said dielektriliste võimendite nimetusel.

Võimendi töötamise aluseks olev idee sarnaneb magnetvõimendi töötamise põhimõttega. Magnetvõimendis kasutatakse pooli vahelduvvoolutakistuse sõltuvust induktiivsusest, kuid samasugused omadused on ka kondensaatoril: tema takistus vahelduvvoolule sõltub mahtuvusest ja on seda väiksem, mida suurem on mahtuvus. Järelikult, lisades kondensaatori vahelduvvooluallikaga ahelasse võib reguleerida voolu suurt kondensaatori mahtuvuse muutmisega. Kondensaatoriga järjestikku võib liitida koormise, näiteks lihtsa takistuse. Siis langeb koormisel pingele, mis on võrdeline vooluga ahelas: kui vool ahelas muutub, siis läpses vastavuses sellega muutub ka pingelang koormisel.

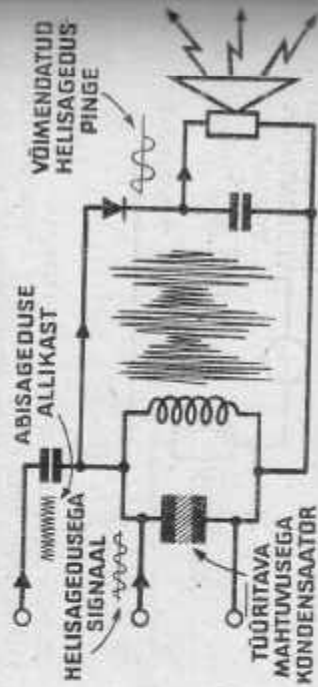


Seda sõltuvust kasutatakse dielektrilises võimendis taolise võimendi töö põhineb näitusele, et juba kõige väiksemalegi pingele suurenemisele või vähenemisele kondensaatoril kaasneb tema mahtuvuse tunduvalt suuremaks muutumine, mis vastavalt tekitab läbi kondensaatori kulgeva voolu suuremaid muutusi. Tulenusest saadakse koormisel vahelduvpinge, mille suurus muutub võrdeliselt signaaliga, s. o. kondensaatorile rakendatud pingega.

Siin on palju ühist magnetvõimendiga, milles kasutatakse voolu muutmist ahelas induktiivsuse muutmise teel saabuva signaali toimet.

Kuid dielektrilisel võimendil on olulised eelised: magnetvõimendite rakendusala piirdub seni kõige madalamasagedusega vooludega. Dielektriline võimendi võib töötada väga kõrgetel sagedustel — kuni mitme megahertsini. Tootamine sellistel sagedustel lubab kasutada veel efektiivsemat võimendi skeemi varianti.

Selleks lülitatakse tüüritav kondensaator võnkeringi, mis häälestatakse resonantsi teda toitva kõrgsagedusliku vahelduvvooluallika sagedusega. Nagu teada, on resonantsi korral võnkeringi takistus väga suur ja pinge saavutab maksimumi. Häälestuse muutmisel langeb pinge võnkeringil järsult. Seda omadust võib kasutada näiteks võimenduse saamiseks helisagedustel. Selleks antakse või mündatav helisageduspinge kondensaatorile. Tulenusena muutub kondensaatori mahtuvus sama sagedusega, korr sellega muutub aga kõrgsageduspinge võnkeringil.



Kondensaatori mahtuvuse ja abivooluallika sageduse sobiva väliku korral võib saavutada, et kõrgsageduspinge võnkeringis muutub suuruse võrra, mis palju kordi ületab sisendsignaali pinge. Seda liiki dielektriline võimendi (alidab oma funktsioone üsna huvitavalt, ta on nagu modulaator-võimendi: kõrgsageduspinge võnkeringil moduleeri takse pealeantava helisagedusega. Detekteerides need moduleeritud pinget, eraldame temast võimendatud helisageduspinge. On olemas andmeid, et taolise dielektrilise võimendi üks kaskaad võib võimendada helisagedusvõnkumisi võimsuse järgi sadu ja isegi tuhandeid kordi.

Dielektrilise võimendi skeemi kirjeldatud variant on vaid üks võimalikest. Niisuguse võimendite eelis on nende väikestes mõõtmetes ja suure vastupidavuses, samuti katoodi kütamiseks vajalike energiakulude täielikult puudumises (katoodi pole dielektrilises võimendis üldse). Need

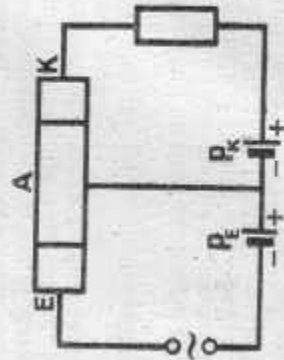
velised paistavad küllalt ahvatlevatena, nii et lähemalt aastail võiks oodata löid dielektriliste võimendite praktilise rakendamise ajal. Viimastel aastatel on ilmunud veel mitut tüüpi võimendeid, millest jutustatakse edaspidi

## MIKS TRANSISTOR VÕIMENDAB

Käesoleval ajal on leidnud suurima leviku lamedad kristalltrioodid ehk transistorid. Nende ehitus on järgmine: kristalli — baasiks või aluseks nimetatava pooljuhist plaadikese — vastaskülgedel on kunstlikult loodud kihid teist liiki juhtivusega, kui on plaadikesel endal. Oletame, et põhiplaadike on urvejuhtivusega; siis luuakse tema külgpindadel — vasemal ja paremal, nagu näidatud joonisel — elektronjuhtivusega kihid. Aluse ja pinnakihtide külge joodetakse juhtmed, mis moodustavad väljundid. Pinnakihtide  $E$  ja  $K$  ja aluse  $A$  vahele on rakendatud pinge patareidelt  $P_E$  ja  $P_K$  joonisel näidatud polaarsusega.

Iga pinnakiht moodustab koos alusega nagu dioodi, kihi ja aluse vaheline piir aga on sisemiseks üleminekuks. Seega on transistoril kaks sisemist üleminekut: üks — vasema kihi  $E$  ja aluse  $A$  vahel, teine — aluse  $A$  ja kihi  $K$  vahel. Igas

sellises üleminekus leiavad aset protsessid, mille olemust on kirjeldatud lk. 192. Milleni see viib? Vasemade kihile  $E$  on rakendatud aluse suhtes negatiivne pinge. See loob kihi sisemuses elektrivälja, mille mõjul alade  $E$  ja  $A$  vahelisel piiril muutub tšokkeit ohemaks ning



elektronid tungivad kihist  $E$  kergesti alusesse. Pihtlikul võib seda ette kujutada nii, nagu looks-vasakpoolne kiht aluse poole püüdlevate elektronide voo, ta nagu «pritsiks» elektrone kristalli. Seepärast nimetatakse teda emitteriks — kiirgajaks, ja joonisel me tähistasime ta tähega  $E$ .

Emitteri ja aluse vahelise ülemineku takistus on väike mis viib selleni, et väikesed pingemuutused emitteril kutsuvad esile tunduvalt suuremaid muutusi tema ahelas läbi vasakpoolse ülemineku.

Nüüd vaatame, mis toimub teises üleminekus. Elektronjuhtivust omavale parempoolsele kihile  $K$  on rakendatud aluse suhtes positiivne pinge ja seepärast on siinsel pildil eespool analüüsitud vastupidine iseloom: väline pinge loob aga  $K$  sees elektrivälja, mis suurendab tõkkekihi paksust  $A$  ja  $K$  vahelisel piiril. Et urvejuhtivust omavas aluses pole vabu elektrone, ei tule sealt parempoolsesse kihti uusi elektrone juurde. Järelikult ei pea ka välisahelas patarei  $P_A$  ja kihi  $K$  vahel olema voolu. Kuid see-est luuakse väga head tingimused alusesse vasemalt, emitterist tulevate elektronide edasiliikumiseks: nad satuvad välja ja mõju alla, mis soodustab nende liikumist parempoolse pinnakihi suunas ja kergelt üleminekut sellesse kihti, aga seejärel ka edasi — välisahelasse, patarei poole. Parempoolne kiht  $K$  nagu koguks endasse emitteri poolt «sissepritsitud» elektrone, seepärast on talle omistatud kollektori — koguja nimetus.

Seega luuakse vool kollektori ahelas emitteri poolt alusesse viidud elektronide arvel. Vool on seda tugevam, mida suurem on emissioon.

Seni rääkisin ainult sellest, mis toimub transistoris toitepatareide  $P_E$  ja  $P_A$  poolt loodud pingete mõjul. Kui emitteri ahelasse viia sisse veel vahelduvpinge, siis hakkab emissioon selle mõjul kasvama ja kahanema taktisepinge muutumise sagedusega, järelikult hakkavad samasuguse sagedusega vooluvõnkumised toimuma ka kollektoriahelas.

Tuleb märkida, et niisugune transistoride sisemus toimuvale protsesside kirjeldus on äärmiselt lihtsustatud. Tegelikult on need protsessid mõõtmatault keerulisemad.

Nüüd läheme üle välise väljundahela juurde — kollektoriahela käsitlemisele. Sellesse on liititud koormus takisti  $R_K$ , millel kollektorvoolu läbiminekul luuakse pingelang. Mida tugevam on vool, seda suurem on pingelang

$R_K$ . Ent kuna vool kollektoriahelas sõltub emitteri  $E$  poolt liitunud elektronide hulgast, võib öelda, et pingelang koormus takistil sõltub elektronide emissioonist, viimane omakorda aga määratakse emitteriahelasse sisseviidud vahelduvpingega. Selle pingega taktis muutubki pingelang koormusel.

Kristalltrioodi üldist «võimendamismehhanismi» võib kujutada samasugusena nagu vaakuumtrioodilgi või üldse vaakuumelektronilampidel (vt lk. 59). Kui rääkida nüüd ristlõikelise ja elektrivaakuumtrioodi analoogiast, võib emitterit lugeda katoodi, alust — võre, kollektorit aga anoodi analoogiks. Näitlikkuse mõttes saab trioodi vaadelda nagu vahelduvtakisti  $R_K$ , mille suurus sõltub temale rakendatud pingest. Vahelduvtakisti on järjestikku ühendatud kollektori koormus takistiga ja selle toiteallikaga. Vastavalt trioodi takistuse muutumisele toimub pingete ümberlootumine vahelduvtakisti ja koormus takisti vahel.

Transistori esitatud ülitusskeemides on kollektorile antud «pluss». See pole kohustuslik. Laialt on levinud konstruktsioonid, milles alus pole urve, vaid elektronjuhtivusega. Pinnakihtidel, vastupidi, on siis urvejuhtivus. Patareide polaarusus muutub, emitterile antakse positiivne, kollektorile aga negatiivne pinge. Sel juhul ei kiirga emitter enam elektrone, vaid urbeid. Transistori töötamise põhimõte ise sellest ei muutu.

## PARAMETRILISED VÕIMENDID

Voib-olla pole igaüks mõelnud selle üle, mida kujutab endast võimendamine.

Me ei saa võimendada elektrivõnkumisi, kulutamata selleks teatud võimsust. Võimendatud võnkumistel on suurem amplituud, nende energia kasvab. Juurdelunud energiat ei saa tekkida mitte millestki, teda tuleb sisse viia väljastpoolt.

Nii tegelikkuses toimubki. Võimendi ei saa töötada ilma toiteita, saamata väljastpoolt energiat, kusjuures energiat tuleb süsteemi viia nii, et olemasolevad elektrivõnkumised võimendaksid. Energia sisseviimine peab toimuma võnkumistega samas taktis, muidu võib olemasolevaid võnkumisi mitte võimendada, vaid kustutada.

Uute võimenditüüpide hulka kuuluvad niinimetatud parameetrised võimendid. Tutvume nende tööga.

Võnkering koosneb induktiivpoolist ja kondensaatorist. Induktiivsus ja mahtvus on ühtedele võnkeringi parameetritele. Meenutame, millega võrdub kondensaatori pinget kui talle anda mingi laengu. See on

$$u = \frac{q}{C},$$

kus  $u$  on kondensaatori pinget,  $q$  — laeng,  $C$  — mahtvus.

Pinge on võrdeline laengu suurusega ja pöördvõrdeline kondensaatori mahtvusega. Sellist

suurendamiseks kondensaatoril pole kohustuslik suurendada tema laengut, s. o. anda talle täiendav elektrilühki. Sama efekti võib saavutada samuti kondensaatori mahtvuse vähendamise teel.

Kui võnkeringis toimuvad elektrivõnkumised, siis muutub laeng ja järelikult ka pinget kondensaatoril sinusoidaalselt. Kaks korda perioodi jooksul on laeng kondensaatoril katetel kõige suurem.

Mis aga toimub, kui just nendel momentidel vähendame kondensaatori mahtvust? Kondensaatori laeng sellest ei muutu, kuid pinget kondensaatoril kasvab samapalju kordni mitu korda väheneb kondensaatori mahtvus.

Ent pinget suurendamine kondensaatoril tähendab võnkumiste amplituudi suurenemist, nende võimendamist. Seega võib võnkumiste võimendamiseks võnkeringis

kondensaatori suurima laengu momentidel vähendada tema mahtvust, et kondensaatori täieliku tühjaklaadumise ajal viia kondensaatori mahtvus tagasi algväärtuseni. Kaks korda võnkeringis jooksul tuleb mahtvust vähendada ja kaks korda viia tagasi algväärtuseni. Seda on vaja teha võnkumistega taktis — täpselt suurima laengu ja täieliku tühjaklaadimise momentidel — ja nendega faasis vähendada täieliku laadimise ja suurendada täieliku tühjaklaadimise momentidel.

Niiviisi võib võnkumisi võnkeringis võimendada. Et võimendus toimub ühe parameetri muutmise teel, sat sel line viis parameetrisse võimendamise nime.

Loomulikult ei toimu ka siin võimendamine ilma energiakuluta. Kondensaatori plaatide vahel on olemas elektrivälja ning plaatide laialinibutamiseks on vaja kulutada teatud energiat (mis võrdub  $\frac{dC}{2C} q$ ). See energia tugevdab kondensaatori välja, mille tagajärjel kasvabki pinget. Kondensaatori mahtvuse suurendamisega algväärtuseni tema täieliku tühjaklaadimise hetkedel ei kausne mingil täiendavat energiakulu, sest plaatide lähendamise ei kolta välja vastumõju (teist liiki energiakadusid, mis on vajalikud kondensaatori algmahtvuse taastamiseks, me lihtsuse mõttes ei arvusta).

Parameetrisse võimendi praktiline teostamine pole keeruline. Selleks võib kasutada näiteks pooljuhtdiodi. Diodil on tükkekiht, kus puuduvad vabad laengukandjad. See kiht asub erineva juhtivusega kihtide vahel. Seega kujutab diood endast sisuliselt kondensaatorit. Niisuguse kondensaatori «plaatides» vaheline kaugus, s. o. tükkekihi paksus sõltub pinget märgist ja suurusest mõlemal juhul. Pingeandmisel ava suunas väheneb kihi paksus, vastupidisel märgiga pinget andmisel ta suureneb. Muutes pinget dioodi kihtidel võib muuta vajalikul viisil dioodi kui kondensaatori mahtvust. Diodid kujutab endast muutvmahtvusega kondensaatorit, millel mahtvuse muutumist võib tüüri samade võnkumistega, mida on vaja võimendada, elektriloidet saab ta aga generaatorist, mida sageli nimetatakse pumpamisgeneraatoriks.

Võnkumiste amplituudi suurendamine, nende võimendamine ei saa olla lõputu. Mingi piiri saavutamisel hakkab seade võnkumisi genereerima — muutub parameetrisseks generaatoriks.



Kaasaegsed diodid võimaldavad parameetritelistel võimenditel töötada väga kõrgetel sagedustel — kuni mõne kümne tuhande megahertsini. Parameetrilisi võimendeid iseloomustavad väga väikesed omamürad. Kui tõkkekõhile anda mingi negatiivne eelpinge, siis puuduvad selles kihis praktiliselt vabad laengukandjad ja mürad viiakse täiesti tühise väärtuseni.

Nagu lugeja arvatavasti märkas, on parameetritelistel võimenditel väga palju ühist regeneratiivvõimenditega. See sarnasus ulatub veel kaugemale. On võimalik omamoodi «üliregeneratiivsetes» parameetrilistes võimendite ehitamisel. Olinparameetriliste ja üliregeneratiivsete võimendite töö põhimõtted on sisuliselt analoogilised. Parameetrliline võimendi viiakse kindel arv kordi sekundis genereerimiseni, mis kobe kustub (samuti töötab üliregeneraator). Parameetrliline üliregeneraator võimaldab suurendada signaali võimsust mõnedel juhtudel kümneid miljoniteid kordi.

## MOLEKUL KONKUREERIB RAADIOLAMBIGA

Jooksva lainega lambiga võimendi töö põhimõte on kõigi jaoks juba tuntud. Selles lambis on katoodi poolt kiiratud elektronkiir ümbritsetud spiraaliga, mida mõõda liigub elektromagnetiline laine. Keerdude diameeter ja spiraali samm valitakse nii, et laine liiguks piki spiraali teige edasi sama kiirusega, millega liiguvad elektronid kimbus. Liikuv laine mõjutab elektrone kimpu, ta moodustab selles lihen düsi ja hõrendusi vastavalt oma väljale. Liikudes piki kimpu mõjutavad need tihendused ja hõrendused lainet ning olles viimasega taktis ja faasis, võimendavad seda. Toimub energiovahetus elektronkimbu ja elektromagnetilise välja vahel. Võimendamise toimub lõpuks lambi toiteallikate energia arvel. Meile pakub arutud juba huvi asjaolu, et elektromagnetilisi võnkumisi ei võimendata mitte kontuuris, vaid vahetult lambisisises ruumis. Lamp ämmu-

206

lub võimendamiseks vajalikku energiat elektronkimbu väljast.

Midagi sarnast toimub ka ühes tuusimas võimendiliigis — molekulaarvõimendites. Siin liigub laine mingis gaasis, võtab temalt «mõdaminnuse» energiat ja seetõttu võimendub. Gaasimolekulide energia seejuures väheneb. Kuna niisugusest võimendamisest võtavad vahetult osa molekulid, nimetatigi sellist tüüpi võimendit molekulaarseks.

Pärast eelneva lõigu läbilugemist tekib lugejal kahe küsimuse. Esimene — miks ei võimendu elektromagnetilised lained, mis levivad õhus, s. o. samuti gaasis. Teine — miks rikutakse nagu «scadust» vajadusest kulutada võimendamiseks energiat. Gaas ei vaja ju kütte- ja anoodpataraid, kui aga võimendamiseks kulutatakse gaasi energiat, siis on see energia «tasuta» — las jääb gaasi energia pärast võimendamist väiksemaks, las gaas näiteks juhtub.

Vastus nendele küsimustele on väga lihtne: iga gaas pole võimeline elektromagnetilist võnkumisi võimendama. Seda suudab teha ainult eriliselt viisil ettevalmistatud gaas, ja selliseks ettevalmistamiseks tuleb kulutada energiat.

Tavaliselt on meil tegu suurte ainemassidega, mis alluvad vana klassikalise füüsika seadustele. Keha mass, kiirus ja energia võivad olla ükskõik millised. Keha kiirus näiteks võib muutuda pidevalt. Isegi üksikud elementaarosakesed võivad omada meelevaldseid kiirusi ja järelikult igasugustes lojutes kineetilist energiat. Ent kui elementaarosakesed moodustavad kõige primitiivsemaid seotud süsteeme, näiteks aatomeid või molekule, siis niisuguse süsteemi sisemine energia, mis on tingitud teda moodustavate osakeste vastastikkusest asendist, ei saa omada üksikõik milliseid meelevaldseid väärtusi. Võimalikud energiväärtused on rangelt kindlaks määratud. Neid võib olla mitu, süsteem võib omada kindlat kogumit kättesaadavaid, et saa olla väärtusi, mis on suuruselt kahe elubatud» nivoo tema jaoks «lubatud» nn. energianivoosid. Tema energial vahepealne. Sellistel juhtudel räägitakse, et süsteemi energia on kvantiseeritud. Süsteemi energia võib muutuda ainult hüpetena — ühelt «lubatud» nivoolt teisele.

Energianivoo muutumisele kaasnevad teatud füüsikalised muutused. Need võivad seista näiteks elektroni üleminekus ühelt kihilt teisele või molekulide pöörlemisenergia muutumises.

Selleks et elementaarsüsteem läheks üle kõrgemale ener-

gianiivole, on vaja talle anda kindel energiahulk. See võib olla elektromagnetilise laine energia. Niisugune gaas neelab vastava sagedusega elektromagnetilisi laineid. Kui elementaarosake pöördub tagasi oma esialgsesse energiasundis, siis ta kiirgab välja samasuguse sagedusega elektromagnetilise laine. Tuleb arvestada kahte asjaolu. Esiteks, energiale, mis on vajalik elementaarsüsteemi üleminekuks kõrgemale energianivolele, vastab täiesti kindla sagedusega elektromagnetiline võnkumine, mis seelub asjaoluga, et elektromagnetilise laine energia sõltub tema sagedusest. Antud elementaarsüsteemid neelavad ja kiirgavad ainult täiesti kindla sagedusega elektromagnetilisi laineid. Teiseks, süsteemi kõige püsivamaks seisundiks on see, mis vastab kõige madalamale energianivolele. Iga korral energianivool asuv süsteem püüab üle minna sellisesse püsivasse seisundisse. Piisab väiksemastki impulsi väljastpoolt, et niisugune üleminek toimuks ja süsteem läheks püsivasse seisundisse, kiirates portsjoni elektromagnetilisi võnkeid.

Kujutleme nüüd, et meil on gaas, mille kõik molekulid on viidud kunstlikult mingile energianivole, mis ületab kõige madalama taseme. Võib öelda, et need molekulid asuvad «ergutatud» seisundis. Kui läbi sellise gaasi lasta vastava sagedusega elektromagnetilisi võnkeid, siis hakkavad elementaarsüsteemid nende mõjul üle minema kõige püsivemale, madalaimale energianivolele, seejuures vabanev energia kiiratakse aga samasuguse üleminekuid esile kutsumud sagedusega elektromagnetiliste võnkumiste näol. Seega niisuguse «ergutatud» gaasi atmosfääri sattunud elektromagnetilised lained võimenduvad, nende energia suureneb selle energia arvel, mida kiirgavad gaasi moodustavad elementaarsüsteemid.

Muidugi, selline energia suurenemine ei kesta pikka aega. Mingisuguse praktiliselt väga lühikese ajavahemiku järel lähevad kõik gaasiosakesed üle madalamale nivolele ja elektromagnetiliste lainete võimendamine lakkab. Olgemini, algab vastupidine protsess — gaasiosakesed hakkavad neelama elektromagnetilise laine energiakvante (lained on ju nimelt selline sagedus, mis neeldumiseks vajalikuks osutub) ja uuesti üle minema «ergutatud» seisundisse. Selleks kulutatakse gaasi juhitud elektromagnetilise laine energiat ja laine hakkab mitte võimenduma, vaid nõrgenema.

208

Et nii ei juhtuks, on vaja gaasiosakesi hoida pidevalt ergutatud seisundis. Seda molekulaarvõimendites tehakse. Need võimendid kujutavad endast hermetiseeritud ja neelnevalt tühiakspumbatud klaasnõu, millest lastakse läbi gaasi, tavaliselt vastaval viisil töödeldud ja «soelatud» ammoniaagimolekulide kimp. Need molekulid asuvad «ergutatud», aktiivses seisundis. Anumas läbivad nad õõsonaatori, satuvad elektromagnetilise laine mõju alla ja annavad sellele kogu oma energia. Aktiivsuse kaotanud gaasimolekulid pumbatakse välja, nende asemel saabuvad anumas aga üha uued aktiivsete molekulide hulgas. Võimendatud elektromagnetilised võnkumised juhitakse õõsonaatorist välja tavalisel viisil.

Siin on molekulaarvõimendist jutustatud vaid kõige üldisemates joontes ja lihtsustatud kujul, et anda ettekujutus tema töötamise peamisest printsibist. Molekulaarvõimendid on keerukad seadised, kuid neil on tähtis eelis — nad ei «kähise», s. t. on peaaegu vabad «sisemüradest». Teatud ebamugavuseks on nende omadus võimendada vaid ühe, kasutatavale gaasile omase sagedusega võnkumisi. Ammoniaagil vastab see sagedus lainepikkusele 1,27 cm. See-eest on selline püsiv sagedus molekulaargeneraatorite erandseks eelseks, kuna vaadeldud põhimõtte alusel võib valmistada niihästi võimendeid kui ka generaatoreid. Molekulaargeneraatorid annavad rangelt püsivat sagedust. Kahe generaatori sagedused ei erine teineteisest mitte rohkem kui miljardiku võrra. Molekulaargeneraator on kõrgist teadaolevaist generaatoreist kõige stabiilsema sagedusega.

Generaatori tööks on vaja kimpu miljardist miljardist molekulist sekundis. Sellist hulka molekule on raske välja pumbata, seepärast külmutatakse töötanud ammoniaagimolekulid (nagu öeldud, kasutatakse käesoleval ajal praktiliselt ammoniaaki) lihtsalt kinni.

Nõu sisse asetatakse pinnad, mida jahutatakse vedela lämmastikuga temperatuurini — 196°C. Töötanud ammoniaagimolekulid külmuvad nende pindade külge.

Sellise kvant-raadioelektronilise aparatuuri abil on me teadlased N. G. Bassov ja A. M. Prohhorov saanud suurepäraseid tulemusi. Näiteks on osutunud võimalikuks luua üliilpsed raadioelektronilised kellad, mille viiga 3000 aasta jooksul on 1 sekund.

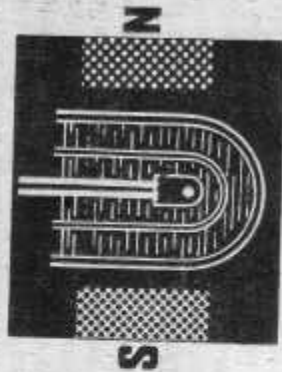
209

## PARAMAGNETILISED VÖIMENDID

Molekulaarvõimenditele ja -generaatoritele omaste mürade puudumine on nende lohutuks positiivseks omaduseks. Nad on võimelised võimendada või genereerima ainult ühe sagedusega elektromagnetilisi võnkumisi. Niisuguste võimendite ja generaatorite ümberhäälestamine teisele sagedusele ja laia sagedusriba võimendamine või genereerimine nende abil on võimatu. Seepärast võib «monosageduslikkust» lugeda üheaegselt nii suureks väärtuseks kui ka mitte vähem oluliseks puuduseks.

Kas sellest puudusest ei saa kuidagimoodi mööda minna?

Püüame selgusele jõuda põhjustes, miks molekulaarvõimendi on monosageduslik. Võimendis (generaatoris) töötav molekuli kimp koosneb üksikutest iseseisvatest molekulidest, mille vahel pole vastastikkust sõidet. Sellised



molekulid on täiesti ühesugused, neil on ühesugused lubatud energianivood ja molekulide üleminekuga ühelt nivoolt teisele kaasneb täpselt ühesuguse sagedusega elektromagnetiliste võnkumiste neeldumine või kiirgamine.

Molekulaarvõimendist on teada, et kui molekulid on vastastikkuses mõjutuses teiste molekulidega, siis seotud molekulidest moodustunud süsteemidel on teised energianivood

210

kui üksikutele molekulidel, «lubatud» nivooide arv ise on aga suurem. Seepärast peab paljusageduslik võimendi omama «töötava kehana» seotud molekule. Niisugused molekulid võivad tekkida gaasides, kui nende osakesed kokku pööravad ja kombineeruda võivad. Veel sagedamini saavad sellised molekulid tekkida vedelikes ja tahketes kehtades.

Kuid neil juhtudel on väga raske molekule või süsteeme üle viia aktiivsesse, «ergutatud» seisundisse, kus neil on liiaenergiat. Kuid meie teadlastel õnnestus see raskus ületada ja välja töötada võimendamise (genereerimise) meetod, mida hakati nimetama paramagnetiliseks.

Meetodi olemus seisab järgnevas. Voeti paramagnetiline kristall, millel on kolm energianivoo: kolmanda nivoo energia on suurem teise omast, mille energia omakorda on suurem esimese, kõige madalama taseme omast. Kui sellist kristalli jahutada, siis pole erinevatel nivoodel asuvate osakeste arv ühesugune. Näiteks on mõnel tingimisel kõige rohkem osakesi madalaimal nivool. Keskmisel nivool on neid 5%, kõrgeimal aga 20% vähem.

Kui lasta läbi kristallil sellise sagedusega elektromagnetilisi võnkumisi, mis vastab energivahale ükskõik milliste nivooide vahel nendest kolmest, siis toimub energia neeldumine. Väjaliku sagedusega lainete valikul toimub näiteks osakeste üleminek esimeselt (madalaimalt) nivoolt kolmandale. Tulenusena võib osakeste arv esimesel ja kolmandal nivool saada ühesuguseks. Seejuures osutub, et keskmisel nivool on rohkem osakesi kui madalaimal. Järelikult on kristallis liisaenergiat, ta on «ergutatud». Kui suunata sinna elektromagnetilisi laineid, mis soodustavad osakeste üleminekut teiselt nivoolt madalaimale, siis vabaneb energiat; tulenusena osutub elektromagnetiline laine ergutatuks.

Paramagnetilist kristalli tuleb tugevasti jahutada — peaaegu absoluutse nullini. Jahutamine toimub vedela heeliumiga. Kristall asub tugeva magneti pooluste vahel. Muutes magnetvälja tugevust, võib võimendit laiades piirides erinevatele sagedustele ümber häälestada.

Paramagnetiliste võimendite sisemürad on tunduvalt madalale temperatuurile äärmiselt väikesed.

Paramagnetilised võimendid ja generaatorid on seni veel keerulised ja ebamugavad, kuid neil on palju väärtuslikke omadusi. Kui õnnestub toime tulla ilma jahutuse ja teiste lisaseadmeteta, siis on võimenduselemendiks ainult



rikmata, kulumatu, raputusi mittekartev kristall. Elektro magnetilised võnkumised lastakse läbi kristalli ja need väljuvad temast võimendatuna.

Perspektiiv on väga ahvatlev ja sugugi mitte fantastiline.

## HALLI EFEKTI KASUTAVAD VÖIMENDID

Elektronikiiretoru kaelale on paigutatud ioonipüünis magnet. Selle ülesanne on teada — ta kallutab toru katoode ja anoodile lendavate elektronide kimpu. Kallutamine toimub liikuvate laengute ja magnetvälja vastastikuse mõju tõttu. Tulemusena satub elektronimp diafragma avasse ja saab võimaluse liikuda edasi, raskemad ioonid aga kalduvad kõrvale vähem, ei satu avasse ja peetakse diafragma poolt kinni.

Kujulteme nüüd, et rakendamine pinge juhtivast materjalist kuubikule, näiteks selle ülemisele ja alumisele tahule. Elektrivälja mõjul hakkavad materjali vabad laengud liikuma kuubiku sees ülemiselt tahult alumisele või vastupidi, sõltuvalt välja suunast ja laengute märgist. Laengute liikumine on kogu materjali paksuses ühtlane, seepärast tekki mitte ühelgi ülejäänud (külg-) tahkudest vastastabuh suhtes pinget.

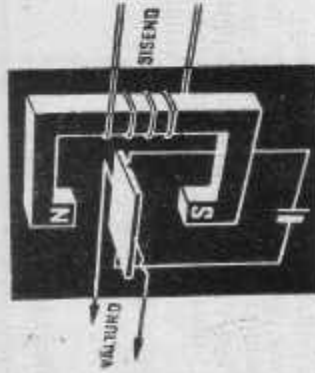
Agas me teame, et kui laengud liiguvad magnetväljas, siis nad nihkuvad kõrvale. Seepärast, asetanud meie kuubiku magnetvälja, võime oodata, et voolu moodustavad laengud nihkuvad kõrvale. Ühe tahu juures, kuhu laengud «puhutakse», osutub neid olevat rohkem kui vastastahu juures. Kui aga laengute hulk tahkude juures pole ühesugune, siis peab nende vahel tekkima elektripinget.

Ameerika teadlane E. Hall tegi 1881. a. kindlaks, et niisugune pinge tõepoolest tekib. Ta asetas juhtiva materjali magnetvälja ja lülitas sellele pinge. Materjali külgsuunas

212

del tekkis kooskõlas ülaöelduga pinge. Seda nähtust nimetati Halli efektiks.

Halli efekti uurimisel limnes võimalus kasutada seda võimendamiseks. Osutus, et juhtiva keha külgsuunas tekkinud pinge, mida võib lühiduse mõttes nimetada Halli pingeks, sõltub erakordselt tugevasti magnetvälja suuruselt. Magnetvälja vähimad muutused kutsuvad esile Halli pinge ja suuri muutusi seda pinget lühistava ahela voolus.



Joonisel on kujutatud võimendusseade, mille töö põhib Halli efektil. Juhtivast materjalist kuubik või täisnurkne plaat asetseb mähisega magneti väljas. Sellesse mähisesse juhitakse elektrivõnkumised, mida on vaja võimendada. Magnetväljaga ristisuunas asuvalle kahele tahule antakse ahipinget, mis tekitab materjalis voolu. Kahelt vastastahult võetakse Halli pinge, mis on väljundpingeks. Väga väikesed voolu muutused sisendmähisest kutsuvad esile palju suuremaid Halli pinge muutusi. Tulemusena võimendatakse elektrivõnkumisi.

«Tõttava kehana», s. o. voolujuhtiva materjalina kasutatakse seda liiki võimendites suure laengute liikuvusega pooljuhte, näiteks indiumantimoniidi või -arseniidi.

Sellel põhimõttel ehitatud võimendid on erakordselt tundlikud magnetvälja muutustele, muuhulgas magnetmasinate nihkumisele. Nende abil võib avastada magnetmasside nihkumisi suurusjärgus  $10^{-8}$  cm.

Energia, mille arvel toimub võimendamine, ammaltakse patareidest, mis hoiavad juhis voolu. Põhimõtteliselt





## METALLISOLAATOR

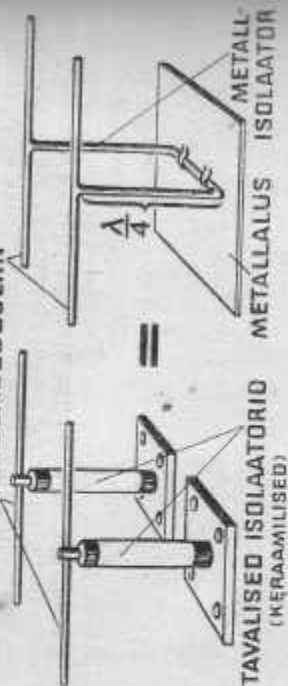
Mis juhtub, kui kaks vooluga juhet ühendada metallisilla abil? Ilmselt tekib nende juhtmete vahel lühühendus.

See on muidugi õige, kuid mitte alati. Alafisvoolu puhul on metallisild lühiseks, kuid vahelduvvoolu puhul võib metallisilla valmistada sellise pikkusega, et juhi käitumine muutub järevalt: ta kaotaks nagu oma juhtivad võimed ja muutuks isolaatoriks. Seda on eriti kerge teha ülkõrgsetel sagedustel, kus sildade mõõtmed pole suured.

Kui näiteks lühistada kahejuhtmeline liin, mida mööda antakse edasi võnkumiste energiat sagedusega 100 MHz; (laine 3 m), II-kujulise juhtmega, mille külgede pikkus on 75 cm, siis ei osutu selline sild lühühenduseks; protsessid toimuvad liinis nii nagu poleks mingit silda, nagu oleks sild tehtud isoleerivast materjalist. Pika kahejuhtmelise liini võib kinnitada niisugustele «metallisolaatoritele» ning mingit energiat äravoolu ei toimu.

Sellise ebatavalise ja esimesel pilgul tervele mõistusele vasturääkiva nähtuse põhjuseks on asjaolu, et juhtides on protsessidel erinev iseloom, juhul kui juhtme pikkus osutub võrreldavaks lainepikkusega. Meie näites on metallisilla külje pikkus (75 cm) võrdne veerandi lainepikkusega ( $3/4 = 0,75$ ). Me saame kahejuhtmelise liinilõigu pikku

## KAHEJUHTMELINE KÕRGSAGEDUSLIIN



216

segu veerand lainepikkust, mis on ühest küljest lühistatud. Sellise lõigu ühendamisel liiniga, mida mööda antakse edasi samasuguse lainepikkusega võnkumiste energiat, ergutatakse lõigus niimetatud seisvaid laineid, mille iselärasuseks on see, et avatud otsas, s. o. kohas, kus sild on ühendatud liiniga, osutub vool võrdseks nulliga.

Kui aga vool on võrdne nulliga, siis on see ekvivalentne juhuga, millel takistus võrdub lõpmatusena. Metallist veerandilainesilla on resonantsisageduse jaoks lõpmatu suur takistus, s. o. ta oleks nagu isolaatoriks.

Muidugi, niipea kui vajalikku vahetorda rikutakse ja laine muutub lühemaks või pikemaks resonantsiväärtusest, s. o. silla kõrgus ei võrdu veerandi lainepikkusega, kaotab metallisild oma isoleerivad omadused ja hakkab tarbima energiat.

Teisel, lühises oleval silla otsal on samuti huvitav omadus: seisvaid laine asetub nii, et selles otsas on kõrgsageduspinge võrdne nulliga. See aga tähendab, et silda võib kinnitada maandatud metallipinnale ja see ei kulgu esile mingid voolukadusid.

See ühest otsast lühistatud veerandilaineliini suurepärase omadus leiab laialdast kasutamist meetri- ja sentimeeterlainete tehnikas. Pikematel lainetel nähtu iseloom säilib, kuid metallisolaator kujuneks liiga pikaks ja poleks praktiliselt rakendatav. Näiteks keskaineala kõige lühema laine jaoks oleks vaja liini pikkusega 50 m. Isegi lühilainetel moodustaks veerand lainet mitu meetrit

## JUHTMETETA JA RAADIOTA TELEFON

Ringhääling sai võimalikuks seetõttu, et raadiolained levivad ümber saafja antenni igale poole ja saadet võib vastu võtta iga raadiovastuvõtja omanik.

Ent mõnikord muutub see raadio väärtus puuduseks ja seda juhul, kui raadiosaadet ei tohi vastu võtta see, kellele

217

ta pole adresseeritud, s. o. kui on vaja, et saadet ei saaks pealt kuulata. Nii on näiteks sõjatingimustes, kus peab olema kindel, et vaenlane ei saa kõnet minni püüda. Just raadiosaadet aga ongi kerge vahelt haarata ja peale selle kindlaks teha saatja asupaika.

Suureks puuduseks on asjaolu, et vaenlane võib suhteliselt lihtsate vahenditega tekitada häireid, mille puhul vastuvõtt ositub võimatuks.

Kogusurmas viis kõik see selliste uute meetodite otsingutele traadita kaugsides.

Teise maailmasõja ajal kasutati sideks lühikeste vahemaade täha valgus- (optilist) telefoni, mille olemus taan dub järgnevale: saatjaks oli võimas valgusallikas, mis saatis vastuvõtja suunas välja peene valguskiire. Saatja valgus moduleeriti helisagedusega, s. o. allika beledust tüüpiti helisagedusvõnkumistega. Vastuvõtjas mõjutas niisugune moduleeritud valguskiir fotoelementi ja valguse kõikumised muutusid uuesti helisagedusega elektrivõnkumisteks, mis panid tööle telefoni või valjuhääldi.

Sellist «valgusega» jutuajamist on raske pealt kuulata ning häireid lüüa pole samuti eriti lihtne. Näha aga valgusallikat ja seega sideliini avastada on siiski võimalik.

Infrapunased kiired võimaldavad vabaneda ka sellest puudusest. Side põhimõte jääb samasuguseks nagu ülalpool kirjeldatud, kuid saatjas kasutatakse erilisi valgusallikaid, näiteks tseesium- või tsirkooniumlampe. Sellise lambi nähtamatut kiirt moduleeritakse helisagedusega ning vastuvõtukohal langeb ta fotoelementile, mis on tundlik infrapunastele kiirtele, saadud signaali aga võimendatakse nagu harilikult madalsagedusvõimendiga ja pannakse tema abil tööle akustiline aparaat.

Niisugust tüüpi telefoniline kasutatakse sideks lühikeste vahemaade puhul.

## KRISTALL TULISTAB VALGUSEGA

Lõigu «Kaks läbipaistvuse akent» viimased read (lk. 135) panid tõenäoliselt paljusid lugejaid mõnevõrra imestama. Nendest ridadest järgneb, et sideks kosmoselaevade ja teiste planeetidega hakatakse «muuseas kasutama» ka raadiot.

«Aga mida siis sellel eesmärgil veel kasutada?» küsib lugeja. «Kaugete vahemaade puhul oleks raadio ju nagu ainukeseks traadita sidevahendiks.»

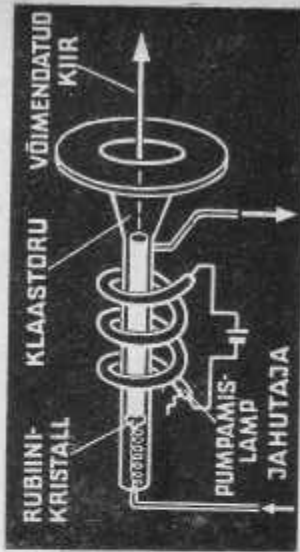
Kuid teaduse kiire areng on näidanud, et raadiot ei saa kosmilise side monopolistiks lugeda. Lõigus paramagnetilistest võimenditest ja generaatoritest (vt lk. 210) jutustatakse, et kristalli aatomid võivad minna ergutatud seisundisse ja omada liigset energiat, mida nad kindlatel tingimustel võivad ära anda. Selle nähtuse kasutamisel rajaneb paramagnetiliste võimendite ja generaatorite töö.

Mõnedel kristallidel on võime salvestada neile antud energiat võrdlemisi pikaks ajaks ja teatud mõjutamisel kohe ära anda. Mingi ajavahemiku jooksul kogutud energia antakse ära silmapilkselt, seepärast võib kiirguse võimsus olla üsna suur.

Seda tüüpi kristallide hulgas on niisuguseid, mis koguvad valgust, s. o. viiakse ergutatud seisundisse valgusega kiiritamise teel, ning annavad ka tagasi valguskiiri, kui selleks kujunevad vajalikud tingimused.

Ohets taoliste omadustega kristalliks on rubiin — üldtuntud kaaliskivi. Rubiinkristalli kiiritatakse erilise elavhõbedalambiga ning ta neelab kiirgusest punast valgust, kogudes seda. Katsesadmes kasutati 7 cm pikkust ja 3 cm läbimõõduga rubiinkristalli, mille otsad olid hõbetatud. Ohets otsas oli väike punkt hõbetamata jätetud.

Kui üle poole rubiini koosseisu kuuluvatest kroonitööndest läheb ergutatud seisundisse, «laaduvad» nad silmapilkselt tühjaks, kiirates läbi hõbedakihti jätetud aknakese lohtu intensiivsusega punase valguse kimbu. Kimbu suunatuse üle võib otsustada kas või selle järgi, et Kuul valgustaks see 16 km diameetriga pindala, kusjuures valgustustugevus oleks küllaltane peete ajalehekirja lugemiseks.



Mitte mingite antennidega ei saa raadiokiirgust niivõlt kontsentrioneerida. Rubiinkristalli poolt tekitatud valguskiir pole sisuliselt sarnane meie tavalise valgusega. See kiir tekitab 300 atmosfääriga võrduva rõhu.

Niisuguste kristallidega kiirgajad said nimeks laser\* On tehtud oletusi, et laserid on väga mugavad kosmiliseks raadiosideks.

## BIOLOOGILINE RAADIOSIDE

Pealkirjas sisalduv sõnühend on uus ja mõnevõrra kummaline. Mis täheldik see siis on?

Kuid sellele vaatamata esineb niisugune sõnühend juba kirjanduses, haarates ka rida varemalt tuntud nähtusi, mille tõeline uurimine alles algas, õigemini, on veel lapsekingades. Seda, mis toimub praegu, võib suurima õigu sega nimetada vaid esialgseks faktide kogumiseks ja selgitamisvisanditeks. Tulevik näitab, millisesse klassi kuuluvad täheldatud nähtused ja milline on nende füüsikaline

\* Esitähed sõnadest «light amplification by stimulated emission of radiation» valguse võimendamine kiirguse stimuleeritud emissioonit abil (ingl. k.) — Tõlk.

alus. Igal juhul ei saa välistada võimalust, et need alused osutuvad nii või teisiti lähedasteks raadiotehnikale, seepärast on õigustatud siinkohal meenutada nähtust, mida fin- gimisi nimetatakse bioloogiliseks raadiosideks.

Alustada tahaks liblikatest. Meie nõukogude entomoloog I. A. Fabri uuris mitme aasta kestel ühe küllalt harva esineva õõliblika elutegevuse iseärasusi. Teda huvitas viis, mille abil seda liiki isaliblikad leiavad emaliblikaid. Nende liblikate vähesus ker- gendas katseid, kuna andis võimaluse jälgida kindlaid paare.

I. A. Fabri paigutas emaliblika puuri, värviga märgi- tud isaliblikad viis aga väga kaugele. Vaatamata sellele lendasid need ruttu emaliblika juurde tagasi. Fabri katse- tes ulatus kaugus kuni 8 km-ni, kusjuures arvestati tuule suunda. Isaliblikad viidi ära selles suunas, kust puhus tuul.



seepärast oli välistatud haistmisorganite abi, kuulmisorga- nite kasutamist ei saanud aga olla juttugi, kuna katse- tingimustes ei olnud sellisel kaugusel kuulda isegi püssi- laskmist.

Kuid kõigele sellele vaatamata leidsid liblikad silma- pilkselt vajalikku suuna ja lendasid sirgete lähedast teed mööda. Seda oli kerge kindlaks teha, teades, kaugust ja antud liiki liblikate lennukiirust (kauguse 8 km ületasid nad umbes 45 minuti jooksul).

Kõige huvitavamaks I. A. Fabri katsetes oli see, et ta



tegi kindlaks liblika katsesarvede tähtsuse. Kui isaliblikal loigata ära katsesarved — antennid, siis puudub tal võime leida teed emaliblika juurde.

Siit järgneb vaieldamatult, et emaliblikas saadab mingid kutsesignaale, mida isaliblikad võtavad vastu oma katsesarvede — antennidega. Nende signaalide füüsikalist loomust pole seni õnnestunud välja selgitada, kuid on üsna tõenäoline, et need on elektromagnetilised võnkumised igal juhul pole meile teada mingeid teisi signaalide edasi andmise viise taolistes tingimustes.

Katsed liblikatega pole ainukesed. On teada ka teisi näiteid, kus nutukad annavad signaale edasi tingimustel mille puhul kõige tõenäolisemaks füüsikaliseks agendiks signaalide edasikandjaks — on elektromagnetilised võnkumised. Sel alusel nimetataksegi niisugust sidet seni tingli kult raadiosideks. Kuna oletatavate elektromagnetiliste lainete ergutajateks on bioloogilised objektid, siis on loomulik nimetada taolisi raadiosidet bioloogiliseks.

Uurimised bioloogilise raadioside alal ei piirdu loomade riigi alamate vormidega. Laiulatuslike sellealaste uurimiste objektiks on muutunud ka inimene ise.

Väga paljudel on tulnud kokku puutuda mõtete edasi andmise inestamapanevate juhtudega. Kõige sagedamini avaldub see nähtusena, et inimestel, kes on lähedal sügavalt unelmas või tunnevad üksteist hästi, meenuvad üheaegselt ühed ja samad näod või faktid, tulevad pähe ühed ja samad motiivid jne. Siia kuuluvad ka kohtuvad kirjad: kaks inimest kavatsevad kaua aega üksteisele kirjutada, kuid ei suuda mitte kuidagi oma kavatsust teostada. Kui nad seda lõpuks siiski teevad, siis osutub, et nad kirjutasid üheaegselt ning nende kirjad «ristuvad».

Mõtete kauguste taha edasiandmise võimalust, seda võimalust, mida tingimisi nimetatakse bioloogiliseks raadiosideks, kinnitavad ka erilistelt korraldatud katsed.

25. juunil 1959 võttis USA laevastiku koosseisu kuuluv allveelaev «Nautilus» pardale reisija ja sõitis ookeanile. Ta ristles ookeanisügavustes 15 ööpäeva ja kogu selle aja jooksul jäi reisija oma kajutisse, lahkumata sealt minnikski. Kaks korda päevas andis ta vaikes tema juurde tulnud kaptenile paberilehe, mis siinsamas ümbrikusse paigutati ja kinni pitseeriti. Ümbrikule kanni kuupäev ja viis «Ühisalajane».

10. augustil kinnitas allveelaev otsad kaldal. «Nauti

luse» reisija ja ümbrikud toimetati lennukil linna. Ümbrikud avati õhujõudude uurimiskeskuse bioloogiasakonna direktori kabinetis ja neis peituvad sedeleid kõrvutati sedelitega, mida hoiti seifis. Kõigil sedelitel olid kujutatud lihtsad joonised. Ühesuguste kuupäevadega sedelite kõrvutamisel näitas, et kõrgist juhtudest langes rohkem kui 70% jooniseid kokku.

Seda oli raske seletada millegi muuga kui mõtete edasi andmisega. Katse teostati nii. Kaldal fikseeris üks inimene range kontrolli all ja pettuse võimalust välistavas olukorras kindlal ajal oma mõtteid temale antud joonisele. Selle joonise esitas talle teadlaste komisjon. Joonise valik teostati masinaga, mis garanteeris valiku täieliku juhuslikkuse.

Tuleb lisada, et allveelaeva eemaldumise kaugus ulatus 2000 km-ni ja katseid teostati ka siis, kui ta asus sügaval vee all.

Sellest ajast peale on erinevates maades, sealhulgas ka meil, tehtud palju taolisi katsetusi kõige erinevamas olukorras. Katsed, mis on tehtud kogu hoolikuse ja leidlikkusega, milleks on võimalised tänapäeva teadlased, andsid püsivalt ühe ja sama kokkusattumiste hulga — umbes 70%.

Paljud meite organismis, muuseas ka ajus ja närvisüsteemis toimuvad protsessid on mingil määral elektrilised. See on juba teostatud. Seepärast pole eriti midagi imeset, kui mingi elutegevuse külg osutubki seotuks elektromagnetiliste protsessidega. Uurimised sel alal on väga komplikseeritud, tuleb koguda võimalikult suuremal hulgal vaatlusandmeid, võimalikult rohkem lähtematerjali

## SIDE GRAVITATSIOONILAINETEL

Meie aega ei iseloomusta mitte üksnes teaduse ja tehnika hoogne arenemine, vaid ka julged otsingud, hullulged katsed allutada inimesele üha uusi loodusjõude. Vi-

masel ajal uurivad kogu maailma teadlased sellest vaate-  
nurgast raskusjõudu.

Me kohtume raskusjõuga sõna otseses mõttes igal sam-  
mul. On ju käimine mehhaanika seisukohalt rida meie teha-  
üksteisele järgnevat kukkumisi, mida kutsub esile raskus-  
jõud ja mis hoitakse õigeaegselt ära jala etteasetamisega.  
Iga meie liigutus tehakse neid jõude arvestades, kuid nende  
olemust me ei tunne. Raskusjõu loomus on meie tundmatu.  
Mitte kordagi pole õinestunud kindlaks teha, et gravitat-  
sioonijõud levivad mingi kiirusega, vaid analoogia järgi  
oletatakse, et see kiirus ei saa olla suurem valguse kiir-  
sust. Mitte ükski käesoleva ajani tehtud katsetest pole näi-  
danud, et raskusjõudude eest võiks midagi varjestada. Näid-  
lõhivad vabalt igasuguseid ekraane, et peegeldu ega kaldu  
kõrvalle.

Väga ahvatlev on kasutada neid sideks.

Traatside oli tootuks sammuks edasi võrreldes lõkete  
semafõrde ja kulleritega, kuid tal on ka suur hulk puudusi.  
Raadioside oli järgmiseks sammuks, siin on tohtud või-  
matused, kuid ka see pole ideaalne. Raadiolained neeldu-  
vad, peegelduvad, nad pole kahjuks vabad häiretest. Seda  
on eriti tunda side puhul kosmilistel kaugustel, sellise side  
vajadus on aga saanud juba tänase päeva reaalsuseks.

Lavale astuvad valguslained. Valgust tuulistavad  
kristalle (lk. 219) käsitletakse nimelt kui tuleviku kosmi-  
list sidevahendit. Kuid valguslainete puudused on meile  
teada. Iga tolmupily katkestab nende tee. Seepärast kõitsid  
tähelepanu takistustevabad raskusjõud. Kui neid õnnes-  
tuks sideks kasutada, siis ei jääks, nagu näib, enam midagi  
soovida.

Kirjanduses võib leida palju artikleid raskuslainetest.  
Niisama tinglikud on ka «raskuskvandid» — gravitonid,  
millest samuti räägitakse, kui püütakse ette kujutada ras-  
kusjõu füüsilist olemust. Niisugune kahesus meid praegu  
enam ei imesta — kui elektromagnetilised lained võivad  
olla üheaegselt nii osakeste, fotonite voog kui kujutada  
endast ka võnkeprotsessi, siis samasuguse kahese loomu  
sega võivad olla ka raskusjõud. Huvitavad on ettevaatli-  
kult väljendatud oletused võimaluse kohta kasutada neid  
tinglikke «raskuslaineid» sideks.

Võib arvata, et antud juhul on uue füüsilise teguri  
omandamise üldine kõik vastupidine tavalisele. Mitte ras-  
kusjõu väljauritud võimalused polevad need, mis võima-

dasid teha prognoose nende kasutamise kohta sides, vaid  
vastupidi, raskusjõu erilised omadused, tema võime läbida  
kõike, tekitasid soovi kasutada neid üllikaugeks häireteta  
sideks. Kuid igal juhul töö käib. Kaasaegse teaduse  
vahendite võimas arsenal on suunatud gravitatsioonijõu-  
dude uurimisele ja tundmaõppimisele, kusjuures üheks selle  
uurimise sihtiks on üllikaugede organiseerimine «raskus-  
lainetel».

See on iseloomulik püüe meie päevade teaduse aren-  
gule: kasutada mitte ainult kindlakskuumenud võimalusi,  
vaid organiseerida neid seal, kus selleks on olemas kas või  
mingisuguseidki andmeid. Näiteks on tuhandeid aastaid  
eksisteerinud optiline astronoomia. Ta kasutas seda, mida  
me praegu nimetame «läbipaistvuse akna». Otsakohe  
elektroonika avastas teise «läbipaistvuse akna». Otsakohe  
lõkkis ja muutus kiiresti küpsaks uus teadusharu — raa-  
dioastronoomia, mis laiendas paljus meie võimalusi maa-  
ilmaruumi tunnetamiseks. Samaaegselt algasid uute  
«akende» otsingud. Ja nüüd hakatakse juba rääkima neut-  
riinoastronoomiast. Ka siin ennatab soov uurimuste reaal-  
soid tulemasi. Pisimad laenguta osakesed — neutriinod  
omavad muinasjutulist läbitungimisvõimet — neutriino  
vaba tee pikkus tähedas metallis on kümneid valgusaastaid,  
seepärast on täiesti mõistetav ahvatlus kasutada neutriinot  
uurimisotstarbel.

Tulevik näitab, kas raadiosaatjatele ja laseritele lisan-  
duvad ka veel «gravitatsioonisaatjad».

## RÄÄGIB TÄHTEDEVAHELINE VESINIK

Raadioastronoomia eostus alles sõjajärgsetel aastatel,  
kuid ta areneb väga kiiresti. Uus maailma tunnetamise  
vahend — raadioteleskoop — paljuneb enneolematu tem-  
poga, ja hiiglaslik taevasse suunatud paraboloid ei ole  
enam haruldus.

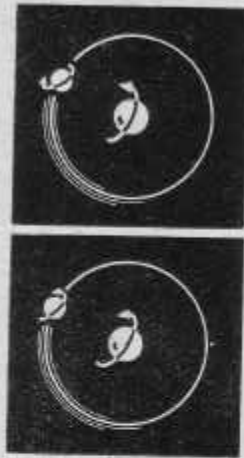
Nende teleskoopide poolt vastuvõetavate raadiokiirguste hulgas on iseloomulik üks, lainepikkusega 21 cm. Seda võib kinni püüda kõikjalt, kogu kosmos kõlab sel laanel.

Mis on siis misuguse lainepikkusega kosmiliste raadiolisaadete allikaks?

Osutus, et lainel 21 cm kiirgab vesinik — tähtedevahelises ruumis hajunud vesinikuatomid.

Kunagi lugesime kosmilist ruumi täiesti tühjaks elementide, muuhulgas naatriumi ja vesiniku üksikuid atomeid. Neid atomeid pole just eriti palju, näiteks vesinikku tuleb 1 cm<sup>3</sup> kohta vaid üks-kaks aatomit, kuid kosmiline ruum on ju ääretu, seepärast on vesiniku hulk absoluutmatult suur.

Lõigus molekulaarvõimenditest oli räägitud elektromagnetiliste lainete kiirgamise mehhanismist aatomite ja molekulide poolt. Niisugune kiirgamine toimub aatomi või



molekuli üleminekul kõrgema niivooga energetilisest seisundist madalama niivooga energetilisse seisundisse. Vabanev energia kiirgub seejuures elektromagnetiliste võnkumiste kujul.

Selline on ka tähtedevahelise vesiniku aatomite kiirgamise mehhanism. Kiirgus tekib aatomi üleminekul ühest energetilisest seisundist teise — madalama niivooga seisundisse. Kuid nähtuse füüsika erineb vesiniku puhul mõnevõrra sellest, millest kõneldi lõigus molekulaarvõimenditest. Vesiniku puhul ei toimu aatomi üleminekul fih-

nergianiivooga seisundist teise energianiivooga seisundisse mitte elektroni (vesinikuatomi ainukesel) üleminekul ühelt orbiidilt teisele, vaid muutub elektroni pöörlemise suund. Ast on selles, et elementaarosakesed pöörlevad ümber oma telje. Seda pöörlemist nimetatakse spiniks. Vesinikuatomil muutub energetilise seisundi muutumisel elektroni spin. Spin on ka vesinikuatomi tuumal — prootonil ja tema elektronil. Kui tuuma ja elektroni spinid on suunatud ühele poole, siis nende magnetilised momendid liituvad ja aatomi energia suureneb. Kui elektroni spini suund muutub, siis tuuma ja elektroni magnetilised momendid lahutuvad ning aatomi energia väheneb. Energiakvanti, mis seejuures eraldub, vastab elektromagnetilisele lainete pikkusega 21 cm. (Elektromagnetilise laine energia määrab ainult tema sagedus, kuna laine liikumiskiirus on konstantne.)

Kiiratava energia hulk (kiiratava laine pikkus) võiks muutuda, kui aatomid oleksid seotud süsteemidesse (vt lõiku molekulaarvõimenditest), kuid tähtedevahelises ruumis asuvad aatomid äärmiselt hõredasti ja nende mingist seosest ei saa juttugi olla, seepärast on kiiratav sagedus rangelt konstantne. Aine hulk kosmilises ruumis pole kõrgel ühesugune. Seal on tolm kogunenise kohti, on udude kogusid, milles aine tihedus on 10<sup>-21</sup> g/cm<sup>3</sup> (1000 aatomi ümber 1 cm<sup>3</sup>-s); kõige «tühjemates» kohtades tuleb oletuste järgi üks aatom 15 cm<sup>3</sup> kohta. See vastab «rõhule» 2,5 · 10<sup>-21</sup> atmosfääri, vaba tee pikkus, s. o. tee pikkus põrgete vahel teiste elementaarosakestega, ulatub umbes kuni 32 · 10<sup>8</sup> km-ni.

Sõlaks et vesiniku aatom kiirgaks elektromagnetilisi võnkumisi, peab teda mõjutama väline energia, näiteks elektromagnetiliste lainete energia. Teooria ütleb, et kui vajaliku suurusega energiakvandid mõjutavad erinevate energianiivoodega aatomeid või molekule, on täiendava energia haaramine madalamal niivool olevate molekulide poolt ja energia kiirgamine aktiivses seisundis olevate molekulide poolt (mis omavad lisaenergiat) täiesti ühesuguse tõenäosusega. Seepärast ühed vesinikuatomid kaotavad, teised aga omandavad lisaenergiat, kusjuures nende suhteline hulk ei muutu.

On välja arvatud, et tähtedevahelise vesinikumolekuli energianivoo muutumine toimub äärmiselt harva — umbes 1 kord 11 miljoni aasta jooksul. Kuid selle protsessi

äärmine harukordus ühe aatomi juures kaetakse aatomite tohutu hulgaga, seepärast on tähtedevahelise vesiniku raadiotähti kuulda alati ja kõigjal.

## UUS MEETER, MILLE SÜNNITAS RAADIOTEHNIKA

Möödunud sajandi lõpul toimus teaduses ja tehnikas sündmus, mis puudutas mitte ainult teadlasi ja insenere, vaid sisuliselt kõiki inimesi: toodi sisse uus pikkusühik — meeter, lähtebaas rõhuva enamiku teiste ühikute jaoks. Tehti lõpp kõlkevõimalikele jalgadele, küünardele ja vaksadele, mis olid tuletatud mingisuguse inimkeha «keskmis-  
tatud» osade mõõlmetest. Meetri olid füüsikalised alused Kogu sel ajal võimaliku täpsusega möödeti Pariisi läbi meridiaani pikkus ja üks neljakümnemiljondik osa sellest meridiaanist nimetati meetriks. Niisuguse meetri füüsikalise baasi eeliseks loeti asjaolu, et etalooni kaotamise korral võinuks tema suurus taastada vastava meridiaani mõõtmise teel.

Mõnda aega tundus pikkusühiku loomise probleem lõplikult lahendatud olevat. Kuid Pariisi meridiaani kordusmõõtmised näitasid, et meetri kehtestatud suurus on ebaõige. Samuti sai ilmsiks, et mõõtmisi jätkata pole mõtet sest tänu tehnika täiustumisele saadakse iga kord uued tulemused. Järelikult tuleb meetrit ja koos sellega ka suuri hulka teisi ühikuid perioodiliselt muuta, ja mis peamine, etaloonide kaotamise korral ei saa neid taastada esialgses suuruses.

Seepärast tegi rahvusvaheline komisjon 1872. a. ettepaneku loobuda meetrist kui «looduslikust» ühikust ja leppida kokku lügeda pikkusühikuks aigmeetri Pariisi eksemplari. Etaloon kinnitati 1889. a. mõõtude ja kaalude pea konverentsi poolt.

Kõik see lõi nagu meetri alt ära füüsikalise aluse. Olu

228

korra ebamugavus oli selge kõigile, kuid teadus ei suutnud pakkuda asemele midagi sellist, mis alluks võrdlemisi kergetele ja lapsele mõõtmisele ning garanteeriks mõõtmistulemuste tingimatu kordumise. Mugava loodusliku baasi leidmine pikkusühikule sai võimalikuks alles meie ajal seoses raadioelektronika edusammudega. Jutustuses molekulaarvõimenditest ja -generaatoritest (lk. 206) krüpsutati alla molekulide poolt ühest energiaallikast tekitatud teise üleminekut kiirgavate elektromagnetiliste võnkumiste lainepikkuse erakordsel püsivust tingimisel, et need aatomid või molekulid ei lähe seotud süsteemide koosseisu.

Ja 1960. a. oktoobris tehti mõõtude ja kaalude konventsiooni poolt seaduseks meetri uus määratlus: meeter võrdub nende elektromagnetiliste võnkumiste 1650763,73 lainepikkusega, mida kiirgab vaakuumis krüptooni isotoopi aatomkaaluga 86 ja mis vastavad tema spektri oranžile joonele.

Nii aitas elektroonika metrooloogiat. See näide võib olla loodusteaduse ja tehnika erinevate alade vahel käesoleval ajal valitsevate tihedamate vastastikuste sidemete ja sõltuvuste ning elektroonika kui nende ühendaja ja arendaaja üha kasvava osa heaks kinnituseks.

## HANGUNUD LAENGUD

Mil viisil saavad elektrilaengud hanguda? Paistavad nad ju silma erakordse liikuvusega. Nimelt sellel nende omadusel rajanebki elektronaparaatide töö, mis on tingitud kaasaegse tehnika tohutuid edusamme.

Ja teine küsimus: mille poolest võib see kasulik olla. et laengud hanguvad? Hangunud laeng on liikumatu, juhitamatu, aga just laengute liikumine ja nende juhtimine ongi elektron- ja elektriseadmete töö aluseks.

Sellele vaatamata võivad laengud siiski hanguda ja toovad misugusel kujul kaheldamatut kasu, lihtsustades paljude tehniliste ülesannete lahendamist.



Likuv laeng loob ümbriseavas ruumis magnetvälja väli moodustub ümber juhtme, milles kulgeb vool. Kui lähkida juhe poolile, siis magnetväli tugevneb, kui aga pooli sisse asetada raudsüdamik, siis muutub ta väga tugeva väljaga magnetiks. Selliseid seadmeid — elektro magneteid — kasutatakse kõikvõimalikes vormides era kordsest laialt.

Kuid elektromagneti hoidmiseks tööseisundis on vaja pidevalt lasta läbi tema lähise elektrivoolu, mis pole kaugeltki alati ratsionaalne. Paifudel juhtudel oleks mugav saada magnetvälja, kulutamata elektritenergiat.

Me teame, et see on võimalik. On olemas püsivmagnetiid. Nad loovad enda ümber ruumis muutumatu magnetvälja, mille säilitamiseks pole vaja kulutada energiat. See väli kasutatakse elektromagnetiteid ainult siis, kui see on loepoolsest vältimatu, teistel juhtudel asendatakse nad aga püsivmagnetitega.

Oleks väga mugav omada aparraati, mis looks niisama seguse muutumatu elektrivälja. Põhimõtteliselt näib seda kerge olevat teha. Iga elektrilaeng ergutab enda ümber elektrivälja. Et saada küllalt tajutava tugevusega välja on vaja vaid kontsentreerida ühte kohta mõningane hulki ühenimelisi laenguid. Kuid tegelikult on see äärmiselt raske.

Juhtides on laengud väga liukuvad ja neid on kerge eraldada, rakendades juhtile elektrivälja. Kuid liikuvustõttu jagunevad laengud pärast välja kadumist momentaanselt ühtlaselt üle kogu juhi ruumala, erinevate märkidega laengud «segunevad» ning mingit välist välja juhi juurde ei jää. Võiks minna välja kavaluusele ning asetada pärast erinevamärgiliste laengute eraldamist nende vahele isolaatori. Sellist aparraati me kasutamegi — see on kondensaator. Ta on väga kasulik, kuid pole üldse see, mis magnet. Magnet säilitab magnetuvuse aastate ja aastakümnete jooksul, teda võib sulgeda rauaga jne. Magnetit võib rikkuda ainult tugeva kuumutamise ja järskude löökidega, üldiselt on ta aga väga püsiv seade. Kondensaator pole sugugi niisugune. Tema plaatidele kontsentreeritud laengud voolavad ära esimesel võimalusel. Kondensaatoritühjaksiladumine toimub plaatide pündutamisel juhiga momentaanselt. Ent kui ka lühistamist ei toimu, tühjeneb kondensaator ikkagi mõne päeva jooksul läbi õhu, läbi isolaatoril moodustuva niiske kile jne.

Isolaatoris ei saa laengud vabalt edasi liikuda, kuid see-eest ei saa neid seal ka lahutada. Isolaatorile rakendatud pinge ei tekita seal laengute lahutumist. Pooljuhtides võivad laengud teatavate raskustega liikuda, neid võib lahutada välja abil, kuid pärast välja mahavõtmist voolavad nad kiiresti ühtlaselt üle kogu pooljuhi ruumala laiali.

Seega ei anna ei juhid, pooljuhid ega isolaatorid võimalust valmistada laengute eraldamise teel magneti elektrilist analoogi. Püsiva elektrivälja loomiseks, elektrilaengute lahushoidmiseks tuli pidevalt kulutada energiat — keemilist galvaanilelementides ja akumulaatorites, mehhaanilist dünamomasinates, soojuslikku termoelementides jne.

Kuid siiski õnnestus ülesannet lõpuks lahendada. Juba üle 200 aasta tagasi (1756) märkas Peterburi füükoooli professor F. Epikus püroelektriliste nähtuste uurimisel, et turmalinikristalleid hoitavad külmutamisel alal elektrilaenguid. Taoliste nähtuste pikaajaine uurimine paljude teadlaste, sealhulgas Faraday poolt võimaldas kindlaks teha



et teatud määral võib eraldatud laenguid «kinni külmutada» mõnede ainete üleminekul vedelast olekust tahkesse. Laenguid hoitakse kinni kõige paremini siis, kui kalle juhtiva kalle vahele paigutatud mõnede sulas olekus vähe- ja vaigutaoalistele ainetele rakendada pinge ning hoida seda pinget alal kogu aeg, kuni materjal tahkestub. Tahkestumisel võib pinge maha võtta ja katted eemaldada — laengud materjali pinnal jäävad alles ja tekitavad järelkult ümbriseavas ruumis elektrivälja. Laengud ei kao isegi lähitühenduse korral.

Niisugust tüüpi aparraadid said elektrettide nime, kuid selle aja tehnikatase ei võimaldanud leida nähtusele praktilist rakendust.

Meie päevil on elektretide uurimisele pühendatud palju tähelepanu. On leitud mitu meetodit elektretide valmistamiseks.

Termoelektretid saadi juba meenutatud viisi — ülessoolatud materjalide tahkestamiseks elektriväljas.

Fotoelektretide valmistamiseks kasutatakse kuumutamise ja järgneva jahutamise asemel kiiritamist valgusega. Elektroelektrette võib valmistada elektriringe rakendamise teel mõnedele (vähestele) ainetele ilma nende kuumutamise ja valgustamiseta.

Lõpuks on leitud veel neljas viis elektretide valmistamiseks. Neid on hakatud nimetama pseudoelektretideks. Eesliide «pseudo» kuulub mitte aparadi olemuse, tema tegevuse juurde, vaid puudutab ainult «elektroneksti» saamise tehnikat. «Tõelistes» elektretid ei tekivad lahutatud laengud sisemiste protsesside tulemusena, pseudoelektretidele antakse aga materjalile laengud väljaspoolt nende kiiritamise teel alfa-, beeta- ja gammakiirtega. Nimetus pole nähtavasti mitte päris õnnestunud, sest fotoelektretide tuleks sel juhul samuti viia pseudoelektretide rühma alla.

Elektretides toimuvad füüsikalised protsessid pole veel lõplikult selged, kuid on juba pakutud mitu hüpoteesi, mis selgitavad neid üsna rahuldavalt.

Ühe hüpoteesi järgi kontsentreeruvad vedelas materjalis liikuvuse omandanud elektronid või ioonid mingil määral niiviisi, nagu sunnib neid tegema rakendatud elektriväli, seejärel aga, pärast materjali tahkestumist, ei suuda nad enam ümber jätta.

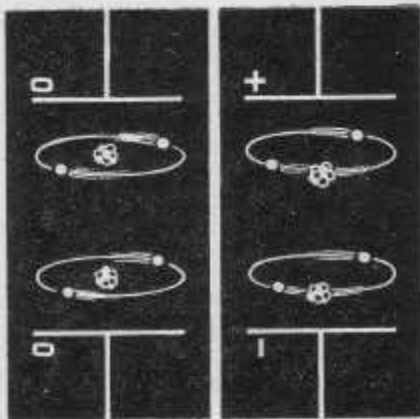
Vastavalt teisele hüpoteesile nihkuvad aatomite elektrirõngast moodustunud polarisatsioonirõngad, mille tagajärjel neutraalne aatom muutub dipooliks. See nähtus sarnaneb tahke dielektriku aatomite polarisatsiooniga kondensaatorites. Pärast väljasaatmist säilib aatomite polarisatsioonirõngast elektretides.

Kolmas hüpoteesi käib selliste ainete kohta, mis on moodustunud polariseeritud molekulidest. Need molekulid on tavalises seisundis orienteeritud kaootiliselt ning nende väljad hävivad vastastikku. Välja rakendamisel vedelale materjalile orienteeruvad molekulid mingil määral ja materjali tahkestumise järel jäävadki sellisesse asendisse.

Mõnevõrra selgem on piit fotoelektretide suhtes: siin lüüakse ilmselt elektrone aatomitest välja sarnaselt sisseamise fotoefektiga fotoelementides. Pseudoelektretides, mida

kõige sagedamini saadakse kiiritamisel elektronidega (beetakirgtega), sisenevad elektretid materjali teatud sügavusele ja jäävad sinna paigale.

Elektretide formeerumisel toimuvate protsesside tege-lik piit on sageli varjatud, sest formeerumine pole tingitud mitte ühest mingisugusest protsessist, vaid kohest või ena-



mast üheks teiselt. Sellega seletub nähtavasti asjaolu, et mõned elektretid omavad pärast formeerumist ühte polaarsust, mõne aja pärast aga muudavad selle vastupidiseks. Sel juhul on elektret moodustumise mehhanism kahe-ge, kusjuures üks neist tingis polaarsuse ühes suunas, teine aga teises. Algul oli elektreti polaarsus suuruselt võrdne mõlema polaarsuse pingete vahega ja omas suu-rema märki. Seejärel lakkas esimesena polaarsus olemast ja järele jäi vaid teine.

Loomulik, et ühe või teise protsessi tulemusel tekkinud potentsiaalide vahe elektretit otstel ei kao ka lühühenduse korral. Kui elektret lühistada juhiga, siis mööda seda vool ei kuige, kuna elektretit laengud ei suuda juhtmesse üle minna.

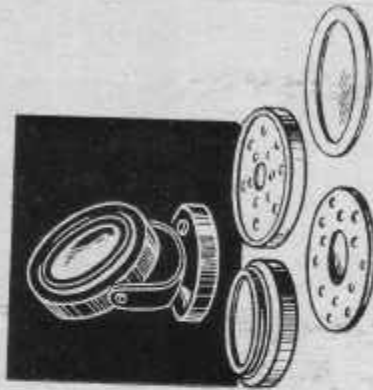
Elektretid sarnanevad magnetitega nende osadeks jagamise võimaluse poolest. Nagu katkimurtud magneti

iga tükk on sämuti magnet, nii ka katkimurtud elektretid, kuid omavad elektrilist potentsust ja loovad elektrivälja.

Esimesed elektretid lehti karnanubavaha (tänu vähesele hulga mesilasvaha segust. Edaspidi lehti paigutatakse aineid, millel on elektretlike omadused: nende hulka kuuluvad näiteks pleksiklaas, suhkur, räni, eboniit, väävel, tsinkitanaat, kaitsiumitanaat, baariumitanaat, steaatiin, naftaliin jt. Kaasaegseid elektrette tehakse sageli keramiist materjalidest.

Elektretide praktiline rakendamine sisuliselt algab, kuid juba praegu on nende kasutamissfäär väga mitmekesine.

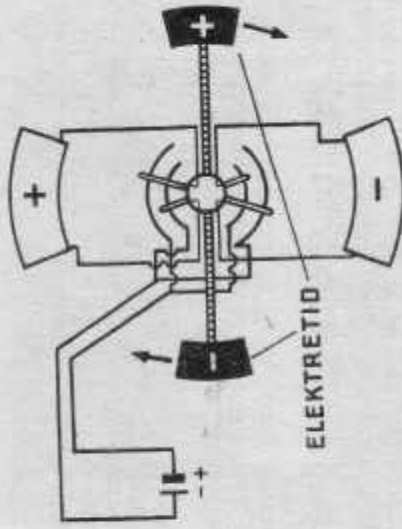
Elektretide loodav püsiv elektriväli võimaldab neid edukalt kasutada mikrofonide ja telefonide valmistamiseks. Mikrofon koosneb lamendast elektretist ja tema pinnast



ühedele (umbes 0,1 mm) paigutatud membraanist. Elektri väljas asuvas ekraanis luuakse induktiooni tagajärjel pinget. Mikrofonini jõudvad helilained panevad membraani võnkuma, millest membraanil tekib vahelduvpinge. Helienergia muundatakse elektrienegiaks, läbi membraanist ühela olava koormustakisti voolab helisagedusega vahelduvvool jne.

Selline elektretmikrofon ei vaja vooluallikat, ta võib töötada ka telefonitoruna, s. o. olla pööratavaks seadmeks

Elektretmikrofonide-telefonidega on seotud huvitav lugu. Teise maailmasõja ajal avastasid ameeriklased ühel hõivatud jaapani sõjalaevael kummilise telefoni — ta töötas ilma vooluallikateta. Seal puudusid ka magnetid ja



mähised. Alles hiljem sai selgeks, et jaapani mikrofon ja telefoni aluseks oli elektret, mille töö määrasid uued, seni tundmatud füüsikalised nähtused.

Pinge ergutamist juhis elektretile lähenemise ja sellest eemaldumise ajal kasutatakse mitmesugustes seadmetes: vibroandurites, kõrgpingegeneraatorites, elektrimootorites jne. Elektrette kasutatakse filtrite valmistamiseks gaaside puhastamisel, läbitungiva kiirguse dosimeetrites, atmosfäärirõhu mõõjates, elektromeetrites jne. Elektretid annavad võimaluse teha mäluseadmeid ja isegi ... fotosid — elektrifotosid, mis ei vaja kemikaale. Oldiselt, nagu pole võimalik loosteda kõiki püsivmagnetite kasutamise juhte, nii ei saa tuua ka kõigi juba reaalselt järeleproovitud ja enamikul puhkudel kasutatavate elektretide rakenduste loetelu.

Elektretid, transistorid, ferriidid, molekulaarvõimendid, parameetrilised võimendid ja paljud teised viimaste aastate uudised on tuleviku elektroonika elementideks, mida iseloomustavad seadmete väikesed mõõtmed, kõrge töökindlus ja ökonoomsus, suur täpsus ja tohutu kasutegur.

## KUUMENEMINE KÜLMAS SPIRAALIS

Raadiolambi hea töö kohustuslikuks tingimuseks on kõrgvaakuum. Kuid selleks, et kindlustada vajaliku vaa-kuumi astet (vt. lk. 50), ei piisa ainult õhu väljapumpamisest lambi balloonis. Metallis, milles on tehtud lambi elektroodid ja nende hoidjad, sisaldub küllalt palju gaase — hapnikku, vesinikku, lämmastikku jt. Neid nime- tatakse okludeerunud gaasideks.

Aja jooksul, eriti lambi elektroodide väikimatu kuume- nemise tõttu töötamisel, eralduvad okludeerunud gaasid metallist, vaakuum halveneb ja lamp lakkab normaalselt töötamast.

Metallis sisalduvast gaasihulgast võib ettekujutuse saada järgmise näite põhjal: kui 1 mm<sup>3</sup> niiklist, milles tihti valmistatakse lampide anode, eemaldada kogu sel- les okludeerunud gaas, siis võtab see gaas normaalse atmosfäärirõhu puhul enda alla ruumala 100 mm<sup>3</sup>.

Kõige parem on metalli gaasidest vabastada kuumuta- mise teel, kuid kuumutada tuleb juba tühjaks pumbatud balloonis, jätkates kogu aeg pumpamist eralduva gaasi eemaldamiseks. Kuidas seda siis teha?

Vaakuumitehastes kuumutatakse väga lihtsal ja efek- tiivsel viisil. Pumpamisseadmel asuva lambi ballooni ümber paigutatakse mõne keeruga vaakspiraal, ja kõik ballooni sees asuvad metallosad hakkavad peaaegu momentaanselt punaselt hõõguma. Nende temperatuur ulatub kuni 1000°C. Sellise tugeva kuumenemise juures eraldub metallist kogu gaas, mis pumbaga otsekoheselt eemal- datakse. Lambi vaakuum on nüüd kindlustatud.

Kuid mis imetähegev spiraal see siis on? Proovime teda ettevaatlikult käega puudutada. Imelik, katsumisel on ta päris külm. Tema sisse võib samuti pista sõrme ilma iga- suguse birmuta — sõrm ei tunne midagi. Aga kui teie sõr- mes on sõrmus, siis te seda katset teha ei tohi: sõrmus hak- kab kohe hõõguma ja põletab sõrme.

Metalle punaseks kuumutava ja katsumisel täiesti külma spiraali saladus on lihtne. Spiraalist lastakse läbi kõrgsagedusvoole. Spiraali pooll loodavale väljale pole

klaaskolb ja seal sees olev tühjus takistuseks. Kiiresti muutuv magnetväli löikab mõjusoonis olevaid metallise- meid, mille tulemusena tekitavad neis nii tugevad pöörivoo- tud, et metall hakkab hõõguma. Kuid meie keha magnet-



väli ei kuumuta: suure takistuse tõttu ei saa selles tekkida kuigivõrd märkimisväärseid voolu, seepärast võime karis- tamatult asetada käe spiraali sisse.

Kõrgsagedusvooludega kuumutamine koos selle suure- päraste võimalustega kaanti vaakumseadmete tööstusele üle teistesse rahvamajandusharudesse, kus ta leiab üha laiemat rakendamist.

## KUIDAS SOOJENDADA KOTLETIT

Arge arvake, et see probleem on, esiteks, väga lihtne ega oma, teiseks, midagi ühist raadiotehnikaga.

Meil on külm kottlet. Kuidas teda soojendada?

Tehnilisest seisukohast tehakse seda väga primitiivselt. Kottlet asetatakse pannile ja pannakse tulele. Tuli kuumu- tab panni, pann kuumutab temaga kokkupuutuvat kottletit pinnakihti. Sellest kihist levib soojus materjali halva soo- jusjuhtivuse tõttu aeglaselt kottleti sisse. Lähikuumutamisi-



seks kutub isegi sagedasel ümberpööramisel palju aega. Kotleti pinnakiht kuivab selle aja jooksul üle, saab liiga palju rasva, muutub peaaegu sööks. Kotleti maitse halveneb.

Kas ei saaks teha nii, et kogu kotlet kuumeneks mõnen taanselt, ei kattuks koorkuga ega kaotaks maitset?

Radiotehnika areng võimaldas seda kulinaariaprobleemi lahendada. Mugavalt ja hästi saab kuumutada kõrgsagedusvoolude abil, kusjuures kõrgsageduskuumutamise tohutu väärtust ei määra arusaadavalt sugugi mitte ainult tema rakendused kulinaarias.

Kõrgsagedusvoolud tungivad üha sügavamale rahva majanduse kõige erinevamatele harudele. Seejuures võimaldab rida kõrgetele sagedustele omaseid iseloomulikke rakendada neid esimesel pilgul vasturääkivateks eesmärkideks.

Võrdleme näiteks kahte sellist kõrgsagedusvoolude kasutamist: ühe terastoodete karastamine ja puudu kuivatamine.

Karastamine seisab, nagu teada, selles, et tõstetakse järsult toote pinnale tugevust ja vastupidavust, säilitades samal ajal muutusteta metalli sügavamad kihid — toote «südamik», mis muudab metalli rabedaks. Kõrgsageduskarastus tuleb selle ülesandega hästi toime, võimaldades kuumutada vajaliku temperatuurini vaid metalli õhukest pinnakihti, kuumutamata seejuures tema sisemisi kihte. Karastuse kvaliteedi ja tootlikkuse poolest jätab uus meetod kaugemale seljataha sajandite jooksul kasutatud vanad terminised karastusmeetodid.

Teisel alal — mitte metalliliste materjalide, näiteks puu (ja kotletid) läbikuumutamisel ja kuivatamisel seatakse vastupidine ülesanne: kuumutada materjal ühtlaselt läbi kogu sügavuses. Ja ka see ülesanne osutus kõrgsagedusvooludele jõukohaseks: puu kõrgsageduslik kuivatamine annab tõotlemise kvaliteedi ja kuluva aja järgi paremaid tulemusi kui kõik teised sellel eesmärgil kasutatud soojuslikud meetodid.

Kuidas siis õnnestub sundida kõrgsagedusvoolu läitma niisuguseid täiesti erinevaid nõudeid?

Asi on siin selles, et kõrgsagedusvoolude tehnikas võime eraldi kasutada magnet- ja elektrivälju. Võnkeriingi poolis läheb energia üle magnetväljale, kondensaatoris aga elektriväljale. Kui pooli, mida läbib tugev kõrgsage-

dusvool, paigutada terase, kutsub kõrgsagedusväli selles esile samasuguse sagedusega pöörivoolud. Kuid pinnalekihti tõttu levivad need voolud ainult metalli välises kihis, sisemuses on nad aga tugevasti nõrgenenud või puuduvad üldse. Pinnavoolude kuumutava mõju tulemusena moodustub terastootel nagu punasetel hõõgnv särk. Kõik see toimub väga kiiresti ja vaatamata isegi metalli kõrgele soojusjuhtivusele ei jooa soojus levida sügavusse. Pärast hõõgnv kihi järsku jahutamist jääb toote pinnale kõva kulumiskindel kate, südamik aga ei muuda mingil määral oma struktuuri, metall säilib seal elastsuse.

Valides voolu sagedust, võib metalli erineva sügavuseni läbi kuumutada. Mida madalam on sagedus, seda sügavam on karastus.

Karastatava kihi paksus mm	Sagedus kHz
0,5—1	$5 \cdot 10^4 - 10^6$
1—2	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
2—5	15
3—8	2
8—15	0,5

Kui samasse pooli asetada tükk puud või mõnda muud mitte metallilist materjali, siis ei toimu temaga midagi — magnetväli teda ei kuumuta.

Piit on teistsugune, kui piit paigutada võnkeriingi kondensaatori plaatide vahele. Kiiresti muutuv elektrivälj viib mitte metallilistes materjalides dielektrilistele kadudele, mis kutsutakse esile ühest küljest juhtivusvoolude pooli — need tekivad taolistes materjalides ebatäiuslike isolatsioonimaduste tõttu —, teisest küljest aga «hõõrdumise» pooli molekulide vahel, mis iga elektrivälja suunamuutuse korral muudavad oma asendit aine sees. Mida kõrgem on voolu sagedus, seda suuremad on niisugused dielektrilised kaod.

Erinevalt kõrgsagedusvooludest metallides, kus need levivad põhiliselt ainult pinnal, levivad dielektrilised kaod aset kogu materjali paksuses, järelikult toimub ka selle kuumenemine kogu ulatuses. Selles seisab taolise kuumutamiseviisi põhiline erinevus kõigist teistest meetoditest, mis rajanevad välise soojuse kasutamisel: seal algab kuu-

menemine väljastpoolt ning soojus tungib vaid järk-järgult keha sisenusse. Nisuguse «ühtlase» kuumutamise eelised on tohutud: ta võimaldab palju kordi lühendada kuivatamise ja läbikuivatamise aega ning kõrvaldada peaaegu täielikult praagi, mis oleks endiste meetodite kasutamise korral vältimatu kuumutamise ebaühtluse tõttu kogu pak-suses (näiteks puidu pragunemine). See viis võimaldab peaaegu momentaanselt soojendada ka kotletti, soojenda-da ühekorraga kogu tema pak-suses.

Mittemetalliliste materjalide — puu, plastmasside ja puljade orgaaniliste ainete kuumutamiseks ja kuivatamiseks kasutatakse tunduvalt kõrgema sagedusega voole kui karastamiseks, umbes 300 kHz-st kuni 20 MHz-ni, üksikui juhitudel aga isegi kuni 100 MHz-ni. Sageduse valik sõltub kõrgsagedusseadme otstarbest. Näiteks puidu kuivatamisel annavad häid tulemusi sagedused 300—500 kHz, plastmasside eelnevat kuumutamisel enne pressimist — 20—40 MHz, lamendate kihiliste getinaksi ja tekstoliti tüüpi plastmasside kokkuliimimisel aga veel kõrgemad sagedused — 40—100 MHz.

Mida paremad on kuumutatava materjali isoteerivad omadused, seda kõrgema sagedusega voolu on vaja, et kutsuda materjalis esile küllalt suuri dielektrilisi kadusid.

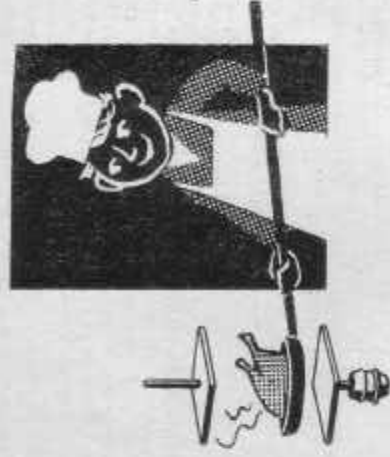
Kasutades niimoodi eraldi kõrgsagedusvoolude poolt tekitatud magnet- ja elektrivälju, võib nende abil saada kõige erinevamaid ja esimesel pilgul oma iseloomult täiesti vastupidiseid tulemusi.

Tehnika erakordselt kiire areng meie ajal annab huvitava võimaluse jälgida, kuidas väheste aastate jooksul tehniline näli muutub enam-vähem põhjendatud prognoosiks, viimane aga realiseerub väga kiiresti. 15 aastat tagasi tundus kõrgsagedusvoolude kulinaaria eesmärkideks kasutamise ainult naljana. Selle raamatu esimeses väljaandes oli see idee välja toodud juba kõrgsagedusvoolu käsitleva lõigu pealkirjas. Nüüd aga, kui raamatu «Huvitav raadio-tehnika» teine väljaanne oli juba lootud, ilmus ajalehes «Vetšernjaja Moskva» sõnum:

## RAHVAMAJANDUSE SAAVUTUSTE NAITUSEL IMEAHI

Valmistada pidupäevalõuna kümnete inimesete kahe teiskümne ja poole minutiga — see pole ju jõukohane kõige vilnumale perenaisele ega isegi kulinaarivirtuoso-  
sle.

Süski lähendasid selle ülesande kulinaariast kaugel seisvad inimesed. Rühm Kõrgsagedusvoolude Teadusliku Uurimise Instituudi töötajaid lõi imeatju katseeksplari



Hane, pardi, kana võib selles läbi praadida kuue minutiga, valmis keeta kilogramm liha — kahe ja poole minutiga ning nelja minutiga küpsetada kilose biskviiti.

Sellise kiirusega toiduvalmistamisel aitavad kaasa üli-  
kõrgsagedusvoolud.

Imeatju demonstreeritakse Rahvamajanduse Saavu-  
tuste Naituse Vene Föderatsiooni paviljonis. Esimesed  
neli abju ilmuvad peatselt ühiskondliku tootlustamise ette-  
võtetesse (TASS). («Vetšernjaja Moskva», nr. 183, 6. au-  
gustist 1962. a.)

## SISUKORD

Autoriteet	3
Essentsia teisele väljaandele	3
Lühidalt elektronis	5
Millest koosnevad kõik kehad	5
Üks gramm elektrone	7
Elektronide liikumise kiirus	14
Neli elektrivoolu liik	16
Milles suunas voolab elekter	21
Kui 1 ei võrdu $10 \times 0,1$	27
Mis on negatiivne laetatus	32
Energia muundumine raadioaparatuuris	34
Mehaanilised, elektrilised ja elektromagnetilised võnkumised	35
Mis on vaakuum	39
Kui palju õhumiikule jääb lampi	43
Miks hõõgniit läbi põleb	48
Katodid põlevad läbi aise-ülitimisel	50
Kus on peitunud elektronilambi takistus	52
Miks lamp võimendab	54
Elektronlampide mõõtmised ja nende parameetrid	56
Kahvõrelise taassüü	59
Miks anoodid kuumenevad	61
Mida annab anoodide mustamine	64
Elektronide sirakas helendus	66
Kuhu kaovad elektronid	68
Kui palju nimetusi on olnud elektronlambil	69
Helitajele pikkus	72
Laadepikkus ja sagedus	74
Sääsepirin arvutades	75
Nahkhiir — alav lokaator	77
Miks me üksteisest äru saame	79
Pervisp. Tseper	81
1/3a sekundit	86
Tooni minimaalne kestus	90
Lähilaskeriba piirid	91
Dünaamiline diapasoone	92
Miks töötab elektrodünaamiline valjuhääldi	93
Millest sõltub valjuhääldi võimsus	95
Telefonitorudest fonofonini	98
Mis on toas valjemalt kuulda kui vabas õhus	100
Hääletu valjuhääldi	103
Sae ei ole minu hääl	105
Raadiovastuvõtja ja silm	107
Mitu korda võimendab vastuvõtja	108
	110

15 miljardi korone võimendus	112
Kas inimesel jääb jõudu raadiovastuvõtja tootmiseks	113
Vastuvõtja võimsus ja toa pindala	116
Miks tekib võre puudutamisel undamine	117
Transformaator lambi asemel	119
Väljavenitatud või ahendatud diapasooneid	121
Supermüra ja putukad	122
Sõjalamikuga antenn	125
1000 voltit aritenntis	127
Maandus lillepõllis	130
Kaks libipaistvuse akent	132
Miks atmosfäär meelab raadiolaineid	135
Impulss-saaja tööpaev	136
Mõistatatud saladus	137
Foto televisioonkraamili	140
Tuhandeid kilomeetreid mööda televisioonkraamili	144
Televiisor raadiolokaatorina	146
Lennuk tekitab vaibumisi	149
Kuidas tuleb mõista sünkroonusust	151
Valgusest küremini	154
Ridade arv ja sagedusriba	156
Peopesa väljasirutatud käe kaugusel	159
Silma televisiooniparameetrid	162
1/4 kopikat aastat	164
Helenduy laik televisioonkraamili	168
Televiisioonsaates magnetilindil	171
Musta ekraaniga torn	175
Nähtamatu muutub nähtavaks	176
25 korda õhem juuksekarvast	178
Veel 4 korda õhem	179
Sagedusriba	180
Sagedusriba ja saaltsagedus	184
Mis liigub küremini — helipea või noel	186
Detektor evolutsiooni	187
Kristallidelektori saladus	191
Elektronlambi konkurendid	194
Veel üks konkurent	198
Miks transistor võimendab	201
Parameetrisel võimendil	203
Molekul konkureerib elektronlambiga	206
Paranagnetilises võimendil	210
Halli efekti kasutavat võimendit	212
Mitteühist juht	214
Metallisolaator	216
Juhtmetala ja raadiotelefooni	217
Kristall luustab valgusega	219
Bioloogiline raadioside	220
Side gravitatsioonilainetel	223
Räägib lähtevevaheline vesinik	225
Uus meeler, mille sünnitus raadiotehnika	228
Hanumusi laengud	229
Kuumenemine kolmas spiraalis	236
Kuidas soojendamis kottleiti	237

Д. В. Куберкин, И. А. Левитин  
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА  
На астонском языке

Оформление Г. Пяэт  
Издательство «Эсти Раамат»  
Таллин, Пярнуский шоссе, 10

Toimetaja H. Heinoja  
Kusililise toimetaja H. Tikand  
Tehnilise toimetaja L. Krikmann  
Korrektorid E. Bitter ja C. Rattus  
Ladumisele antud 3. VII 1964. Trükkimisele ette  
val. X 1964. Paber 63x84. IV. Trükkpooknaind 13,25.  
Tingimiskorrad 12,5. Arvestuspoognaind 11,93.  
Trükkimise eest vastutavaks on Hans Hei-  
nemann nim. trükkkoda, Tartu, Dikooli 17/19 I.  
Hind 65 kop