

**B.FOMIN**

# **sādemest laserīnī**



A-28042

BORISS FOMIN

---

# SÄDEMEST LASERINI

28042



KIRJASTUS „VALGUS“ • TALLINN 1966

Originaali tiitel:

Б. В. Фомин  
ОТ ИСКРЫ ДО ЛАЗЕРА  
Издательство «Знание»  
Москва 1964

Tõlkinud M. Elango  
Kujundanud A. Säde

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

68562

## SAAGEM TUTTAVAKS, PLASMA

---

### SELLE RAAMATU KANGELASE NIMEST

Igal sõnal on oma saatus. Sellele võib jälile saada, kui varuda kannatust ning hakata lehitsema vanu sõnaraamatuid ja entsüklopeediaid. Niisugune töö pole viljatu: ajuti võimaldab see välja selgitada huvitavaid asju.

Kui ma kohe alguses ütlen lugejatele, et selles raamatus jutustatakse plasmast, siis ei väljendu ma konkreetselt. Vastuseks võin ma kuulda:

«Hästi!» ütleb geoloogiast kütkestatud lugeja. «Vaata, mida lisatakse akadeemik Fersmani «Jutustustele mineraalidest!»»

«Ei!» väidab bioloogiaharrastaja vastu. «Plasmal ei ole midagi ühist mineraalidega... See on bioloogiline mõiste.»

«Milleks siin geoloogia või bioloogia?» küsib füüsika austaja arusaamatuses. «Kas pole siis teada, et plasmaga tegelevad kõigi maailma maade füüsikud?»

Me ei hakka ootama lugejate vaidluse lõppu, ütleme vaid, et õigus on kõigil kolmel. Kuid mispärast? See-pärast, et sõna «plasma» on võetud kasutusele üheaegselt kolmes erinevas teaduses — teda kasutavad bioloogid, geoloogid ja füüsikud.

Plasma on kreeka keelest võetud sõna. Täht-tähelt tähendab ta midagi väljavoolitut, vormistatut, teiste sõnadega, mingisugust moodustist. Kuid praegu vaevalt keegi paneb sõnasse «plasma» sellise mõtte.

Bioloogid näiteks nimetavad plasmaks vere vedelat osa. Nende jaoks on plasma valkude ja mõnede teiste orgaaniliste ühendite kolloidne lahus.

Hoopis midagi muud mõtlevad plasma all geoloogid, kes tegelevad mineraalide otsimisega. Plasmaks nimetavad nad ilusat smaragdrohelist kivi, millest tehakse kõikvõimalikke ehteid. Seda kivi võib kohata Kara-Dagi mäe juures Krimmis, Taga-Baikalis, Jakuutias, samuti aga Saksa maal ja selle sõna kodumaal Kreekas.

Kui avada professor Ušakovi toimetatud vene keele seletava sõnaraamatu III köide, siis võib seal sõna «plasma» ülaltoodud tähendustest leida vaid kahte. See sõnaraamat ilmus peaaegu veerand sajandit tagasi, ja pole midagi hämmastavat selles, et veerand sajandi jooksul on vana sõna omandanud veel ühe uue tähenduse. Nende aastate jooksul on plasmast hakanud rääkima füüsikud, pannes sellesse sõnasse oma, «füüsikalise» mõtte.

Füüsikutele on plasma gaasi eriline olek, mille puhul gaas juhib hästi voolu ja kiirgab ohtralt valgust. Kuid see pole gaas, vaid aine eriline, neljas olek. Missugune see on, seda saab lugeja teada edasisest jutustusest, kuna raamatus, mida ta käes hoiab, on peategelaseks gaasiline plasma, s. o. plasma, millega pole tegemist ei bioloogidel ega geoloogidel, vaid füüsikutel ja inseneridel.

Nagu ma juba ütlesin, hakati plasmast eriti palju kirjutama ja rääkima alles viimase poolteise-kahe aastakümne jooksul. Kuid gaasilise plasma mõiste ise sündis võrdlemisi ammu — nelikümmend aastat tagasi. Selle pani ette ameerika füüsik Irwing Langmuir.

Sel ajal kasutasid füüsikud juba sõnu nagu «elektron», «kvant», «prooton». Kuid nad ei teadnud veel midagi näiteks neutronist. Inglise James Chadwick tõestas neutronite olemasolu alles kaheksa aastat pärast Langmuiri uuendust. Kuid see ei tähenda, et teadus hakkas plasmast huvituma siis kui tuumastki. Ei, tunduvalt varem. Selles te veendute, kui olete läbi lugenud raamatu teise peatüki.

Kuid nüüd, pärast seda, kui oleme täpsustanud meie kangelas nime, süveneme tähelepanelikumalt tema olemusse. Teadmata, mis on plasma kui füüsikaline nähtus, on ju raske rääkida sellest, milleks ta on suuteline.

## KOLM KÕIGILE HÄSTI TUNTUD STIIHIAT

Millest koosneb meid ümbritsev maailm? Inimesed hakkasid juba ammu sellest mõtlema. Muinaskreeka õpetlased arvasid näiteks, et maailm on ehitatud neljast elemendist ehk stiihiast: mullast, veest, õhust ja tulest. Muidugi tundub see meile praegu naiivsena, kuid siin on huvitav see, et juba teaduse arenemise koidikul püüdis inimene lahti mõtestada materia ehituse saladust.

Sellest ajast on möödunud palju sajandeid. Teaduslikud kujutelmad on arenedes läbinud keerulise ja lookleva tee. Ent kui imelik see ka poleks, sisuliselt tunnustatakse muinaskreeklaste nelja stiihiat ka kaasaegses füüsikas. Ainult neid nimetatakse teisiti — aine agregaatolekuteks.

Pole raske taibata, et mullale vastab aine tahke, veele vedel, õhule gaasiline olek. Kuid mis vastab tulele?

Esialgu me sellele küsimusele ei vasta, vaid avame füüsika koolikursusest igapäevale tuntud aine kolme esimese oleku «ankeedi».

Võtame tahke ja vedela aine, näiteks raua ja vee. On neil midagi ühist? Jah, on. Esiteks, tahkete kehade ja vedelike tihedused erinevad üksteisest võrdlemisi vähe. Nii tahketes kui ka vedelates ainetes on molekulid ja aatomid küllaltki tihedalt üksteise ümber paigutatud. Proovige terastraati katki rebida. Selleks on vaja teatud jõudu, mis suudaks ületada molekulide vastastikust külgetõmme traadis. Vedelikes «hoiavad» molekulid samuti üksteisest kinni, tõsi küll, mitte nii tugevasti kui tahketes kehaes.

Kuid tahket ja vedelat «stiihiat» ei ühenda mitte ainult see.

Kuumutagem metallitükki ja vett. Kas nende ruumala muutub? Jah, kuid väga vähe. Sama tulemuse võib saada nende tugeval kokkusurumisel. Molekulide lähedus nendes ainetes ei võimalda tugevasti muuta aine ruumala.

Tõsi, tahkete ja vedelate kehade elektrilised omadused on väga erinevad. Nii ühtede kui ka teiste hulgas on häid elektrijuhte ja suurepäraseid isolaatoreid. Selline ebakõla seletub kehade koosseisus olevate aatomite paigutuse ja vastastikuse mõju iseärasustega. Neil iseärasustel me ei peatu, sest see viiks meid põhiteemast kõrvale. Teeme vaid ühe märkuse.

Tahketes ja vedelates juhtides tekitab voolu elektronide liikumine. Vasktraadis või elavhõbedasambas on miljardid miljardeid vabu, aatomitega mitteseotud elektrone. Kui selliste kehade sees luuakse elektriväli, siis püüavad vabad elektronid massiliselt liikuda ühes suunas — juhised tekivad vool.

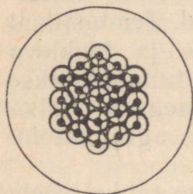
Isolaatoris peaaegu pole vabu elektrone. Kõik elektronid on neis kindlalt «seotud» oma aatomite külge: nad pöörlevad väsimatult tuumade ümber ega suuda neist lahkuda. Et ilmuks oja, on vaja vett, et tekiks vool, on vaja liikumisvõimelisi elektrilaenguid. Isolaatoreis neid pole, seetõttu ei saa neis tekkida voolu.

Nüüd jutustan lühidalt kolmandast «stiihiast» — gaasist.

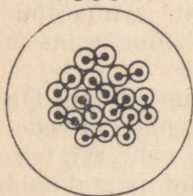
Gaasilistel ainetel on hoopis teistsugused füüsikalised omadused kui tahketel ja vedelatel kehal. Esiteks on nende tihedus palju väiksem. Piisab sellest, et hakata gaasi kokku suruma, ja ta vähendab kergesti oma ruumala, eriti algul. Kuid tarvitseb vaid gaasi anumast välja lasta, kui tema molekulid hajuvad küllalt kiiresti ruumis, ükskõik kui suur see ka poleks.

Gaasi elektrilised omadused pole mitmekesised. Eranditult ükski gaas ei juhi voolu, nad on ideaalsed isolaatorid.

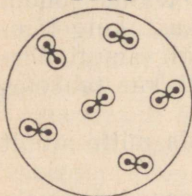
Tahke keha



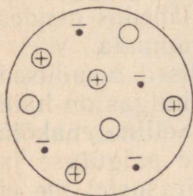
Vedelik








Gaas



Plasma



-  Molekul
-  Aatomitevaheline side
-  Aatom
-  Positiivneioon
-  Elektron

Osakestevaheliste sidemete ja kauguste skeem aine neljas agregaatolekus

torid. Tarvitseb vaid mingi tahke või vedel keha, mis juhib hästi voolu, aurustada, gaasiks muundada, kui ta muutub juhust isolaatoriks.

Kõik gaaside omadused, millest ma alles rääkisin, selektuvad nende ühe iseärasusega — suure molekulidevahelise kaugusega.

Võtame näiteks tavalise õhu. Temas on kahe naabermolekuli vahel nii suur ruum, et sellesse võiks panna veel oma kümme molekuli.

Sellistelt kaugustelt mõjutavad gaasimolekulid üksteist väga nõrgalt. Kaootiliselt liikudes haaravad nad enda alla kogu võimaliku ruumi. Samuti on neid kerge lähendada, s. o. vähendada gaasi ruumala. Peale selle pole gaasis vabu elektrone, seepärast nad ei juhigi voolu.

«Aga gaastäitega valgustustorud?» küsib mõni lugeja. «Neisse on suletud gaas ning kui vool sisse lülitada, hakkavad nad helenduma. Tähendab, ka gaasis võib tekkida vool!»

Õige — võib küll. Kuid... sel juhul lakkab gaas eksisteerimast gaasina, ta muutub plasmaks. Aga see jutt on meil veel ees.

## NELJAS STIIHIA — PLASMA

See, millest jutustati eespool, on tõenäoliselt hästi teada paljudele lugejatele. Need on nii-öelda suure algustähga tõed. Kuid nendel oli vaja kas või hetkeks peatuda, sest teisisi on raske mõista, miks teadlased on andnud plasmale sellise koha, pidades teda aine eriliseks, täiesti iseseisvaks olekuks. Mõistagi mitte seepärast, et muinaskreeklastel oli neljandaks stiihiaks tuli, plasma aga on sellega väga sarnane.

Plasma on gaasi lihane õde. Ta tekib näiteks siis, kui tavalist gaasi kuumutada mõne tuhande kraadini. Mis on kuumutamine? See on aine aatomite ja molekulide liikumise kiiruse suurendamine. Isegi toatemperatuuril kihutavad gaasimolekulid kõikides suundades, aga kui gaas on tugevasti kuumutatud, suureneb tema liikumise kaos palju kordi. Selles kaoses on üksikmolekulide kokkupõrkamine vältimatu. Mida kõrgem on temperatuur, seda «tugevamini» peksavad molekulid üksteist. Kuid see ei möödu jäljetult.

Tavalise gaasi molekul koosneb kahest või mitmest liitunud aatomist. Kaduvväikesed on need «telliskivikesed», millest molekulid on ehitatud. Kuid iga selline «telliskivikene», iga aatom on ka keeruline maailm. Aatomi tsentris asub tuum, mis on laetud positiivse elektriga. Ümber tuuma pöörlevad elektronid nagu planeedid ümber Päikese. Neil on vastupidine ehk negatiivne laeng. Kõigi elektronide kogulaeng ja tuuma laeng on omavahel võrdsed, seepärast on aatom tervikuna elektriliselt neutraalne. See tähendab, et elektriliste jõudude suhtes jääb ta «ükskõikseks». Kuid seda vaid teatud ajani.

Kui molekulide vastastikused põrked kuumutatud gaasis muutuvad väga tugevaks, siis muundub gaas plasmaks. Mis seejuures toimub?

Esiteks hakkavad gaasi aatomid kiirgama valgust. Kuidas valgus sünnib, jutustan ma hiljem, selle peatüki eri lõigus.

Kuid valguse kiirgamine pole gaasi kuumutamise ainus tulemus. Molekulide tugevad põrked võivad lõppeda kurvemalt — ühe või mitme elektroni lahtirebimisega aatomist. Sel juhul lõpeb molekuli elektriline neutraalsus. Kaotanud elektroni, muutub ta positiivselt laetud iooniks. Aga väljalöödud elektron? Saanud vabaks, alustab ta iseseisvat elu.

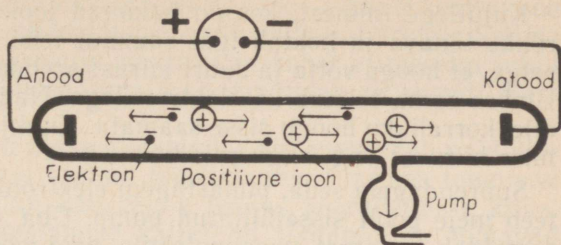
Seega ilmusid kõigis suundades kihutavate osakeste kaoses laengud — positiivsed ja negatiivsed.

Muidugi võib vaba elektron siinsamas ühineda mingi iooniga — erinimelised laengud tõmbuvad —, kuid tema asemel lüüakse välja teised elektronid ja elektri hulga ülekandjate armee täieneb jälle.

Sellist massilist laengute tekkimise protsessi nimetavad füüsikud ionisatsiooniks. Selle tulemusena lakkab gaas olemast isolaator. Ta kiirgab heledalt valgust ja on võimeline juhtima voolu. Niisugust aine olekut nimetataksegi plasmaks.

Kuid gaasi võib plasmaks muundada mitte ainult kuumutamise abil. Nimetame veel vähemalt kaht viisi.

Heitke pilk joonisele. Sellel on kujutatud klaasist lahendustoru. Otstest on viidud läbi klaasi torusse metalltraadid, mille külge on kinnitatud plaadid-elektroodid. Kui lülitada sisse kõrgepingeallikas, ilmuvad elektroodide vahel elektrilised jõud. Kui torus oleks laenguid, siis võiksid sellised jõud neid liikuma panna.



Plasma saamine lahendustorus

Olgu torusse suletud tavaline õhk normaalrõhul. Eespool me rääkisime, et iga gaas on isolaator, tähendab, ta ei juhi voolu. Kuid meie toru võib sundida seda tegema, sest torus pole mitte ideaalne gaas, mille omadustest räägiti ülalpool, vaid reaalne, s. o. selline, millisena ta eksisteerib meie maapealsetes tingimustes.

Igaüks on kuulnud kosmilistest kiirtest — nendest nähtamatutest ja väga kiiretest osakestest, millega universum pommitab Maad. Neil on nii palju energiat, et tungivad läbi paksust atmosfäärist, läbivad puud, ehitisi ja tungivad isegi sügavale maa sisse. Nad satuvad ka klaasitorusse, millesse on suletud õhk.

Kosmiline osake on laeng, mis on võimeline purustama. Põrgates torus olevate õhumolekulide vastu, lõhub ta elektronide sidemeid aatomitega ja vabastab neid. Kuid vabaduse omandanud elektron ongi ju negatiivne laeng, elektri hulga ülekandja. Elektroni kaotanud molekul on aga positiivne laeng, ioon — samuti elektri hulga ülekandja.

Neil laengutel maksab vaid sattuda elektrivälja, kui nad juba langevad selle võimusesse. Seejuures püüdlevad elektronid anoodi poole, ioonid aga katoodi poole. Torus tekib vool. Kuid see vool on väga nõrk, alati me isegi ei märka seda. Põhjus on selles, et kosmilised osakesed «toodavad» laenguid liiga vähe, ning korraliku voolu loomiseks jääb materjali napiks.

Vaatame nüüd, mis juhtub, kui sisse lülitada pump ja hakata torust õhku välja pumpama. Kui torus on palju õhku, siis pole elektronidel ja ioonidel erilist vabadust. Kandudes edasi elektrivälja poolt haaratuina, satuvad nad oma liikumisel alatasa gaasimolekulidele.

Kujutlege inimest, kes on hakanud jooksuma üle rahvarohke tänava ja kohtab igal sammul teisi möödujaid. On selge, et hoogu võtta ja suurt kiirust arendada ta ei suuda. Umbes sama toimub ka elektronidega. Nad jõuavad anoodile, korralikku hoogu sisse saamata. Kuid just nende liikumise kiiruses ongi kogu saladus.

Suurendagem seda, puhastagem elektronidele teed. Seda teeb meie poolt sisselülitatud pump. Üha enam ja enam eemaldab ta torust gaasimolekule, neid möödakäijaid, mis segavad elektronidel liikumist. Nüüd satuvad elektronid harvemini gaasimolekulidele, tähendab, jõuavad enne järjekordset põrget rohkem hoogu võtta.

Lõpuks saabub selline moment, mil kiire elektron osutub võimeliseks gaasimolekuliga kokkupõrgates sellelt elektroni ära rebima. Ühe asemel on nüüd kaks vaba elektroni pluss positiivne ioon — molekul. Samal silmapilgul haarab elektriväli need elektronid, annab neile hoogu ja kui nende teel leidub gaasimolekule, põhjustab see uute vabade elektronide tekkimise.

See ionisatsiooniprotsess meenutab lumelaviini, mis võib mägedes tekkida väikesest lumepallist.

Laengute massiline tekkimine torus suurendab järsult voolu, millega kaasneb valguse kiirgamine. See aga on kindel tunnus, et gaas on üle läinud uude olekusse, muutunud plasmaks.

Pildi täiuslikkuse huvides teeme veel kaks märkust.

Nagu gaasi kuumutamisel saadavas plasmal, toimub siingi üheaegselt laetud osakeste sünniga vastupidine protsess — nende taasühinemine.

Teine märkus puudutab positiivsete ionide saatust. Suudavad nad katoodi poole liikudes samuti gaasi ioniseerida?

Teooria ja katse näitavad, et selle tõenäosus on tunduvalt väiksem. Elektron on kerge laetud osake, seepärast kogub ta ruttu kiirust, tähendab, omandab kiiresti võime ioniseerida vastujuhtuvaid gaasimolekule. Ioon on elektroniga võrreldes tõeline lahmakas, seepärast on talle raskem hoogu anda. Ioniseerimiseks aga, kordan, on vaja kiireid osakesi. Vaat mispärast mängivad gaasi plasmaks muundamisel lahendustorus peaosa siiski elektronid.

Ma jutustasin gaasi plasmaks muundamise kahest teest. Üks tee on gaasi kuumutamine, teine — gaasi mõjustamine

elektriväljaga. On olemas veel üks tee — gaasi kiiritamine radioaktiivsete, ultravioletsete või röntgenikiirtega. Selline mõjustamine ioniseerib gaasi nagu kahel esimeselgi juhul ja sunnib teda helenduma, s. o. muundab ta samuti plasmaks.

Ülalkirjutatud plasma tekkimise pilt peegeldab vaid üldjoontes seda, mis toimub tegelikkuses. Plasmas toimuvad protsessid liigitab kaasaegne teadus keerulisimate kilda. Nende lahtimõtestamise kallal on töötanud ja töötavad praegu paljude maade suurimad füüsikud.

## PLASMAS SÜNDINUD VALGUS

Valgus... Vahest ühelgi füüsikalisel nähtusel pole sellist laialdast ja, ma ütleksin, dramaatilist ajalugu, kui on saanud osaks valgusele. Isegi muinasajal mõtisklesid inimesed päikesetõusu jälgides või halge põlevasse lõkkesse loopides sageli valguse loomuse üle. Kuid tema sündimise põhjusi ei suutnud loomulikult ei nemad ega nende järeltulijad õigesti seletada. Alles mõned sajandid tagasi ilmusid esimesed teaduslikud hüpoteesid.

Kuulus astronoom Kepler arvas, et helenduv keha paiskab katkematu joana välja erilist ollust, kusjuures see ollus liigub lõpmata kiiresti.

Kepler elas enne Newtonit. Newtoni kaasaegne Römer suutis Kepleri väite valguse kiiruse lõpmatusest ümber lükata. Jälgides Saturni esimese kaaslaste varjutust, märkas ta, et kui Maa on Saturnist kaugemal, teisel pool Päikest, siis toimub varjutus millegipärast hiljem. Tähendab, otsustas Römer, valguskiirtel tuleb läbida täiendav tee, milleks on vaja aega.

Newton, klassikalise füüsika isa, lõi valguseteooria, mida hakati nimetama «voolamise teooriaks». Newtoni järgi koosneb valgus pisimatest osakestest — korpuskulitest, mida saadab välja kuumutatud keha. Need osakesed pole suuruselt ühesugused ja erinevad ka kiiruse poolest. Punased korpuskulid on kõige suuremad, violetsed aga kõige väiksemad.

Newtoni teooria valitses füüsikas 19. sajandini, siis loovutas see oma koha Huygens'i laineteooriale. See õpetlane kinnitas, et valgus on mingi tabamatu, kuid kõikjale-

ulatava keskkonna — eetri — võnkumine. Huygeni teooria seletas hästi valguse võimet painduda takistuste taha, sarnaselt sellega, kuidas merelaine paindub kalju taha.

Sada aastat tagasi elas Inglismaal suurepärane füüsikoteoretik Maxwell, kes tõestas, et kui juhti läbib vahelduvvool, siis levivad selle ümber kõikides suundades elektromagnetilised lained. Maxwelli arvutuste järgi peab nende lainete kiirus olema 300 tuhat kilomeetrit sekundis. See arv langes kokku Römeri ja teiste teadlaste poolt määratud valguse kiirusega.

Maxwell tegi julge järelduse: valgus on elektromagnetiline võnkumine, s. o. üksteisega seotud elektri- ja magnetväljade võnkumine. Eetri ideed ta siiski ei julgenud rünnata, kuna uskus kindlalt selle olemasolusse.

Meie sajandi algul lausus valguse loomuse kohta uue sõna Albert Einstein. Selleks ajaks oli teadus kogunud küllaldaselt andmeid, et kahelda eetri olemasolus, ning Einstein hülgas maailmaetri idee täielikult. Ta arendas saksa füüsiku Max Plancki poolt väljendatud arvamust, et valgus kiirgub ja neeldub kindlate portsjonite — kvantide kaupa.

Mis on siis valgus? Kvandid või elektromagnetilised lained?

Nii see kui teine. Selline on tänapäeva teaduse arvamus.

Kujutlegem tulise rauatüki sisemust. Aatomid sellises tükis võnguvad energiliselt ja põrkavad üksteisega kokku. Tõuked avaldavad eelkõige mõju elektronidele, mis võivad paiskuda tavaliselt orbiidilt kõrvale, tuumast kaugemale. Sel juhul räägivad füüsikud: aatom ergastus, läks üle mittepüsivasse seisundisse.

Ülesvisatud kivi püüab kukkuda tagasi maa peale. Täpselt samuti püüab «võõrale» orbiidile sattunud elektron pöörduda tagasi «koju», oma orbiidile. Aga kuna aatomite põrkel on elektron omandanud lisaenergiat, siis peab ta selle «rivvi» tagasipöördumisel tingimata ära andma.

Ja annabki valguseportsjoni kujul. Seda aatomi poolt kiiratud valguseportsjonit hakati nimetama footoniks, või mis on sama — kvandiks.

Footon pole korpuskul, pole «väikene kehake», nagu mõtles Newton, vaid elektromagnetiliste lainete portsjon. Punase valguse footonitel on suurem lainepikkus kui roheline või violetse valguse omadel. Suurem lainepikkus tähendab väiksemat võnkumissagedust, kuid, nagu see on teada juba Plancki aegadest, sõltub sagedusest kvandi energia. Tähen-

dab, punased «valguskuulid» on väiksema energiaga kui violetsed. Seda järeldust kinnitab katse.

Hõõguv rauatükk saadab välja täieliku komplekti footoneid — punasest violetseni. Selles on kerge veenduda, kui lasta tahke keha poolt kiiratav valgus läbi klaasist kiilprisma. Erinevad kiired murduvad prismas erinevalt ning väljuvad sellest mitmevärvilise lehvikuna.

Selline footonite mitmekesisus seletub järgmiselt: ergastatud aatom «tulistab» ainult kindlat liiki footonitega. Kuid nii on see vaid siis, kui aatomile ei avalda mõju tema naabruses asuvad aatomid. Tahkes kehas on aatomid üksteisele lähedal, seepärast on nende vastastikune mõju suur. Kui me kuumutame sellist keha, suureneb aatomite võnkumine ning nendevahelised kaugused kord suurenevad, kord vähenevad. See aga peegeldub ergastamisprotsessis: ergastatud aatomite orbiidid nihkuvad. Kuna need nihked pole püsiva suurusega, kiirgavad aatomid normaalseisundisse tagasi pöördumisel iga kord erineva energiaga kvante. Kuid taoline protsess pole ainuke.

Elektron on negatiivset laengut kandev osake. Loomulikult mõjustavad teda teised laetud osakesed. Tulises rauatükis juhtub sageli nii, et kiirelt lendav elektron pidurdub, kaotab kiirust. Kiiruse vähenemine on aga vältimatult energia vähenemine. Sellisel pidurdamisel on elektron «kohustatud» osa oma energiast ära andma. Ja ta teebki seda, kiirates välja valguse kvandi. Oma energia poolest võivad sellise pidurdus- ehk pärsskiirguse kvandid olla kõige mitmekesisemad, järelikult osutub ka sellise kiirguse spekter pidevaks.

Kuid tahkes kehas on veel rekombinatsiooniline kiirgus. Kui vaba elektron satub kõrvuti iooniga, millel puudub üks elektron, siis toimub neutraalse aatomi moodustumine,iooni ja elektroni taasühinemine ehk rekombineerumine. Seda protsessi saadab samuti pidevat spektrit omava valguse kiirgamine.

Kuna hõõguvate kehade kiirgus tuleneb kiirguva keha soojusenergiast, nimetatakse sellist kiirgust soojuskiirguseks. Sellel on alati pidev spekter, s. o. ta annab pärast prismast läbiminekut täieliku vikerkaare.

Pöördume nüüd plasma juurde. Kui see on küllaldaselt hõrendatud, tekib temas kiirgus tänu aatomite ergastamisele elektronide poolt. Aatomiga kokkupõrkav elektron on sellega üks ühe vastu: ta ioniseerib või ergastab aatomi.

Kuna naaberaatomite mõju peaaegu puudub, kiirgab ergastatud aatom normaalseks saades täiesti kindla footoni. Järelikult pole sellise plasma spektris erinevalt tahkete kehade omast täielikku valguslainete kogu. Spekter koosneb vaid üksikutest värvilistest joontest.

Tõsi küll, mõnel juhul võib ka plasma luua pideva spektri, kuid sellest tuleb juttu hiljem.

## UNIVERSUM KOOSNEB ... PLASTAST

Meie kodu on Maa. Kuid juba ürginimese mõte suundus väljapoole selle kodu piire. Päike, planeedid, tähed tõmbasid vastupandamatult enda poole.

Astronoomia, see vahest kõige iidsem teaduste hulgast, on paljude aastasade jooksul kogunud arvukalt hinnalisi andmeid Päikesest ja tähtedest. Kuid vastata, millest need koosnevad, milline on nende ammendamatu energiaallikas, ta ei suutnud. Neile küsimustele võis veenvad vastused anda vaid kaasaegne füüsika.

Taevakehad, Päike ja tähed, on sugulased. Teadlased kinditavad, et Päike on keskmise suurusega täht. Mõned nimetavad teda naljatades isegi «kollaseks kääbuseks». Kuid see «kääbus» saadab miljardeid aastaid väsimatult maailmaruumi hiiglaslikke energiavooge. Poleks seda energiat, ei saaks Maal eksisteerida elu.

Päikese ja tähtede põues möllavad pidevalt keerulised füüsikalised reaktsioonid. Neid hakati nimetama termotuumareaktsioonideks. Ühed ained muunduvad teisteks ja selle protsessiga kaasneb kolossaalse energiahulga eraldumine. Päikese sisemuses ühinevad näiteks vesiniku tuumad hoopis raskemateks osakesteks — heeliumi tuumadeks ja niikaua kuni meie valguslätte ei kuluta ära kõiki oma vesinikuvarusid, jääb ta särama niisama heledalt, nagu särab praegu. Need varud on aga kolossaalsed, neid piisab paljudeks miljarditeks aastateks.

Teadlased on välja arvutanud, et Päikese sisemuses ulatub temperatuur üle kolmeteistkümne miljoni kraadi. Teised tähed on veel tulisemad. On täiesti ilmne, et sellise temperatuuri juures saab aine eksisteerida vaid plasma kujul.

Päikese sisemuses olev plasma on eriline. Aatomid on seal täiesti «paljaks» tehtud. Nad on kaotanud kõik oma

elektronid. Peale selle on see plasma väga tihe, ta kaalub mitu korda rohkem kui plii. Et Päikese mass ületab 322 100 korda Maa massi, siis on ka Päikese väliskihtide rõhumine sisemistele kujuteldamatult suur.

Termotuumaprotsessid toimuvad Päikese plasma keskmistes osades. Päikese väline kate on jahedam, koosnedes hõrendatud plasmast, mille tihedus on väiksem Maa atmosfääri tihedusest. Kuid temperatuur on meie maapealsete kujutluste kohaselt väga kõrge — kuue tuhande kraadi ümber.

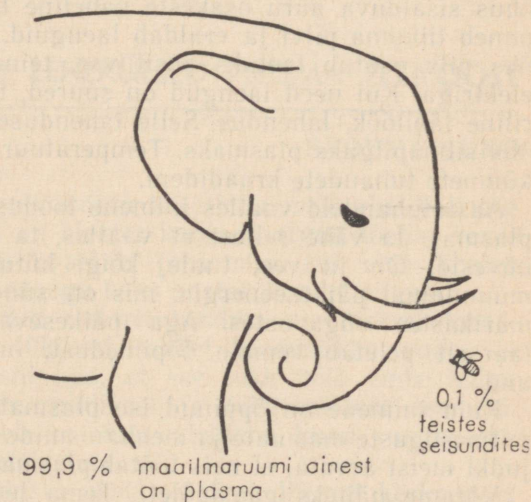
Seega on Päike hiiglaslik tulise plasma kera diameetriga üks miljon nelisada tuhat kilomeetrit.

Nüüd vaatame, milline erikaal on plasmal meie päikesesüsteemis.

Kujutlege hiiglasuurt kaalu. Ühele kausile asetame Päikese, mis koosneb plasmast, teisele kõik ülejäänud: planeedid, asteroidid, meteoriidid, kosmilise tolmu jne. Nende kaal ei tasakaalustu kunagi, sest Päikese mass on 99 korda suurem kogu ülejäänud päikesesüsteemi massist.

Tähendab, plasmaolekus on lõviosa päikesesüsteemi ainetest.

See järeldus on õige ka Galaktika kohta — universumi selle osa kohta, kuhu kuulub meie päikesesüsteem. Galaktikas võib kokku lugeda umbes kakssada miljardit tähte.



Ja iga täht on nagu Päikegi plasmaolekus. Järelikult elame me plasmauniversumis ning pole midagi hämmastavat, et see fakt sunnib õpetlasi aine neljandat seisundit hoolikalt uurima.

Kuid pöördume kosmilistest kaugustest tagasi Maa peale. Selgub, et ka siin kohtame plasmat.

Põhjarajoonide elanikud näevad sageli värvikat loodusnähtust — virmalisi. See on helenduv plasma.

Alates umbes 100 kilomeetri kõrguselt on Maa ümbritsetud plasmakihiga, mida nimetatakse ionosfääriks. Oma sünni võlgneb ta päikesekiirtele, eriti kõige energiarikkamaile neist — ultravioletsetele. Tungides Maa atmosfääri ioniseerivad need neutraalseid gaasimolekule ja muudavad gaasi plasmaks.

Kes poleks näinud, kuidas «langevad tähed». Need tähed tulnukad kosmosest on põlevad meteorid. Nad tungivad atmosfääri suure kiirusega. Õhk meteoori ees surutakse tugevasti kokku ja kuumutatakse mitme tuhande kraadini. Sellisel temperatuuril ta ioniseerub, muutub plasmaks. Meteoori poolt taevale joonistatud hele joon on plasma helendus.

Seni rääkisin ma looduslikust plasmast, mis tekib gaasi tugeva kuumutamise tulemusena. Kuid on olemas plasma, mida loob elektriline jõud. See on välk.

Atmosfääris tekib pidevalt elektrilaenguid. Põhjuseks on õhus sisalduva auru osakeste vaheline hõõrdumine. Tuul paneb liikuma pilvi ja eraldab laenguid. Võib juhtuda, et üks pilv osutub laetuks positiivse, teine aga negatiivse elektriga. Kui need laengud on suured, toimub õhu elektriline läbilöökk, lahendus. Selle lahenduse kanalis muutub õhk silmapilguks plasmaks. Temperatuur tõuseb seejuures kümnete tuhandete kraadideni.

Aastatuhandeid vaatles inimene looduse poolt tekitatud plasmat. Ja vähe sellest et vaatles, ta kasutas ka selle hüvesid. On ju vee, tuule, kõigi kütuseliikide energia muundunud päikeseenergia, mis on sündinud tema plasmarikastes sügavustes. Aga päikesevalgus, mis regulaarselt peletab eemale ööpimedust, on plasma vahetu and.

Kuid inimene on õppinud ise plasmat looma. Jälgides mitmesuguste masinate ja mehhanismide tööd, ei oska paljudki meist arvata, et neis töötab plasma.

Võtame näiteks gaasipõleti. Tema leegi sisemuses on

temperatuur mitu tuhat kraadi. Sellises kuumuses gaasimolekulid ioniseeruvad ja muunduvad plasmaks.

Autosilindrites muutub gaas lühikeseks ajaks pärast bensiiniaurude «plahvatust» samuti plasmaks.

Lõpuks, raketi- või reaktiivmootori düüsist väljapaiskuv leek on tõeline plasma. Võib eksimatult öelda, et tänapäeva rakett on plasmaseade.

Plasma tekib ka plahvatuste, eriti võimsate aatomiplahvatuste juures.

Kõik need «tehisplasma» tekkimise juhud on tingitud gaasi tugevast kuumutamisest.

Veel rohkem võib tuua näiteid plasma tekkimisest elektrilahenduste tulemusena.

Lülitis hüppav vaevaltmürgatav sädemeke, elektrikeevituse kaar, reklaamkirjade tulitähed, elavhõbealaldid, elektrikaarahjud — kõigis neis seadmes on plasma nähtaval kujul.

Ühes raamatus on võimatu jutustada kõigist plasma rakendustest, sest neid on tohutu hulk.

Seepärast tuleb siin juttu peamiselt plasmast kui valguse loojast, sellest, kuidas tema kiired aitavad inimest.

Kuid enne seda tasub heita pilk viimasesse paari-kolme sajandisse ja vaadata, kuidas plasma sai meie sõbraks.

## MÕNED LEHEKÜLJED PLASMA ELULOOST

---

### SÄDEME SÜND

Ilma elektrita on võimatu kujutleda meie elu. Viimase saja aasta jooksul on elekter korda saatnud tõelise revolutsiooni, kuigi ta avastati juba siis, kui elas Thales Mileetosest, s. o. peaaegu kaks aastatuhandet tagasi.

Esimestena õppisid elektrit tundma muinaskreeklased. Hõõrudes villaga tükikest tahket looduslikku vaiku — merevaiku, märkasid nad, et see tükk võib enda külge tõmmata villakiude, niidikesi ja teisi väikesi esemeid. Merevaigust pärineb ka sõna «elekter», kuna «merevaik» on kreeka keeles «elektron».

Aastasajad möödusid üksteise järel. Pärast keskaegset

seisakut hakkas teadus selga sirutama. Ilmub terve plejaad suuri teadlasi, kelle nimesid nimetame ka praegu austusega — Galilei, Newton, Huygens. Astronoomia, mehhaanika, optika saavad teadusteks, mida rikastatakse terve rea seaduste ja tohutu hulga usaldusväärsete faktidega. Vaid teadus elektrist tammub paigal ning edasisi katseid mitmesuguste kehade elektriseerimiseks ei tehta. Kuigi kasvab teadlaste huvi elektrinähtuste vastu, olid epohhi praktilised vajadused teised, suunates tähelepanu teraviku elektriga mitteseotud probleemidele.

Uue tõuke elektriliste nähtuste uurimisele andis... plasma, mis sattus teadlaste kätte täiesti ootamatult.

See juhtus 1698. aastal. Sel aastal ilmus ühes Inglismaa teaduslikus ajakirjas väike teade, millele oli alla kirjutanud keegi doktor Wall. See teadlane huvitus kehade helendusest — fosforestsentsist ning katsete läbiviimisel sai ta juhuslikult esimese «portsjoni» tehisplasmat.

Doktor Wall hõõrus villaga suurt merevaigu tükki, oodates, millal see hakkab fosforestseeruma. Äkki hüppas tükist välja umbes tollipikkune säde. Teadlase sõrm tundis märgatavat lööki. Samaaegselt oli kuulda raginat, «nagu oleks ahjus lõhkenud sötükk».

Nii sündis elektrisäde. Teadlasele ei võinud märkamata jääda, et säde on sarnane välguga, kuid selle ilmumise põhjuseks pidas ta fosforestseeriva keha helendust. See pole ka imeks pandav, ei teadnud ju sel ajal keegi midagi välgu elektrilisest loomusest. Enamik arvas, et välk on atmosfääris kogunenud väävli- või salpeetriaaurude hetkeline süttimine. Alles pärast Franklini ja Lomonossovi suurepäraseid katseid lahendati välgu mõistatus.

Meie ajal on sädemetekaskaadi saamine jõukohane igale koolipoisile. Kaks ja pool sajandit tagasi oli see tõsine tehniline probleem. Elektrit saadi siis kõige primitiivsemal viisil — merevaigust kera, hiljem aga klaasketaste hõõrumisel. Alles pool sajandit pärast doktor Walli avastust leiutas Peter Musschenbroek laengute hoidmiseks «sahvri» — leideni purgi. Need olid esimesed kondensaatorid, seejuures kaugeltki mitte täiuslikud. Praegu võib leideni purke kohata vaid koolide füüsikakabinettides.

Kui hakata pöörama elektrostaatilise masina käepidet, siis kogunevad laengud, mis tekivad harjade hõõrumisel vastu nende masinate klaasketaid, purkide katetele. Kui katted juhi abil ühendada, tekib säde ja purk tühjeneb.

Mõiste «tühjenemine» ilmus elektri valdkonda nimelt selle nähtuse uurimise tagajärjel.

Sädemed on lühiajalised voolutõuked leideni purkide tühjakslaadumisel. Et saada ühte sädet, tuli elektrostaatilise masina kettaid kaua ringi ajada, püüdes rohkem laenguid leideni purkidesse koguda. Pisisike plasmaportsjon läks väga kalliks.

Tõsi küll, meieni on jõudnud andmeid, et sellise vähevõimsa ja ebatäiusliku masina abil on õnnestunud saada ka kestmamat lahendust. Sel juhul ei toimunud lahendus mitte õhus, vaid klaasnõus, millest püüti võimalikult palju õhku välja pumbata. Õhujäänused ioniseerusid elektrijõudude toimel ja hakkasid helenduma. See oli plasma. Nii-suguse lahenduseliigi uurimise pioneeriks oli suur vene teadlane Mihhail Vassiljevitsš Lomonossov.

Kuid elektrostaatiline masin ei rahuldanud füüsikuid. Ta ei sobinud veejoataolise alalisvoolu tekitamiseks.

Uus etapp elektri eluloos üldse ja plasma eluloos eriti algas pärast Volta samba leiutamist. See juhtus 18. sajandi viimasel aastal.

## TULINÖÖRI AJALUGU

Sel ajal kui leiutati leideni purk, oli Alessandro Volta veel imik. Mõõdusid aastad, ta kasvas suuremaks, astus Jesuiitide Ordu kooli. Kuid teda ei tõmmanud mitte usk, vaid loodusteadused. Nendele pühendas ta kogu oma elu.

Noor itaallane oli väga andekas: kahekümne nelja aastasena avaldas ta esimese töö elektri kohta, kahekümne üheksasena aga sai füüsikaproffessoriks. Peale selle teaduse tegeles Volta edukalt keemia ja bioloogiaga, kuid kõik tema uurimised olid reeglina tihedalt seotud elektriga.

19. sajandi eelõhtul sai Alessandro Volta nimi kõikjal tuntuks. Või veel! Ta leiutas esimese pikaajalise alalisvoolu allika — Volta samba.

Volta «elektrijaam» on väga lihtne. Selleks on tarvis võtta kakskümmend paari vask- ja tsinkrõngaid ja laduda need vaheldumisi sambaks. Rõngad ei puutu üksteisega kokku, sest nende vahele paigutatakse soolases vees, äädikas või väävelhappes niisutatud kalevist vaherõngad. Äärmiste rõngaste juurest viiakse välja karrast juhtmed. Kui neid keelega puudutada, hakkab see kipitama. Mida suu-

rem on samm, seda tugevam on kipitus. See on tunnuseks, et vool suureneb.

Katsed Volta sammastega haaravad kõiki. Nendega hakkavad tegelema mitte ainult teadlased, vaid ka arstid, õpetajad, apteekrid, kaupmehed ja isegi kuningad. Volta samm täiustub, elementide — rõngaste arv temas kasvab. On juba saadud esimesed sädemed — sellest kirjutatakse teaduslikes ajakirjades. Need sädemed on seda «rasvased» ja heledamad, mida suurem on samba kõrgus.

Taolisi katseid tehakse ka Venemaal. Peterburi Meditsiinilis-Kirurgilises Akadeemias töötab väsimatult füüsika-professor Vassili Vladimirovitš Petrov. Tujuka vooluallikaga töötamine on väga raske. Pole veel leiutatud tundlikke voltmeetreid ning Volta samba pinget pole millegagi mõõta. Professor Petrov lõikab sõrmeotstelt naha ära ja püüab närviotstega voolutorkeid, muutudes ise voltmeetriks.

Vene teadlane kiirustab, istub hilise ööni laboratooriumis. Ta ehitab seninägematu kõrgusega samba. Mitte kakskümmend, nagu Alessandro Volta, ja ka mitte sadu, nagu teised füüsikud, vaid 4200 vask- ja tsinkrõngast kogub ta patarisse.

Nüüd on «iseäranis tohtu» samm valmis. Selle juurest viivad juhtmed kahe klaasalusele paigutatud söetüki juurde. Aeglaselt lähenevad söed teineteisele. Mis sünnib? Säde? Kuid milline? Aga võib-olla üldse mitte säde?

Ja äkki ilmub süte vahele kaarjas tulenöör. Kogu laboratooriumiruum otsekui valatakse täis heledat hõbedast valgust. Suur avastus on toimunud. See juhtus 1802. aastal.

Vassili Petrovi kaar on uus samm plasma alistamisel. Erinevalt üksikutest sädemetest, mis suutsid pimeduse silmapilguks eemale peletada, kiirgab elektrikaar valgust pideva voona.

Kaareplasmast nõõrike loob silla söest või metallist elektrootside vahele. Ta nagu lühistaks neid. Seejuures tekib küllalt tugev vool, mille säilitamiseks on tarvis võimsamat allikat kui see, mida vajatakse sädemete loomiseks.

Kaareplasma on teist «sorti» kui sädekanali plasma. Siin toimub ionisatsioon mitte ainult kiirete elektronide tõttu, vaid ka aatomite omavaheliste põrgete arvel. Temperatuur on kaarenööris nii kõrge, et sellised põrked lõpevad elektronide lahtirebimisega.

Kui sädeme sisemuses hüppab temperatuur üles vaid hetkeks, siis kaares on ta kõrge kogu põlemise vältel. Elektronid, eriti anood, mis helendub väga eredalt ja kiirgab palju soojust, kuumenevad tugevasti.

Elektrikaare avastaja Vassili Petrovi esimeseks mõtteks oli selle kasutamine valgustamiseks. Kui ta aga nägi, kuidas kaarleegi lõõmas sulavad metallid, tegi ta ettepaneku kasutada mitte ainult kaare valgust, vaid ka soojust.

Tulevik näitas, kui ettenägelik oli vene õpetlane.

## «VENE PÄIKESE» TRIUMF

1874. aasta varakevadel kihutas rong tähtsa ülesandega Krimmi poole. Kiirustades vahetati jaamades vedurit ja asuti jälle teele. Hele prožektorivalgus esimeselt platvormilt langes pimedust lõhestades rööbastele. Prožektori juures seisis hetkekski lahkumata poolkasukas inimene. See oli Moskva—Kurski raudtee telegraafi ülem Pavel Nikolajevitš Jablotškov. Tema kohuseks oli jälgida, et prožektor ei kustuks. Nende aegade kohta polnud ülesanne kerge, sest prožektoris põles tujukas elektrikaar.

Märgime, et see polnud esimene juhus, kus Vassili Petrovi avastust kasutati valgustamiseks. Veerand sajandit varem süttis kaarevalgus Peterburis Admiraliteedi tornis. Seitse aastat hiljem kiirgas ta Moskva pidustustel. Ja siiski ei saanud «elektripäike» laia leviku osaliseks. Põhjus peitus kaarlampide keerulises konstruktsioonis.

Kui kaar süttib, hakkab tema kuumus sööma elektroodide sütt. Sõed lühenevad, vähemik nende vahel kasvab ja kaar kustub. Et seda ei juhtuks, lisatakse kaarele automaatvalvur. Selle kellamehhanism lähendab süsi sedamööda, kuidas nad ära põlevad. Kuid automaadi mehhanism oli keeruline ja töötas ebakindlalt.

Jablotškov märkas seda, jälgides prožektorit Krimmi kihutaval rongil. Ta mõistis, et elektrikaarlamp ei löö läbi, ei saa inimeste kuulekaks teenriks enne, kui pole välja mõeldud lihtsat ja töökindlat regulaatorit.

Jablotškovi haarab elektrivalgustuse idee, ta heidab kõrvale töö raudteel ja hakkab leiutama. Katseid teostab ta oma sõbrale, samuti leiutajale kuuluvast töökojast, ja pühendab neile kogu oma vaba aja.

Kuid Jablotškov ei suutnud oma tööd Venemaal lõpetada. Ükskord toimus töökoja tagatoas plahvatus. Politsei kahtlustas leiutajaid sidemetes revolutsionääridega. Jablotškov ei võinud Venemaale jääda. Ta istus Odessas aurikule ja sõitis Prantsusmaale.

Asunud elama Pariisi vene emigrantide kvartali, hakkas Jablotškov tööle elektrotehnika töökojas. Kogu vaba aja töötas ta regulaatori kallal, mis oleks ustavalt hoidnud elektrikaart hukkamise eest. Kuid õige lahendus ei tulnud ega tulnud.

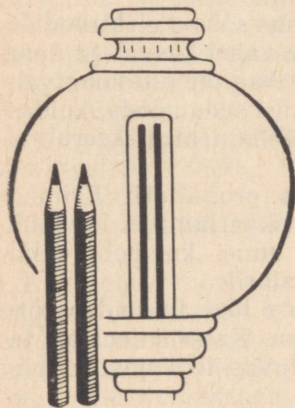
Kord läks Jablotškov odavasse Pariisi kohvikusse, hoides käes kaht äsja ostetud pliiatsit. Kui ta laua taha istus, olid ta mõtted haaratud ikka samast — regulaatorist. Masinlikult pani leiutaja pliiatsid kõrvuti ja võttis käe ära. Aga mis oleks kui... ajaks läbi ilma igasuguse regulaatorita. Jah, kui panna õige süsielektroodid kõrvuti, alumiste otste juurde viia juhtmed, üleval aga süüdata kaar! Et kaarenöör ei libiseks alla ega lõikaks läbi süte aluseid, tuleb sütevaheline ruum täita ainega, mis põleks samasuguse kiirusega nagu söedki. Mis tuleb välja? Küünal! Kuid mitte harilik, vaid elektriline!

Leiutajale on kõige tähtsam õige idee tabamine. Kõik ülejäänud jääb visaduse ja tööarmastuse hooleks. Odavas Pariisi kohvikus Jablotškovile turgatanud idee oli läbinisti õige, kuid juhuslikuks seda nimetada ei saa — see oli autori väsimatute otsingute tagajärg.

Loonud oma kuulsa «küünla», lahendas Jablotškov hoo- bilt kaks ülesannet. Esimene: elektrikaarlamp osutus lihtsaks ja töökindlaks. Teine: esmakordselt sai võimalikuks üheaegselt sisse lülitada kui tahes palju selliseid «küünlaid».

Varem oli iga kaarlaterna jaoks vaja eraldi vooluallikat, oma «elektrijaama». Juurdepan- dud regulaator hoidis alal vaid oma kaare tuld, kustutades ha- lastamatult naabreid, kui neid püüti lülitada paralleelselt.

Elektrivalguse jaotamine, s. o. mitme kaarlambi kooskõlasta- tud töö ühe allika baasil, oli tol ajal tõsiseks ülesandeks insene-



ridele. Aga Jablotškov lahendas selle ühe hoobiga. Mittevajalikuks osutunud elektrilised regulaatorid ei saanud enam naaberlampe segada.

«Vene päike»! — nii nimetasid pariislased eredalt sära-  
vaid Jablotškovi küünlaga kerased, mis süttisid õhtuti Ooperiväljaku, L'Etoile'i (Täheväljak) ja Seadusandliku Kogu väljakute kohal, hipodroomil, kauplustes ja kohvikutes.

Peale pariislaste võisid neid imetleda Le Havre'i, Londoni, Madriidi, Brüsseli, Berliini, Ateena elanikud. Nad hakkasid särama Pärsias ja Kambodžas. «Vene päike» süttis ka leiutaja kodumaal, Venemaal. Siia, Peterburi, ruttab Jablotškov, kes ei saanud olla õnnelik kaugel kodumaast. Siin asutab ta vene ühingu «Jablotškov-leiutaja ja Co» ja ostab miljoni frangi eest välismaa kompaniidelt välja õiguse kasutada elektriküünalt.

Elektrilaternad süttivad Moskvas, Kroonlinnas, Nižni-Novgorodis, Poltaavas, Krasnovodskis, Arhangelskis ja paljudes teistes linnades.

Teadlase-füüsiku Vassili Petrovi visadusega ja leiutaja Pavel Jablotškovi keeva energiaga loodud plasmavalgus oli antud inimeste teenistusse.

Lugejad, kes on tuttavad elektrivalgustuse ajalooga, teavad kindlasti, et poolteise aastakümne pärast loovutas Jablotškovi kaarlamp oma koha hõõglambile, mille loojaks oli teine, mitte vähem kuulus vene leiutaja Aleksander Nikolajevitš Lodõgin.

See on nii, kuid kas sellega ongi lõppenud jutustus plasmast valguseallika osas? Kaugeltki mitte. Vastupidi, Jablotškovi «küünal» alles alustas seda.

## SUUR AVASTUS VÄIKESES LINNAS

Tihti nimetatakse meile kõigile juba koolipingist tuttavat gaasipõletit Bunseni põletiks selle leiutaja keemiaprofessor Robert Bunseni nime järgi.

Robert Bunsen elas möödunud sajandi keskel väikeses saksa linnakeses Heidelbergis.

Bunseni põleti on ehitatud lihtsalt: alusele on paigutatud metalltoru, mille keskosas on avaus õhu jaoks. Alt tuleb voolikut mööda torusse gaas. Viige põlev tikk toru ülemise otsa juurde ja põleti kohal süttib tuhm, peaaegu värvitu

leek. Kuid hoidke sellest leegist kaugemale, tema temperatuur on 2300 kraadi — see on rohkem kui kõrgahju sisemuses.

Professor Bunsen otsustas oma põleti kohandada keemiliseks analüüsiks. Plaatinast pintsetiga viis ta põleti leeki erinevaid aineid ja vaatas, milliseks leek värvus. Naatrium muutis leegi kollaseks, kaalium violetseks, vask rohelisteks, strontsium punaseks. Näis, et on leitud efektiivne ja lihtne meetod ainete äratundmiseks. Kuid Bunsen ei armastanud ennatlikke järeldusi.

Jätkanud katseid, avastas saksa keemik, et erinevad ained võivad anda leegile ühe ja sama värvi. Näiteks nii strontsiumi kui ka liitiumi soolad tegid leegi vaarikpunaseks. Mingisugust erinevust ei õnnestunud märgata isegi leegi vaatlemisel läbi mitmesuguste värviliste klaasfiltrite.

Ummikust aitas Bunseni välja tema kolleeg füüsikaprofessor Gustav Kirchhoff. Ta tõi Bunseni laboratooriumisse omavalmistatud riista, mis oli niisama lihtne nagu Bunseni põletigi.

Tühja sigarikarbi naaberseintesse paigutas Kirchhoff kaks kumerläätsedega toru. Ühe toru avaus oli kaetud kartongrõngaga, milles oli kitsas pilu. Läbi pilu sattusid kiired, mis tulid põleti leegist, karp. Siin langesid nad klaasprismale, ja läbinud selle, suundusid teise toru kaudu vaatleja silma.

Seda, et prisma lahutab valge päevavalguse mitmevärviliseks spektriks, teati ammu enne Kirchhoffi. Kuid enne teda ei tulnud kellelegi mõttesse kasutada seda ainete kuumutatud aurude poolt väljastatud kiirte koosseisu dešifreerimiseks.

Seda riista nimetas Kirchhoff spektroskoobiks. Kui see oli põleti juurde üles seatud, hakkas Bunsen viima leeki tuntud koostisega aineid. Pöörates prisma aeglaselt ümber telje, hakkasid teadlased läbi vaatama nende ainete spektreid. Need polnud sugugi sarnased Päikesese spektriga.

Päikesekiired lagunesid prisma läbimisel seitsmeks värviks, violetsest punaseni. Kuumutatud metalliaurud aga andsid pideva spektri asemel mitmevärvilistest joontest tara.

Kaaliumi spektris näiteks põlesid vaid kolm joont — kaks punast ja üks violetne, vase spektris nähti aga hulk jooni; kõige eredamad neist olid kolm rohelist, kaks kollast ja kaks oranži. Liitiumi vaarikpunane leek andis ühe punase ja

ühe oranži joone, tema kaksikvend, palja silma jaoks sama-sugune strontsiumi leek aga ühe sinise ja terve komplekti punaseid, oranže ja kollaseid jooni.

Dešifreerides spektroskoopide abil ainete valgussignaale, ei saanud teadlased ainete kindlakstegemisel eksida. Spektraalanalüüs läks püsivalt teaduse arsenali.

Piisab, kui öelda, et Bunsen ja Kirchhoff ise avastasid kaks uut keemilist elementi — tseesiumi ja rubiidiumi. Hiljem avastati samal viisil metallid tallium, indium ja gallium.

See oli aga võimalik seepärast, et kuumas põletileegis muundusid metalliaurud plasmaks.

Meenutage, kuidas võib tekkida plasma. Selleks on vaja gaasi tugevasti kuumutada või lasta temast läbi voolu. Ma juba rääkisin, et Bunseni põleti leegi temperatuur on üle kahe tuhande kraadi. Veel enne metallikübemekese viimist leeki võib viimast lugeda peaaegu plasmaks: temas on palju ioniseeritud molekule ja ta helendub, kuigi nõrgalt. Metalliaurud teevad selle plasma paremini märgatavaks. Nad ioniseeruvad kergemini kui õhumolekulid ja kiirgavad heledamalt valgusfootoneid. See valgus moodustabki Kirchhoffi spektroskoobis värviliste joonte tara.

Kui plasma kiirgaks mitte rangelt kindlaksmääratud valguskvante, vaid näiteks hõõguvate tahkete kehade sarnaselt kogu kvantide «komplekti» punasest violetseni, siis poleks Bunsen ja Kirchhoff oma avastust teinud ning meie teadmised aatomi ehitusest, eriti Päikesese ja tähtede koostisest ei oleks nii täielikud kui praegu.

## PÄIKESEL AVASTATUD AINE

Üle saja aasta tagasi sõitsid Hispaaniasse täieliku päikesearvutuse vaatlemiseks paljude maade astronoomid. Siin märkasid nad esmakordselt, kuidas musta kuuketta tagant löövad ootamatult välja leekide tulekeeled. Praegu teab igaüks, et päikeseketta väljaulatuvad osad — protuberantsid — on päikeseplasma plahvatused ja pursked, Päikesese sügavuses toimuvate tormiliste termotuumareaktsioonide tagajärg.

Sada aastat tagasi ei teadnud sellest keegi ning teadlased võisid teha vaid mitmesuguseid oletusi.

Kaheksa aastat pärast protuberantside avastamist hak-

kasid teadlased valmistuma täieliku päikesevarjutuse vaatluseks Indias, mis pidi toimuma 18. augustil 1868. aastal.

Prantsusmaalt sõitis India idarannikul asuvasse Gunturi linnakesse astronoom Pierre Jules Caesar Janssen. Ta võttis endaga kaasa spektroskoobi. Suunanud selle toru protuberantside keeltele, nägi teadlane värvilisi jooni — Päikesest väljapurskuvaga plasma spektrit. Ta joonistas need jooned üles. Teisel päeval, kui varjutust enam polnud, suunas Janssen spektroskoobi uuesti päikeseketta äärele. Ja uuesti nägi ta protuberantside värvilisi jooni. Selgus, et protuberantside spektrit võib näha ka ilma päikesevarjutuseta. Kahe kuu pärast kinnitas seda avastust inglise astronoom Norman Lockyer. Ta ei teadnud midagi Jansseni avastusest, kuid sai oma vaatlustest samasugused tulemused.

Mõlemad teadlased tegid protuberantside spektris eksimatult kindlaks vesiniku värvilised jooned — punase, roheline, helesinise, sinise ja violetse. Kuid neid häiris veel üks joon — kollane. Selline joon on naatriumi spektris, kuid ta asub vasakul, spektri punasele otsale lähemal. Tähendab, teadlaste poolt avastatud joon kuulub mitte naatriumile, vaid mingile teisele ainele. Kuid millisele?

Kui hoolikalt teadlased ka vaatlusid Maa peal tuntud ainete spektreid, mitte ükski neist ei sisaldanud sellist kollast joont. Ja nad tegid õige järelduse: on avastatud uus aine. Maa peal seda ei tuntud, seepärast tegi Lockyer ettepaneku nimetada uus aine heeliumiks, «päikeseaineks», kuna kreeka keeles on ju päike — *helios*.

Avastusest möödus kakskümmend seitse aastat. Kõik olid ammu harjunud lugema heeliumi aineks, mida esineb vaid Päikesel. Kuid inglise keemik William Ramsay asub uurima Norra mägikivimites leiduvat mineraali kleveiiti. Väävelhappes keetmisel eritas see mineraal mingit mittepõlevat gaasi. Oletati, et see gaas on argoon, mis avastati ja esmakordselt leiti õhus aasta varem. Ramsay, eraldanud kleveiidist tundmatu gaasi, juhtis selle klaastorusse, mille jootis kinni. Mõlemast otsast viidi torusse plaatinatraadid — elektroodid, mille külge lülitati kõrgepingeallikas.

Mis toimus siis gaasiga? Lugejale on see juba teada: elektrilised jõud muundasid gaasi plasmaks. Selle plasma valgust hakkaski Ramsay uurima. Heitnud pilgu spektroskoopi, mõistis Ramsay kohe, et torusse suletud gaas pole argoon. Argooni spektris on näha oranžid ja rohelised joo-

ned, selle gaasi spektris aga olid kollane ja mitu nõrka eri värvi joont.

Veendunud, et kollane joon ei kuulu naatriumile, hakkas Ramsay seda võrdlema Jansseni ja Lockyeri poolt avastatud heeliumi kollase joonega. Osutus, et need jooned langevad kokku. Tähendab, kleveiidist eraldunud gaas on heelium, aine, mis alguses avastati Päikesel.

Kuid Ramsay otsustas kontrollida oma järelduste õigsust. Ta saatis klaastoru füüsik Crookes'ile — suurele spektroskoopiaspetsialistile. Crookes uuris hoolikalt spektrit ja teatas Ramsayle, et tema poolt saadetud gaas on heelium. Peale kollase leidus heeliumi spektris veel viis joont: kaks punast, roheline, sinine ja violetne. Need jooned olid ka protuberantside spektris, kuid helendusid nii nõrgalt, et Janssen ja Lockyer neid ei märganud.

Nüüd aga, kui heelium oli leitud Maal, õnnestus tema spektrit täpsustada ja põhjalikumalt tundma õppida.

## MILLEST JUTUSTASID TUMEDAD JOONED

Prisma, mille Kirchhoff kohandas oma spektroskoobi jaoks, oli valmistanud optikameister Joseph Fraunhofer. See oli kuulus meister. Tema töökotta voolasid tellimised kokku terveist maailmast.

Klaassepa pojana, kes lapsepõlves oli töötanud peegli- ja klaasitöökojas, oskas Fraunhofer valmistada unikaalseid optilisi riistu ja tegi ka ise rea suuri teaduslikke avastusi. See võimaldas tal saada Müncheni ülikooli professoriks.

Bunseni ja Kirchhoffi katsete ajal polnud Fraunhoferit enam elavate hulgas, kuid tema optikariistad jätkasid teadlaste teenimist.

1814. aastal juhtis Fraunhofer päikesekiired läbi prisma ja vaatles nende spektrit. Äkki avastas ta spektri pideval vikerkaarel tumedad jooned. Kõige märgatavamad olid kaheksa joont, mida teadlane tähistas tähtedega *A*, *B*, *C* jne. Iga joon hõivas spektris täiesti kindla koha, järelikult vastas kindlale lainepikkusele. Fraunhofer suutis määrata isegi tumedate joontega kaetud spektrilõikude lainepikkused. Kuid seletada nende päritolu ta ei suutnud.

Oli selge, et kõik päikesekiired ei jõua Maale, osa neist läheb mitmesugustel põhjustel kaduma — sellest tulevadki spektrisse täitmata tumedad lõigud.

Fraunhoferi joonte loomusele andis õige seletuse Gustav Kirchhoff. Ja jälle aitas teda spektroskoop.

Teadlane tegi sellise katse. Ta ajas tugevasti hõõguma tüki tahket keha ja asetask sellest kiirgava valge valguse teele Bunseni põleti. Selle leeki hakkas ta viima erinevaid aineid. Leek muutus värviliseks, näiteks violetseks, kui temas oli kaalium.

Valge valgus läbis värvitud leegi ja sattus spektroskoopi. Mida siis nägi teadlane?

Pidevale vikerkaarele — valge valguse spektrile — ilmusid tumedad jooned. Kui põleti leegis olid kaaliumiaurud, oli üks tume joon spektri violetses ja kaks punases osas. Kirchhoffil oli lihtne kindlaks teha, et need tumedad jooned langevad punktipealt kokku kaaliumi värviliste joontega, kui selle kiired langevad riista iseseisvalt, päevavalgusega läbivalgustamata.

Tähendab, põleti leek pidask kinni vaid need kiired, mida ta ise on võimeline kiirgama, ülejäänud aga laskis takistusest läbi.

Need katsed lubasid Kirchhoffil formuleerida väga tähtsast seaduse: iga keha neelab vaid neid kiiri, mida ta ise antud tingimustes kiirgab.

Nüüd oli Kirchhoffil kerge seletada Fraunhoferi jooni Päikese pidevas spektris.

Päikese pind ehk fotosfäär on tunduvalt kuumem kui tema atmosfäär. Kui Päikesel poleks atmosfääri, oleks spektroskoobis pidev spekter, kuid tegelikult neelab atmosfäär osa Päikese pinnalt kiirguvat valgust, seepärast ilmuvadki Fraunhoferi jooned.

Minult võidakse küsida: kuhu siis kadusid kiired, mis Päikese atmosfäär Päikese spektrist «välja noppis»? Tänapäeva teaduskannab sellele täpse vastuse.

Päikese atmosfäär on plasmaseisundis, tähendab, ta mitte ainult neelab, vaid ka kiirgab valgust. Selle plasma aatomitest kihutavad mööda kõikvõimalike footonite vood. Kuid iga aatom võib sellest voost neelata vaid täiesti kindla footoni, sellise, mis vastab tema loomusele. Heeliumi aatomite jaoks on need ühed footonid, vesiniku jaoks teised, süsiniku jaoks kolmandad. Neelanud footoni, pauskab aatom selle otsekohe välja, kiirgab uuesti. Vaat mispärast need footonid ei jõua meieni, neid «nopivad» päikesevalgusest välja Päikese atmosfääri aatomid.

Fraunhoferi jooned on Päikese atmosfääris olevate

ainete aatomite visiitkaardid. Nimelt nende järgi õnnestus kindlaks määrata Päikese koostis.

Kaasaegsed aparaadid võimaldavad Päikese spektris loendada üle 20 tuhande tumeda joone. Nende järgi said teadlased teada, et peale vesiniku ja heeliumi on Päikesel palju teisi Maal tuntud elemente: hapnikku, lämmastikku, süsinikku, magneesiumi, räni, väävlit jne. Isegi kulda on Päikesel leitud, tõsi küll, tühistes hulkades.

«Tühistes hulkades?» küsib mõni lugeja. «Kuidas siis saadi tumedate joonte, nende «visiitkaartide» järgi teada, mida on Päikesel rohkem, mida vähem?»

Aganuumoodi. Kui Päikese atmosfääris on seda või teist ainet vähe, siis tulevad sellele ainele vastavad tumedad jooned Päikese spektris välja nõrgakesed, vaevalt märgatavad. Kui ainet on palju, tulevad jooned «rasvased», intensiivsed. Teadus evib ka mõningaid teisi vahendeid, et teha kindlaks selle või teise elemendi osa Päikese massis. Ja mitte ainult Päikese, vaid ka tähtede omas. Nõrgad kiired, mis jõuavad meieni igalt tähelt, on samasugune fotodokument nagu päikesevalguski. Selle järgi tehakse kindlaks tähe temperatuur, vanus, koosseis ja palju-palju muud.

Üldistanud hiiglasliku materjali, on teadlased tulnud järeldusele, et universumi aine põhimassist moodustab vesinik 76 protsenti, seejärel heelium 23 protsenti ja vaid veidi üle ühe protsenti jääb kõigile ülejäänud Mendelejevi tabeli elementidele.

Järelikult elame me vesiniku ja heeliumi universumis, kusjuures, nagu juba öeldud, on need peamiselt plasmaseisundis.

Nii aitasid tumedad jooned likvideerida valged laigud inimeste teadmistes ümbritseva maailma ehituse kohta.

### KUIDAS PIKENDADA PÄEVA

Kunstliku valgustuse vajalikkust pole tarvis tõestada. Päeva pikendamisest unistas inimene juba eelajaloolisel ajal. Kuid seda unistust teostati algul üsna primitiivselt.

Jahilt või kalapüügilt naasnud inimesed tegid üles lõkke. Sellel valmistati toitu, aga pimeduse saabumisel jäi lõke valgusallikaks. Hiljem hakati kasutama ökonoomsemat allikat — peergu või tõrvikut. See oli suur samm edasi. Vanas Roomas valgustati tänavaid tõrvikute ja tahiga õlilampidega. Need peletasid pimedust vaid veidi eemale ja olid sisuliselt orientiirideks jalakäijaile. Öösel koju pöörduvaid rikkaid roomlasi saatis tavaliselt teener, kelle käes oli latern rasva- või vahaküünlaga, aga kui peremees sõitis tõllas, siis sõitsid ees ratsanikud tõrvikutega.

16. sajandil hakati Pariisi tänavatele üles riputama laternaid. Seda tegid tavaliselt trahterite ja sissesõiduhoovide peremehed. Pariislastel kehtis kirjutamata reegel, mis kohustas esimeste korruste elanikke hoidma akendel põlevaid valgusteid. Steariinküünal ja klaasiga petrooleumilamp loodi alles möödunud sajandi esimesel poolel. Umbes samal ajal ilmusid gaasilise põletusainega valgusallikad — gaasilatern ja atsetüleenilamp. Lõpuks süttisid 1876. aastal tänu P. N. Jablotškovi leiutisele esimesed elektrilambid.

Tsaari-Venemaa jäi valgustuse arengus Lääne-Euroopa riikidest maha. Palju aastakümneid oli seal kõige levinumaks peerg veega küna kohal või pilak. Vaha- või steariinküünlaid, seda enam aga petrooleumilampi loeti luksuseks, neid süüdati vaid rikaste inimeste majades. Maa oli pime selle sõna otseses mõttes. 1904. aastal polnud 193 Venemaa linnas üldse mingit tänavavalgustust.

Suurte Vene linnade tänavaid hakati valgustama Peetri ajast peale. 1721. aastal käskis Peeter Esimene Peterburi peatänavatele üles seada 595 laternat. Kahekümne aasta pärast süüdati esimesed laternad ka Moskvas. Need olid kanepi- või rapsiõlisse paigutatud taimsete kiududega valgustid. Gaasivalgustus ilmus Moskva tänavatele sada aastat tagasi, 1863. aastal, elektrivalgustus aga kaks aastakümnet hiljem. Muuseas, petrooleumi- ja gaasilaternad moodustasid kuni Oktoobrirevolutsioonini lõviosa Moskva

tänavavalgustusest. Pärast Oktoobrit hakkasid nad loovutama kohta elektrile. Kuid veel 1931. aastal loendati Moskva tänavate 28 tuhande valguspunktiga «lühtris» 6,5 tuhat gaasilaternat. Varsti süttisid ka nende asemel elektripirnid.

Meie maal peeti ja peetakse võitlust päeva pikendamise eest, mugava ja ökonoomse elektrivalgustuse sisseviimise eest sügavalt teadusliku, rangelt läbimõeldud maa elektrifitseerimise leninliku plaani järgi. Elektrivalgus on meil saanud kõigi linnade ja rõhuva enamiku külade omandiks. Ta on tulnud nõukogude inimeste korteritesse, süttib tänavail, koolides, tehaste tsehhides, staadionidel ja parkides. Temaga oleme me kõik ammu harjunud.

«Kuid mis on siin tegemist plasmaga?» küsib mõni lugeja. «Hõõglambis ju...»

Jaa, hõõglambil, mille te süütate õhtuti oma toas, pole plasmaga tegemist. Hõõglamp tõrjus omal ajal kõrvale plasmaga elektrilambi — «Jablotškovi küünla». Ja siiski mängib plasma inimese titaanlikus võitluses päeva pikendamise eest üha suuremat ja suuremat osa. Saavutanud uued kõrgused, pöördus tehnika uuesti plasma poole. Ja see pole imekspandav, vaid illustreerib veel kord spiraalse arengu dialektilist seadust.

## PÄEVAVALGUSE POOLE

Pöördume uuesti Jablotškovi küünla juurde. Tema suhteliselt lühikeses, kuid eredas elus oli üks episood, mis puudutab seda, millest siin on juttu.

Kui «vene valgus» hakkas süttima paljudes maailma linnades, tõrjudes välja gaasivalgustust, siis püüdsid gaasikompaniide omanikud seda igati halvustada.

«Vaadake,» rääkisid nad, «mis valgus see on. Inimeste huuled muutuvad violetseks, näod aga sinakaks. Mitte näod, vaid maskid!»

Etteheide oli õigustatud. Elektriikaar kiirgas liiga palju violetseid kiiri, punastest ja oranžidest aga jäi vajaka.

Vene leidur hakkas otsima väljapääsu ja leidis selle.

Jablotškov teadis, kuidas pürotehnikud värvivad tulevärkide leeke. Ta võttis neilt sobivat ainet ja lisas seda oma küünla süte vahel olevasse vaheseina. Sellest lisandist muutus kaarleek roosakaks, lakkas olemast surmsinine ning hakkas andma sooja elavat valgust.

Hiljem, nagu teada, loovutas Jablotškovi kaarlamp oma koha Lodõgini hõõglambile. Sellist lampi kasutavad inimesed tänapäevani.\*

Hõõglambil on teine puudus: ta annab vähe siniseid ja violetseid kiiri, see-eest on aga helde punaste, oranžide ja kollastega. Selles võite te veenduda, kui vaatlete varasel hommikul tänavalaternaid. Päevavalguses näivad nad kollastena.

Erilisi ebamugavusi elektrilampide selline valgus ei tekita, kuid siiski ei rahulda ta meid tervel real juhtudel.

Tõenäoliselt on igaüks märganud, kuidas maalide värvid muutuvad, kui neid vaadelda tavalise elektrilambi valguses. Sinised toonid kaovad kuhugi, see-eest muutuvad punased ja kollased rõhutatult eredaks. Millest on see tingitud?

Lõuendil on värvid erinevad vaid seepärast, et nad ei peegelda kõiki kiiri, vaid ainult väljavalitud. Kollane värv peegeldab ainult kollaseid kiiri, kõiki ülejäänuid neelab, roheline peegeldab ainult rohelist, sinine siniseid. Mustad pildiosad aga paistavad meile ainult sellepärast mustadena, et nad neelavad peaaegu kõik neile langevad kiired, suutmata midagi peegeldada. Seepärast ei langegi nendelt osadelt meie silma peaaegu üldse valgust.

Nüüd on teile arvatavasti selge, miks maalid niivõrd muutuvad, kui saabub õhtu ja lülitatakse sisse valgus. Nende sinine värv on võimeline peegeldama vaid siniseid kiiri, kuid neid on lambi valguses väga vähe, teisi kiiri see värv aga peegeldada ei suuda. Seepärast kaovad sinised toonid lõuendilt, vastavad kohad tumenevad ning maal paistab hoopis teistsugune kui päeval.

Palju rohkem häirib selline valgustus keemikuid, tekstiilitöölisi ja isegi arste. Hõõglambi petlikus valguses pole raske segi ajada üht keemilist ainet teisega, võtta praak-kangast täisväärtuslikuna, eksida operatsioonil avastatud kasvaja diagnoosis.

Põrganud kokku elektrivalgustuse niisuguse ebameeldiva omadusega, hakkasid teadlased-füüsikud ja insenerid mõtlema selle üle, kuidas elektrivalgust muuta sarnaseks päikesevalgusega.

Mõned välismaa firmad katsusid seda probleemi lahenda

---

\* Tänapäeval kasutatavat hõõglampi on Lodõgini omaga võrreldes muidugi tunduvalt täiustatud. (Tõlk.)

dada, muutmata sisuliselt hõõglambi konstruktsiooni. Nad lihtsalt hakkasid valmistama pirne, mille klaaskestad olid sinakad. Selline klaas laskis takistamatult läbi siniseid kiiri ning pidas kinni osa kollaseid ja punaseid. Saadi päevasele sarnane valgus, kuid see läks maksma kena kopika. Selleks et niisuguste pirnidega ruume korralikult valgustada, tuli neid süüdata rohkem: sinine klaas neelas liiga palju valgusenergiat. Oli selge, et tuleb otsida põhimõtteliselt uusi teid, mitte iseennast varastada, vaid kasutada elektrivooluga loodud valgust võimalikult paremini.

Päeva pikendamisega tegelevate eriteadlaste pilgud pöördusid uuesti plasma poole.

## VEEL KORD PLASMA KIIRGUSEST

Igaüks teab, et hõõglamp on soojuslik valgusallikas. Elektrivool annab volframtraati läbides sellele oma energiat soojuse näol ning osa sellest energiast muutub valguseks. Kuidas see toimub, sellest räägiti eespool. Tuleb veel kord alla kriipsutada, et lambi niit kiirgab valguslainete täielikku komplekti ning tema kiirgusspekter on pidev. Ühest hõõglambi puudusest oli juba juttu. See on tema kiirguse vaesus siniste ja violetsete kiirte poolest. Kuid tal on veel üks miinus. Lamp kiirgab palju soojuslikke, infrapunaseid kiiri, mis kaovad kasutult. Neid kiiri nagu ka ultravioletseid, milliseid lambi kiirguses on vähemal hulgal, ei ole meie silm võimeline vastu võtma.

Täpsed mõõtmised on näidanud, et kogu hõõglambi poolt kulutatud energiast muundub vaid 2—4 protsenti meile vajalikuks valguseks, 96—98 protsenti aga pole midagi muud kui kaod. Tuleb välja, et teie toas rippuva pirni ökonoomsus on 2—3 korda väiksem kui näiteks aurumasinal. Aga oli ju aurumasina väike kasutegur üheks põhjuseks, miks auruvedurid kõrvaldati tootmisest.

Loomulikult ei saanud valgustehnika spetsialistid sellega leppida. Nad arvutasid välja, et soojusliku valgusallika suurim võimalik kasutegur on umbes 14 protsenti. Kuid selleks on vaja viia miinimumini energiakaod ning tõsta niidi temperatuur . . . kõrgemale päikesepinna temperatuurist, mis on muidugi võimatu. Ei suuda ju ükski keha vastu pidada üle 6 tuhande kraadisele temperatuurile, ta aurustub viivitamatult. Et vähendada niidi hävimist tugeva kuu-

mutamise tõttu, hakati hõõgpirne täitma inertse gaasi — krüptoniga. Krüptonpirn on ökonoomsem kui vaakuumpirn, kuid tal on oluline puudus: palju energiat kulub pirni täitva gaasi kuumutamiseks ning niidi heleduse suurendamine annab sellises pirnis suhteliselt väikest võitu.

Kuid ülaltoodud andmed hõõglampide ökonoomsusest ei tohi varjutada tema häid külgi. Hõõglambi ilmumine oli uue ajastu alguseks valgustustehnikas.

Valgusallika ökonoomsust hinnatakse tema valgusesaagise järgi, s. o. valgusvoo järgi, mille sünnitab üks vatt kulutatud energiat. Valgusvoogu mõõdetakse erilistes ühikutes — luumenites. Et seda ühikut ette kujutada, toon sellise näite: 50-vatise võimsusega volframniidiga elektripirni valgusesaagiseks on 10—12 luumenit vati kohta. On seda palju või vähe?

Kui võrrelda seda valgusesaagist elektrivalgustuse eelkäijate omaga, siis on 10 luumenit vati kohta suurepärase arv. See on 100 korda parem kui steariin- või parafiinküünlal, 40 korda parem kui petrooleumilambil ja kümme korda parem kui gaasilambil. Aga kui võrdluseks võtta plasmavalgusallikas, näiteks Jablotškovi «küünlas» kasutatud Petrovi kaar? Siin on pilt teine.

Osutub, et elektrivalgustuse esiklaps — kaar — polnudki nii halb. Tavalise kaare valgusesaagis on korda kaks suurem kui hõõglambil. Minnes üle hõõglambile kui lihtsamale ja mugavamale valgusallikale, karistasid inimesed iseennast: sama valgushulga saamiseks oli neil vaja suurendada elektrihaamade võimsust. Kuid seda tehti siiski, kuna esialgu polnud plasma mitte nii kuulekas ja töökindel kui praegu.

Eespool ma juba rääkisin üldjoontes, kuidas kiirgab plasma. Plasmas on tohutu hulk ergastatud aatomeid, s. o. selliseid, mille elektronid on paisatud teistele, mitte tavalistele orbiitidele. Pöördudes tagasi «koju», s. o. esialgsele orbiidile, vabaneb elektron omandatud energiast. Aatom nagu tulistaks seejuures välja footoni.

Kui gaasi rõhk klaastorus on väike, näiteks sajandikud millimeetrid elavhõbedasammast\*, siis on gaasiaatomite vahemaad suured ja nad mõjutavad üksteist nõrgalt. Vabad elektronid, mida elektrivälja mõjul tõmmatakse anoodi

\* 1 millimeeter elavhõbedasammast (mm Hg) on võrdne rõhuga, mida osutab alusele elavhõbedasammast kõrgusega 1 mm. Normaalne atmosfäärirõhk on 760 mm Hg. (Tõlk.)

poole, põrkavad gaasi aatomitega kokku ja paiskavad neid enamikul juhtudel ühele ja samale orbiidile. Seepärast on ka põrgetel sündinud footonid üksteisega sarnased nagu kaksikud. Või veel! Neil on ühesugune energia, aga kui nii, siis tähendab ka ühesugune võnkesagedus.

Kui meie toru poolt väljastatud kiired lasta läbi spektroskoobi, siis näeme, et spektris on üks väga ere joon. Seal on ka teisi pikemalainelistele footonitele vastavaid jooni, aga need on üsna nõrgad, vaevalt märgatavad ning energiabilansis on nende kaal väga väike.

Sellist ühesugustest kvantidest koosnevat, s. o. ühevärvilist kiirgust nimetavad füüsikud resonantskiirguseks.

Vabadel elektronidel võivad lahendustorus olla erinevad kiirused sõltuvalt anoodi ja katodi vahelisest pingest. Kui elektronide kiirus on väike, siis aatomid ei ergastu, põrked viivad vaid gaasi kuumenemisele. Kuid kui see kiirus on küllaldane, siis algab madala gaasirõhuga torus resonantskiirgus. Nagu juba märgitud, kiirgab plasma heldelt vaid ühte, vahel aga, näiteks naatriumiaurude puhul, kahte «sorti» footoneid.

Loomulikult ei ole selline ühekülgne kiirgus valgustuseks eriti sobiv. Inimsilm on harjunud ja kohanenud pidevat spektrit omava päikesevalgusega. Seejuures kannavad selles valguses suurimat energiahulka sinakasrohelist kiirgust lainepikkusega 0,47 mikronit. Ilmselt peab ka Päikese asendamisele pretendeeriv kunstliku valguse allikas omama samasugust valguslainete komplekti nagu Päike. Resonantskiirgusega plasma on sellest kaugel.

See viib küsimusele: kas me ei rutanud hõõglambi kritiseerimisega. Olgu ta pealegi helde punaste ja kitsi siniste kiirtega, muutku ta lõviosa elektrienergiast nähtamatuks ja seetõttu silmale kasutuks infrapunaseks kiirguseks. Kuid hõõglambil on pidev spekter, kuigi mitte selline nagu Päikesel, aga ikkagi pidev, mis sisaldab kõiki kiiri violetsest punaseni. Hõrendatud plasma aga püüab kiirata ühel lainel, unustades teised.

Sellele on vaja lisada veel üks märkus.

Inimsilm, nagu teada, võib tajuda valguskiiri lainepikkusega 0,38 mikronist (violetsed) 0,77 mikronini (punased). Elavhõbedaurudes toimuv lahendus annab aga resonantskiirguse puhul kiiri lainepikkusega 0,2537 mikronit. Need on nähtamatud ultravioletsed kiired ning nad moodustavad lõviosa toru üldisest kiirgusest. Nähtamatus ultravio-

letses spektriosas asub ka argooni, krüptooni ja ksenooni resonantskiirgus. Tuleb välja, et plasmal on sama pahe, mille me tegime kindlaks hõõglambi juures, ainult selle vahega, et hõõglamp on helde nähtamatute infrapunaste kiirtega, lahendustorud aga ultravioletse, kuid samuti nähtamatu valgusega. Pada sõimab katelt, ühed mustad mõlemad!

Kui teadlased poleks sellisest olukorrast väljapääsu leidnud, siis vahest ei tasukski alustada juttu plasmavalgusallikate väärtusest. Väljapääsu näitas kätte plasma ise. Osutub, et plasma on võimeline välja «tulistama» mitte ainult ühte sorti footoneid, vaid ka tervet komplekti «valguskuule» punastest violetseteni. Füüsikute keeles tähendab see, et plasma võib hõõguva keha sarnaselt kiirata pideva spektriga valgust.

Mida on vaja selleks teha? Suurendada lahendustorus gaasi rõhku ja voolutugevust. See kutsub plasma mikro maailmas esile uusi huvitavaid sündmusi.

Nagu varemgi hakkavad aatomid ergastuma ning kiirgama resonantsfootoneid. Kuid ikka sagedamini ja sagedamini põrkavad elektronid kokku ergastatud aatomitega ja annavad neile täiendavaid energiaportsjoneid. Ergastatud aatom ei jõudnud veel välja paisata «standardset» footonit, kui juba osa tema elektrone asus kaugemale orbiidile. Toimus niinimetatud astmeline ergastumine.

Mida kaugemale on paisatud elektron, seda suurem on tema energia. Tähendab, elektroni tagasipöördumine stationaarsele orbiidile viib energiarikkama footoni sündimisele ja kiirgusspektris ilmuvad uued värvilised jooned. Kuid see pole veel kõik.

Kõrgendatud gaasirõhuga torus on aatomitel kitsas. Kui suurendada läbi sellise toru minevat voolu, tõuseb plasma temperatuur, sageneb rekombineerumine — elektronide taasühinemine positiivsete ionidega. Plasma temperatuuri edasine tõus kutsub esile pärsskiirguse intensiivistumise. Nagu juba teada, loovad selle elektronid, mida järsult pidurdatakse ionide elektriväljas.

Nii rekombinatsioonilisel kui ka pärsskiirgusel on täielik footonite komplekt, s. o. nad annavad pideva spektri.

Sooritades hulgaliselt katseid gaasitorudega, märkasid teadlased, et pideva spektri ilmumine ei sõltu mitte ainult rõhust ja voolutihedusest, vaid ka torusse suletud gaasi aatomite ja molekulide keerukuse astmest.

Võtame näiteks neooni ja krüptooni. Mõlemad on inertsed gaasid, millel on terve rida ühiseid omadusi. Kuid neooni aatomil on vaid kümme elektroni, krüptoonil aga kolmkümmend kuus. Krüptoon on raskem ja struktuurilt keerulisem. Tänu sellele ilmub tema juures pidev spekter juba suhteliselt madalal rõhul. Sama võib öelda ka ksenooni kohta, mis on inertsetest gaasidest kõige raskem.

Gaas on plasma tooraine. Ta võib eksisteerida eraldi asuvate aatomite või kahe või enama aatomi ühendeid kujutavate molekulide näol. Molekulaarse gaasi näiteks võivad olla vesinik, lämmastik, hapnik. Neil on molekulis kaks aatomit. Molekul on tunduvalt keerulisem osakeste ühendus kui aatom, seepärast on molekulaarsete gaaside spektrites kõrvuti joontega ka pidevad lõigud. Piisab rõhu ja voolutiheduse väikesest suurenemisest, et need lõigud liituksid pidevaks spektriks.

Peale kõike siinöeldut on ilmselt mõistetav, miks Jablotškovi «küünal» osutus vastuvõetavaks valgusallikaks. Õhus süüdatud kaar andis pideva spektri.

Peale selle, ja see on peamine, on ta ökonoomsem, s. o. muudab valguseks suurema osa elektrienergiast. Miks?

Elektripirni hõõguv volframpiraal tekitab niinimetatud tasakaalulist kiirgust. Kõigi temas olevate osakeste, sealhulgas ka vabade elektronide temperatuur on ühesugune. Osakeste vahel toimub pidev energiavahetus. Selle või teise aatomi poolt kiiratud footon võib siinsamas neelduda naabruses asuvas neutraalses aatomis, mis seejuures ergastub. See aatom kiirgab omakorda footoni ja protsess kordub. Seega on kiirgamine ja neelamine tasakaalus ning spiraalist väljuda ja seega kasu tuua ei suuda kaugeltki kõik footonid. Viimaseid kiirgavad peamiselt keha pinnal asuvad aatomid.

Plasmat iseloomustab reeglina mittetasakaaluline kiirgus. Nagu juba märgitud, pole selles osakeste liikumiskiirus ja järelikult ka nende temperatuur ühesugused. «Kuumemad» elektronid annavad oma energiat neutraalsetele aatomitele, ergastavad neid ja tekitavad footoneid. Osa neist footonitest neelatakse naabruses asuvate neutraalsete aatomite poolt, kuid tunduv osa rebib end välja, hüljates hõrendatud plasma. Sellises plasmas pole tasakaalu kiirgamise ja neelamise vahel: kiirgamine on tahke kehaga võrreldes «produktiivsem».

Volframspiraal kiirgab valgust heldelt vaid sel juhul, kui kõik tema osakesed on kuumatud rohkem kui kahe tuhande kraadini. Et kiirgaks plasma, on küllaldane «kuumutada» vaid elektrone, anda neile suur kiirus. Seda tehakse elektrivälja jõududega. Seega võib põhiliselt külma plasma kiirata valgust. Tema kiirguse mittetasakaalulisus võimaldab sama energiakulu juures saada rohkem valgust kui hõõgspiraalist.

## LAMBID ANNAVAD PÄEVAVALGUST

Teeme mõned järeldused.

Esimene: plasmal on suurem valgusesaagis ja seetõttu on ta hõõglambist parem.

Teine: gaasi, selle rõhu ja lahendustoru läbiva tiheduse sobival valikul võib plasma kiirata tervet komplekti valguslaineid, mis on valgusallikale kohustuslik tingimus.

Tähendab, aplad hõõglambid võib asendada ökonoomsete klaasist plasmatorudega.

Selline katse korraldati 1937. a. Moskvas, kus valgustati elavhõbelampidega Gorki tänavat. Kuid need lambid ei jõudnud veel tõestada oma majanduslikku kasulikkust, kui Moskva Nõukogusse hakkasid juba saabuma kaebused: moskvalased polnud rahul sellega, et uus valgus tegi näod rohekaks, surnukahvatuks. Elavhõbelambid tuli maha võtta. Elavhõbelambi pidev spekter osutus hõõglambi spektrist halvemaks. Ta kiirgas küll heldelt violetseid, siniseid ja rohelisi kiiri, kuid ilmselt jäi vajaka kollastest ja punastest.

Kas ei oleks võimalik elavhõbelampi ühendada hõõglambiga? Selline küsimus kerkis spetsialistide ette. Sellises hübriidis täiendaksid hõõgspiraali punakad kiired plasma rohekat kiirgust ja tervikuna oleks see valgusallikas täiesti vastuvõetav.

Selline lamp loodi ning nimetati elavhõbe-volframlambiks.

Klaaskesta on piki selle telge kinnitatud kvartsklaasist toruke, kus lahendus süüdatakse elavhõbedaurudes. Nende aurude rõhk ulatub mõne atmosfäärini. Ümber toru on keritud volframist hõõgspiraal, mis lambi sisselülitamisel kuumeneb veidi vähem kui tavalises pirnis. Tänu sellele kiirgab spiraal punaseid kiiri. Lamp on konstruktsioonilt

lihtne ja mugav ekspluateerida. Kuid tema efektiivsus on tunduvalt väiksem kui tavalistel elavhõbe-kvartslampidel. Üle poole energiast kulutava hõõgspiraali lisamine avaldab kohe mõju valgusesaagisele.

Hiljem õpiti elavhõbelampide helendust parandama kadudeta, kuid selleks oli vaja aastaid kestvaid sihikindlaid otsinguid.

Missugust teadusala me ka vaataksime, teadlaste ja inseride mõte töötab alati mitmes suunas. Ühed spetsialistid püüdsid parandada pidevat spektrit andva plasma «ise-loomu», teised nägid vaeva resonantskiirguse kasutamise kallal. Neid ei löönud verest välja, et plasma ühevärviline, kohati peaaegu nähtamatu resonantskiirgus on vaene selliste kiirte poolest, mida on palju päikesevalguses. Plasmas nägid nad kõigepealt sellist keskkonda, milles elektrienergia suure efektiivsusega muundub valgusvooks. Panna see voog tööle — selline oli nende teadlaste eesmärk.

Ülesannet aitasid lahendada imepulbrid — luminofoorid. See sõna esineb sageli ajakirjades ja ajalehtedes, kuid mitte kõigile pole selle mõte täiesti arusaadav. Ladinakeelne sõna «lumen» tähendab valgust. Luumenites, nagu te mäletate, mõõdetakse helenduva keha poolt kiiratavat valgusvoogu. Siit on võetud ka sõnade «luminofoor» ja «luminestsents» algus.

Selle ala suurima spetsialisti füüsik S. I. Vavilovi määratluse järgi on luminestsents kiirgus, mis tekib ainele antava energia arvel ja mida see aine kiirgab peale soojuskiirguse. Seejuures on väga tähtis, et selle kiirguse kestus pole väiksem sekundi kümnemiljardikust, olles seega palju suurem valgusvõngete kestusest. See tähendab, et keha on võimeline kiirgama ka pärast energia juurdevoolu katkestamist.

Nagu soojuskiirguse nii ka luminestsentsi puhul peavad aatomid olema ergastatud, kuid luminestsentsi puhul ei kasutata peaaegu üldse keha soojusenergiat. Seepärast võivad luminestseerida ka külmad kehad, samal ajal kui nähtava valguse saamiseks soojuskiirguse abil on vaja rohkem kui tuhandekraadist temperatuuri.

Eristatakse mitut luminestsentsi liiki. Ühe liigiga me juba tutvusime. See on elektroluminestsents, plasma helendus lahendustorus. Tõepoolest, plasma kiirgusele on omased kõik luminestsentsi määravad tunnused. Valgus sünnib

seal elektrivälja jõudude poolt kannustatud elektronide energia arvel. Pärast ergastumist on aatom sellises seisundis umbes sekundi sajamiljondiku osa jooksul, pärast aga tulistab juba välja footoni. Plasma võib olla külm, kuid siiski kiirata valgust. Tähendab, selline plasma kiirgus pole peaaegu seotud keha soojusenergiaga.

On teada ka teisi luminesentsi liike. Juba akadeemil V. V. Petrov kirjutas bioluminesentsist ja fotoluminesentsist.

Putukate, jaaniusside, seente, taimede, kalade helen-dus — see on bioluminesents, mida põhjustavad keemilised hapendumisprotsessid elusorganismides.

Fotoluminesentsil on teistsugune loomus. Ta tekib või, nagu räägivad füüsikud, teda ergastatakse valguse neeldumisel aines.

Fotoluminesentsi põhiseaduseks on Stokes'i seadus. Selle järgi kiirgab luminofoor, s. o. lumineseerimisvõimeline keemiline aine ühe lainepikkusega valguse neelamisel reeglina teise, suurema lainepikkusega valgust. Tähendab, kui luminofoorile suunata ultravioletset kiirgust, muundab ta selle pikemalaineliseks, s. o. nähtavaks valguseks.

Sellele luminofooride omadusele rajanebki päevavalgus lampide loomine.

Nüüd võib neid lampe kohata kõikjal — korterites, tänavatel, tehase tsehhides, kaevandustes. Ehitatud on nad võrdlemisi lihtsalt.

Pika klaastoru otstesse on joodetud volframelektroodid. Toru on täidetud elavhõbedaaaurudega, mille rõhk tööolukorras on umbes üks sajandik millimeetrit elavhõbedasammast. Sellisel hõrendusel on torus raske lahendust süüdata, elektronid põrkavad elavhõbeda aatomitega kokku liiga harva. Et hõlbustada lahenduse süttimist, lisatakse torusse elavhõbedaaaurudele argooni või mingit teist inertset gaasi. Pärast lahenduse süttimist luuakse elektroodide vahel selline elektriväli, mille toimele ergastuvad, järelikult ka kiirgavad valgust vaid elavhõbeda aatomid, inertse gaasi lisand aga ei võta kiirgamisest osa, kuna ta vajab tugevamat elektrivälja.

Kui sellisest klaastorust lasta läbi voolu tihedusega 0,1 amprit ristlõike ühe ruutsentimeetri kohta, siis annab lahendus elavhõbedaaaurudes peaaegu kolmveerand valgusest lainepikkusel 0,2537 mikronit.

Nüüd on vaja see valgusvoog nähtavaks muundada. See ülesanne pannakse luminofoorile, mis õhukese kihina katab toru sisepinda.

Luminofooride, nende imeliste helenduvate pulbrite loomine osutus jõukohaseks vaid kaasaegsele tehnikale. Isegi tühine kogus lisandeid halvendab tunduvalt nende kvaliteeti. Pulbriterakeste mõõtmed peavad olema 1—3 mikroni piirides. Kui nad on suuremad, siis paistab lamp tähnili-sena, väga väikeste terade korral aga väheneb lambi valgusesaagis.

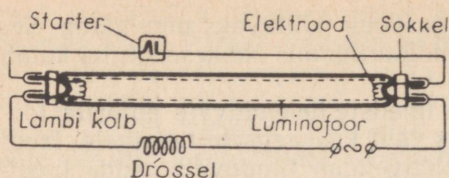
On väga tähtis, et päevavalguslambi luminofoorikiht oleks vajaliku paksusega. Luminofoor lambis saab energiat seestpoolt — elavhõbedaurudes toimuvalt lahenduselt —, kiirgab aga väljapoole. Väga õhukese kihi puhul ei neeldu lahenduse ultravioletne kiirgus luminofooris täielikult, osa nähtamatuid kiiri tungib välja ja läheb asjatult kaotsi. Liiga paks luminofoorikiht on samuti halb, kuna kõik temas loodud kiired ei pääse välja ja tunduva osa neist neelab luminofoor ise.

Päevavalguslambi sisepinda kattev luminofoor on mit-mest aimest koosnev pulber, seega sisuliselt üksikute lumi-nofooride segu. Igaüks neist neelab lahenduse ultraviolettkiirgust ja samas kiirgab täiesti kindla spektraalse koos-seisuga valguslaineid. See spekter pole muidugi sarnane Päikese omaga. Nii annab magneesiumvolframaat hele-sinist, kaltsiumvolframaat sinist, tsink- ja berülliumsili-kaat oranži kiirgust. Kuid kui neid kindlas vahekorras segada, siis annab «erihäälsete luminofooride koor» har-moonilise «kõla» — päevavalguse. Seejuures võib kunst-likule päevavalgusele anda erinevaid varjundeid — valget, külmvalget, soevalget ja isegi päikesevalguse oma, mis sisaldab mitte ainult nähtavat kiirgust, vaid ka ultravio-lettikiiri.

Nii võimaldas pulbrite-luminofooride valguskiirte trans-formeerimise võime rakendada valgustuse teenistusse plasma peaaegu nähtamatu kiirguse elavhõbedalahendu-sel.

Kuid siin võib tahtmatult tekkida küsimus: kas sellise kahekordse energiamuunduse all ei kannata valgusesaagis. Kas mitte liiga palju valgusvoogu ei kao jäljetult lumino-foorikihis?

Muidugi on luminofooris energiakadusid. Kuid nad on võrreldamatult väiksemad kui näiteks hõõglambis.



Torukujuline luminesentslamp ja selle võrku lülitamise skeem

Iga luminofooris neeldunud valguseportsjon ehk kvant võib parimal juhul luua vaid ühe luminesentskiirguse kvandi.\* Seda nimetatakse kvantsaagise seaduseks. Luminofooris sündinud valguskvantidel on, nagu juba märgitud, suurem lainepikkus kui neeldunud kvantidel, järelikult on neil vähem energiat. Seega kaasneb luminofoori kasutamisega isegi valguse ideaalse muundumise korral lambi kasuteguri vähenemine. Peale selle esinevad päevavalguslambis ka täiendavad energiakaod elektroodide kuumutamisele, kasutule mitteresonantskiirgusele jne.

Ja ikkagi on energiabilanss luminesentslampi kasuks. Tema eelised suurenevad ka veel seepärast, et luminesentslamp kiirgab niisugust valguslainete komplekti, millele inimsilm on kõige tundlikum, s. o. kiirguse spektraalne jaotus nähtavas osas on tal õnnestunum kui hõõglambil.

Meenutan, et hõõglambi valgusesaagis on umbes 100 luumenit vati kohta. Päevavalguslampide valgusesaagis on 4—6 korda suurem. Praegu luuakse lampe valgusesaagisega 70 luumenit vati kohta. Tõsi küll, see on nii siis, kui me ei vaatle energiakadusid lülitusseadmetes.

Kahjuks ei saa päevavalguslampi süüdata tema elektroodide vahetu lülitamisega võrku. Peale valgusttekitava klaastoru kuulub lambi komplekti süütamis-reguleerimisaparaat. Põhiliselt koosneb see kahest osast — starterist ja drosselist.

Starter on lambiga paralleelselt lülitatud automaatne «kellannupp», milles samuti töötab plasma. Kui lamp sisse lülitada, süttib starteri inertse gaasiga täidetud klaaskestakeses lahendus. See lahendus kuumutab painutatud

\* 1963. a. Tartus Eesti NSV TA Füüsika ja Astronoomia Instituudis Tšeslav Luštšiku, Emil Ilmase ja Georg Liidja poolt avastatud «footonite paljunemise» nähtus ultravioletses spektripiirkonnas võimaldab ehitada selliseid päevavalguslampe, milles iga luminofooris neeldunud ultravioletse kiirguse kvant loob kaks või rohkem nähtava valguse kvanti. (Tõlk.)

bimetallist plaadikest\*, mis paindub veel rohkem ning lühistab starteri elektroodid. Lahendus starteris kustub, kuid läbi lühistatud elektroodide hakkab voolama tugev vool. Nagu on näha jooniselt, läbib see vool ka luminesentslambi elektroode, mis seetõttu kuumenevad, ning neilt hakkavad eralduma elektronid. Sel ajal jahtub starteri painutatud plaat ja esialgset asendit võttes avab ahela.

Lambis kuumutatud elektroodide vahel süttib lahendus, mida aitas tekitada drossel, raudsüdamikule mähitud isoleeritud vasktraadist pool. Selline pool pidurdab kangekaelselt voolu vähenemist, temas tekib pingeimpulss, mis liitub võrgupingega. Seega rakendatakse starteri elektroodide lahtilülamise momendil luminesentslambi elektroodidele kõrgendatud pinge. Aga lambi süütamiseks seda just vaja ongi.

Kui starter töötab ainult süütemomendil, s. o. 1,5—2 sekundit, siis drossel on vajalik ka päevavalguslambi normaalsel põlemisel lambi töörežiimi jälgimiseks. Drossel on lülitatud lambiga järjestikku, seepärast nimetatakse seda ballasttakistiks. Kui lampi läbiv vool vaid veidi-veidi suureneb, siis suureneb otsekohe ka drosseli takistus ja vool muutub endiselt normaalseks. Voolu vähenemisel, mis ähvardab lahenduse kustumisega, väheneb drosseli takistus ja vool saavutab automaatselt endise tugevuse.

Loomulikult kulutab päevavalguslambi tööks nii vajalik süütamis-reguleerimiseseade elektrienergiat. Need on sunnitud kaod ning nendega tuleb leppida. Kuid isegi siis, kui neid kadusid arvestada, on päevavalguslambi valgusesaagis 2—3 korda suurem kui hõõglambil.

Meie mõõtmatu maa linnades ja külades süttivad õhtuti miljonid elektripirnid. Aastas tarbivad nad terve ookeani elektrit — umbes 10 miljardit kilovatt-tundi. Ja kui mitte-ökonoomsed hõõglambid asendada päevavalguslampidega, siis oleks elektrienergia kokkuhoid tohutu. Kui palju võiks selle kokkuhoiu arvel valgustada uusi tänavaid, maju, lasta käiku uusi tööpinke ja masinaid!

Nõukogude Liidus toodetakse päevavalguslampe massiliselt. Igal aastal lastakse meil neid välja kümme miljonit. Meie maa jaoks on seda vähe. Meil on vaja viia nende lam-

\* Bimetallist plaadi moodustavad kaks erineva soojuspaisumiskoeffitsiendiga metallplaati, mis on paigutatud kõrvuti ja ühendatud. Temperatuuri tõusmisel pikenevad need plaadid erinevalt ning plaat tervikuna paindub. (Tõlk.)

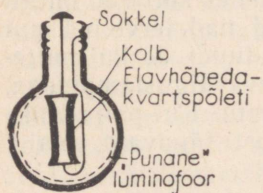
pide väljalase saja miljonini aastas. Siis oleks nende majanduslik kasulikkus käegakatsutav.

Kuigi päevavalguslamp on hõõglambist kallim, tasuvad täiendavad kulutused tema peale end täiesti, paistab ju päevavalguslamp peale hea valgusesaagise silma veel pikema tööaja poolest. Kui hõõglamp töötab keskmiselt tuhat tundi, siis päevavalguslambi tööaeg on 3—4 korda pikem. Ja see pole piir. Töötatakse välja lampe, mille tööaeg on peaaegu kaks korda suurem kui neil, mida praegu toodetakse.

## ELAVHÖBELAMBI TEINE SÜND

1957. aasta talvel vaatlesid paljud Kuibõševi tänaval liikuvad moskvalased imestusega heledalt ümbrust valgustavaid pirnitaolisi lampe. See oli uudis — elavhõbekaarlambrid. Uudis? Kuid 20 aastat tagasi katsetati elavhõbelampe Gorki tänaval. Võib-olla olid need teistsugused lambid?

Ei, nii siis kui ka praegu, kaks aastakümnet hiljem, süüdati põhimõtteliselt ühesugused lambid. Nii nendes kui ka teistes töötab valguslainete pidevat spektrit kiirgav plasma. Miks siis kutsusid eelmised elavhõbelambid esile moskvalaste pahameele ja võeti maha, praegused aga võeti vastu etteheideteta, nii-öelda kiidetü moskvalaste poolt heaks, ning süttisid peale Kuibõševi tänava Smolenski väljakul, Gorki tänaval, Lomonossovi prospektil ja hiljem ka teistes linnades?



Elavhõbekaarluminesentslamp

Sellele küsimusele on lihtne vastata, kui lahti mõtestada uue lambi nimetus. Spetsialistid andsid talle nimeks EKL — elavhõbe-kaarluminesentslamp.\*

Kõik me oleme harjunud luminesentslampe nägema

\* Vene keeles ДРЛ — дуговая ртутная люминесцентная. (Tõlk.)

pikkade helenduvate torude kujul. Neid võib rohkesti kohata linnatänavail. Kuid vaadake hoolega selliste lampidega valgusteid. Ühte armatuuri on paigutatud kaks, kolm, aga ka rohkem helenduvat toru. Seda on tehtud ilmselt selleks, et saada rohkem valgust.

Kui me kasutame tavalisi hõõglampe, siis keerame valgustuse tugevdamiseks pesasse näiteks 100-vatise pirni asemele 150-vatise. Viimane omab vaid veidi suuremaid mõõtmeid. Luminestantsvalgustuse puhul on võimsamad lambid suuremad ka mõõtmetelt. Nad on pikemad. Kuid nende lampide pikkust ei saa suurendada suvaliselt. Liiga pikkades torudes on raskem süüdata lahendust ja hoida teda sellisena, et lamp annaks võimalikult palju valgust. 220-voldise võrgupinge puhul pole otstarbekas teha rohkem kui 1,5 meetri pikkusi päevavalguslampe, 127 voldi puhul on aga äärmiseks pikkuseks 0,6 meetrit.

Tõsi küll, Moskva Elektrilambitehase laboratooriumis nägin ma peaaegu kolme meetri pikkusi lampe, kuid need lambid vajavad keerulisemat süütamis-reguleerimisseadet ja tänavate valgustamiseks neid veel ei rakendata.

Seega on harilike luminestantslampide võimsusel piir, mida esialgu pole otstarbekas ületada. Tavaliselt on see piir 80 vatti. Seepärast tuleb lahtiste ruumide valgustamiseks ühte valgustisse panna mitu lampi, mis muudab valgusti kohmakaks ja mitte eriti nägusaks. Ta jääb ilmselt kaotajaks, kui teda võrrelda EKL-lambi kompaktse pirniga.

Selle lambi sisse on paigutatud peenike kvartsklaasist põletitoru. Selle sees möllab elavhõbedaurudes kaarlahendus. Nende aurude rõhk ületab mitmed korrad atmosfääri rõhu. Suurte voolutiheduste puhul on tingimuseks, et lahendus kiirgaks täielikku valguslainete komplekti. Kuid kvartspõleti valguse kvaliteet on madal, kuna temas on palju siniseid ja violetseid ning vähe punaseid kiiri. Nimelt see segas sõjaeelsetel aastatel elavhõbelampide kasutusele võtmist tänavavalgustuses.

Nüüd, kui ilmusid luminofoorid, õnnestus seda puudust parandada ja luua lamp, mis peaaegu polegi halvem päevavalguslambist.

Luminofoor, mille koostis on teistsugune kui luminestantslambis, kantakse pirni sisepinnale. Kui päevavalguslambis annab luminofooride segu täieliku valguslainete komplekti, siis siin tekitab luminofoor ultravioletsete kiirte

mõjul ainult punaseid kiiri, s. o. neid, mida lahenduse kiirguses peaaegu pole.

Seega tungib EKL-lambis erinevalt päevavalguslambist põhiline plasmas sündinud kiirtemass välja, puuduvad punased kiired lisab aga luminofoor ja parandab sellega lahenduse kiirgust. Selliseid lampe õnnestus luua pärast seda, kui olid välja töötatud efektiivsed punased luminofoorid, sellised nagu magneesiumarsenaat, baarium-, strontsium- ja liitiumtrisilikaadid jt.

EKL-lamp on Moskva Elektrilambitehase laps. Siin, Sergei Vassiljevitš Borissovi juhatusel töötavas laboratooriumis parandati hoolikalt ja püsivalt elavhõbe-kvartspõleti «iseloomu», püüti teha lambi helendust sarnaseks päevavalguslambi omaga. See töö lõpetati edukalt.

Muuseas, see pole täiesti täpne. EKL-lampide täiustamine jätkub. Laboratooriumi juhataja S. V. Borissov ütles mulle:

«Me oleme loonud neli tüüpi EKL-lampe — võimsusega 250, 500, 750 ja 1000 vatti. Nagu näete, on need lambid päevavalguslampidest tunduvalt võimsamad. Kuid me töötame ka vähem võimsate, 80- ja 125-vatiste lampide kallal. Need on samuti vajalikud, kuna praktikas juhtub sageli, et mõningaid objekte on kasulikum valgustada väiksemate lampidega.»

Nagu päevavalguslambile, nii on ka EKL-lambile vaja drosselit. Lahenduse süütamine lambis toimub mitte starteri abil, vaid vahetult võrgust. Elavhõbe-kvartspõletisse on sellel eesmärgil viidud eriline abielektrood. Tõsi küll, suure võimsusega lampidel on keerulisem süüteskeem.

Kompaktsus, lai võimsusediapasoon, valguse kõrge kvaliteet ja suur valgusesaagis on EKL-lambi peamised väärtused. Tänu neile leidsid EKL-lambid kiiresti tunnustuse. Nad on süttinud mitte ainult Moskvas, vaid ka Leningradis, Kiievis, Voronežis, Jaltas ja paljudes teistes linnades.

Me laseme praegu välja umbes 70 tuhat lampi aastas. Aga kogu riigis on neid vaja üle miljoni. Sellise tootmis- taseme saavutamine on edasilükkamatu ülesanne, mille meie tööstus peab lahendama lähematel aastatel.

## KOLLASE DUBLETI TEENISTUS

Spetsialistid, kes loovad valgusallikaid, pööravad erilist tähelepanu oma toodete valgusesaagisele. Sellise hoolitsuse põhjust oli selgitatud eespool. Elektriookean — 30 miljardit kilovatt-tundi, mille meie maa kulutab igal aastal valgustusele, peab andma suurima efekti. Muutub ju iga uus, kulutatud energiavati kohta tulev luumen riigile vägagi oluliseks kokkuhoiuks.

Siin on võrdlevad andmed erinevate lampide valgusesaagiste kohta:

hõõglamp	— 10	luumen/vatt,
EKL-lamp	— 35—50	luumen/vatt,
päevavalguslamp	— 40—45	luumen/vatt,
naatriumlamp	— 70—100	luumen/vatt.

Olen veendunud, et viimasele reale pöörab tähelepanu igaüks, kes kas või veidigi on tuttav valgustustehnikaga. Või veel! Sada luumenit iga vati kohta, kümme korda rohkem kui hõõglambil! See on ju tõeline kokkuhoiurekord!

Seetõttu tuleb selle rekordi omanikul, naatriumlambil, peatuda eraldi.

Kohe alguses tuleb lugejat kurvastada: see väga kokkuhoidlik lamp annab resonantskiirgust. Meenutades seda, mida resonantskiirgusest räägiti eespool, teeb igaüks kergesti järelduse, et lambi kiirgus on üleplaaneline ehk, nagu räägivad spetsialistid, — monokromaatiline. Sellise valguse me praakisime välja, kuna õigeks valgustamiseks on vaja täielikku valguslainete komplekti.

Ja siiski astus monokromaatilise kiirgusega lamp, naatriumlamp, ühele pulgale luminescents- ja elavhõbelampidega.

Mitte väga ammu köitis Moskvast Volokolamski maanteele sõitvate autojuhtide tähelepanu üsna ebatavaline valgustus. Tee kohale riputatud täisnurksetest valgustitest kallas kollast valgust. See valgustas suurepäraselt asfaldilinti, varjutades teravalt kõiki kõrvalisi esemeid. Valgustuse selline kontrastsus võimaldas juhtidel hästi orienteeruda ja kergendas nende tööd.

Õhtusel ja öisel ajal pole autojuhtimine lihtne. Vastutulevad autod, majad, inimesed näivad juhile sirgete tumedate siluettidena heledama teekatte foonil. Vahel on objektid eredamad kui foon, vahel aga võib neid täheldada vaid

varju järgi. Tee puudulik valgustus on autokatastroofide ja nendega seotud surmajuhtumite üheks põhjuseks. Ohvreid pole aga vähe, eriti intensiivse tänavaliiklusega suurlinnades. Jaapanis näiteks hukkub iga päev 30 inimest. USA-s sai ainuüksi 1953. aasta jooksul teedel kannatada 1,4 miljonit inimest. See on rohkem kui kogu Korea sõja ajal tapetud ja haavatud ameeriklaste arv.

Loomulikult tuleb otsida vahendeid sellise «autoepideemia» vastu. Üks neist on teede ja tänavate õige valgustamine. Selles suunas tehakse uurimisi nii meil kui ka välismaal.

Inglismaal võeti näiteks vaatluse alla Londoni kaheksa magistraalteed. Kui neil seati hõõglampide asemel üles elavhõbe- ja naatriumlambid, siis vähenes avariide arv 15 protsendi võrra.

Chicagos valgustati ühe bulvari kolme lõiku erinevalt ja jälgiti neid aasta jooksul. Selgus, et katastroofide arv oli halva valgustusega lõigul kaks korda suurem kui seal, kus valgustus oli parim.

See järeldus on loomulik, ning taolisi katseid tehakse mitte järelduse enda pärast, vaid selleks, et luua efektiivset ja odavat tänavavalgustust.

Valgustamise intensiivsust iseloomustatakse erilise näitajaga — pinnavalgustusega. Viimast mõõdetakse luksides. Kui pindalale üks ruutmeeter langeb valgusvoog 1 luumen, siis on sellise pinna valgustus 1 luks. See valgustus pole suur, tema puhul võib vaid orienteeruda ümbritsevas ruumis. Raamatu lugemiseks näiteks on vaja valgustust 50 luksit.

Tänavad, väljakud, sillad peavad olema valgustatud nii, et kindlustada transpordi ja jalakäijate normaalne liikumine. Moskvast näiteks on kõik tänavad, sillad ja kaldapealsed jaotatud mitmesse klassi, sõltuvalt tänavaliikluse intensiivsusest ja asukohast, kusjuures iga klassi jaoks on kehtestatud kindel valgustusnorm. Gorki tänav, Komsovoli ja Arbati väljakud, Moskvoretški ja Borodino sillad, Kremli kaldapealne, Lenini prospekt ja teised suured magistraalid kuuluvad esimesse klassi valgustusnormiga mitte alla 6 luksit. Vaikseid põiktänavaid, mida harva läbivad autod ja kus on vähe jalakäijaid, valgustatakse neljanda klassi järgi valgustusnormiga kõigest üks luks.

Vaatamata sellisele diferentseeritud lähenemisele, nõuab linnade välisvalgustus tohutut hulka elektrienergiat.

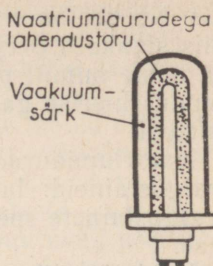
Hõõglampide väljavahetamine torutaoliste luminescentslampidega ja EKL-lampidega mitte ainult parandab valgustuse kvaliteeti ja intensiivsust, vaid annab ka suurt elektri kokkuhoidu. Aastatel 1958—1961 seati Moskvas üles 13337 gaaslahenduslampi. See andis 12,5 miljonit kilovatt-tundi elektrienergia kokkuhoidu. Arv on veenev, kuigi ta on saanud nii, et  $\frac{9}{10}$  lampe jäi endiseks, s. o. hõõglampideks. Kui jõuda nii kaugemale, et 40% lampidest Moskva tänavail oleksid gaaslahenduslampid, siis moodustaks aastane energiakokkuhoid 18 miljonit kilovatt-tundi. Praegu lahendatakse seda ülesannet edukalt.

Linnades, eriti suurlinnades, on nii päeval kui öösel väljasõidumagistraalidel ja linnalähedastel maanteedel väga tihedad autovoolud. Sinna on samuti vaja valgustust, kuna ainult autolaternate kasutamine loob vastutulevate autode pimestava mõju tõttu tihti avariolukorra. Siin on kõige perspektiivikamaks naatriumlamp, millest oli juba juttu.

Selle lambi ehitus on näidatud joonisel 7. Erilisest naatriumiaurude toimele vastupidavast klaasist valmistatud U-kujulise toru ottesse on joodetud elektroodid. Torusse viiakse veidi puhast metallilist naatriumi, mis läikivate laigukestena sadestub selle seintele. Lambi süütamise kergendamiseks ja teenistusaja pikendamiseks täidetakse see neoniga või argooniga rõhuni mõni millimeeter elavhõbedasammast. Kõige rohkem annab lamp valgust sel juhul, kui tema ristlõike iga ruutsentimeetrit läbib vool 0,1—0,5 amprit, naatriumiaurude rõhk aga on 0,007 millimeetrit elavhõbedasammast. Naatriumi küllastatud aurud annavad sellist rõhku siis, kui lambi seinte temperatuur on 280—300 kraadi.

Ümbritsev õhk jahutab toru, talvisel ajal võib see aga takistada naatriumi aurustumist. Selle vältimiseks eraldatakse lahendustoru väliskeskonnast ja paigutatakse ta klaaskupli alla, millest pumbatakse välja kogu õhk. Läbi sellise vaakumsärgi soojusekadu peaaegu pole.

Naatriumlambi süütamiseks on vaja kõrgendatud pinget, mida saadakse spetsiaalse autotransformaatoriga. Lambi sisselülitamisel süttib lahendus algul inertses gaa-



Naatriumlamp

sis. Kui see on neon, helendub lamp punaselt, kui argoon, siis sinakalt. Seejuures lamp soojeneb, naatrium aurustub ja mõne minuti pärast surub naatriumiaurude kollane helendus inertse gaasi helenduse kõrvale. Lamp alustab teenistust.

Naatriumiaurudes tekkinud plasma kiirgab kaht «sorti» valguslaineid: lainepikkusega 0,5890 ja 0,5896 mikronit. Valguslainete spektris asuvad need kollaste kiirte piirkonnas.

Vaid täiuslike spektraalanalüüsi seadmetega oli võimalik märgata naatriumi poolt kiirataivate valguslainete pikkuse vahet. Kirchhoffi ja Bunseni kaasaegsed arvasid kõik, et naatriumiaurud annavad spektris ühe kollase joone, tegelikult on neid aga kaks.

Naatriumlambi kiirgus meenutab tulistamist kaheraudsest kuulipildujast, kusjuures ühe raua kaliiber erineb veidi-veidi teise omast. Sellist kiirgust hakati nimetama naatriumi kollaseks dubletiks.

Loomulikult võtab meie silm naatriumlambi valguskuule — footoneid vastu ühetaolise kollase valgusena. Selle valguses ei ole võimalik eraldada esemete värvi. Kuid nähtavasti pole see linnalähedastel maanteedel ja automagistraalidel kihutavate autode juhtidele tähtiski. Neile on vaja hästivalgustatud teid. Selle ülesandega saab naatriumlamp suurepäraselt hakkama, kulutades seejuures energiat kaks korda vähem kui elavhõbe- või luminescentslamp ning viis korda vähem kui hõõglamp.

Naatriumlamp on loodud ja läbi proovitud, ta on saanud lähetuse ellu. Kuid neid toodetakse alles väga vähe, kuna esialgu ei jätku sobivat klaasi. Tavaline ränihapet sisaldav klaas ei kõlba, on vaja erilist naatriumikindlat klaasi, kuid selle massilist tootmist pole veel alustatud.

Tahaks loota, et peagi voolavad naatriumlampide kollase valguse jõed paljudel meie maa automagistraalidel ja maanteedel.

## KSENOONPÄIKE

Tõenäoliselt olete märganud, et kõik plasmavalgusallikad, millest eespool jutustati, vajavad erilist käivitus-reguleerimisaset. Ilma selleta ei saa selliseid lampe võrku lülitada. Selle põhielemendiks on niinimetatud ballasttakisti

ehk drossel, naatriumlambil aga autotransformaator, mis hoiab lampi läbiva voolu tugevust automaatselt vajalikes piirides. Sellest räägiti juba eespool, kuid nüüd selgitame ballasttakisti vajadust üksikasjalisemalt.

Lahenduse alguseks kasvab torus olevate laetud osakeste arv laviinitaoliselt. Hõõguvast katoodist väljalendavad elektronid püüdlevad anoodi poole ja hakkavad vajaliku kiiruse saavutamisel ioniseerima neutraalseid gaasiaatomeid. Elektronidest ilmajäänud aatomid muutuvad positiivseteks ioonideks, vabaduse saanud elektronid aga sulavad üldisesse negatiivsete laengute voogu ja hakkavad ise gaasi ioniseerima. Mida rohkem on torus vabu laenguid, seda tihedam ja suurem vool teda läbib. Torus olev gaas kuumeneb ja see omakorda soodustab ionisatsiooni. Kui mitte tarvitusele võtta abinõusid, sulatab kasvav laengute laviin elektroodid, hukutab toru.

Plasma on elektrijuht, kuid eriline juht, mis põhjalikult erineb metallilistest juhtidest.

Hõõglambi volframspiraalis on tohutu suur, kuid täiesti kindel arv laengukandjaid — vabu elektrone. Järelikult on sellel spiraalil täiesti kindel takistus. Tähendab, kasutades kõigile hästituntud Ohmi seadust, on võimalik voolutugevust arvutada ja valida ta niisugune, et lambi spiraal ei sulaks.

Nende arvutuste juures võib täpselt arvestada isegi juhi takistuse mõningat suurenemist kuumenemisel.

Plasmaga on lugu keerulisem. Voolu tekitavate laengute arv temas pole püsiv. See suureneb igal järgneval momendil, toru takistus väheneb ning laengud saavad veel suurema vabaduse. Voolu suurus plasmast sõltub pingest, gaasi rõhust ja loomusest, toru mõõtmetest, elektroodide kujust ja materjalist jne.

Drossel ei lase plasma laengutelaviinil võtta ähvardavaid mõõtmeid. Ta on lülitatud lahendustoruga järjestikku ning kustutab liigset võrgupinget, laskmata seetõttu voolul ülemäära suurenedä.

Minu arvates on see gaaslahenduslambi element nimetatud ballasttakistikks väga õnnestunult. Ballast on kasutu koorem. Lambis on ta vajalik, valgusesaagist aga ei suurenda, vaid vähendab. Tema vaskkeerdukes ja raudsüdamikus kulutatakse energiat, neidsamu võimsusevätte, mille pärast kõik valgustehnikute põlvkonnad nii visalt võitlevad. Peale selle tekitab drossel elektriahelas «ebakõla»: sel-

les ei lange pinge ja voolu kõikumised kokku (spetsialistid räägivad: «nad on faasis nihutatud»), nii et tuleb suurendada toitejuhtmete läbimõõtu ja rakendada täiendavaid seadmeid — kondensaatoreid.

Ballasttakistid on kahjulikuks koormaks ka sõna otseses mõttes, sest gaaslahenduslambi iga võimsusekilovati kohta tuleb kulutada 10—15 kilogrammi vaske ja rauda. Me naudime EKL-lambi kompaktsid mõõtmeid, spetsialistid aga teavad, et kuhugi lähedusse on peidetud mõõtmetelt peaaegu niisama suur ballasttakisti.

Ja vaatamata kõigile neile miinustele, ei saa ballasttakistit kõrvale heita. Plasma on plasma ja tema iseloomu tuleb tahes-tahtmata arvestada.

Nii mõtlesid ja tegid kõik spetsialistid nii meil kui ka välismaal. Kõik, peale ühe — Imanuel Samoilovitš Maršaki.

See teadlane ja insener pühendas suure osa oma uurimistest elektrisädeme tundmaõppimisele. Tema laboratooriumis loodi suurepärased lambid, milles peategelane on säde. Nendest riistadest alles tuleb juttu, nüüd ütleme vaid, et sädelahenduste pikaajaline uurimine võimaldas I. S. Maršakil luua tõelise plasmapäikese, seejuures ilma luminesentsi igasuguse vahendusega\* ja ballasttakistiteta.

Plasma varjatud võimalusi nägi Maršak pärast ühte avastust.

Ta uuris voolu käitumist impulsslampides — peenikes-tes hobuserauakujulistes torukestes, mis on täidetud ksenooniga mõneatmosfäärise rõhuni. Sellistes torukestes kestab lahendus silmapilgu. See silmapilk oli vaja kuidagi peatada, jagada lühemateks ajavahemikeks ja vaadata, kuidas käitub plasma lahenduse algusest lõpuni.

Koostati selline elektriline lülitus, mis võimaldas üha enam ja enam suurendada lampi läbivat vooluimpulssi. Mõõtmistel aga selgus, et pärast teatud piiri saavutamist ei tahtnud vool enam suurened. Tema kasvamist segas miski torus endas. Mis nimelt?

Vool plasmas sõltub laengute arvust ja laengute liikumise kiirusest. Lahenduse alguses kasvab vabade aatomitega sidumata elektronide arv laviinitaoliselt. Suureneb ka positiivsete ionide hulk. Tekivad ju need neutraalsetest

---

\* Siin on mõeldud tahkete luminofooride vahendust. Plasma kiirguse on aga samuti luminesents, nagu selgus ka eespool. (Tõlk.)

aatomitest, mis on kaotanud osa elektrone. Selle protsessiga kaasneb temperatuuri tõus, viimane aga, nagu me juba selgitasime, suurendab ionisatsiooni. Näib, et toru läbiv vool peab üha enam ja enam suurenema, kuna vabade elektronide, nende ioniseerivate mürskude arv on tohutu ning ioniseerimismaterjali neutraalsete aatomite näol on samuti palju, tunduvalt rohkem kui ioone, ja ka temperatuur plasmanööris on väga kõrge.

Kui gaasi ioniseerimine pidurdub, siis laengute armee ei täiene ja voolutihedus on saavutanud küllastuse, s. o. oma piiri. Nüüd muutub lahendus ajas niivõrd vähe, et seda hakati nimetama kvaasistatsionaarseks, s. o. just nagu statsionaarseks, püsivaks. See meenutab voolu läbi tavalise metalljuhi.

Plasma sellise vastumeelsuse laengutearmee suurendamise vastu põhjustavad ioonid. Kui neid on palju, siis hakkavad nad elektronide hoogsat sөөstu pidurdama, on ju ioonidel vastupidine laeng. Halastamatud elektrijõud tõmbavad vastupidiseid laenguid üksteise poole ja elektronid pörkavad nüüd üha sagedamini ja sagedamini kokku mitte neutraalsete aatomitega, vaid just ionidega.

Mida suurem on märklaud, seda kergem on seda tabada. Neutraalse aatomi ja elektroni kaotanud aatomi, s. o.iooni geomeetrilised mõõtmed on peaaegu ühesugused. Kuid erinimeliste laengute võime tõmbuda üksteise poole just nagu suurendaksiooni mõõtmeid, võrreldes neutraalse aatomiga. Füüsikud räägivad, etiooni efektiivne, s. o. tegelikult mõjuv ristlõige on suurem. Ksenoonis näiteks on üheiooni efektiivne ristlõige 10 tuhat korda suurem kui neutraalsel aatomil. Väikemehed-elektronid pörkavad kokku kõigepealt ionidega, olgugi et neid on arvuliselt vähem kui neutraalseid aatomeid.

Inertsetes gaasides on küllaldane ioniseerida üks tuhandik osa aatomitest, et elektronid hakkaksid pörkama kokku ainult ionidega.

Metallid juhivad voolu erinevalt — ühed halvemini, teised paremini. Elektrijuhtivust hinnatakse eritakistusega, s. o. antud metallist kindla ristlõike ja pikkusega juhtmetüki takistusega. Elektriahelate arvutamisel võetakse arvesse just nimelt juhtide eritakistus. Seejuures kasutatakse tuntud Ohmi seadust: vool juhisis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega ja pöördvõrdeline selle juhi takistusega.

Plasmat läbivat voolu ei saa enne küllastumist Ohmi seaduse järgi arvutada. Laengute arv muutub temas pidevalt, järelikult on ka plasmakanali takistus määramatu suurus.

Teine asi on kvaasistatsionaarne lahendus, mis tekib, kui vool saavutab oma piiri. Plasmanöör käitub sel juhul nagu juhtmetükk, tal on antud tingimustes püsiv eritakistus, aga kui nii, siis võib kasutada Ohmi seadust ja vaadelda meie plasmalampi hõõglambina. Ballasttakisti vajadus langeb ära.

Nii tehtigi I. S. Maršaki laboratooriumis. Juhendaja poolt formuleeritud printsiipidele tuginedes konstrueeriti impulsslambid. Tellimised impulsslampidele olid suured ja näis, et tähelepanu võib kontsentreerida lühikestele valgusesähvatustele, mis pimedust ainult ehmatavad.

Kuid I. S. Maršakil oli palav ja hulljulge soov luua lamp, mis peletaks pimeduse hoopis minema, oleks impulsslamp, aga põleks pidevalt. Lamp, mis oleks sobiv valgustamiseks. Lamp, millel poleks ballasttakistit, seda näiliselt igaveseks gaaslahenduslambi külge seotud kaalupommi. Otsingud ja katsed toimusid vahetpidamatult. Nad meenusid aastatepikkuseks veninud lahingut. Ebaõnn vaheldus võitudega, võidud uue ebaõnnega.

Plasma ei tahtnud alistuda. Väikeses impulsslambis tekkiv kvaasistatsionaarne režiim ei tahtnud kuidagi kesta kauem kui silmapilgu. Selle pikendamine lampi purustamata oli aga peamine siht, mille teadlane enda ette seadis.

Raskus peitus järgnevas.

Impulsslamp annab valgusesähvatusi, mille kestus on sekundi sajandikud ja tuhandikud osad. Ta rohkem puhkab kui helendab. Tema elektroodid ja kest ei kuumene üle ega sula, kuigi lahenduse lõpus läheb lõviosa energiast just niimelt kuumenemisele, toruvälistele kadudele.

Lambi kuumenemise põhjus on ammu teada. Seda teevad tema elektroode pommitavad laengud. Nende löökide jõudu on vaja pehmenada. Seda võib aga teha, kui vähendada toru pikkuse igale sentimeetrile langevat pinget.

Tavaliste metalljuhtide ülekuumenemise puhul lahendatakse ülesanne lihtsalt: pannakse jämedam juhe. Nagu teada, kuumeneb see vähem kui peenike. Kuid kvaasistatsionaarses režiimis käitub ju plasma metalljuhina! Kas ei saaks siin samuti talitada? Võtta suurema diameetriga toru. Plasmanöör tuleb jämedam, pingelang, aga koos sel-

lega ka suhteline plasmaväline energiakulu, väheneb. Tõsi küll, seejuures tuleb võtta pikem toru, nii nagu elektripliidile on jämedama traadi puhul vaja pikemat spiraali.

Arvutused näitasid, et just seda teed mööda tulebki minna. Seejuures lahendati veel üks ülesanne.

Loodav lamp peab töötama vahelduvvooluvõrgust. Tähendab, lambile rakendatud pinge muutub pidevalt: kasvab, saavutab maksimumi, langeb nullini, kasvab polaarsust muutes uuesti jne. Peenikesed, vähem kui poolesentimeetrisel raadiusega impulsslambid kustuvad pinge nulliks muutumise momentidel. Seejuures muutus neis plasma tavaliseks gaasiks. Igas sekundis juhtub seda sada korda. Pärast iga kustumist süttib neis lahendus uuesti ja protsess algaks nagu otsast peale. I. S. Maršak tegi kindlaks, et kui toru raadius on üle 0,8—1 sentimeetri, siis plasma elab temas ka neil momentidel, kui pinge on null. Järelikult on temas küllalt energiat, et vastu pidada, mitte kaduda. Impulsslamp muundub sisuliselt pideva põlemisrežiimiga lambiks, see aga on just see, mille poole teadlane püüdes.

Oli veel palju raskusi peale nende, millest ma jutustasin: kuidas süüdata lahendust poolteisemeetrises torus, millised elektroodid sinna panna, kuidas joota juhtmed kvartstorusse — kõiki ei jõua loendadaagi.

1959. aastal ilmus lõpuks esimene näidis, I. S. Maršaki jooniste järgi loodud katseksemplar. Eksemplar, mida veel keegi polnud katsetanud.

Laboratooriumisse kogunes palju lambiehitajaid. Või veel — esimene ballasttakistita gaaslahenduslamp valgustehnika ajaloos! Ja mitte mingisugune nõrgake, vaid 20-kilovatine. Vanade ettekujutuste järgi ei saa ballasttakistita gaaslahenduslampi otse võrku lülitada, vältimata plasmanööri poolt loodud lühist. Sellise võimsa lambi puhul on see aga võrdne plahvatusega. Seepärast olid kõigil juuresviibijatel keskendunud ja tõsised näod — nad on I. S. Maršaki kaastöölised, kes on lambi oma kätega valmistanud. Võib kujutleda, mida elas sellel ajal üle I. S. Maršak ise. Kontrolliti ju nüüd teooriat, mille terakesi oli kogutud palju aastaid! Teooriat, mille õigsust ta uskus kõikumatumalt, sest iga selle järeldus oli saavutatud visa tööga, lakkamatu ajutegevusega.

Maršak lülitab sisse võimsa hooblüliti. Lamp süttib pirmestavalt ja ere päikesevalgus täidab laboratooriumi. Kõik

vaatavad ampermeetriks, selle osuti jääb peatuma 70 ampri juures. Täpselt niipalju peab olema!

Hiljem aga, 1960. aasta juulis, süttis kahemeetrine «ksenoonpäike» Nõukogude väljakul Moskva Nõukogu juures, seal, kus seisab Juri Dolgoruki pronksfiguur, pärastpoole Sokolniki pargis näituseterritooriumil ja Komsomoli väljakul. See «päike» särab ka Kremli Kongresside Palee ees ja uue ehitustehnika näitusel 1962. aasta varatalve videvikutundidel süttis samasugune lamp Moskva Elektrilambitehase karniisil. See valgustas suurepäraselt väljakut, millel kerkis veel ühe tehase hoone.

Ballastita ksenoonlamp erineb teistest gaaslahenduslampidest valguse suurepärase kvaliteedi poolest. Selle spekter on kõige lähemal päikesevalguse omale. Seepärast paistavad tema valguses sinised värvid sinistena, rohelised rohelistena, mandlirohelistes mitte türkiissinistena nagu varem, vaid nimelt mandlirohelistena.

Niisuguse võimsusega ksenoonlambid ilmusid ka välismaal. Esimese neist valmistas firma «Osram» ja see seati üles Münchenis 32-meetrise masti tippu. See sündis 1958. aastal. Kuid lambis polnud midagi põhimõtteliselt uut: ta võis töötada ainult ballastiga. Oskamata teha ballastita lampi, püüdsid saksa spetsialistid ette jõuda võimsuse arvel. Ühes Lääne-Berliini vaksalis süttis 65-kilovattine lamp. Rooma Olümpiastaadioni jaoks aga tehti lamp võimsusega 75 kilovatti.

See rekord ületati peagi: Moskva Elektrilambitehases valmistati 300-kilovattine ballastita lamp «Siirius». Lambi valmistamist juhtis I. S. Maršak.

«Siirius» koosneb kolmest peaaegu meetripikkusest lambist, igaühel 100 kilovatti võimsust. Nad lülitatakse kolme faasilisse vahelduvvoolu võrku ja ühendatakse kolmnurka, nagu räägivad elektrotehnikud. Sellise ühendamise puhul läbib juhtmeid 1,73 korda suurem vool kui iga lampi. Aga lampi läbiv vool pole väike — 250 amprit.

Selle ülivõimsa lambi sisselülitamiseks on vaja süüteseadet. Selle põhidetail on kõrgepingetransformaator. Süütepinge on 20 tuhat volti. Pinge antakse lambi elektrodile lühikeste sagedate impulssidena. Elektrilöögid «äratavad» ksenooni, ioniseerivad tema aatomeid, valmistades sellega lampi ette otseseks võrkulülitamiseks.

Süüteseadet töötab kõigest ühe sekundi, seejärel lülitab automaat ta välja ja lambi igale torule antakse normaalne

võrgupinge. Plasma täidab kogu toru ristlõike ja ruumala — lamp alustab tööd.

Plasmanööri tsentris ulatub temperatuur 8 tuhande kraadini — kõrgemale kui Päikese pinnal. Toru seinte läheduses on plasma temperatuur tunduvalt madalam. Kuid kvartsklaas kuumeneb ikkagi väga tugevasti. Tema jaoks on piir 850 kraadi, millest kõrgemal hakkab kvarts kristalliseeruma. Selleks et klaas taluks tuldhingava plasma naabrust, tehti toru seinad kahekordsed ja lasti nende vahele destilleeritud vesi. Pidev veevool kannab liigse soojuse soojusvahetajasse. Kui vee juurdevool katkeb, siis lülitub lamp automaatselt välja.

«Siiriuse» iga toru kiirgab 5 miljonit luumenit, tähendab, kogu lamp kiirgab 15 miljonit luumenit. Valgusvoog on niivõrd võimas, et võib üles sulatada alumiiniumilehe, kui see tuua lambist 20 sentimeetri kaugusele.

Tavaline 50-vatise võimsusega hõõglamp loob kuuesajaluumenise valgusvoo. Tähendab, ühe «Siiriuse» väljavahe-  
tamiseks on vaja vähemalt 25 tuhat sellist pirni. Seejuures  
tarvitavad nad kokku 1250 kilovatti võimsust kolmesaja  
asemel.

«Siiriuse» valgusesaagist pole raske arvutada. See on 50 luumenit vati kohta. Ja see efekt saadakse ilma mingite mahaarvamisteta, on ju lamp ballastita.

Esimene lamp «Siirius», see rekordimees ksenoonpäikeste seas, seati üles Rahvamajanduse Saavutuste Näitusele paviljoni «Masinaehitus» klaaskupli alla. Metallitorud suunduvad lehvikuna allapoole, nende külge on kinnitatud kolm kvartstoru. Üleval on valguse peegeldaja, all metallvõrgud juhuks, kui mingi toru peaks lõhkema, mis on, tõsi küll, ebatõenäoline. Lamp pole mitte ainult efektiivne, vaid ka töökindel. Selle eest on hoolitsenud tema loojad, kes töötasid I. S. Maršaki juhendamisel: peakonstruktor insener V. I. Vassiljev, kvartsipuhuja — tehnoloog N. V. Rogatin, süüteseadme konstruktor A. L. Vassermann ja teised.

Tähistaevas on Siirius kõige heledam täht, Maa peal on kõige heledamaks lambiks Moskva Rahvamajanduse Saavutuste Näitusel ülesseatud «Siirius». Ta süttis meie partei ajaloolise XXII kongressi töötamise päevil. Ja nagu kongressi tähtsaim dokument, NLKP uus programm, valgustab kaugele nõukogude rahva teed, nii avas ka valgustehnika hiiglane «Siirius» oma ala uued horisondid.

Sadamad, raudteesõlmed, lahtised kaevandused, ehitus-

platsid, staadionid, põhjamaa kasvuhooned — siin võib neid lampe juba täna rakendada. Tulevikus süttivad kesnoonpäikesed linnade kohal.

Immanuel Samoilovitš Maršak arvab, et järjekorras on veelgi võimsama, poole miljoni vatise lambi loomine. Selle ülesande võivad meie teadlased ja insenerid lahendada juba lähemal ajal.

Nemad parandavad üha veendunumalt ja üha sagedamini Päikese tööritmi. Oma suurepärase plasmalampidega pikendavad nad päeva, tehes Päikese meie alaliseks saatjaks.

## KIIRED TÖÖL

---

### LAHENDUSTE PEREKOND

Plasma on mitmepalgeline. Selles võib veenduda, kui ühendada gaasiga täidetud lahendustoruga alalisvooluallikas ja muuta reostaadi abil järk-järgult voolutugevust.

Reostaat on muudetava suurusega takisti, mis on lülitatud ahelasse järjestikku. Kui see takisti on suur, siis on vool ahelas nõrk. Algul näib isegi, et vool toru ei läbi. Laengute liikumist elektrootide vahel registreerivad vaid tundlikud riistad. Sellist väliselt peaaegu märkamatu lahendust nimetatakse v a i k s e k s. Tema puhul pole torus veel plasmata, kuigi toimub tähtsusetu hulga gaasiaatomite ioniseerimine.

Kui toru elektrootide vahelised elektrilised jõud saavutavad kindla suuruse, siis tekivad torus elektronide laviidid, süttib lahendus. Algul on see nõrk, aga kui voolu veidi suurendada, siis täidab lahendus ühtlaselt kogu toru ruumala. Madalatel gaasirõhkudel, väiksematel kui 10 millimeetrit elavhõbedasammast, võib plasmambas näha mitut tumedat ja heledat osa. Need pole tekkinud juhuslikult: keerulised füüsikalised protsessid plasma mikromaailmas on viinud selleni, et torus ühtedes kohtades aatomid kiirgavad valgust, teistes aga mitte.

Suurt osa torus täidab positiivseks huumsambaks nimetatav lahendus, mis ulatub tihedalt anoodini välja. Posi-

tiivsest huumsambast katoodi poole paikneb Faraday pimeruum, mis järk-järgult läheb üle negatiivseks huumhelen-  
duseks. Vahetult katoodi pinnal võib näha kitsast helen-  
duseribakest, mis on negatiivsest huumlahendusest eral-  
datud väikese tumeda vahemikuna — Crookes'i pimeruu-  
miga.

Selline huumlahenduseks nimetatav lahendus-  
liik on üks keerulisemaid. Kui proovida mõõta pinget toru  
erinevates osades, siis selgub, et see pole jaotatud kau-  
geltki ühtlaselt: kõige suurem pingelang on katoodi lähed-  
dal. See tähendab, et siin mõjuvad laengutele tugevamad  
elektrilised jõud, s. o. elektrone tõmmatakse kõige tugeva-  
mini anoodi poole, plussioone aga katoodi poole.

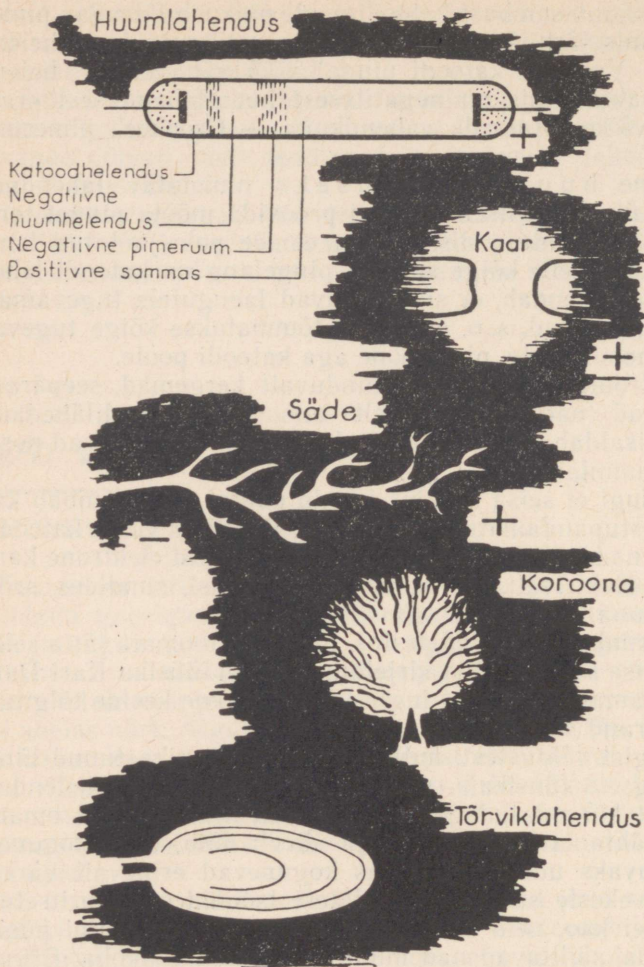
Elektronid on ioonidest tunduvalt kergemad, seepärast  
kanduvad nad silmapilkselt anoodile, katoodilähedane  
ruum sisaldab aga peamiselt plussioone. Need loovad posi-  
tiivse ruumlaengu.

Muidugi ei seisa ka plussioonid paigal, neid tõmbab ka-  
tood vastupandamatult enda poole. Põrgates vastu katoodi,  
löövad nad sellest välja uusi elektrone. Neid elektrone kan-  
nustab elektriväli, nad ioniseerivad gaasi, sundides seda  
helenduma.

Huumlahendus on väga ilus. Ei suuda toomata jätta selle  
lahenduse sõnasõnalist kirjeldust tuntud füüsiku Karl Dar-  
row' raamatust, mis on inglise keelest vene keelde tõlgitud  
üle veerand sajandi tagasi.

«Kõigist nähtustest, millega maailm on rikastunud tänu  
kaasaegsele füüsikale, pole ühtegi ilusamat kui helendus  
sobivalt hõrendatud gaasis. Kahe elektroodi vahel oman-  
dab «nähtamatu õhk» kuju ja värvi: näib, et ta koguneb  
helenduvaks uduks, et temas kogunevad erinevalt värvit-  
ud pilvekeste säared. Pimedatest tsoonidest ümbritsetud  
pilved ei kao, neid ei tülita mingi tuul. Seni, kuni püsib  
lahendus, säilitavad nad muutmatult oma asukoha. Erine-  
vate gaaside jaoks on varjundid erinevad; rõhu vähenedes  
muutub kontrast helenduva ja pimedate tsoonide vahel vähem  
teravaks, mõned tsoonid laienevad ja suruvad teisi välja  
ja lõpuks kaob kogu hiilgav pilt.

Helenduvate ja pimedate kohtade põhiomadused on uni-  
versaalsed. Lahendus sarnaneb organismiga, mille erine-  
vad isendid on ühesugused põhilises, erinevad aga detaili-  
des. Võrdlus pole halb: helendus on nagu elusorganismi  
liik, kus ühed osad hoiavad ülal teiste elu.»



Elektrilahendused gaasis

Väga hästi öeldud, kas pole tõsi?

Nautinud küllalt huumlahendust, võib sundida seda üle minema teiseks liigiks, milleks on vaja toru läbivat voolu veelgi suurendada. Muutus torus toimub ootamatult.

Katoodile ilmub katoodhelenduse asemele hele punkt —

katoodlaik. Negatiivne huumlahendus kaob. Plasmasammas Faraday pimeruumi taga muutub selgepiiriliseks ja heledaks. Toru läbiv vool suureneb järsult.

Sellist lahendust nimetatakse kaarlahenduseks. Selle puhul satuvad elektronid katoodist gaasi peamiselt katoodi kuumenemise tõttu. Kõige iseloomulikum on kaarlahenduse kuju siis, kui gaasi rõhk on võrdne atmosfääri omaga või sellest suurem. Ere, veidi paindunud plasmanöör, mida te võite vaadelda näiteks elektrikeevituse juures, eraldab palju soojust ja valgust.

Plasmavalgusallikates kasutatakse peale huum- ja kaarlahenduse veel sädelahendust. Sädemeplasma elab silmapilgu. Säde tekib kõrgetel gaasirõhkudel, näiteks õhuatmosfääris, kui kõrgepingelise vooluallika võimsus pole suur. Kaare moodustamiseks pole allikal vajalikku energiat ja elektrootidevaheline lahendus toimub lühikeste heledate sädemete kujul. Õhus tekib säde teineteisest ühe sentimeetri kaugusel olevate elektrootide vahel siis, kui elektrootidele on antud pinge üle 30 tuhande voldi. Vaid sellise kõrge pinge puhul on õhus alati olemasolevad elektronid võimelised ioniseerima gaasi ja tekitama laengute-laviini. Peenike loogeline plasmanöör elab sel juhul vaid ühe kümnemiljondiku osa sekundist.

Et kergendada elektrisädeme saamist, ioniseeritakse eelnevalt eriseadme abil sädevahemikus olev gaas. Sel juhul tekib säde madalama pinge puhul.

Lahenduste perekonnas on peale ülalootletute veel teisi lahenduseliike.

Paljudel on olnud juhus näha sinakat helendust elektritulekandeliinide kõrgepingetuhtmete ümber. See on koroonalahendus. Õhus võib niisugust lahendust saada juhul, kui üks elektrootidest on teravik, teine aga tasapinnaline. Teraviku külge liibunud teravate keelekestena helen-duv plasmakiht ongi koroon.

Kui sellistele elektrootidele anda vahelduvpinge sagedusega kümneid miljoneid hertse\*, siis võib teraviku ümber süttida tõrviklahendus, mis on sarnane küünla-leegiga.

On olemas palju teisigi lahenduseliike. Neid, nagu koroon- ja tõrviklahendustki, ei kasutata valgustamiseks, seepärast ei peatu me neil pikemalt.

\*Võnkumise sagedus on 1 herts (Hz), kui sekundis toimub üks täisvõnge. (Tõlk.)

Eelmises peatükis räägiti plasmavalgusallikatest, milles töötab elektriikaar. Nende näidetega tema missioon ei piirdu ja edaspidi saate te teada kaarehelenduse rakendamisest teistel eesmärkidel.

Nüüd aga peatume sellel, kuidas tavalistes klaastorudes toimuv huumlahendus annab linnadele elava, ereda ja kaasaegse ilme.

## LINNA KEEL

Kui linnale hakkab langema hämarus, on temas kõik valmis, et pimedust täies relvastuses vastu võtta. Pimedust pole vaja töölt naasvatele, kauplustesse või külla, kinno, teatrisse suunduvatele inimestele.

Ja kui vaadata linnale ülalt, näiteks helikopterilt, siis võib näha, kuidas piki tänavaid süttivad lampide heledad punktiirid, löövad tuledest särama kõrghooned, hakkavad põlema mitmevärvilised reklaamtuled. Öhtune linn on väga ilus, seepärast on kerge mõista kosmonauti — kangelast Valeri Bõkovskit, kes oma lennu ajal hüüdis vaimustatult mikrofoni:

«Näen Leningradi! Näen Leningradi!»

Vaatepilt oli tõenäoliselt unustamatu.

Linnade valgusarhitektuuri loovad mitte ainult lambid, mille ülesandeks on pimedust eemale ajada, päeva pikendada, vaid ka «tumm reklaam». Selle moodustavad nii hiiglaslikud tulikirjad hoonete otstel, nii tohutud helenduvad plakatid majade katustel kui ka kaupluste, kohvikute ja teiste kõikvõimalike asutuste sildid. See on väga ere, värvirikas keel, milles linn räägib oma elanikega. Alguses oli see keel väheütlev: kunstniku värvide ja pintsliga tehud reklaam kahvatus õhtuti, muutus vähemärgatavaks.

Kuid 20. sajandi alguses ilmus lavale plasma. Torud, milles töötas huumlahendus, tõmbasid endale üldise tähelepanu ja hakkasid valmistamise keerukusele ja kallidusele vaatamata (kogemusi veel polnud) üha sagedamini ja sagedamini linnatänavail süttima. Värvide valik polnud suur. Süsihappegaasiga saadi valge, lämmastikuga kuld-roosa, vesinikuga sinaka valgusega gaaslahenduslambid. Alles 1910. aastast alates hakati kasutama inertseid gaase.

Eriti silmatorkavad on neoongaasiga torud. Nad annavad erepunase värvi. Selle gaasi järgi tekkiski nimetus «neoonreklaam».

Peale neooni hakati kasutama argooni kas puhtal kujul või segatuna elavhõbedaurudega, mis annab sinise helen-duse. Kui torud tehti seejuures kollasest klaasist, siis näis kiri rohelisena.

Reklaamkirjades pole muidugi mingit tuld. Nendes eksis-teeriv huumlahendus on küllap vist kõige madalama tem-peratuuriga. Toru pind kuumeneb vaid 30—35, elektroodid aga 100—150 kraadini. See pole kõrge temperatuur. «Päe-va valguslambis» näiteks on elektroodid kuumenenud 900 kraadini, hõõglambis on aga spiraal köetud 3100 kraadini ja rohkemgi.

Seepärast loetakse huumlahenduslambid «külma» val-guse allikate hulka. Neis kiirgab mitte kuumutatud keha, vaid leiab aset elektroluminestsents—elektriväljaga ergas-tatud gaasiosakeste helen-dus. Sellisest resonantskiirgusest ma juba rääkisin eelmises peatükis. Reklaamkirjadeks on see väga mugav. Rakendades erinevate gaasidega torusid, andes neile torudele kõikvõimalikke konfiguratsioone, val-mistavad spetsialistid väga huvitavaid meeldejäävaid teo-seid.

Pärast kodusõda asus meie maa leninliku GOELRO plaani teostamisele. Esialgu ei saanud elektrivalguse kuns-tilisest rakendamisest mõeldagi, sest elektrienergiat too-deti vähe ja see oli äärmiselt vajalik tavalise valgustuse ja tootmise jaoks.

Kuid juba 1928. aastal alustati Moskva Elektrilambite-hases huumlahendustorude tootmist.

Aastat kolmkümmend tagasi lõi Moskvast Taganski väljakul Prjamikovi-nimelise aia sissekäigu kohal särama kiri «Aed». See oli neoonvalguse esimene ilmumine pealinnas. Mõne kuu pärast süttisid neoonkirjad «Izves-tija» toimetuse ja endise kino «Pallas» hoonete kohal. Hiljem lööb «külma» valgus üha sagedamini ja sageda-mini särama Moskva ja teiste meie maa linnade tänavatel.

Pärast sõda algas neoonvalguse võidukäik Nõukogude Liidu linnade tänavail uue hooga, ja nüüd on neoonrek-laamil tähtis koht linnade kujunduses.

Võtame näiteks Moskva. Kui praegu venitada üheks sir-geks kõik pealinna helen-duvate kirjade gaaslahendustorud, siis oleks selle pikkus enam kui 250 kilomeetrit. Gorki tä-nava ja Maneeži väljaku kujundamisele on kulutatud 18 tuhat meetrit klaasi. Uus magistraal, Lenini prospekt, on

kaunistatud 25 tuhande meetri helenduvate torudega. Pealinna ehtimine tulikirjadega nõuab 4,5 tuhat kilovatti elektrilist võimsust.

Helenduva kirja valmistamine pole lihtne. Selle loomisest võtavad osa mitte ainult valgustehnika spetsialistid, vaid ka kunstnikud. Palju sõltub klaasipuhuja meisterlikkusest. Valab ju nimelt tema kunstniku mõtte reaalsuseks, tehes 1,5-meetristest sirgetest elektrootodidega klaastorudest tähti, autode siluette ja teisi tooteid. Hiljem pumbatakse valmis tähtedest õhk välja ja nad täidetakse inertse gaasiga.

Nagu juba märgitud, on gaashelendustorude elektrootodid külmad. Seepärast on lahenduse süütamiseks vaja kõrgendatud pinget. Selle loovad valgusvõrku lülitatud eritransformaatorid. Kustutatud lahendustoru võrkulülitamisel annab transformaator tema elektrootodidele pinge, mis kindlustab lahenduse tekkimise; niipea kui lahendus süttib, alaneb pinge automaatselt peaaegu poole võrra. See ei lase toru läbival voolul suurenda üle lubatud piiride. Seega ei ole transformaator mitte ainult lahenduse süütajaks, vaid mängib ka ballasttakisti osa.

Viimase aastakümne jooksul on gaashelendusseadmete loomisel saavutatud suurt edu. «Tummreklaami» hakkasid teenindama luminofoorid. Tänu nimelt neile on helenduvad kirjad värvilt nii mitmekesised. Seepärast ei saa näiteks punakasoranži kirja nähes kohe kindlaks määrata, helendub seal neon või toru sisepinda kattev luminofoor—tsinkberülliumsilikaat.

Luminestsents-gaashelenduslambid täidetakse tavaliselt elahõbedalisandiga neoniga või argooniga. Luminofoor muundab lahenduse kiirguse üht või teist värvi valguseks. Kui toru on täidetud neoniga, tema seinad aga kaetud kaltsiumvolframaadiga, helendub kiri vaarikavärviliselt. Kui aga sellises torus toimub lahendus elahõbeda- ja neoniaurude segus, siis on helendus sinine.

Plasmaga tehtud kirjad on mugavad ka selle poolest, et nad süttivad ja kustuvad praktiliselt silmapilkselt. See võimaldab luua dünaamilisi seadmeid. Pöörlev propeller, liikuv auto või inimene tõmbavad endale tähelepanu ja jäävad kergesti meelde.

Sellist efekti saadakse väga lihtsalt: eriseade lülitab koradamööda sisse vastavad torud ja vaatajal tekib liikumise mulje. Moskvas on üle viiekümne taolise seadme.

Alates 1955. aastast hakkas Moskva vabrik «Gazosvet»<sup>\*</sup> välja laskma «vilkuva valguse» torusid. Nende torude sisemus on täidetud torukujuliste klaashelmestega. Gaaslahendusel on peenikeste helendavate ja torus oma asendit muutvate nõõride kaju.

Huumlahendusplasma teenistus linnatänavail sisuliselt alles algab. Tulevikus saab see iga hoone lahutamatuks elemendiks mitte ainult fassaadidel, vaid ka sisemuses. Paigutades helenduvaid torusid karniiside profiilidesse või piki lae äärjooni, võib saada väga eredaid efekte.

Lõpuks on vaja märkida veel üht taoliste torude rakendusala. Kõigile on teada, kui tähtis on õpetamise juures näitlikkus. Võib luua selliseid makette, milles gaasi- ja õlijuhtmete, elektriliinide jne. osa täidavad erinevat värvi gaashelendustorud. Neid torusid järgemööda süüdates võib õpetaja näitlikumalt ja huvitavamalt selgitada selle või teise masina, elektri- või raadioskeemi tööd, näidates tehnoloogiliste operatsioonide järjestust.

## PROŽEKTORIVALGUS

Ühel hilisel juuniõhtul läksin mööda Punast väljakut. See näis ebatavaline: mausoleumi juures tungles hulganisti lõbusaid ja jutukaid pealinna keskkoolide abituriente. Ma teadsin seda traditsiooni, mille järgi nimelt siin jäetakse kooliga hüvasti ja ehitatakse tulevikuplaane.

Kuid seekord olid mausoleum ja kärarikas noortehulk väga heledasti valgustatud. Rasked veoautod seisid poolringis, veokastide kohal kõrgusid võimsad prožektorid. Nende juures askeldasid tehnikud. Nad tegutsesid osavalt ja suunasid kinokroonika operaatorite käskluste järgi heledaid valgusvooge sinna, kuhu vaja.

«Plasma töötab,» mõtlesin ma, kui nägin, kuidas tehnik võttis süsielektroodi ja valmistus seda panema läbipõlenu asemele.

Meie, linlased, näeme prožektoreid vaid suurtel pidupäevadel ilutulestiku elemendina. See ei tähenda, et prožektor on kaotanud oma praktilise väärtuse. Tema kasutamine filmivõtetal on üks paljudest võimalustest.

<sup>\*</sup> «Газосвет» tähendab vene keeles «gaasivalgus». (Tõlk.)

Sellel valgustusseadmel on huvitav ajalugu.

1799. aastal süttis Peterburis Vassili saare kohal tulekera. See valgustas kaldapealset ja lähemaid tänavaid. Rahvahulgad tulid vaatama ebatavalist laternat, mis säras ühe maja neljanda korruse aknal.

Selles majas elas vene leiutaja I. P. Kulibin. Tema ehitaski selle laterna, mis hiljem nimetati Kulibini laternaks.

Leiutaja võttis viissada väikest peeglit ja paigutas need nõguspinda mööda tavalise künula taha. Iga peeglike heitis valgust ettepoole ja kõik peeglid üheskoos löid heleda valgusvoo.

Hiljem hakati peegeldajaid valmistama mitte plaadikes-test, vaid painutati pidevatena, parabooli mööda. Plaadidest peegeldajat võib nüüd veel kohata kinovalgustusprojektorites.

Projektori uus elu algas pärast elektriikaare avastamist V. V. Petrovi poolt ja alalisvoolugeneraatorite loomist. Peegeldajate tsentritesse paigutatud plasma lööb särama kindlustes ja sõjalaevadel, sadamates ja tuletornides, hobuveokitel ja autokastides.

Konstruktorid püüavad projektori kiirt teha võimsamaks ja kaugemale ulatuvaks. Selleks on kaks teed: kas suurendada peegeldaja mõõtmeid, kindlustades valgusvoo suunatuse, või tõsta kaare heledust. Kasutati mõlemat teed. Ilmusid 2-meetrise diameetriga peegeldajaga projektorid. Peegeldaja fookuses süttis suure intensiivsusega kaar, mille saamiseks kasutati erilisi süsielektroode. Tavalise elektriikaare kraatri heledus on 15 tuhat künalt ühelt ruutsentimeetrilt, suure intensiivsusega kaarel aga 78 tuhat! See on peaaegu pool Päikese heledusest! Niisuguse kaarega varustatud õhutõrjeprojektori valgustugevus on 2 miljardit künalt.

Möödunud sõjas mängisid projektorid tohutut osa. Nad otsisid taevas fašistlikke raisakulle ja andsid õhutõrjekahurväelastele võimaluse tabada märki. Berliini ründamise ajal valgustasid sajad projektorid vaenlase eesliini ja aitasid tabada vaenlast tema urus.

Meie tööstus jätkab mitmesugust tüüpi projektorite tootmist. Mõnedesse neist, vähem võimsatesse, pannakse hõõglambid, võimsamad töötavad plasmakaarega. Neid võib kohata lennuväljadel, kus nad aitavad lennukitel maanduda; laevadel, kus neid kasutatakse suunatud signa-

lisatsiooniks; sadamates ja piirirajoonides, kus neid kasutatakse kalda valgustamiseks.

Vene leiutis — prožektor — jätkab inimeste teenimist. Oma pika elu võlgneb ta elektriikaarele, mis esimest korda süüdati samuti meie maal.

## KINO APARAADIRUUMIS

Pole vajadust tõestada, et kõige massilisemaks kunstiliigiks on kino. See on kõigile selge. Seepärast seal, kus tekivad uued linnad ja asulad, kerkivad uued kvartalid, võib tingimata näha hoonet kõigile tuttava pealkirjaga «Kino». Kui varem mahutasid kinod 300—400 vaatajat, siis nüüd on tavaliseks nähtuseks 1000—1200 kohaga vaatesaalid.

Kinofilmi läbivalgustamiseks ja selge kujutise saamiseks ekraanil peab prožektoris olema küllalt hele valgusallikas. Väikeste ruumide jaoks, kus ekraan on väike, võib selleks allikaks olla hõõglamp, aga kui vaatesaal on suur, siis tuleb lihtsast ja mugavast hõõglambist loobuda.

Appi tuleb plasma. Vajalikul momendil süütab kinomehaanik süsielektroodide vahel lahenduse. Ere kaarevalgus läbib läätsedesüsteemi ja langeb teravalt piiritletud nelinurgana ekraanile. Nüüd tuleb vaid film liikuma panna ja ekraan elustub.

Kaar on tujukas asi. Kui elektroodide vahemaa suureneb, siis väheneb kohe tema heledus. Kui vahemaa muutub veelgi suuremaks, siis kaar kustub. Kinole on vaja püsivat, muutumatut valgust ja selleks tuleb kinoprojektorile lisa-seadmed juurde monteerida. Kaarele pannakse juurde automaadid, mis lähendavad elektroode sedamööda, kuidas nad läbi põlevad, ja isegi pööravad neid oma telje ümber. Ventilatorid jahutavad kaart õhuga ja eemaldavad seda põlemistsoonist. Selleks et valguse heledus ei muutuks, tuleb kaart toita alalisvooluga. Suured on nõuded ka süsielektroodidele. Erinevad elektroodid annavad erineva koosseisuga valgust, see aga on täiesti ebasoovitav eriti värvilise filmi puhul.

Kõige sellega lepitati seni, kuni polnud ilmunud uurimistulemused ksenoonis kõrgetel rõhkudel toimuva lahenduse kohta. Peaaegu samasugune spekter nagu Päikeselgi tõmbas kohe endale spetsialistide tähelepanu. I. S. Maršaki

ja teiste inseneride tööd võimaldasid rakendada ksenoonlampi üldise valgustuse teenistusse.

Kuid sellistes ksenoonlampides süttib pikk kaar, mis kiirgab suure valgusvoo. Kinoprojektorisse aga sellist lampi juba ei pane. Siin on vaja kompaktset valgusallikat, millele oleks suur heledus. Selline omadus on lühikestel kaartel.

Näis, et kõik on lihtne. Tuleb teha ülikõrge rõhuga ksenoonlamp, süüdata selles väike kaar ja kinoprojektsioonilamp ongi valmis.

Kuid enne eesmärgi saavutamist tuli ületada palju takistusi.

Vahest kõige tähtsam neist oli juhtide jootmine kvartsklaasi.

Gaaslahendus-ksenoonlamp on kõigest ümbritsevast läbipaistva kvartsklaasist kestaga eraldatud maailmake. Tema sisemusse, elektroodidele, on vaja anda energiat. Metalljuhte lihtsalt kvartsi joota ei saa, sest lambi kuumenemisel paisuvad klaas ja metallist sisseviik erinevalt ning klaas praguneb.

Vähevõimsates lampides tehti sisseviike õhukese kileriba jootmisega kvartsi. Kuid molübdeenkile tuli oma kohustustega toime seni, kuni lambi poolt tarbitav vool ei ületanud 25 amprit. Ühekilovatise võimsusega ksenoonlamp tarbib aga peaaegu kaks korda rohkem. Seepärast on siin vaja soliidsemat sisseviiki.

Sisseviigi probleemi lahendamisel tegi palju jõupingutusi Moskva Elektrilambitehase laboratooriumi töötaja Daniil Anissimovitš Gouhberg. Jooksvatest, plaanilistest tööddest vabal ajal otsis ta iseseisvalt selle raske ülesande lahendust. Ta loobus tehnoloogiliselt raskest teest, mida mööda läksid saksa spetsialistid, kes tegid sisseviigid vaheklaaaside abil, ja pakkus välja originaalse idee: teha sisseviik silindriks keeratud kilest. Kvartsi joodetuna võib selline silinder läbi lasta suuremat voolu kui kitsas kileriba ega kutsu esile klaasi pragunemist. Kvartsi puhuja N. V. Rogatini täpsed käed asjastasid idee ja esimene uue sisseviigiga lamp oligi valmis. See toimus 1954. aastal. Lambi võimsus polnud küll suur, kuid idee osutus viljakaks ning 1956. aastal töötati välja ksenoonlamp võimsusega üks kilovatt, mis võis juba võistelda söekaarega.

Moskvas Smolenski väljaku ääres on kino «Strela». Selles katsetatigi esmakordselt uut lampi. Eelised olid vaielamatult ksenoonlampi poolel. Lamp ei nõudnud mingit

hoolitsust, põles ideaalselt ühtlaselt, teda võidi väga kiiresti vahetada teise samasugusega.

Kinomehhaanikutel pole nüüd vaja varuda elektroode, rakendada eriabinõusid tulekahju tekkimise vastu, jälgida söeautomaatide tööd. Ka töötingimused muutusid paremaks, sest kinomehhaaniku kambris muutus jahedamaks kui lahtise kaarleegi põlemise ajal.

Ühekilovatine lamp on hea 300—400 kohaga kinosaalide jaoks. 1200 kohaga saali jaoks on vaja võimsamat kolmekilovatist lampi. Selline õhkjahutusega lamp seati neli aastat tagasi üles kinos «Leningrad» Peštšanaja tänaval Moskvas.

Muuseas, kui ühekilovatine lamp valmis meil peaaegu üheaegselt SFV-ga, siis kolmekilovatine ilmus meil tunduvalt varem. Sakslased valmistuvad selle tootmiseks alles praegu.

Plasma-kinoprojektsioonilampide loomises oleme me ees ka ameerika tehnikast. Selle tõestuseks on kas või selline fakt.

Mõni aasta tagasi demonstreerisid ameeriklased oma näitusel Moskvas tsirkoraamat (ringkino). Selles on vaatajad paigutatud mitte eriti suure saali keskele ja jälgivad tegevuse arengut kogu saali ümbermõõtu haaraval ekraanil.

Ringkino kinoprojektorites kasutasid ameeriklased hõõglampi, mille spektri puudustest me eespool juba rääkisime.

Rahvamajanduse Saavutuste Näituse avamiseks sisustasid meie spetsialistid samuti niisuguse ringkino. Kuid erinevalt ameeriklaste omast kasutati meie ringkinos mitte hõõglampi, vaid ksenoon-projektsioonilampe, mis võimaldasid saada parema kvaliteediga kujutist.

Ksenoon-kinoprojektsioonilamp on ideaalne valgusallikas, mis avab kinole uued võimalused. Eriti tähtis on see värvilises kinematograafias, kus õige värviülekanne on väga oluline. Sisuliselt on kinomehhaanikute käsutuses väikene päike. Kolmveerand selle päikese kiirgusest langeb pidevasse spektrisse, sisaldades ka ultravioletseid ja infrapunaseid kiiri. Selline kiirgus kindlustatakse tänu kaareplasma kõrgele temperatuurile. Lambis võimsusega 1 kilovatt ulatub temperatuur plasmanööri tsentris 8500 kraadini, kolmekilovatises aga 9200 kraadini. Katoodi juures tekib ere katoodlaik temperatuuriga kuni 12 tuhat kraadi.

Sellel on tohutu heledus ning teaduslikel ja tehnilistel eesmärkidel võib seda kasutada punktvalgusallikana.

Nendele lampidele on veel plussiks suur valgusesaagis. Arvestamata kadusid ballasttakistis, on ühekilovatisel lambi valgusesaagis 30, kolmekilovatisel aga 35—36 luumenit vati kohta.

Real juhtudel on vaja projektsioonilampi võimsusega üle 3 kilovati, näiteks panoraamkinos.

Moskvas on selline kino «Mir»\* ehitatud tsirkuse kõrvale. Hiiglaslikule poolümmargusele ekraanile luuakse kujutis korraga kolme kinoprojektori abil. Tavalise kaare rakendamine ei võimaldanud valgustada kolme ekraaniosa täiesti ühesuguselt. Mulje oli rikutud.

Moskva Elektrilambitehase ühe laboratooriumi juhataja Vassili Pavlovitš Sassorov pani ette rakendada ka siin ksenoonlampi ja lõi sellise suurendatud võimsusega lambi.

Tavalistes kinoprojektsioonilampides võimsusega näiteks 1 kilovatt kuumeneb kvartskolvi sein peaaegu 850 kraadini. Suuremat temperatuuri kvartsklaas ei talu, lambi võimsuse tõstmisega kaasneb aga vältimatult ülekuumenemine.

Uurimised näitasid, et klaasi kuumenemise põhjuseks pole mitte plasma, vaid lambi elektrodid. Esimesel pilgul näib selline järeldus kummalisena, on ju elektrodide temperatuur vaid 2 tuhande kraadi piirides, plasma aga kuumeneb 4—5 korda tugevamini. Kuid kõik sõltub kvartsklaasi omadustest. See neelab ahnelt infrapunaseid kiiri, mida on kõige rohkem elektrodide kiirguses, ja laseb takistamatult läbi ülejäänuid, lühemalainelisi. Viimaste poolt on rikas plasma enda kiirgus.

V. P. Sassorov otsustas saavutada, et lambi elektrodid kiirgaksid vähem. Seda võib teha nende intensiivse jahutamiseega.

Lampides, milles sisseviigid on tehtud kilest silindrikestest kujul, pole elektrodid jahutamiseks kättesaadavad. Seepärast loobus Sassorov sellistest sisseviikidest ja esitas esmakordselt maailmas lahtivõetavat tüüpi ülikõrgrõhuga ksenoonlampi.

V. P. Sassorovi laboratooriumis nägin ma sellist lampi, nägin, kuidas teda kokku pannakse ja lahti võetakse.

Kahelt küljelt pannakse kolbi küllalt massiivsed õõnsad elektrodid. Kvartsi neid ei joodeta, hermeetilisus saavu-

\* Tallinnas on panoraamkino «Kosmos». (Tõlk.)

tatakse aga vintühendusega: lambi kvartsjalg surutakse seatinatihendi abil tugevasti vastu elektroodi. Sel juhul töötab kvarts kokkusurutuna ja seda deformatsiooni talub ta hästi.

Kui lamp on kokku pandud, pumbatakse temast õhk välja, täidetakse ksenooniga ja tema juurde juhitakse vesi. Vesi ringleb elektroodide sees, jahutab neid, vähendades sellega soojuskiirgust.

See lambitüüp lubab võimsust tunduvalt suurendada kvartsi ohtliku ülekuumenemiseta. V. P. Sassorovi laboratooriumis on juba katsetatud lampe võimsusega 5 ja 10 kilovatti. On saadud häid tulemusi. Loomisel on veel võimsamad lambid. Uut tüüpi ksenoonlambi valdamine lubab kinodesse teha suvaliste mõõtmetega ekraane.

## VÄLK KLAASKESTAS

Seni oli juttu pidevalt töötavatest plasmavalgusallikatest. Kuid sageli on vaja lühikesi valgusesähvatusi, mis valgustaksid silmapilguks seda või teist eset.

Võtame näiteks fotograferimise. Fotoaparaadi objektiiv avaneb sekundi sajandikeks osadeks ja selle aja jooksul peab kõik, mis asub fotoaparaadi ees, olema eriti hästi valgustatud.

Ammust ajast hakkasid fotograafid kasutama magneesiumi. Võttemomendil süüdati magneesiumkile, ja kuni see kõike ümberkaudset valgustades põles, pidi fotograaf jõudma aparaadiga klõpsu teha.

Pärastpoole õpiti valgusesähvatusi saama elektri abil. Patarei laadis kondensaatorit, mis koosnes kahest isolaatoriga eraldatud metallplaadist. Kondensaator on laengute laoruum. Tema ühele katele koguti positiivseid, teisele negatiivseid laenguid. Kui ühendada katted traadiga, siis püüdlevad elektronid positiivselt laetud katte poole ja ahele tekib vool. Peenikese traadi puhul sulatab vool selle silmapilkselt. Toimub plahvatus, millega kaasneb väga hele valgusesähvatus.

Et saada veel üht sähvatust, on vaja panna uus traat. See aga pole eriti mugav.

Praegu saadakse valgusimpulsse eriliste lampide abil. Peategelane on neis plasma.

Igaüks võib osta kauplusest fotovälklambi. Väike ref-

lektor, mille tsentris asub hobuserauakujuline impulsslamp, on kinnitatud fotoaparaadile. Peenike juhe ühendab reflektorit kerge toitepakendiga, mida fotograaf kannab üle õla heidetud rihma otsas. Lühike juhtmeke pistetakse sünkrokontakti pesasse, mis on olemas kõigil kaasaegsetel fotoaparaatidel. Ongi kõik.

Fotovälklambi põhidetailiks on hobuserauakujuline impulsslamp, mis on täidetud ksenooniga rõhuni 50—250 millimeetrit elavhõbedasammast. Spetsiaallampides võib rõhk küündida mõne atmosfäärini. Toru elektroodidelt on juhtmed tõmmatud koguva kondensaatori juurde.

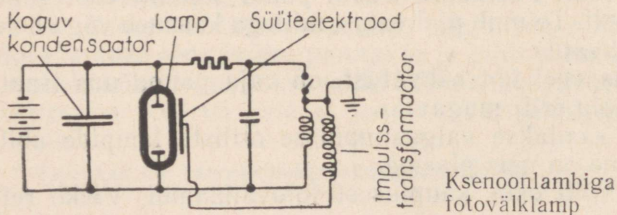
Enne võtet lülitate te selle kondensaatori elektripatarei külge. Kohe algab kondensaatori laadimine ning selle lõppedes, kui laeng on kogunenud, hakkab reflektori aluses vilkuma väike neonlambike. «Võib pildistada, võib pildistada...» signaliseerib ta.

Nüüd on vaja torus süüdata lahendus. Toru elektroodidele on juba antud 300-voldine pinge koguvalt kondensatorilt, kuid sellest ei piisa plasma tekkimiseks. Ksenooni on vaja kuidagi ioniseerida, et toru ei takistaks laengute liikumist.

Fotovälklambis on eriseade — impulsstransformaator. Kui ta sisse lülitada, siis loob ta lühikeseks ajaks mõne tuhande voldise pinge. See antakse erijuhet mööda väikele plaadikujulisele süüteelektroodile, mis on paigutatud hobuserauakujulise lahendustoru lähedusse. See pinge ioniseeribki ksenooni.

Nüüd pole kondensaatori laengutel tõkkeid. Ta tühjeneb läbi toru, muudab selles oleva gaasi plasmaks ja tekib hele valgusesähvatus.

See sähvatus sünnib nimelt siis, kui te vajutate fotoaparaadi katiku nupule: avades objektiivi sulgete te samaaegselt sünkrokontakti, s. o. lülitate sisse impulsstransformaatori.



Koguval kondensaatoril on korralik mahtuvus — 800 mikrofaradit. Kuid ta tühjeneb sekundi sajandike jooksul. Sellest ajast on küllalt, et filmile jäädvustuks kujutis.

Pärast esimest võtet võib teha teise, kolmanda ja nii edasi, kuni kulutatakse ära kuivpatarei energiavaru.

Impulsspatareid on Moskva Elektrilambitehase lapsed. I. S. Maršaki juhendamisel on siin neid välja töötatud suur hulk tüüpe. Nende lampide kõikidest rakendusalaadest on siinkohal võimatu rääkida. Peatun vaid mõnedel.

Pole vajadust tõestada kosmiliste ja teiste laetud osakeste käitumise uurimise tähtsust. Sellega tegelevad tuumafüüsika spetsialistid. Elektroni, prootonit või tuumakildu niisama lihtsalt ei näe. Nende vaatlemiseks on loodud eri-aparaadid.

Üks sellistest aparaatidest on Wilsoni kamber, mis on oma nime saanud leiutaja nime järgi.

Kamber on täidetud veeaurudega. Kui sellesse lendab laetud osake, ioniseerib ta gaasimolekule. Ioonide ümber kogunevad pisimad udutilgakesed. See udu on osakese visiitkaart, tema jälg. Kui kambrisse lendab elektron, on jälg väga peenike. Vesinikuaatomi tuum jätab jämedama jälje, heeliumiaatomi oma veelgi jämedama. Kõige märgatavamaid jälgi jätavad raskete aatomituumade kildud.

Wilsoni kamber on varustatud automaatse fotoaparaadiga. See peab jõudma jäädvustada laetud osakese jälje.

Foto õnnestub siis, kui objekt on hästi valgustatud. Wilsoni kambri sisemust valgustab impulsslamp, mille plasma valgus teeb veeaurudest rajakesed nähtavaks.

Impulsslampe kasutatakse laialt ka aerovõtetel. Varem oli võimalik maastikku lennukilt pildistada vaid hea ilmaga. Nüüd varustatakse lennukid võimsate impulsslampidega. Nende sähvatused valgustavad hetkeks maad ning võimaldavad saada häid võtteid igal aasta- ja kellaajal.

Real juhtudel on impulsslambid efektiivsemad kui ükskõik millised teised valgusallikad. Selles veendusid näiteks Murmanski kalurid. Suurema osa kalu püüavad nad traalide abil. Need kujutavad endast kotikujulisi kaproonvõrke, mida ühetekilised kalalaevad veavad merd mööda enda järel.

Traal on kallis ja tema kaotamine tormi ajal on erakorraline sündmus.

Selleks et leida lahtirebenenud traali, seotakse varem

tema külge ujukiga signaallamp, mida toidetakse akumu-laatorist.

Varem kasutati signaali osas hõõglampi, mis oli nähtav kuni 1 kilomeetri kauguselt. Kui hõõglambi asemele prooviti panna impulsslampi, siis oli selle vilkuv tuli hästimärgatav kuni 7 kilomeetri kauguselt. Impulsslamp töötab tõugetega, põleb pausidega, seepärast jätkub sellises signaalseadmes elektrilist toidet peaaegu pooleks aastaks. Selle aja jooksul võib kadumaläinud püünise muidugi üles leida.

Impulsslambid on signaliseerimiseks eelistatavamad ka lennuväljadel.

Lennuki maandamine udusele lennuväljale on erakordselt keeruline ülesanne. Lendur peab hästi nägema maa pealt tulevaid signaale.

Kumb signaal on parem, kas pidev või vilkuv? Imanuel Samoilovitš Maršak kinnitas, et teine. Kuid tehnikas on paljast intuitsioonist vähe, on vaja korraldada eksperiment ja saada konkreetsete arvud, mis kinnitaksid oletuse õigsust.

Udu ei teki looduses tellimise peale, seda tuleb oodata. Kuid 45-sentimeetrise prožektori ja impulsslambi valgust tuleb vaadelda nimelt läbi udu. Udu aga ei ole ega ole. Siiski õnnestus mõne aja pärast saada esimesed tulemused. Need rääkisid impulsslambi kasuks.

Andmeid oli vaja kontrollida väga tihedas udus. Kust seda võtta? Ei saa ju sõita Inglismaale! Siis sündis idee: viia katsetused läbi saunas. Pärast pikki läbirääkimisi õnnestus mõneks päevaks saada Mironovi sauna Moskvast.

Töötati 16 tundi päevas. Keriseruumi uks oli pärani avatud. Kogu 40-meetrine ruum oli täidetud tiheda uduga. Mõne meetri taha polnud midagi näha. Sellistes tingimustes pole kerge aparate juhtida. Kuid katsetused viidi läbi kõigi punktide järgi. Need näitasid, et impulsslamp on pidevalt põlevast prožektorist kaks korda efektiivsem. Impulsslampidele oli saadud lähetuskiri lennuväljadele.

See episood on üks paljudest, millest mulle jutustas I. S. Maršak. Igaüks neist suurendab veelgi rohkem impulsslambi rakenduste arvu.

Ühest ajakirjast lugesin ma I. S. Maršaki artiklit impulssvalgusallikatest. Ainult impulsslampide rakenduste lakooniline loetelu võttis selles enda alla mitu lehekülge. Siin oli nii kauguste mõõtmine optiliste kaugusemõõtjate

abil, nii optiline telefon, nii kiiresti kulgevate keemiliste reaktsioonide uurimine kui ka veetalune fotograafia. Ilma impulsslampideta on võimatu teha kiirfilmimist gaasivoolude ja plahvatuste uurimisel, lennukite katsetamisel aerodünaamilistes torudes. Impulssvalgustid on vajalikud mitmesuguste mehhanismide reguleerimisel, vibratsioonide uurimiseks, masinate pöörete arvu kindlaksmääramiseks jne. Ja veel üks tähtis rakendusala — pumpamislambid laserites. Ma ei dešifreeri neid sõnu, kuna laseritele on raamatus pühendatud omaette peatükk, milles lugeja saab teada veel ühest klaaskesta suletud välgu rakendusala.

## PLASMA SIGNALISEERIJANA

Tuletame meelde, kuidas näeb välja lahendustoru, milles on süüdatud huumlahendus.

Suurem osa torust on haaratud positiivsest anoodini ulatuvast huumsambast. Katoodi juures on näha negatiivset huumhelendust, mis on mõlemalt poolt ümbritsetud pimedate vahemikkudega.

Hakkame anoodi ja katoodi mingil viisil lähendama. Lahendusvahemiku vähendamine ei kajastu sugugi lahenduse katoodi lähedal paiknevatel osadel, see-eest hakkab lühenema positiivne samm. Kui anood jõuab sinna, kus enne oli Faraday pimeruum, siis võib positiivne huumsamm täiesti kaduda. Kas selline lühike toru helendub? Jah, helendub. Temasse jääb negatiivne huumhelendus.

Selliseid miniatuurseid huumlahenduslampe, milles pole positiivset huumsammast, kasutatakse väga laialdaselt signaliseerimiseks.

Näiteid võib tuua hulgaliselt.

Me oleme laboratooriumis, kus uuritakse võimsaid kõrgsagedussignaale. Raadiolainete generaator loob mitmekilovoldise pingega elektrivõnkumisi. Sellise seadmega töötamine on väga ohtlik. Seepärast peavad töötajad enne skeemi elementide puudutamist olema veendunud, et generaator on välja lülitatud. Siin aitab neid eboniitpulga külge seotud neonlambike. Lamp viiakse juhtmete juurde. Kui ta lööb särama (kiirgab oranži valgust), siis tähendab see, et juhtmetes ringleb ohtlik kõrgsagedusvool. Oma elektromagnetilise väljaga ioniseeris ta lambis oleva neoni, muundades selle plasmaks. Plasma poolt saadetud signaal

võimaldab otsustada seadme töö üle ja teha vastavaid järeldusi.

Teine näide. Kantava raadiojaama radist kutsub mikrofoni abil välja korrespondenti. Et veenduda selles, kas tema jaam saadab signaale välja, vaatab ta saatja paneelile. Seal, antenni kõrval on klaasi alla peidetud neonlambike. See hakkab põlema ainult siis, kui antenn kiirgab küllalt võimsaid signaale. Kui rääkida mikrofoni, siis lambike muudab veidi oma heledust. Radist on rahulik, sest saatja töötab korralikult.

Oleme ettevõtte energiavarustuse jaotuspuldi juures. Siit läheb elektrienergia mitmesugustesse tsehhidesse. Elektrivoolu katkemine tähendab tööpinkide tühiseisu, plaani mittetäitmist.

Korrapidaja silmade ees on rida lampe, mis on väga sarnased valgustuspirnidega. Kuid need on neoontäitega signaallambid. Spiraali asemel on nende sisse paigutatud kaks 15-kopikalise mündi suurust elektroodi. Kui anda lambile võrgupinge, siis on mõlema elektroodi juures näha katoodhelendust. See seletub sellega, et lambi toitmisel vahelduvvooluga muutub kogu aeg elektroodide osa: kumbki neist on kord anood, kord katood. Meie silm ei märka seda osade vahetust, seepärast näeme me helendamas mõlemat elektroodi.

Kuid korrapidaja jaoks on peamine signaal. Kui lamp helendub, on kõik korras; kui lamp kustus, siis otsi vigastust.

Alalisvoolu elektriseadmete montaažil on väga tähtis lülitada toitejuhtmed õigesti, mitte segi ajada plussi ja miinust. Juhtmete rägastikus on selline viga täiesti võimalik. Selleks et seda vältida, lülitatakse toitejuhtmete külge ajutiselt neonlambikene. Ühe elektroodi juures lööb särama katoodhelenduse ereoranž pärjake, teine aga ei helendu. Monteerija dešifreerib selle signaali kergesti: helenduv elektrood on vooluallika miinus, teine aga pluss.

Huumlahendusega signaallampe kasutatakse tehnikas ammu. Neid võib kohata vooluliinide juhtimispuhtidel, energiasüsteemide jaotuskilpidel, elektronseadmete paneelidel.

Tehnika areng sundis tegelema ka signaliseerimisvahendite täiustamisega.

Signaal peab olema ere, hästimärgatav kogu selle või teise seadme töötamise ajal. Tavalised neonlambid aga

kaotasid järk-järgult helendust, muutusid elektrodide aurustumise tõttu tuhniks. Lamp põleb veel, töötab, kuid juba tuleb ta teisega ümber vahetada.

Ja teiseks: signaalid pidid olema mitmekesised. Keerulistest seadmetes oli vaja sadu signaale ja mitte ainult punaseid, vaid ka rohelisi, siniseid, kollaseid.

Neil juhtudel tuli kasutada hõõglampe ja katta neid värviliste klaasidega. Selline lamp loob rohkem soojust kui valgust.

Uus samm signaallampide loomisel tehti Moskva Elektrimühvitehases rühma spetsialistide poolt Maria Dmitrijevna Sterligova juhendamisel. Siin loodi kääbuslampid. Nende diameeter on umbes üks sentimeeter, kõrgus neli sentimeetrit.

Palju leidlikkust, tööd ja energiat kulutas M. D. Sterligova selleks, et need lambikesed saaksid eluõiguse. Kui nad sisse lülitada, hakkavad ühed neist helenduma oranžilt, teised roheliselt, kolmandad kollaselt. Kust on pärit selline värvide mitmekesisus? Kuidas see luuakse?

Asi on selles, et need on luminescents-signaallampid. Me näeme helendumas mitte lahendust, vaid luminofoori, millega on kaetud lambi sisepind.

Kääbuslampi elektrodide vahel toimub huumlahendus. Selle lahenduse kiirus võetakse vastu luminofoori poolt, mis muudab ta üht või teist värvi valguseks, umbes samuti nagu reklaamkirjade helenduvates torudes. Kuid erinevus on selles, et helenduvates kirjatorudes toimub lahendus inertsete gaasidega segatud elavhõbedaurudes. Meie lampides aga elavhõbedat pole, nad on täidetud ainult inertse gaasiga. Kui neid lampe hakati välja töötama, arvasid mõned, et selline lahendus ei suuda luminofoori ergutada, kuid seda arvamust õnnestus ümber lükata...

M. D. Sterligova koostas tabeli, milles olid toodud uute lampide-signaliseerijate optilised ja elektrilised parameetrid.

Sellest oli tarvis vaid silmad üle libistada, et veenduda nende lampide vaieldamatutes eelistes.

Kui signaallambina kasutada hõõglampi, siis peab selle võimsus olema üle kahekümne vati. 10-vatise võimsuse puhul peab spiraalniidi paksus olema 1 mikron ja sellise pirni valmistamine on muidugi üsna raske.

Luminescents-signaallamp tarbib valgustusvõrku lülitatuna tühist kolmemilliamprist voolu, kulutades seejuu-

res võimsust vähem kui üks vatt. Ta töötab ballasttakistiga, milleks võivad olla raadiovastuvõtjates ja televiisorites kasutatavad vähevõimsad ja väga miniatuursed takistid.

Uute lampide tööaeg on poolteist korda suurem hõõglampide tööajast. Kääbuslambid ei põle läbi, kui võrgu pingeline tõuseb juhuslikult poole võrra. Nad taluvad hästi kõikvõimalikke vibratsioone ja töötavad korralikult neljakümnekraadises kuumuses ning pakases.

Meie maal kõigis tema nurkades põlevad miljonid signaallambid. Paljud neist tarbivad kenakest võimsust. Nende väljavahetamine uute lampidega annab suurt energiasuutlikkust, rääkimata juba signaalvärvide mitmekesisusest, mille need lambid endaga kaasa toovad.

On võetud vastu otsus organiseerida luminescentsignaallampide massiline tootmine. Pole kaugel aeg, mil igaüks meist näeb nende mitmevärvilist helendust tehaste ja vabrikute tsehhides, jaotuskilpidel ja -pultidel — kõikjal, kus kasutatakse elektrienergiat.

## TEADUSE VÕIMAS TÖÖRIIST

On tulnud aeg üksikasjalisemalt rääkida spektraalanalüüsist. Suures Nõukogude Entsüklopeedias määratletakse spektraalanalüüsi kui «füüsikalist meetodit aine koosseisu kvalitatiivseks ja kvantitatiivseks määramiseks tema spektrite uurimise põhjal».

Raamatu algul ma rääkisin, kuidas see meetod tekkis, kuidas ta aitas avastada uusi keemilisi elemente, kuidas teada saada, millest koosnevad tähed ja Päike. Bunseni ja Kirchhoffi avastusest möödunud sada aastat olid spektraalanalüüsi tormilise arengu aastateks. See muutus sõna otseses mõttes kõigi erialade teadlaste relvaks, inseneride ja keemikute ustavaks abiliseks. Tema teostamisel kasutatakse näiteks röntgenikiiri või sellist nähtust nagu luminescents.

See raamat on plasmast, seepärast räägitakse siinkohal sellest, kuidas plasma kiirgus aitab dešifreerida nende võistete ainete koostist.

Selleks et saada aine aatomite valguskutsungeid, on vaja neid aatomeid sundida ergastuma. Nagu te mäletate, tegi Kirchhoff seda proovi viimisega gaasipõleti leeki. Kuid

mõningatele ainetele see leek ei mõju. On vaja kõrgemat temperatuuri.

Appi tuleb elektrikaar või kõrgepingesäde. Uuritavast materjalist tehakse elektroodid või viiakse metalli- või maagitükk, mille koosseisu on vaja määrata, lahenduse leeki. Siin toimub aine aurustumine ja tema aatomite ergastamine. Nüüd on vaja tekkinud kiirguse koosseis desifreerida. Seda tehakse spektraalaparatuuride abil.

Neid on loodud väga palju tüüpe. Ühed neist on portaatiivsed, mahtudes vabalt väikesele lauale, teiste diameeter on mitu meetrit ja nad võtavad enda alla terve toa. Kuid kõigi nende riistade ülesanne on üks: sorteerida ja jaotada neisse sattunud kiired lainepikkuste järgi. Nimelt sellise jaotamise tulemusena saadaksegi aine spekter — värviliste joonte tara riista ekraanil.

Gustav Kirchhoff sai oma spektroskoobis spektri, lastes kiired läbi klaaskiilu, s. o. prisma. Seda meetodit kasutatakse ka praegu. Kuid on ilmunud ka teised meetodid, mille puhul kasutatakse näiteks erinevate valguslainete võimet painduda erinevalt tõkete taha, ja peale selle võimendada ja kustutada üksteist, andes heledaid ja tumedaid ribasid.

Kui plasma helenduse spekter on käes, siis vaadeldakse või fotografeeritakse seda, seejärel aga desifreeritakse. Selleks on olemas erilised atlased, spektrite tabelid, samuti aga riistad, mille ekraanidel on paigutatud üksteise alla uuritava aine ja mingi etalooni spektrid.

Mõistatanud lahti spektraalaparatuuris saadud jooned, määravad spetsialistid eksimatult lahendusse viidud proovi koosseisu. Kvalitatiivne analüüs on teostatud. Et viia läbi proovi kvantitatiivset analüüsi, s. o. teada saada, millises vahekorras leidub proovis neid või teisi aineid, uuritakse spektrijoonte heledust. Mida heledam on joon, seda suurem arv aatomeid on saatnud aparauri vastavaid valgussignaale, järelikult seda rohkem on proovis antud elementi. Siin tulevad samuti appi gradueerimisgraafikud, mis võimaldavad spektri järgi täpselt määrata uuritava elemendi kontsentratsiooni.

Spektraalanalüüs on mänginud ja mängib tohutut osa paljude füüsika, keemia, astronoomia ja teiste teaduste ülesannete lahendamisel. Ta on lubanud heita pilku molekulide ja aatomite sisemusse ning nende ehitust täielikult ette kujutada.

Kaasaegne ettekujutus plasmast, selle ehitusest ja osakeste vastastikusest mõjust on paljus kujunenud tänu tema spektri üksikasjalisele tundmaõppimisele.

Võtame näiteks plasma temperatuuri mõõtmise. Mitte mingisugune termomeeter ei talu kaarlahenduse sisemuses ülikõrgetel rõhkudel loodavat kümnete tuhandete kraadideni ulatuvat temperatuuri. Ja ikkagi mõõdetakse seda temperatuuri... vaadeldes plasma kiirgust. Temperatuuri muutudes muutub spektrijoonte intensiivsus, valgusenergia kiirgamise maksimum nihkub piki spektrit. Teades selle nihkumise seadusi, määravad teadlased plasma temperatuuri.

Kuid spektraalsed uurimised pole mitte ainult teadlaste pärusmaa. Spektraalaparaadid on ammu tulnud tehastesse ja vabrikutesse. Eriti vajalikeks on nad osutunud metallurgidele. Praegu teostatakse meie maa tehastes üle nelja viiendiku kõigist metallianalüüsides spektraalanalüüsi meetoditega. Seejuures annavad mõned neist meetodeist vastuse 15—20 minuti jooksul. See võimaldab kogu sulatusprotsessi käiku teadlikult reguleerida. Spektraalaparaatide abiga viiakse läbi teraste ja värviliste metallide sulamite koosseisu analüüs, nende puhtuse kontroll ja sorteerimine.

Suurt abi osutavad nad geoloogidele mineraalide ja maakide otsinguil, eriti kui on tegu sellistega, mida leidub looduses tühistes hulkades. Seal, kus tavaline keemiline analüüs osutub jõuetuks, väljub spektraalriist võitjana. Ta võib avastada ainete lisandeid isegi siis, kui neid on ainult grammi miljardikud osad. Spektraalanalüüs on oluline ka terves reas tootmisharudes, näiteks pooljuhtseadmete või luminofooride tööstuses, kus lähtematerjalid peavad olema väga puhtad.

Spektrite uurimiseks kasutatavates seadmetes on tegemist valguslainetega, mille pikkus on tühiselt väike, ulatudes mikroni osadesse. Ja see lainepikkus on vaja määrata täpselt, muidu võib eksida ja võtta üht ainet teise pähe. Teiste sõnadega, aparaadid on vaja gradueerida nii, et tundmatu spekter saaks dešifreeritud «kindla peale».

Selleks luuakse erilised lambid, mida nimetatakse spektraallampideks. Need on mitte eriti suured gaaslahenduskiirgajad, mis on täidetud tervet komplekti spektraaljooni andvate metalliaurude või gaasidega. Neis kasutatakse

naatriumi, kaadmiumi, elavhõbeda, tsingi, kaaliumi, tseesiumi, raua ja teiste metallide aurude, samuti äga neooni, heeliumi, argooni jt. gaaside kiirgust. Kõigi nende elementide spektrid on hästi teada. On teada ka nende spektrite üksikute joonte suhteline intensiivsus. Etaloonlampide spektritega võrreldakse proovide spektreid.

Spektrofotomeetriks nimetatava riista okulaaris on korraga näha kaks üksteise all asuvat spektrit. Üks neist kuulub spektraallambile, teine äga näiteks lahendustorule, mille kiirgust on vaja uurida. Kogenud spetsialist teeb neid spektreid võrreldes küllalt kergesti kindlaks katsetatava toru väärtused ja puudused.

Spektraallampide torusid täitvad metalliaurud ja gaasid peavad olema väga puhtad. Neis ei tohi olla mingeid lisandeid, sest lisandid annavad end tingimata tunda ja lambi spektris ilmuvad mittevajalikud jooned.

Eriti kõrgeid nõudeid esitatakse niinimetatud kombinatsioonhajumise spektrite analüüsiks määratud lampidele. Mis meetod see on?

Võtame näiteks bensiini. Seda ei saa koosseisu uurimiseks plasmaks muundada, sest lahenduse puhul molekulid lagunevad. Seepärast uuritakse bensiini erilisel viisil. Kindlal sagedusel kiirgava spektraallambiga kiiritatakse vannikest, milles on bensiin. Bensiinile langenud valgus hajub molekulidel. See hajunud valgus langeb läbi aknakese spektraalriista. Selgub, et ta sisaldab mitte ainult neid footoneid, millega bensiini kiiritati, vaid ka erineva sagedusega footoneid — «kaaslasid». Iga aine jaoks saadakse oma «kaaslased». Nende järgi määrataksegi proovi koosseis.

Spektraallambid on ustavad ja kindlad abimehed kvalitatiivse ja kvantitatiivse analüüsi teostamisel.

## TERVISE VALGUS

Füsioteraapia ehk looduslik ravimine sai alguse kaugel muinasajal. Baabüloni, Egiptuse ja Muinas-India meditsiini mälestusmärkidel võib kohata viiteid vee, valguse, päikese ja õhu kasutamisest ravi eesmärkidel. Neist räägivad Hyppokrates ja Avicenna.

Päike on hiiglaslik plasmakogum. Tema kiired olid

inimeste kõige varasemaks ravivahendiks mõnede tõbede puhul. Ka praegu soovivad arstid sageli tervise tugevdamiseks päikesevanne võtta.

Päikese kiirguses võib leida kõige mitmekesisemaid kiiri: nähtavaid, infrapunaseid ja ultravioletseid. Nende energia muundub inimese kehas teisteks energialiikideks.

Infrapunastel ehk soojuskiirtel on suur lainepikkus. Nad tungivad inimese kehasse sügavamale kui teised ja soojendavad seepärast hästi ka võrdlemisi sügaval paiknevaid kudesid. See soojendamine kiirendab füüsikalises-keemilisi protsesse, parandab kudedes ainevahetust. Valgus- ja eriti ultraviolettkiired mõjuvad organismile teisiti. Nad võivad molekulidelt elektrone ära rebida, vabade laengute ilmumisel tekivad aga organismis mikrovoolud. Need suuruselt tühised voolud mõjuvad tervendavalt närvisüsteemile.

Päikesekiirte all tumeneb inimese nahk. See on eraldunud pigment, mis tõstab organismi vastupidavust terve rea haiguste vastu, tervendab organismi.

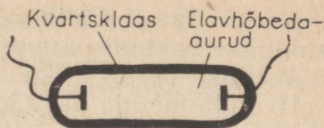
Samuti on kindlaks tehtud, et ultraviolettkiired moodustavad nahas suhkrut ja mõningaid teisi eriti aktiivseid aineid, mis hiljem satuvad verre.

Kaua aega kasutasid inimesed ainult neid kiiri, mida andis loodus. Hiljem, kui õpiti tundma elektrit, hakati looma kunstlikke valgusallikaid. Aluse pani sellele elektrikaare kiirte raviva toime avastamine Venemaal 1890. aastal Kolomna tehase arsti P. V. Evaldi poolt. 1904. aastal kasutati Saksamaal esmakordselt ravi otstarbel elavhõbekvartspõleti ultraviolettkiirgust.

Praegu on füsioteraapiakabinetid igas kliinikus. Teiste vahendite hulgas omab neis tähtsat kohta valgusravi. Valgusravi aparaadid on väga mitmekesised. Nende seas võib kohata kaarprojektorit. See on väikene «päike», mille ette haige pannakse pooleks tunniks istuma ja kiiritatakse neid kehaosi, mida on vaja soojendada. Kahe süsielektroodi vahel põleva kaare kuumad kiired sunnivad veresooni laienema, tugevdavad vere liikumist, soodustavad kahjulike ainete imendumist kudedes. Nad on head ka valuvahendina.

Real juhtudel on kasulikud ultraviolettkiired. Neid kasutatakse profülaktilise vahendina furunkulite, põletushaavade, haavade, tuberkuloosete naha-, luu- ja liigesekahjustuste ravil.

Elavhõbe-kvartslamp



Need kiired tekivad elavhõbepõletites. Väikeses klaasitorus on argoon ja tilgake elavhõbedat. Toru lülitamisel võrku lööb põlema huumlahendus argoonis, selle lahenduse soojus aurustab elavhõbedat ja lahendus läheb üle kaareks elavhõbedaurudes. Toru on tehtud kvartsist või uvioklaasist, mis lasevad ultraviolettkiiri takistamatult läbi.

Ultraviolettkiiri kiirgavaid lampe eristatakse nende otsarabe järgi. Ühed neist loovad pikalainelist ultraviolettkiirgust, mis nahale tekitab vaid päevituse. Nende kiirgus asub 0,315—0,38 mikroni piirides. Keskmised lambid kiirgavad valgust lainepikkusega 0,28 kuni 0,315 mikronit. Need kutsuvad esile naha punetuse ja soodustavad selles D-vitamiini teket. Lõpuks, lühilaineliste lampide kiirgus (lainepikkus 0,20—0,28 mikronit) omab bakteritsiidset toimet. Peatume neil lampidel üksikasjalisemalt.

Möödunud sajandi lõpul avastati, et valgus võib tappa baktereid. Seda teeb isegi tavaline päikesevalgus. Kuid mitte kõik selle kiired, vaid ainult ultravioletsed.

Eriti hikutavateks on bakteritele ultraviolettkiired, mille lainepikkus on vahemikus 0,254 kuni 0,265 mikronit. Kahjuks ei jõua sellised kiired Päikeselt meieni, kuna neid takistab atmosfäär. Päikese spektris on kõige lühemate lainete pikkus 0,3 mikronit.

Plasma valdamine võimaldab saada kunstlikul teel seda, mida loodus ei anna. Bakteritsiidlambid «annavad» nimelt neid kiiri, mida on vaja bakterite hävitamiseks. Nende lampide valgus lõhub naha- või haavabakteritele sattudes nende valke ja nad hukkuvad. Peale selle kutsub lühilaineline ultraviolettkiirgus nahas esile põletikulisi protsesse. Kudedes tekivad sellised ained, mis hikutavad ka kiirtele kättesaamatusse sügavusse peitunud baktereid. Neis protsessides on tähtis osa kiirte toimel närvilõpmetele.

Võitlus bakteritega võimaldab ennetada haiguste levikut. Seades bakteritsiidlambid üles kinode, metroojaamade ja klubide sissekäikude kohale, samuti aga lasteasutus-

tesse, hävitavad arstid nähtamatute plasmakiirtega terveid kahjulike bakterite armeesid.

Võitlust peetakse ka vees leiduvate bakteritega. Seda vett, mida me iga päev joome, «töödeldakse» peale kloreerimise veel ultraviolettkiirtega. Ka ujumisbasseinides desinfitseeritakse vett sageli plasmakiirtega.

Bakterite jaoks on ultravioletvalguse kiired surmakiirteks. Kuid mõnedel juhtudel saavad nad elukiirteks. Näiteks loomade ja lindude kasvatamisel.

Kiiritades ultravioletvalgusega tibusid, põrsaid, vasikaid ja täiskasvanud koduloomi, tugevdatakse organismis toimuvaid hapendumisprotsesse, parandatakse valkude ja süsivesikute vahetust, tõstetakse organismi biotoonust. Loomade ja lindude haigestumus väheneb järsult, eriti talvel. Loomakasvatuse produktiivsus suureneb 10—20 protsendi võrra.

Mõnedes kolhoosides ja sovhoosides on ultraviolettvanid saanud loomapidamise püsivateks elementideks. Umbes 400-vatise võimsusega elavhõbe-kvartslampidega kiiritatakse linde, vasikaid ja põrsaid 1—3 meetri kauguselt poole tunniste seansside kaupa. Piimalehmi kiiritatakse 1-kilovatise lambiga 1—2 meetri kauguselt 2—4-minutiliste seansside kaupa. Selliselt kiiritatakse loomi 2—3 korda nädalas.

Nagu näeme, on elektrienergia kulu kiiritamisele tühine, efekt see-eest aga tohutu.

Kahjuks pole ülalkirjeldatule sarnast valguskuuri kaugeltki mitte kõikjal sisse viidud, sest põllumajandusele vajalikke elavhõbe-kvartslampe toodetakse vähe. Nende tootmist pidurdab kvartsklaasi nappus.

Nüüd, loomakasvatuse tõusu perioodil, on vaja järsult suurendada kvartsklaasi toodangut ja avada plasmalampide loovale valgusele lai tee kolhooside ja sovhooside farmidesse.

Plasmavalgus tuleb kõikjal kasutusele võtta.

## IIDNE UNISTUS

III sajandil enne meie ajaarvamist elas Muinas-Kreekas suurepärase matemaatik ja mehhaanik Arhimedes. Tema avastused jätsid teadusesse sellise jälje, et põhjustasid rea teadlase nimega seotud ja meie päevini elanud legendide tekkimise. Ühes neist jutustatakse, kuidas Arhimedes süütas roomlaste poolt ümberpiiratud Sürakuusast peeglite abil vaenlase laevastiku.

Iidsetest aegadest peale on inimesed unistanud võimsa valgusallika loomisest. Kuid sajandid möödusid üksteise järel ja unistus jäi unistuseks. Selle teostamist segasid optikaseadused.

Üheks probleemi lahendamise põhitakistuseks on asjaolu, et polnud võimalik saada rangelt paralleelset kiirtekimpu.

Vaadake prožektori valgust kõrvalt. Mida kaugemale prožektorist, seda laiemaks muutub kimp. Pinnavalgustus langeb kauguse suurenedes katastroofiliselt. Kuid unistus võimsatest kiirtest jäi püsima.

Üksteise järel ilmuvad projektid, mis osutuvad teostamatuteks, kirjutatakse teaduslik-fantastilisi teoseid, mis veel rohkem sütitavad inimeste kujutlusi.

Paljud on lugenud Aleksei Tolstoi suurepärase romaani «Insener Garini hüperboloid». Selles köidab mitte ainult sündmuste haarav, hoogne kulg, mitte ainult tegelaste koloriitsus ja imperialismivastane paatos, vaid ka teose teaduslik külge. Lugeja usub hüperboloidi, nõelterasvat hajumatut kiirtekimpu loova aparraadi reaalsust. Selle eest võlgneb ta tänu kirjanikule, kes on seda tehnilist probleemi igakülgsest tundma õppinud.

Ankeedis meisterlikkuse kohta jutustab A. Tolstoi: «Kui kirjutasin «Insener Garini hüperboloidi» (vana tuttav Olenin jutustas mulle tõestisündinud loo sellise kahekordse hüperboloidi ehitamisest: selle leiutise teinud insener hukkus 1918. aastal Siberis), tuli mul tutvuda molekulaarfüüsika uusimate teooriatega. Palju aitas mind akadeemik Lazarev.»

Kuid hüperboloid võis tegutseda vaid teaduslik-fantastilise romaani lehekülgedel. Vajalik efekt saavutati selles optiliste meetoditega. Kiired fokuseeriti kahe üksteise poole

pööratud hüperboolse pinna abil peeneks nõõriks ja nad väljusid aparaadist rangelt paralleelsetena. Isegi kui Garinil oleks õnnestunud saavutada kiirte paralleelsust, poleks ta suutnud lõigata liinilaevu ja kaljusid.

Optikas on olemas seadus, mille järgi energia kontsentratsioon fookuses ei saa olla suurem algsest valgusvoost, s. o. valgusallika poolt igalt pinnauhikult kiiratud voost. Kui Garini poolt hüperboloidis süüdatud söepüramiidikesed looksid vajaliku võimsusega kiirgust, siis süütaks hüperboloid iseennast ega saaks töötada. Ilmselt ei sobinud Garini poolt kasutatud soojuslik valgusallikas hüperboloiditaolise aparaadi jaoks.

Ja siiski on loodud aparaat, millel on Tolstoi hüperboloidi omadused. Pessimistlikult häälestavatest asjaoludest, millele osutasid optikud, õnnestus mööda minna, sest selle ebataavalise riista loomisel ei öelnud otsustavat sõna mitte optika, vaid kvantmehhaanika — elektronide, prootonite, aatomite ja teiste mikromaailma pisitillukeste «elanike» liikumiseadusi uuriv füüsika haru.

Alguse tegi professor Valentin Aleksandrovitš Fabrikant — Moskva Energeetikainstituudi füüsikakateedri juhataja. Professor Fabrikant on suur teadlane, kes on palju teinud plasma kiirgamise mehhanismi avamiseks. Koos S. I. Vaviloviga ja kaastöölistega lõi ta esimesed päevavalguslambid meie maal, mille eest talle anti riikliku preemia laureaadi nimetus. Kuid siin on juttu professor Fabrikantile kuuluvast avastusest, mille tähtsust hakati vääriliselt hindama alles viimase kuue-seitsme aasta jooksul.

Selleks et saaks selgeks V. A. Fabrikanti poolt tehtud töö olemus, tuleb alustada kaugelt.

Relatiivsusteooria autor Albert Einstein avaldas 1916. aastal artikli, mis oli pühendatud puhtoptilisele probleemile — valguse ja aine vastastikusele mõjule.

Enne Einsteini kujutleti seda alljärgnevalt. Kuumutatud kehas, milles omavaheliste põrgete tagajärjel tekib palju ergastatud aatomeid, leiab aset vaid kaks optilist protsessi.

Esimene seisneb selles, et ergastatud aatom väljastab üleminekul normaalsesse olekusse footoni. See toimub iseneslikult. Aatom on ergastatud seisundis sekundi miljonidike või isegi miljardidike osade jooksul. See seisund on ebapüsiv, kuna aatom püüab vabaneda ergastamisel saadud energiast. Niisugust iseneslikku footoni väljastamise protsessi nimetavad füüsikud spontaanseks.

Sündinud footon on materiaalne osakene, kolossaalse kiirusega liikuv energiaklomp. Ta võib hõõguva keha maha jätta, kuid võib põrgata kokku normaalse (ergastamata) aatomiga. Toimub teine optiline protsess — footoni neelamine aatomi poolt. Footon kaob, kuid see-eest muutub aatom, mis tema «nahka pani», ergastatuks. See ergastatud aatom heidab sekundi miljondike osade pärast uuesti footoni välja, saades normaalseks, ja nii edasi. Muuseas, aatomi ergastuse tühine eluiga polegi nii lühike, olles näiteks miljoneid kordi pikem ajast, mis elektronil kulub ühe tiiru tegemiseks oma orbiidil.

Einstein kinnitas, et peale nende kahe protsessi on olemas veel niinimetatud sunnitud ehk indutseeritud kiirgus.

Kuumutatud aines kihutav footon võib kohtuda ka juba ergastatud aatomiga. Kuidas siis too sellele reageerib?

Ergastatud aatomist möödalendav footon sunnib seda muunduma normaalseks, ergastamata aatomiks, see sünnitab aga uue footoni. Seega tekib ühe footoni asemele kaks. Seejuures on need footonid kaksikud, s. o. nende võnkesagedused on ühesugused. Kui aga ergastatud aatomi kõrvale satub «mitte seda sorti» footon, mida ta on suuteline välja kiirgama, siis indutseeritud kiirgamist ei toimu.

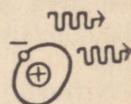
Kirjeldatud protsessi võib võrrelda püssilasuga. Ergastatud aatom on ülestõmmatud kukega laetud püss. Möödalendav footon vajutab kukele ja aatom tulistab välja veel ühe footoni.

Einstein kinnitas, et pärast «lasku» peavad mõlemad footonid lendama ühes suunas. Peale selle on taoline indutseeritud kiirgus koherentne, s. t. «lasu» sooritanud footoni ja selle juures sündinud footoni elektromagnetilised võnkumised toimuvad täiesti ühtmoodi. Teiste sõnadega: nad langevad faasis kokku.

Einsteini töö oli puhtteoreetiline ja peale selle avaldamist ei õnnestunud kellelgi teadlaste poolt avastatud indutseeritud kiirgust kasutada. See on täiesti loomulik, sest enne kui mõelda teooria poolt ennustatud selle või teise nähtuse kasutamisele, on vaja see eksperimentaalselt avastada.

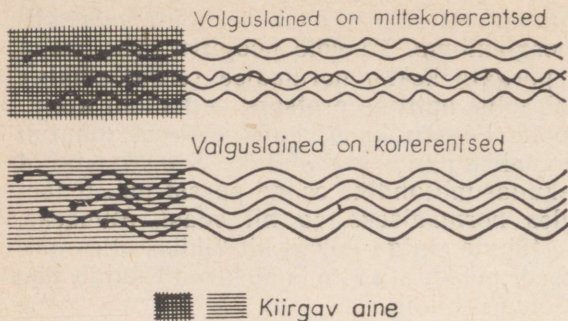


Enne kiirgamist



Pärast kiirgamist

Sunnitud ehk indutseeritud kiirgus



Koherentse ja mittekoherentse valguse kiirgamine aatomite poolt

Sellise ülesande seadis enda ette 1939. aastal V. A. Fabrikant. Ülesanne polnud kerge. Lahendamist segas niinimetatud «detailse tasakaalu printsiip», mille Einstein väljendas sealsamas. See seisneb järgnevas.

Iga aine aatomid omavad kindlat energiat, mille suurus võib hüppeliselt muutuda. Tavalise, ergastamata aatomi energia on kõige väiksem. Ta asub madalaimal nivool, nagu ütlevad füüsikud. Muuseas, see on kõige püsivam nivoo, mille poole püüdvad kõik aatomid. Kui aatom sai väljastpoolt energiaportsjoni, siis ta ergastus ja läks üle kõrgemale nivoole. Kui aatomit uuesti ergastada, siis ta satub juba järgmisele nivoole.

Iga elemendi, iga «aatomisordi» jaoks on olemas oma «lubatud» energianivood. Aatomil võivad olla ainult lubatud energiaväärtused. Vabanenud energiaportsjonist, satub aatom madalamale nivoole.

Kuidas aatomid ülemistelt nivoodelt allapoole «veerevad», seda me juba teame. Seejuures võib toimuda esiteks iseeneslik ehk spontaanne kiirgamine ja teiseks sunnitud ehk indutseeritud kiirgamine. Ülemistele nivooale aga lähuvad aatomid footonite neelamise arvel.

Einstein kinnitas, et soojusliku tasakaalu korral on kõrgematele nivooale üleminekute arv võrdne põhinivoole «laskumiste» arvuga. See ongi «detailse tasakaalu printsiip».

Nivooade asustatus, s. o. antud nivoo energiat omavate aatomite arv pole kaugeltki ühesugune.

Kõige rohkem on aatomeid kõige madalamal nivool, järg-

misel on neid vähem, edasi veel vähem. Kui keha temperatuuri tõsta, hakkab ülemiste nivoode asustatus väga kiiresti kasvama, kuid siiski jääb madalaimale nivoole alati rohkem aatomeid kui ülemisele.

Ja kui sellises olukorras toimub indutseeritud kiirgamine, siis neelatakse sündinud footonid viivitamatult ergastamata aatomite poolt. Neid tabab sama saatus mis iseeneslikult väljastatud footoneidki. Teisiti ei oleks võrdust ülemistelt nivoodelt laskumiste arvu ja neile tõusmiste arvu vahel.

Aga kui teha nii, et ülemiste nivoode asustatus oleks alummiste omast suurem, siis oleksid «laskumised» tõusude suhtes ülekaalus ja indutseeritud valgus võiks jääda neeldumata. Seda võiks eraldada.

Selliste tingimuste täitmiseks ei kõlba kuumutatud keha, näiteks metallitükk, mis allub detailse tasakaalu vankumatu printsiibile. Oli vaja teist keskkonda, milles see printsiip ei tööta.

Professor V. A. Fabrikant tegi ettepaneku kasutada sellise keskkonna hõrendatud gaasides toimuva elektrilahenduse plasmat. Selles pole soojuslikku tasakaalu ja Einsteini väljendatud printsiibi köidikud langevad ära.

See keskkond peab olema aktiivne, s. o. ergastatud: temas peab kõrgematel nivoodel olema rohkem aatomeid kui madalamatel. Seda võib saavutada, kui võtta kahe gaasi segu ja teostada selles elektrilahendust. Segu õigel valikul suureneb ülemiste nivoode asustatus nii aatomite ja vabade elektronide pörgete kui ka gaasisegu aatomite omavaheliste pörgete arvel. See võib viia selleni, et ülemistel «korrustel» olevaid, s. o. suurema energiaga ergastatud aatomeid saab rohkem, kui neid on alumistel «korrustel».

Nüüd jääb vaid üle «koristada saak». Laseme läbi selle aktiivse keskkonna valguskiiri. Kui selle valguse footonitel on sobiv «kaliiber», siis sunnivad nad, ergastatud aatomitest mööda lennates, viimaseid madalamale nivoole ülemineks ja väljastama footoni. Need lisafotonid ongi indutseeritud kiirgus. Madalamatel nivoodel asuvad aatomid seda täielikult ei neela (on ju neid suhteliselt vähe) ning see lisandub keskkonda sisenenud kiirgusele. Olemegi valgust võimendanud.

Me oleme harjunud sellega, et iga aine, isegi kõige läbiipaistvam, neelab osa teda läbivast valgusest. Seda võimet iseloomustab keskkonna neeldumiskoefitsient. Mida suurem



Valguse võimendamine aktiivses keskkonnas

see on, seda rohkem kiiri «ühineb» ainega ega läbi teda. Siin aga ei näe me valguse neeldumist, vaid vastupidi, tema võimendumist keskkonna indutseeritud kiirguse arvel. Tähendab, keskkonna neeldumiskoeffitsient on negatiivne. Ta ju ei neela valgust, vaid hoopis võimendab. Selgub, et keskkonna läbipaistvus on suurem tühjuse läbipaistvusest.

1951. aastal arutas professor V. A. Fabrikant eksperimentide tulemusi koos füüsikalise elektroonika suure spetsialisti M. M. Vudõnskiga. Viimane märkas kohe mitte ainult töö teaduslikku, vaid ka praktilist väärtust. Oli ju tema ees suurepärase elektromagnetiliste võnkumiste võimendi! See võiks võimendada nii valguse- kui ka raadiolaineid.

Piisab nõrga valguskiire või raadiolaine laskmisest läbi negatiivse neeldumiskoeffitsiendiga keskkonna, et saada väljundis signaali-hiiglast. Seejuures ei muutu karvavõrragi signaali suund, sagedus ja teised omadused. Täiesti uus, kõikidest varem tuntutest erinev võimendamisprintsii!

See oli tähtis avastus, mille väärtus on praegu selge igale spetsialistile. Siis aga, 1951. aastal, ei mõistnud seda kõik. Võib-olla nimelt sellepärast antigi V. A. Fabrikantile, F. A. Butajevale ja M. M. Vudõnskile autoritunnistus alles 1959. aastal!

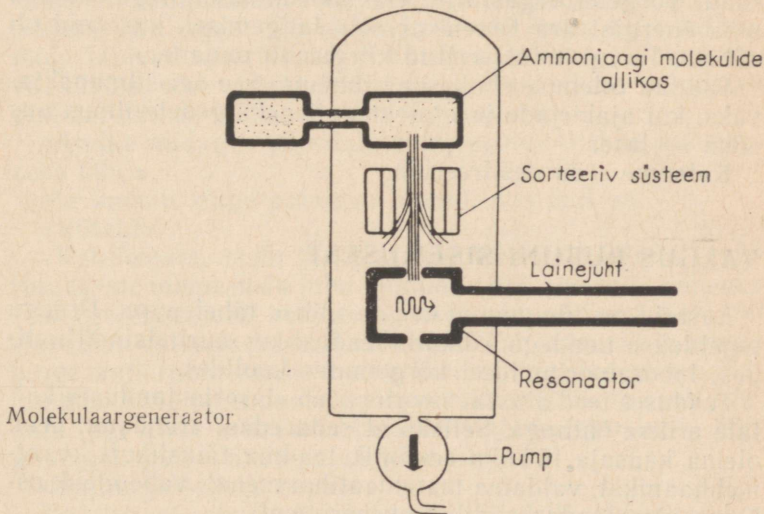
Pärast 1951. aastat algas tähtis etapp indutseeritud kiirguse praktilises tundmaõppimises. Suurt edu saavutasid nõukogude teadlased N. G. Bassov ja A. M. Prohhorov. Nad avastasid raadiolainete kvantmolekulaarsete võimendite ja generaatorite loomise uued printsiibid, mille eest neid autasustati Lenini preemiaga.

Oma raadiolainete molekulaarvõimendis kasutasid nad

ammoniaagi molekulide kimpu. See kimp lastakse vaakuumkambrisse, eemaldades temast eelnevalt madalamal energianivool asuvad molekulid. Seda tehti elektrivälja abil. Seega jäävad kimpu ainult ergastatud molekulid. Kambrisse, kuhu sattusid ammoniaagi molekulid, anti külje pealt lainejuhti mööda võimendatav signaal. Kambri mõõtmeid ei valitud juhuslikult, vaid nad vastasid raadiosignaali sagedusele. Raadiolainete sattumisel kambrisse toimus ammoniaagi molekulide laviinitaoline paiskamine ülemiselt nivoolt alumisele, millega kaasneb nende intensiivne raadiokiirgus — vastuvõetud signaali võimendati paljukordselt.

Muuseas, sellist võimendit pole raske muuta raadiolainete allikaks, generaatoriks. Välist signaali pole sel juhul vaja. On tarvis vaid suurendada kambrisse lastava ammoniaagi molekulide kimbu intensiivsust. Sel juhul elektromagnetilised lained tekivad ise, kusjuures silma paistab nende sageduse hämmastav stabiilsus. See iseärasus võimaldas luua molekulaarkellasid, mis, maha jäämata ja ette ruttamata, võivad töötada paljusid aastakümneid.

Mõnda aega eksisteeris spetsialistide hulgas arvamus, et indutseeritud kiirgus on and, mis on looduse poolt spetsiaalselt saadetud raadiotehnikas kasutamiseks ja valguse võimendamiseks pole seda otstarbekas kasutada.



Kuid osa teadlasi, sealhulgas ka Valentin Aleksandrovitš Fabrikant ise, uskusid, et indutseeritud kiirgust on võimalik rakendada ka optilises diapsoonis.

Nad jätkasid visalt liikumist valitud suunas. V. A. Fabrikantil ilmusid õpilased, kes samuti töötasid valguse võimendamise kallal.

Järk-järgult kogunes üha uusi ja uusi fakte. Näiteks õnnestus esile kutsuda tseesiumiaurude indutseeritud kiirgust. Et paisata tseesiumiaatomeid ülemisele nivoole, kasutati võimsate heeliumlampide ultraviolettkiirgust.

Kuid vahetatud valguse võimendamist täheldati siis, kui valgust lasti läbi plasma, mille tekitas lahendus elavhõbedaaurude, vesiniku ja heeliumi segus. Jälgiti siniste ja roheliste kiirte intensiivsust. Nimelt neid väljastavad elavhõbeda-aatomid üleminekul kolmandalt nivooalt teisele. See katse näitas, et keskkonna läbipaistvus võib ületada tühjuse oma, s. o. olla suurem ühest.

Selle töö tulemused tehti teatavaks 1957. aastal üleliidulisel spektroskoopiakonverentsil, seejärel avaldati trükis.

Mõnevõrra hiljem õnnestus rühmal teadlastel — V. K. Ablekovil, M. E. Pessinil ja I. L. Fabelinskil — võimendada valgusvoogu kümme korda. Nad kasutasid samuti elavhõbeda- ja tsingiaurudes toimuva lahenduse plasmat. Kolmanda nivooi ergastatud tsingiaatomid, mis saadi põrgetel ergastatud elavhõbeda-aatomitega, andsid oma energiat ära teisele nivoole langemisel, kus neid oli vähem. Tsingi indutseeritud kiirgus oli punane.

Saadud tulemustel oli suur tähtsus. See sai silmanähtavaks, kui ajakirjade ja ajalehtede lehekülgedele ilmus uus sõna — laser.

Katsume seda dešifreerida.

## VALGUS RUBIINI SISEMUSEST

Laserid on tõmmanud endale üldise tähelepanu. Praegu tegeldakse nendega kõikjal: teaduslikes uurimisinstituutides, laboratooriumides, kõrgemates koolides.

Teaduses teed alustav noorus asub «laseriasjanduse» kallale erilise õhinaga. Selleks et seda edasi arendada, peab olema kaasaja füüsika eesliinil, teadma täiuslikult kvantmehhaanikat, valdama matemaatikaarsenali vahendeid, oskama üles seada keerulist eksperimenti.

Töötavat laserit nägin ma ühes M. V. Lomonossovi nime-  
lise Moskva Riikliku Ülikooli füüsikateaduskonna labora-  
tooriumis.

Väike tuba on tihedalt aparate täis kiilunud: keskel on  
hiiglaslik klaveritaoline spektrograaf, piki seinu asuvad  
laboratooriumilaudadel lampvoltmeetrid, generaatorid, ost-  
sillograafid, riulitel helgivad lahendustorud. Siin ei te-  
gelda plasma uurimisega esimest aastat. Aparaadid nagu  
inimesedki on sisse elanud, harjunud oma kohtadega.

Kuid päris hiljuti tuli neil riistadel koomale tõmbuda,  
sest oli vaja kohta laseri jaoks. Ja nüüd on see töövalmina  
minu ees. Välimus on tal väga lihtne. Laual on raudtee-  
rööpa sarnane optiline pink, millel on üles seatud ja või-  
vad liikuda alus rubiinvarda ja pumpamislambiga, peeglid,  
kollimaator.

Seina ääres seisis küllaltki soliidne metallkast. Sellesse  
oli paigutatud umbes viiesteist kondensaatorit, mis lae-  
tuna 5 kilovoldini valasid salvestatud energia pumpamis-  
lampi.

Minu märkmikku ilmus seadme skeem. Kuid ma ootasin  
kannatamatult, et näha töötavat laserit. Justkui tundes  
seda, asusid laboratooriumi töötajad asja juurde. Algul  
seadsid nad peeglid rangelt paralleelseteks. Seda tehti väga  
lihtsalt, pikksilmataolise paralleelset kiirtekimpu loova  
riista — kollimaatori abil. Seejärel süüdati väike pirnike.  
Sellest pirnikesest läksid valguskiired sama teed mööda,  
mida läbivad laserikiired. Nihutades ekraani ja fokuseeri-  
vat läätse, võib ekraanil kiiresti saada pisikese valguslai-  
gukese, mis on fookuse leidmise tunnuseks.

«Andke midagi,» pöörduti minu poole, «lööme mälestu-  
seks läbi.»

Ma andsin kõige paksema mündi, mis mul oli.

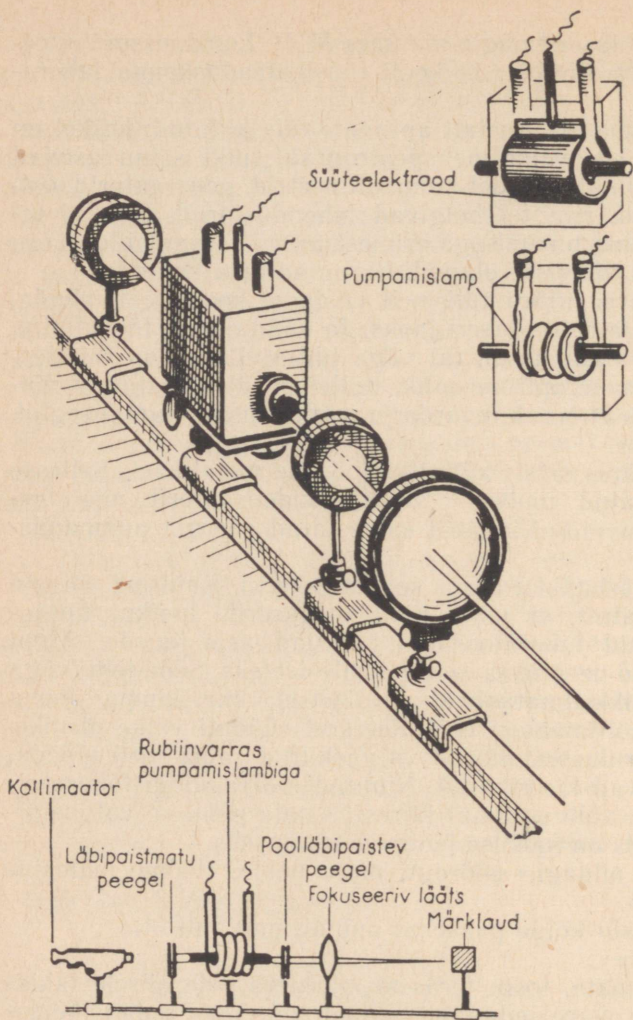
«Võtab?»

«Kahtlemata, tosin terasest žiletitera pole kiirele takis-  
tuseks, me oleme seda juba näinud, münt aga seda vähem.»

Kõrgepingealaldi hakkas monotoonselt undama. Seejärel  
klõpsatas vaikselt relee: kondensaatorid laadusid ja nende  
pinge anti rubiinvarda ümber keritud impulss-pumpamis-  
lambile. Kuid lahendust lambis ei tekkinud. Seda saab süü-  
data, kui anda eritransformaatorilt süüteelektroodile kõr-  
gepingeimpulss. Seda paluti teha minul.

«Vajutage sellele nupule...»

Vajutus nupule — ja erepunane kiir vilksatas laua ko-



Rubiinlaser

hal. Ta elas silmapilgu, kuid ma nägin teda! See oli laseri kiir!

Mulle anti münt. Ma vaatasin seda vastu valgust ja nägin peenikest läbi metalli löödud augukest, augukest, mis oli löödud rubiinvarda poolt väljastatud valgusega.

See suveniir lebab praegu minu ees laual. Ja kuni ma kirjutan neid ridu, askeldavad laboratooriumis, kus ma olin, nagu kümnetes teisteski laboratooriumides füüsikud (ja mitte ainult nemad!) oma laserite ümber. Võimas valguskiir pole neile vajalik muidugi mitte selleks, et teha augukesi müntidesse ja žiletiteradesse. Laser on muutumas võimsaks relvaks teadlase ja inseneri käes. Kuid sellest ma jutustan hiljem, nüüd aga peatume uue aparadi tööprintsiiibil.

See saab selgeks, kui dešifreerida aparadi nimetus.

Laser on abreviaatuur. See sõna on koostatud laseri täieliku nimetuse algustähtedest. Aparadi täielik, tööprintsiipi selgitav nimi on aga järgmine: «Valguse võimendamine kiirguse stimuleeritud emissiooni abil.» Kui see fraas öelda inglise keeles\* ja võtta ingliskeelsete sõnade esitähed, saamegi sõna «laser».

Stimuleeritud ehk indutseeritud kiirgusest rääkisin ma juba eespool. Nõukogude teadlased A. M. Prohhorov ja N. G. Bassov tegid ettepaneku kasutada selle tekitamiseks rubiinikristalli\*\*. USA-s töötas laseri probleemi kallal edukalt C. H. Townes. Nõukogude ja ameerika teadlaste tööd hinnati kõrgelt. Nende poolt tehtud põhjanevate tööde eest, mis viisid laserite loomisele, anti 1964. a. N. G. Bassovile, A. M. Prohhovile ja C. H. Townesile Nobeli preemia.

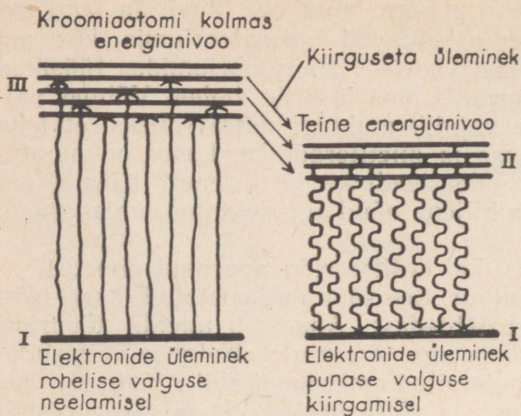
Rubiinlaserid on praegu kõige levinumad.

Rubiin on alumiiniumoksiid, milles mõned alumiiniumiaatomid on asendatud kroomiaatomitega. Mida rohkem on kroomi, seda punasem on kristall. Esimestes laserites kasutati rubiini, mis sisaldas umbes 0,05 protsenti kroomi. Kahvatu roosakas varras neelab ultravioletset, rohelist ja kollast valgust, laseb aga läbi ainult sinist ja punast. See määrabki tema värvuse.

Me teame juba, et indutseeritud kiirguse tekkimise tingimuseks on «aktiivse keskkonna» loomine, milles suurem osa aatomeid oleks ergastatud seisundis. Laseris tehakse seda impulss-pumpamislambi abil. See on maona ümber rubiinivarda keeratud. Impulsslambis tekkiv plasma kiirgab võimsat valgusvoogu, mis tungib rubiini sügavusse. Kuid kogu selle valguse massist on kasulikud vaid rohelised kiired. Nad ergastavad kroomiaatomeid, paiskavad neid

\* Light amplification by stimulated emission of radiation. (Aut.)

\*\* Esimese rubiinlaseri ehitas 1960. aastal ameerika teadlane T. H. Maiman. (Tõlk.)



Rubiini indutseeritud kiirguse skeem

kolmandale nivoole. Sellel nivool ei püsi paljud kroomiaatomid kaua, nad «astuvad» veidi tagasi, minnes üle madalamale teisele nivoole. Kuid seejuures ei toimu valguse kiirgamist.

«Kuidas siis?» vaidlete te vastu. «Kui aatom läks kõrgemalt nivoolt üle keskmisele, peab ta tingimata ära andma osa energiat, väljastama footoni!»

Jah, osa energiat aatom annab muidugi ära, kuid mitte footoni kujul. Teine nivoo on kolmandale väga lähedal ja temale laskudes tekkiva väikese energiaülejäägi annab meie aatom ära ümbritsevatele kristalliaatomitele, tõstes nende temperatuuri. Taoline soojendamine pole midagi muud kui energiakadu, kuid laseri tööks on see vajalik.

Asi on selles, et optilise pumpamise eesmärgiks on võimalikult paljude aatomite üleviimine teisele nivoole. See on trampliin, millelt tehtud hüpped viivad indutseeritud kiirgusele.

Teist nivood õnnestub üle asustada seepärast, et kroomiaatomite üleminekud nende kolme nivoo vahel toimuvad erineva kiirusega.

Osa kolmandale nivoole sattunud aatomeid veereb spontaanselt tagasi esimesele nivoole. Selleks on vaja üks sajatuhandik sekundit. Tühine ajalõik! Kuid veel vähem aega on kroomiaatomile vaja kolmandalt nivoolt teisele ülehüppamiseks — kõigest viis sajamiljondikku sekundit! Selge, et

teisele nivoole üleminevate aatomite arv on palju kordi suurem «koju», esimesele nivoole tagasipöörduvate aatomite arvust.

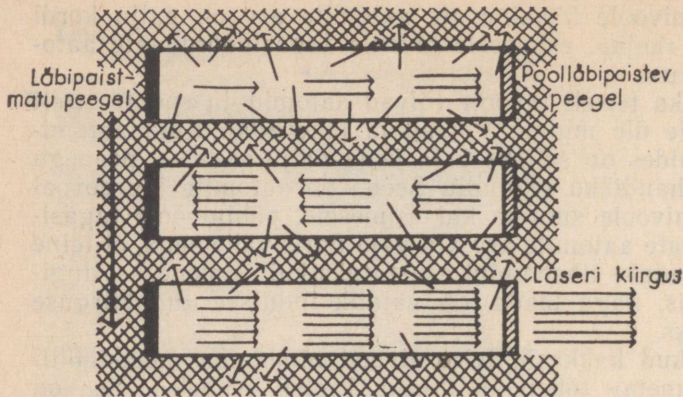
Kuid ka teiselt nivoolt võivad aatomid ju spontaanselt esimesele üle minna. Võivad ja lähevadki. Kuid aatomistaapides on selleks vaja üsna palju aega — peaaegu kolm tuhandikku sekundit. Seega on aatomite juurdevool teisele nivoole suurem kui esimesele, põhinivoole tagasipöörduvate aatomite arv. On vaja üpris vähe aega, et teine nivoo osutuks tihedamini asustatuks kui esimene, — tingimus, mis, nagu teada, on vajalik indutseeritud kiirguse loomiseks.

Füüsikud hakkasid teist nivood nimetama metastabiilseks («meta» tähendab kreeka keeles «vahel»). See on vahepealne, ebapüsiv nivoo. (Rangelt võttes koosneb see nivoo kahest teineteisest veidi-veidi erinevast alanivoost, kuid see ei muuda olukorda ja pildi lihtsuse huvides loeme me neid üheks nivooks.) Kui teine nivoo on üle asustatud, siis võib tekkida kroomiaatomite koherentne indutseeritud kiirgus.

Üleminekul teiselt nivoolt esimesele väljastab kroomiaatom punase valguse footoni. Lennates mööda teisest, ergastatud aatomist, sunnib taoline footon ka seda «tulistama» välja footoni. Need kaks footonit-kaksikut kutsuvad esile veel kahe venna ilmumise. Kokku saab juba neli footonit. Nii sünnib footonite laviin. On silmanähtav, et mida pikem on footonite tee, seda rohkem kohatakse ergastatud aatomeid ja seda võimsam tuleb indutseeritud valguse voog. Tähendab, rubiinvarda mõõtmeid on vaja suurendada! Kuid väga pikk varras muudab pumpamise keeruliseks, seepärast kasutatakse laserites suhteliselt väikseid vardaid — pikkusega 5 kuni 30 sentimeetrit ja diameetriga 1—2 sentimeetrit. Varda sees suurendatakse aga kiirte tee pikkust peeglite abil.

Esimesena tegi niisuguse ettepaneku nõukogude teadlane A. M. Prohhorov 1958. aastal väga lühikeste raadiolainete võimendite jaoks. See osutus sobivaks ka laseri puhul.

Esimestes laserites lihviti hoolikalt rubiinvarda otsi ja tehti nad rangelt paralleelseteks. Hiljem kaeti need hõbedakihiga. Saadi kaks peegeldavat seina. Kui footonite laviin läheb piki varda telge, siis peegeldub ta otstelt ja suurendab tagasiteel oma võimsust, liites endaga uute aato-



Valguse võimendamine rubiinlaseris

mitte kiirgust. Laviinid, mis liiguvad varda telje suhtes nurga all, väljuvad sellest ja muutuvad kasututeks.

Kuid rubiinikristallis on väga palju kroomiaatomeid: on tarvis kirjutada 1 üheksateistkümnega nulliga, et saada nende arvu ühes kuupsentimeetris! Seepärast on peeglite vahel kihutava footonitelaviini suurendamiseks materjal olemas, seejuures isegi juhul, kui teisel nivool pole mitte kõik kroomiaatomid, vaid vähem kui pooled nendest.

Kas indutseeritud kiirguse kasvul on olemas piir? On küll. Valguse võimendamine rubiinvarda sees katkeb siis, kui teiselt nivoolt on esimesele löödud nii palju aatomeid, et aatomite hulk neil kahel nivool võrdsustub. Sel juhul saab indutseeritud kiirguse võimsus võrdseks võimsusega, mis kulub aatomite paiskamiseks esimeselt nivoolt vahetult teisele tagasi. Seda nähtust nimetatakse küllastumiseks.

Seega sõltub rubiinvardas sündinud indutseeritud kiirguse võimsus vardale antud võimsusest, s. o. pumpamise võimsusest. Kuid seda ei saa samuti lõpmatuseni suurendada, kuna aatomite üleminekute arvul kolmandalt nivoolt teisele on oma piir, mis ei saa pärast küllastumist suurenda. Laser hakkaks seejuures «lökastama»: sähvatus laguneks väga lühikesteks pausidega eraldatud sähvatus-teks.

Kui pumpamise võimsus on väike, siis võib indutseeritud kiirgus hoopiski mitte tekkida. Pumpamise ebaküllaldane

võimsus ei suuda kindlustada teise nivoo üleasustamist ega loo tingimusi indutseeritud valguse tekkimiseks. Tõsi küll, kristall hakkab helenduma, kuid see on tavaline luminesents, mitte aga indutseeritud kiirgus. Vaid siis, kui vardas on loodud võimendav keskkond, läheb luminesents üle indutseeritud kiirguseks. Seejuures muutub mittekoherentne valgus koherentseks.

Peeglitega rubiinvarras on valgusgeneraator. Impulsslambi roheliste kiirte energia muundatakse temas 0,6943-mikronise lainepikkusega punaste kiirte energiaks. Kuidas siis neid kiiri vardast kätte saada?

Seda teostatakse võrdlemisi lihtsalt. Üks peeglitest tehakse poolläbipaistev, tänu millele osa kiiri tungib välja, osa aga peegeldub rubiini sisemusse. Peeglit läbinud kiired ongi laseri poolt loodud tohutu heleduse ja kolossaalse võimsusega kasulik valgus.

Mõnikord viiakse kiir laserist välja teisiti. Sel juhul ei kanta peegleid mitte rubiinvarda otstele, vaid seatakse üles optilisele pingile kahel pool varrast. Need peeglid on küllalt suured ja valmistatud dielektrilisest klaasist. Nende vahel kihutavadki võimendatavad kiired, mille teele on nurga all paigutatud läbipaistev tasaparalleelne plaadike. See laseb kiired läbi nende suunda muutmata, nihutades neid vaid veidi-veidi kõrvale. Kuid osa kiiri peegeldub plaadikeselt ja eemaldub varda telje suhtes täisnurga all.

Laserikiir peab tulistama ühele poole, sinnapoole, kuhu on üles seatud märklaud. Seepärast tuleb üles panna veel üks peegel. See pöörab tagasi plaadikese teisest servast peegeldunud kiired, suurendades veelgi laseri valgusenergiat.

Ma jutustasin küllalt üksikasjaliselt rubiinlaseri ehitusest ja tööprintsibiist, kuigi tema indutseeritud kiirgust ei saada plasmas, vaid tahkes kehas. Kuid ka rubiinlaser on tunduval määral plasmaseade. Laserist väljuva kiire võimsus sõltub pumpamislambist. Selles aga töötab plasma.

I. S. Maršaki juhendamisel loodud ksenoon-impulsslambid on laseri tähtsaks elemendiks. Nad peavad andma võimsa ja väga lühikese valgusesähvatuse, kusjuures lambi poolt väljastatavad kiired peavad olema «sobivad» rubiini jaoks, s. o. lõviosa nende energiast peab asuma rohelises spektriosas. Pumpamislambist sõltuvad mitte ainult laseri konstruktsioon, vaid ka tema parameetrid.

Mida siis on laseriloojad tänaseni saavutanud?

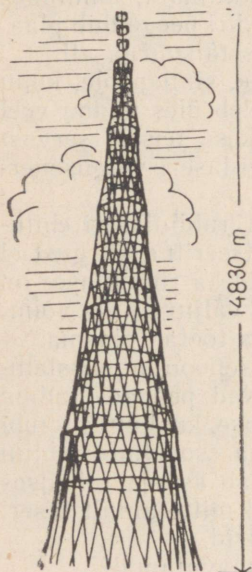
## MÕELGEM VEIDI ARVUDELE

Esimesed rubiinlaserid lõi Maiman USA-s 1960. aastal. Järelikult on uus riist alles lapseas. Kuid oma mõne eluaasta jooksul on «laps» märgatavalt kasvanud ja teinud juba esimesed sammud.

Laseri valguskiirguse suurepäraseks omaduseks on kiirte paralleelsus. Väljuva kiirtekimbu laienemisenurga mõõtmiseks ei saa kasutada kraade, seda mõõdetakse minuti osades ja sekundites! Laseri «antenniks» on fokuseeriv lääts. Selle mõõtmed määravad kiirguse suunatuse. Näiteks kindlustab lääts diameetriga 30 sentimeetrit sellise terava kiirtekimbu, mille poolt loodava laigu diameeter on 500 kilomeetri kaugusel kõigest 3 meetrit, Kuul aga kahe kilomeetri ümber.

Kui kasutada tavalist valgusallikat, siis on samasuguse efekti saavutamiseks tarvis valmistada paraboolreflektor, millesse mahuks Oleviste kiriku torn. Laserite kiirguse terav suunatus võimaldab praegu nende valgust avastada kuni 65 tuhande kilomeetri kauguselt.\*

Kuid laserite töökaugus ja «füüsiline jõud» sõltuvad kiire võimsusest. Mida suurem see on, seda heledam on sähvatus.



On teada, et võimsust mõõdetakse vattides ja määratletakse 1 sekundis kulutatud töö või energiaga. Teie toas rippuv 100-vatise võimsusega elektrikiprn tarbib igas sekundis 100 džauli elektrienergiat. On seda vähe või palju?

Tõstke 1-kilogrammiline viht 1 meetri kõrgusele. Te teete 1 kilogramm-meeter ehk umbes 10 džauli tööd. Kui te sooritate selle operatsiooni 1 sekundi jooksul, töotate te umbes 10-vatise võimsusega. Kui te tõstate vihi üles  $\frac{1}{10}$  sekundi jooksul, siis on võimsus peaaegu

\* Hiljuti viidi läbi Kuu lokatsioon laseri abil, s. o. püüti kinni Kuu suunas väljasaadetud ja sealt tagasipeegeldunud valguskiir. (Tõlk.)

100 vatti. Et määrata võimsust, on vaja kulutatud energiahulk jagada ajaga, mille jooksul see energia kulutati.

Laser töötab impulssidena. Tema sähvatused kestavad vaid sekundi sajatuhandikud osad. Ja kuigi valguskiire energia pole suur, on võimsus suur tänu sellele, et energia kiiratakse välja väga lühikese ajavahemiku jooksul. Eespool juba räägiti tasakaalulisest ja mittetasakaalulisest kiirgusest. Laser on mittetasakaalulise kiirguse allikas. Pumpamisel neeldunud energia muundab ta valguseks, mille spekter on väga kitsas joon. Kuna kiirguse energia on kontsentreeritud väga kitsasse spektrivahemikku, siis on selle joone heledus tohutu. See vastab tasakaalulise kiirgaja temperatuurile, mida tuleb väljendada neljateistkümnekohalise arvuga. Nimelt sellise kolossaalse temperatuurini oleks vaja kuumutada musta keha, et saavutada antud spektrilõigus samasugust kiirguse intensiivsust.

Tunnetanud indutseeritud kiirguse seadusi, suutsid füüsikud neid kasutada ja lõid riista, mis suhteliselt väikese energiatarvituse juures sünnitab tohutu võimsusega valgus-sähvatused.

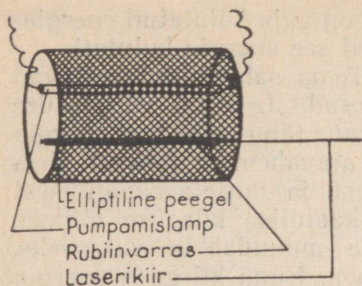
Esimeste laserite valgusimpulsside võimsus oli umbes 1 kilovatt. Kiirguse energia aga oli ainult džauli kümnen-dikke osasid. Peagi õnnestus neid arve kümnekordistada. Kaasaegsete laserite kiire võimsus on kümneid ja sadu kilovatte väljuva kiire 5- kuni 50-džaulise energia juures. On teateid 350-džaulise väljastatava energiaga rubiinlaserite loomisest. See loob impulsse kestusega 0,0005 sekundit. Jagage esimene arv teisega ja te saate selle laseri valgusimpulsi võimsuse. Selleks et laser väljastaks võimsamat valgusvoogu, kasutavad konstruktorid mitut teed.

Neist on teile juba teada pumpamislambi võimsuse suurendamine.

Kuid selle lambi võimsust suurendamata võib laseri efektiivsust tõsta seadme enese konstruktsiooni arvel.

Joonisel on kujutatud laser, milles pumpamislamp ja rubiinvarras on paigutatud elliptilise peegli sisemusse. Pumpamislambi poolt kiiratud valgus peegeldub sellelt ja langeb rubiinvarrale, mis on paigutatud seintelt peegeldunud kiirte fookusesse. Täheandab, rubiinile mõjuvad pumpamislambi mitte ainult otsesed, vaid ka peegeldunud kiired.

Teistes konstruktsioonides ümbritsetakse rubiinvarras



Elliptilise peegeldajaga laser

nelja pumpamislambiga, millest igaühel on elliptiline peegeldaja. Kõigilt neljalt lambilt fokuseeritakse valgus keskossa, kus paikneb rubiinvarras.

Viimasel ajal püütakse kiire võimsust suurendada rubiini kiirgamisprotsessi vahelesegamise teel. Selle vahelesegamise idee on järgmine: kiiritades rubiini pumbatava valgusega, on vaja tagasi hoida indutseeritud kiirguse algust. Sel juhul saab metastabiilse nivoo asustada väga tihedalt, viies sinna peaaegu kõik rubiiniaatomid. Pärast seda on vaja mingil viisil anda signaal indutseeritud kiirguse algamiseks, s. t. alustada kroomiaatomite massilist laskumist teiselt nivoolt esimesele.

Praktiliselt võib seda ideed teostada mitmel viisil. Siin on toodud neist kõige lihtsam.

Üks peeglitest on paigutatud mingile kaugusele varda otsast. Varda ja peegli vahele on seatud pöörlev avaustega ketas. Sel momendil, kui ketas suleb peegli, pole indutseeritud kiirgus võimalik. Selle tekkimiseks on vaja, et kiir viskleks peeglite vahel ja peaaegu ei kaotaks peegeldustel oma energiat. Ketas, mis tõkestab kiire tee peeglile, peegeldab aga halvasti ning sel juhul valguse võimendamist ei toimu, järelikult ei teki ka indutseeritud kiirgust. Kuid see-eest toimub samal ajal ülemise korruse massiline asustamine.

Kui ketasvahesein pöördub nii, et kiire teele jääb avaus, «tulistab» rubiin valgusesähvatusega, sest sel juhul tekiavad tingimused indutseeritud kiirguseks.

On olemas ka elektrilisi, samuti aga optilisi meetodeid laseri «avamiseks».

Kasutades niisugust energia kogumise printsiipi, võib luua lasereid, mille impulsi võimsus on miljoneid ja isegi

kümneid miljoneid vatte. Tõsi küll, impulsi kestus on neis ainult sekundi sajamiljondikud osad.

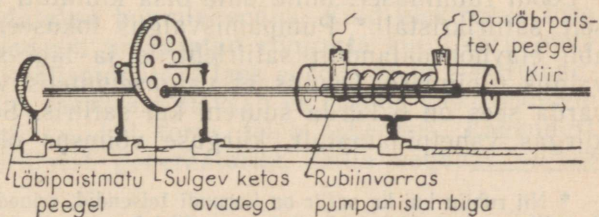
Vaatleme nüüd laseri kasutegurit. See näitaja on väga tähtis iga valgusallika jaoks. Peamine etteheide hõõglambile puudutab tema madalat kasutegurit. Kõigest 2—4 protsenti selles kulutatavast energiast muundub valguseks, ülejäänud 96—98 protsenti kaob jäädavalt.

Laserite jaoks on 2—4 protsenti alles unistus, nende kasutegur on kõigest 0,1—1 protsent. Tuleb välja, et rubiinlaser on vähem ökonomine seade kui «valgustehnika auruvedur» — hõõglamp. Milles on siin asi?

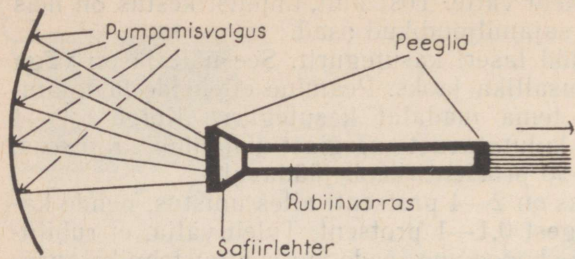
Laserite jaoks salvestatakse energiat kondensaatorites. Hiljem «valatakse» see pumpamislampi. See on plasma-lamp ja tema kasutegur on küllalt kõrge: sähvatuslamp muundab valguseks 10—15 protsenti elektrienergiast.

Kuid ksenoon-impulsslambi kiirgusspekter on, nagu te teate, pidev. Laseri rubiinile pole seda tegelikult vaja, ta neelab kasuga üksnes neid kiiri, mis asuvad rohelises spektriosas. Ülejäänud vaid soojendavad teda, olles mitte ainult kasutud, vaid ka kahjulikud, kuna sunnivad mõtlema varda jahutamisele. Peale selle on olemas ka rubiinile kasulike kiirte otsesed kaod, sest kõik rohelised kiired ei satu varda sisemusse ega neeldu järelikult selles. Ja lõpuks, laserist ei saada kätte kogu indutseeritud valgust, vaid ainult see osa, mis tungib läbi poolläbipaistva peegli või peegeldub tasaparalleelselt plaadilt. See valgus ongi laseri kasulik produkt.

Laseri kasutegurist võivad ettekujutuse anda näiteks sellised arvud «10 000—100—1 džaul». Esimene arv näitab pumpamislambi poolt kulutatud energiat, teine rubiinvar-das neeldunud energiat, kolmas aga iseloomustab kasulikku energiat, s. o. laseri poolt väljastatava kiire energiat.



Energia koguv laser



Pideva kiirgusega rubiinlaser

Toodud näite jaoks pole raske arvutada laseri kasutegurit. See on üks sajandik protsenti. Selliste näitajatega tulid laserid ilmale. Hiljem õnnestus füüsikute ja inseneride jõupingutuste abil laseri kasutegurit lähendada 1 protsendile, lähemal ajal aga tõuseb see eelduste kohaselt 2 protsendini.

Suurte energiakadude tõttu laser kuuenes ja seda rohkem, mida sagedamini impulsid üksteisele järgnesid. Tuli tarvitusele võtta abinõud pumpamislambi ja rubiinvarra jahutamiseks. Intensiivne õhkjahutus võimaldas laseri tulistamiskiiruse viia 10 sähvatuseni sekundis kiire 1-kilovatise võimsuse juures ja 1 sähvatuseni 20-kilovatise väljundvõimsuse juures. Kui jahutada laserit vedela lämmastikuga, siis võib impulsside sageduse viia 30-ni sekundis. Ühelaengulisest püssist on laser muutunud valguskuulidega tulistavaks kuulipildujaks.

Kuid teadlased unistasid laserist, mis kiirgaks pidevalt nagu insener Garini hüperboloid.

Rubiinlaserite juures on selles suunas õnnestunud ühteist saavutada.

Loodi rubiinlaser, mille ühte otsa kinnitati lehtrikujuliselt safiirikristall.\* Pumpamisvalgus fokuseeriti peeglite abil elavhõbedalambilt safiirlehterile ja läbi selle tungis valgus rubiini. Osutus, et valguse intensiivsus rubiinvarra sees on 6 korda suurem kui safiiris. Selline laser kiirgas vahetpidamatult, kiirguse võimsus oli aga, tõi

\* Nii rubiin kui ka safiir on korundi teisendid, erinedes teineteisest lisandite poolest. Vahel nimetatakse safiiri ka siniseks ja rubiini punaseks korundiks. (Tõlk.)

küll, kõigest neli tuhandikku vatti. Laser tarbis aga 850 vatti.

Selle laseri kiire uurimised näitasid, et ka tema kiirgus on katkendlik, koosnedes impulssidest kestusega miljondik sekundit.

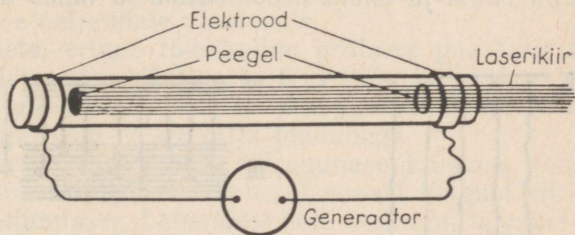
Nüüd aga pöördume uuesti selliste laserite juurde, mille peategelaseks on meie raamatu kangelane — plasma.

## PLASMALASERID

Kirjanduses nimetatakse neid gaaslaseriteks, kuid peategelaseks pole neis mitte gaas, vaid plasma.

Esimese gaaslaseri töötas välja A. Javan USA-s. Selle kirjeldus avaldati 1961. aastal. Tema laseri teoreetiliseks baasiks olid nõukogude teadlaste tööd, millest oli juttu käesoleva peatüki alguses.

Gaaslaseri ehitus on lihtne. Kvartstoru pikkusega 80 ja diameetriga 1,5 sentimeetrit täidetakse heeliumi ja neoni seguga. Heeliumiaatomeid on selles 10 korda rohkem kui neoniaatomeid. Gaaside rõhk torus on veidi üle 1 millimeetri elavhõbedasammast. Toru otstesse on väga täpselt paigaldatud kõrgekvaliteedilised tasapeeglid.



Gaaslaser

Torus süüdatakse huumlahendus. Kuid elektroode toru sees pole. Nad on paigutatud rõngaste kujul toru otste juurde klaasi välispinnale. Klaas ei tõkesta ju elektromagnetilisi laineid, seepärast maksab vaid anda elektroodidele kõrgsageduspinge, kui torus tekib lahendus. Lahendust toidetakse erilisest generaatorist, mille sagedus on 28 megaherti.\*

\* \* 1 megaherts = 1 000 000 herti. (Tõlk.)

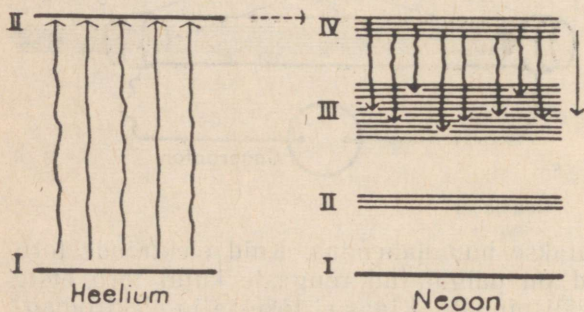
Heelium ja neon ei sattunud sellesse laserisse juhuslikult. Nende vastastikusel mõjus seisab nimelt indutseeritud kiirguse tekkimise kogu saladus.

Kuidas toimub lahendus torus, seda te teate. Elektrivälja jõududest tagasihutatud vabad elektronid ioniseerivad gaasi aatomeid, muundades gaasi plasmaks, milles on ka palju ergastatud aatomeid.

Heeliumiaatomid ergastuvad, kui nende vastu põrkavad elektronid. Nad lähevad üle teisele nivoole, kus võivad asuda küllalt kaua.

Plasmas pole osakesed paigutatud korrapäraselt. Nad liiguvad temas pidevalt, kusjuures see liikumine on kõige kaootilisem siis, kui osake ei kanna laengut. Seepärast ei ole midagi üllatavat, kui ergastatud heeliumiaatomid põrkavad kokku «tavaliste» neooniaatomitega. Sellisel põrkel annab heeliumiaatom energia ära, libisedes esimesele nivoole, neooniaatom aga ergastub. Heeliumilt saadud energia on niivõrd suur, et neooniaatom satub ühel hoobil neljandale nivoole. Langeb ju heeliumiaatomi teise nivoo energia väärtuselt peaaegu kokku neooniaatomi neljanda nivooaga.

Heeliumiaatomeid on torus tunduvalt rohkem kui neooniaatomeid, seepärast läheb energiavoog heeliumilt neoonile. Üha enam ja enam neooniaatomeid läheb üle neljandale



- > Energia ülekanne aatomite vahel
- ~~~~~> Elektronide kiirguseta üleminek madalamale nivoole
- Elektronide üleminek aatomite ergastamisel

Heeliumi- ja neooniaatomite energianivood

nivoole. Tõsi küll, osa neist laskub spontaanselt kolmandale nivoole, kuid siin ei peatu nad kaua ning libisevad edasi allapoole. Lõppude lõpuks tuleb välja nii, et neooniaatomite neljas korrus on võrreldes kolmanda korrusega üle asustatud. On tekkinud tingimused indutseeritud kiirguseks. Tarvitseb vaid vajalikul footonil lennata mööda neljanda nivooni ergastatud neooniaatomist, kui algab footonite laviin. Kui see laviin liigub piki toru telge, siis peegeldub ta toru otsast tagasi ning suurendab üha enam ja enam oma mõõtmeid. Peeglite vahel kihutav kiir tugevdab iseennast. Kui üks peeglitest on poolläbipaistev, siis tungib osa kiiri väljapoole toru piire. See ongi gaaslaseri koherentne indutseeritud kiirgus. Erinevalt rubiinlaseri valgusest väljub see toru otsast pideva voona.

Neon-heeliumlaseris on õnnestunud saada viie erineva pikkusega valguslaineid, kuigi kõik nad tekivad neooniaatomi üleminekul neljandalt nivooilt kolmandale. Sellise mitmekesisuse põhjus on selles, et need mõlemad nivood koosnevad üksikutest alanivoodest: neljandal on neid neli, kolmandal kümme. Seepärast on võimalikud erinevad üleminekute kombinatsioonid, millest igaühele vastab oma lainepikkus. Kõige intensiivsemaks osutus kiirgus lainepikkusega 1,153 mikronit. See infrapunane kiirgus tekkis neooniaatomi üleminekul ülemise korruse teiselt alanivooilt alumise korruse neljandale alanivoole.

Nagu te näete, erineb füüsikaline protsess gaaslaseris tunduvalt protsessist rubiinlaseris. Siin mõjuvad üksteisele kahe erineva gaasi aatomid. Ja pumpamist ei teostata mitte valgusega, vaid elektrivälja jõududega.

Javani laser lõi nähtamatu infrapunase kiirguse voo. Hiljem õnnestus valmistada nähtavat punast valgust kiirgav neon-heeliumlaser. Lahendust hoiti selles mitte vahelduva, vaid 1700-voldise alalispingega.

Heelium ja neon pole ainukesed gaaslaserite torude elanikud. Indutseeritud infrapunast kiirgust on saadud argooni ja hapniku, neooni ja hapniku, krüptooni ja elavhõbedaaaurude segudes toimuval lahendusel. Kõigi nende esimeste täielikult plasmal töötavate laserite kiirte võimsus on esialgu vaid vati sajandikud ja tuhandikud osad. Kuid neil on terve rida väärtusi, mis võimaldasid professor V. A. Fabrikantil öelda:

«Ma loodan, et lähemal ajal astuvad gaasvõimendid esikohale valguse kvantvõimendite peres. Miks ma nii arvan?»

Esiteks tekivad kristallgeneraatorites raskused soojuse ärajuhtimisega. Kuumeneb ju generaator töö juures, järelkult on seda vaja jahutada. Kristalli seinte jahutamisel tekib selle sees järsk temperatuurimuutuse piirkond, mis võib kristalli purustada. Gaasgeneraatorid aga ei karda suurt temperatuuride vahet. On vaja alla kriipsutada, et mõned kristallid töötavad vaid absoluutse nulli lähedasel temperatuuril.

Teiseks võib gaaslasereid ehitada praktiliselt suvaliste mõõtmetega, kristallgeneraatori suuruse aga määravad kristalli mõõtmed.

Lõpuks, ja see on peamine, kiirguse monokromaatsuse poolest jäävad gaaslaserid alati esikohale.»

Oma väiteid kinnitas professor konkreetsete arvudega. Ta osutas muuseas sellele, et gaasgeneraatori poolt kiiratud sageduste kõrvalekalle on üks kümnemiljardik osa põhisageduse suuruselt. Sellist kitsast sagedustevahemikku pole võimalik mõõta tavaliste optiliste meetoditega, selleks on vaja erilisi ja küllalt keerukaid meetodeid.

Rääkides gaaslaserite eelistest, ei tahtnud professor muidugi halvustada kristall-lasereid. Täna ja eriti homme on inimestele vaja nii neid kui ka teisi. Neid on vaja kõikjal, aga kus nimelt, sellest püüan ma rääkida pärast seda, kui te olete tutvunud kogu laserite perekonnaga.

## LASERITE PEREKOND KASVAB

Niisiis tutvusime selliste laserite ehituse ja tööprintsiibiga, mille aluseks on rubiin ja gaas ning milles indutseeritud kiirgust saadakse neoni ja heeliumi segus. Nende ilmumine tiivustas teadlasi otsima uusi taolist efekti andvaid aktiivseid keskkondi. Otsingud andsid väga huvitavaid tulemusi.

Trükkis ilmus teade laseri loomisest, mille kiirgav varras on tehtud kolmevalentseid uraani ioone sisaldavatest kalsiumfluoriidi kristallidest.\* See laser võib töötada temperatuuridel kuni 7° C. Seejuures peab varda iga ruutsentimeeter saama pumpamisel vähemalt 10—50 vatti valgusvõimsust.

---

\* Sellise laseri ehtasid esmakordselt ameerika teadlased P. P. Sorokin ja M. I. Stevenson 1960. a. (*Tõlk.*)

Samuti on loodud laserid, milles kasutatakse uraani-lisandiga baariumfluoriidi kristalle. Need kiirgavad nähtamatut infrapunast valgust lainel 2,56 mikronit. Samas diapsoonis töötavad laserid, mille vardad koosnevad kaltsiumvolframaadist neodüümi või tulliumi ja holmiumi lisandiga. Lähetuse ellu on saanud ka paljud teised elemendid haruldaste muldade hulgast, näiteks kaltsiumfluoriidi kristallidesse suletud samaarium. Sellised laserid võivad töötada vaid väga madalatel temperatuuridel, niisugustel, mille juures vesinik ja heelium veelduvad.

Enamiku ülalloeletud laserite iseloomulikuks omaduseks on see, et kiirgamise puhul ei toimu neil ergastatud aatomite üleminek põhiseisundisse, vaid mingile vahepealsele nivoole. Nende nivooode asustus on madalatel temperatuuridel väike, seepärast tuleb laserite vardaid eelnevalt jahutada.

On ilmunud ka laserid, milles aktiivseks keskkonnaks on ... klaas.\* Kõige sobivamaks osutus baariumklaas, millele on lisatud kolmevalentseid neodüümi ioone. Laser, millest ma räägin, loob indutseeritud kiirgust lainepikkusel 1,06 mikronit. Tema klaasvardad on küllalt peenikesed, kuna pumpamisvalgus ei suuda tungida sügavale sellisesse klaasi.

On avaldatud teade klaaslaseri väljatöötamisest, mille kiirgusenergia on 100 džauli. Sellise laseri varraste pikkus on peaaegu pool meetrit, diameeter veidi üle poole sentimeetri. Pumpamist teostatakse selles sirge sähvatuslambiga, mis on paigutatud paralleelselt klaasvardaga.

Teadlased otsivad sobivaid aktiivseid keskkondi ka orgaaniliste ainete maailmast. Nii näiteks on õnnestunud saada miinus 196 kraadini jahutatud bensofenooli molekulide indutseeritud kiirgust. Otsingud jätkuvad.

Ülalpool juba meenutati, et gaaslaserite aluseks võib olla mitte ainult heeliumi ja neooni segu.

Huvitavad on argooni või neooni ja hapniku seguga gaaslaserid. Neis toimub algul inertse gaasi, näiteks argooni aatomite ergastamine. Need ergastatud aatomid põrkavad kokku kahest aatomist koosnevate hapniku molekulidega. Ergastatud argooniaatomite löökide all toimub hapniku molekulide lagunemine, dissotsieerumine. Ühtse molekuli asemel saadakse kaks üksikut aatomit, kusjuures

\* Klaaslaseri ehitas 1961. a. ameeriklane E. Snitzer. (Tõlk.)

üks neist on ergastatud seisundis. Energiat ära andes kiirgavad hapnikuaatomid valgust lainel 0,8446 mikronit. Kiirguse võimsus on kahe millivati ümber. On välja töötatud ka krüptooni ja elavhõbedaurude seguga töötav laser, mis kiirgab kuuemikronise lainepikkusega valgust.

Hiljuti ilmus teade puhaste inertsete gaasidega, aga mitte gaaside seguga töötavate laserite katsetamisest. Nendes laserites kasutati heeliumi, neooni, argooni, krüptooni ja ksenooni. Õnnestus saada 14 erineva lainepikkusega kiirgust.

1962. a. loodi laser, milles kiirgavaks keskkonnaks oli vedelik. Sellises laseris on aktiivseks aineks erilises orgaanilises vedelikus lahustatud terbiumi ühend. Pumbatakse neis ultravioletse valgusega, s. o. samuti nagu tahkel kehal ehitatud laserites. See laser töötab madalal temperatuuril, kiirates rohelises spektriosas. Indutseeritud kiirgust on saadud ka vedelikes, milles lisanditena on teisi haruldaste muldade elemente, nagu gadoliiniumi, neodüümi, samaariumi.

Vedeliklaserite loojad unistavad sellise laseri loomisest, mis ei vajaks pumpamist. Selles hakatakse kasutama kahe reageeriva vedeliku keemilist energiat. Kui see idee teostub, saavad teadlased väga kompaktsel töökindlal laseril. Siis võib lasereid hakata müüma vaatides!

Viimasel ajal on teadlaste ja inseneride tähelepanu hõivanud pooljuhtlaserid. Nende loomine oli uue suuna alguseks teaduses kvantgeneraatoritest.

1957. aastal tegi nõukogude füüsik N. G. Bassov esimesena ettepaneku kasutada pooljuhte aktiivse keskkonnana kvantgeneraatorites. Aasta pärast ilmus esialgsete uurimuste kokkuvõte. Selles olid ära märgitud edasise töö suunad. Töö autoreiks olid NSVL Teaduste Akadeemia P. N. Lebedevi nimelise Füüsika Instituudi töötajad N. G. Bassov, B. M. Vul ja J. M. Popov.

Et mõista, kuidas töötab pooljuhtlaser, tuleb peatuda nende ainete omadustel.

Kõige laiemalt on praegu levinud pooljuhid germaanium ja räni. Need Mendelejevi süsteemi järgi neljanda rühma elemendid kujutavad kristalle, mille aatomid ei hoiä oma väliselektrone väga kõvasti kinni. Piisab viimaste mõjustamisest soojuse või elektriväljaga, et mõned elektronid purustaksid sideme aatomiga ja saaksid vabaks. Pooljuhis

ilmuvad elektri edasikandjad, tema elektrijuhtivus suureneb.

Pooljuhi juhtivus võib olla kahesugune: elektron- või aukjuhtivus. Kui lisada näiteks germaaniumile üsna veidi viienda rühma elemente antimoni või arseeni, saame puhta elektronjuhtivusega pooljuhi. Väikseima välismõju korral ilmub temas suur hulk vabu elektrone. Nende elektronide liikumine elektriliste jõudude mõjul kujutabki endast voolu pooljuhis.

Kui samasse germaaniumi lisada indiumi või galliumi, s. o. kolmanda rühma elemente, siis saame puhta aukjuhtivusega pooljuhi. Selles pole vabu elektrone, mis ei kuuluks mingile aatomile. Kuid üksikud elektronid võivad oma «peremehe» maha jätta ja üle minna naaberaatomi võimu alla. Koht, mille varem täitis selline elektron, jäi tühjaks. Sellist puuduva elektroniga kohta nimetatakse «auguks». Siia võib «hüpata» teise naaberaatomi elektron. Ilmneb, et auk pooljuhis on võimeline liikuma, see on aga analoogiline positiivse laengu liikumisega. Ei tule mõelda, et augud on reaalsed positiivsed laengud, kuid elektronide-ülejoosikute käitumine on analoogiline positiivsete laengute liikumisega.

Nüüd, kui me oleme tutvunud pooljuhtidega, vaatleme nende aatomite energianivoosid. Nagu rubiin- ja gaaslaserteski on neil ka siin esmajärguline tähtsus.

Pooljuhi aatomid võivad nagu kroomiaatomid rubiin- vardaski omada täiesti kindlaid energianivoosid. Põhini-voole lähemal asub niinimetatud nivoode valents-tsoon. See on täidetud pooljuhi elektronidega isegi toatemperatuuril. Kui anda elektronidele täiendavat energiat, siis võivad nad valents-tsoonist üle minna juhtivustsooni. Loomulikult võivad elektronid sellest tsoonist ka allapoole libiseda, vabadele kohtadele valents-tsoonis. Sellisel üleminekul annavad nad energia ülejäägi ära valguskvandi kujul.

Ülesanne seisab selles, et ülemises, juhtivustsoonis oleks rohkem elektrone. Selle täitmine lihtsustub, kui pooljuht on jahutatud. Seega on jahutamine pooljuhtvalgusgeneraatorite töötamise üheks põhitingimuseks.

Elektronide paiskamine valents-tsoonist juhtivustsooni võib toimuda mitmel teel. Üks neist on pooljuhi mõjutamine elektrilise pingimpulsiga. Elektrilöögist «piitsutatud» elektronid omandavad suure kiiruse, aga järelikult ka energia. Nende energia osutub tunduvalt suuremaks vajalikuks.

Seepärast on vaja mõningat aega, et elektronid veidi «jah- tuksid», annaksid liigse energia pooljuhi aatomite tuuma- dele ja oleksid üsna juhtivustsooni piiril.

Muidugi võivad elektronid kohe libiseda valents-tsooni. Siis ei saada vajalikku efekti, pooljuht ei hakka genereer- ima. Seepärast tuleb toimida selliselt, et elektronide «jah- tumise» aeg oleks väiksem nende valents-tsooni libisemise ajast. See ongi generaatori töötamise teine vajalik tingi- mus.

Nagu näeme, meenutab meie poolt vaadeldud protsess tunduval määral seda, mis toimub pumpamisel rubiinla- seri sisemuses.

On kindlaks tehtud, et elektronide üleminekul juhtivus- tsoonist valents-tsooni toimub mitte ainult valguse kiirga- mine, vaid ka kristallvõre aatomituumade «kiigutamine». Tuumad hakkavad võnkuma. Pooljuhid, millel esineb see efekt, hakkavad meelsamini genereerima, kuna selleks pole juhtivustsooni nivoosid tingimata vaja tihedalt asustada.

1961. aastal tõestas rühm teadlasi N. G. Bassovi juhen- damisel, et pooljuhtkiirgajat võib ergutada alalisvooluga. Selleks on vaja pooljuhti, mille ühel osal on elektron-, teisel aga aukjuhtivus. Esimese pooljuhi juhtivustsoonis peab olema väga suur arv elektrone. Niisama suur peab olema aukude arv teise pooljuhi valents-tsoonis. Selle pooljuhi jaoks on valents-tsoon sama mis juhtivustsoon esimese jaoks. Kui ülaltoodud tingimus täitmata jätta, siis ei saada genereerimisrežiimi, kuna valguse neeldumine on kiirguse suhtes ülekaalus.

Pooljuhid, millest praegu jutustati, said kõdunud pool- juhtide nimetuse.

Pooljuhtlaseris on omavahel ühendatud kaks kõdunud pooljuhti, üks elektron-, teine aukjuhtivusega. Nende kokku- puutepiiril tekib niinimetatud üleminekukiht, mille paksus on mõnikümmend mikronit. Selles sünnibki laseri kiirgus.

Laser lülitatakse alalisvooluallika külge, kusjuures selle allika pluss ühendatakse aukjuhtivusega, miinus aga elekt- ronjuhtivusega pooljuhiga. Selline lülitus sunnib elektrone ja auke liikuma üksteisele vastu. Üleminekukihis nad re- kombineeruvad, s. o. ühinevad taas üksteisega. Selle prot- sessiga kaasneb indutseeritud kiirguse väljastamine. See tungib välja läbi pooljuhi poleeritud tahkude. Need poleer- itud tahud täidavad peeglite osa, olles samuti vajalikud laseri tööks.

Ülalkirjeldatud tüüpi pooljuhtlaser töötab galliumarse-  
niidil.

Esimesed praktiliselt töötavad pooljuhtlaserid ilmusid 1962. aasta lõpus. Need ehitati NSVL Teaduste Akadeemia P. N. Lebedevi nimelises Füüsika Instituudis, Ameerika firma «General Electric» laboratooriumides ja teistes riikides. Pooljuhtkvantgeneraatori loomise eest anti rühmale teadlastele Lenini preemia. Need olid moskvalased — NSVL Teaduste Akadeemia kirjavahetaja liige B. M. Vul, füüsika-matemaatikakandidaadid O. N. Krohhiin, I. M. Popov, A. P. Šotov ja leningradlased — füüsika-matemaatikadoktorid D. N. Nasledov ja S. N. Rõvkin ning A. A. Rogatšov ja B. V. Tsarenkov.

Mida uut toovad siis tehnikasse pooljuhtlaserid, mille loomist nii kõrgelt hinnati?

Kui juttu oli rubiinlaseritest, siis märgiti ühena nende olulistest puudustest väga väikest kasutegurit. Nende laserite loojad vaid unistavad selle viimisest kahe protsendini, esialgu on see aga ühe protsendi lähedal. Pooljuhtlaseritel pole seda puudust. Nendes muundub alalisvoolu energia vahetult valgusenergiaks peaaegu 100-protsendilise kasuteguriga.

Teine väärtus on nende miniatuursus. Pooljuhtlaserite mõõtmed on võrdsed millimeetri osadega. Neid ei saa võrrelda mitte mingisuguste teiste laseritega. Ja seal, kus väikesesse ruumalasse on vaja paigutada suurt arvu elemente, on seda tüüpi laserid asendamatud.

Lõpuks on seoses pooljuhtlaserite loomisega vaja osutada veel ühele võimalusele. Ma pean silmas energia ülekannet kauguste taha.

Kujutlege endale elektriijaama, mille energia siinsamas kõrval muundatakse pooljuhtlaserite poolt valguseks. Mee-nutan, et see muundamine toimub peaaegu kadudeta. Vastuvõtukohal muundatakse valgus uuesti elektrienergiaks, mida kulutavad tarbijad. Selline viis on eriti kasulik kosmoses, kus pole kadusid hajumisele atmosfääris.

Pooljuhtlaserid on praegu alles väikelapseas. Kuid neile on kindlustatud pikk eluiga. Füüsikud püüavad leida uusi saladusi, avastada pooljuhtide kui laserite aktiivse keskkonna uusi võimalusi. Need võimalused on aga väga suured. Selle kinnituseks on veel ühe pooljuhtkvantgeneraatori loomine 1964. aasta algul.

NSVL TA P. N. Lebedevi nimelises Füüsika Instituudis

ehitati N. G. Bassovi juhendamisel laser, milles pooljuhtkristalli pommitati kiirete elektronide vooga. Kristallis tekisid elektronid juhtivustsoonis ja augud valents-tsoonis. Elektronid ja augud rekombineerusid, luues intensiivse optilise kiirguse. Uus laser võimaldab edaspidi suurendada kvantgeneraatorite rakenduste arvu teaduses ja tehnikas.

Kas pooljuhtlaserid suruvad oma kaasvennad — rubiin- ja gaaslaserid välja?

Et vastata sellele küsimusele, vaatame algul, milline on pooljuhtlaserite indutseeritud kiirgus.

Enamik praegu teadaolevaid pooljuhtlasereid loob infrapunast kiirgust. Nii on galliumarseniidlaseri kiirguse maksimum lainel 0,83 mikronit. Tõsi küll, kui kristall teha galliumarseniidi ja galliumfosfiidi segust, siis võib kiirgust saada ka punases spektriosas.

Praegu otsitakse intensiivselt uusi pooljuhte, mis annaksid sinist, kollast ja rohelist kiirgust. Seega ei jää pooljuhtlaserid väljastatavate valguslainete mitmekesisuse poolest alla teistele laseritüüpidele.

Kuid nad jäävad maha mõnede väga tähtsate parameetrite poolest. Üks neist parameetritest on kiire laienemine. Rubiinlaserite juures moodustab see kõigest mõne nurgaminuti, pooljuhtlaserite juures samal ajal aga terveid kraade. Kiir saadakse siin vähem terav ja vähem paralleelne. Teine parameeter on kiirguse monokromaatsus. Eespool juba märgiti, et selle parameetri järgi on esikoht gaaslaserite käes. Pooljuhtlaserid ei anna sellist ühetaolist kiirgust, nende kiirgus haarab enda alla laiema spektrilõigu.

Arvestades seda, arvab enamik spetsialiste, et pooljuhtlaserid ei suru oma eelkäijaid välja, vaid täiendavad nende perekonda, laiendades kvantgeneraatorite rakendamisvõimalusi.

## TÄNA JA HOMME

Kui ma mõtisklesin, kuidas hakata lõpetama jutustust laseritest, meenus mulle üks juhus tehnika ajaloost.

1848. aastal leiutati küllalt lihtne instrument — mikromeeter, millega oli võimalik mõõta esemeid täpsusega kuni 0,01 millimeetrit ehk 10 mikronit. Kuid nõudmist selle instrumenti järele polnud veerand sajandi jooksul. Kogu asi on selles, et mikromeeter ilmus liiga vara. Sel ajal mõõdeti

detaili mündi või isegi sõrme paksuse täpsusega. Sajandiku millimeetri täpsusega töötavaid tööpinke polnud olemas. Nii eksisteeriski mikromeeter kasutult, kuni tehnika jõudis tema tasemele.

Laserit selline saatus ei ähvarda. Ta on vajalik täna, nüüdsama ja kõigile.

Füüsika käsutuses on palju vahendeid plasmaosakeste kaoses orienteerumiseks. Laser on neist uusim. Ja kuigi praegu on tema abil tehtavate tööde arv väike, ei pruugi kahelda, et tulevikus muutub laser asendamatuks aparaadiks, selliseks, nagu praegu on ostsillograaf, lampvoltmeeter, spektrograaf.

Elektrilahenduse plasmas on olemas mitmesuguseid osakesi: elektrone, positiivseid ioone, neutraalseid ja ergastatud aatomeid. Kõik nad esinevad erinevates vahekordades ja liiguvad erinevate kiirustega.

Väga tähtis on teada näiteks elektronide kontsentratsiooni plasmas. Kui lasta läbi elektronide pilve valguskiired, siis elektronid hajutavad neid. Mida rohkem jääb nende teele elektrone, seda tugevam on elektromagnetiliste lainete hajutamine. Elektronide kontsentratsiooni õpiti määrata juba küllaltki ammu, sondeerides plasmat raadiolainete kimbuga. Kuid mõned lahenduseliigid, kus on liiga palju elektrone, ei allu sellisele kontrollimisele, sest plasma nagu metallgi ei lase raadiolaineid läbi. Teine asi on laserikiir. Sellega relvastatuna võib määrata elektronide kontsentratsiooni võimsates elektrikaartes, plasmatronide jugades, termotuumaplasmas jne.

Osakeste temperatuuri teadmine tähendab nende kiiruste teadmist. Plasmaosakesed, nagu te teate, ei oma ühesugust temperatuuri. Laserikiir võimaldab seda täpselt kindlaks määrata.

Selleks võib kasutada Doppleri-Fizeau' efekti. Igaüks on oma elus sellega kohtunud. Läheneva veduri terav vile muutub madalamaks momendil, mil vedur meist mööda kihutab. Liikuv keha nagu muudaks võnkumise sagedust. Kui keha läheneb, näib sagedus kõrgemana, kui ta kaugeneb, siis madalamana.

Laserid loovad rangelt püsiva sagedusega elektromagnetilisi laineid. Kui need lained kohtuvad liikuvate plasmaosakestega, siis näib peegeldunud lainete sagedus suuremana või väiksemana. Mida kiiremini liigub osake, seda tugevam on sageduse muutus. Nende muutuste järgi võibki

otsustada osakeste kiiruse, aga tähendab ka nende temperatuuri üle.

Mõnele näivad siin esiletoodud ülesanded väikeste ja tähtsusetutena. Kuid see pole nii. Kaasaegses teaduses käib pidev üha uute ja uute mikromaailma puudutatavate andmete kogumise protsess. Sajad ja tuhanded teaduse töömeeste uurivad silmad vaatavad iga päev ostsillograafide ekraanidele, tundlike riistade skaaladele, spektrite fotodele. Kui mitte täna, siis homme kannab see töö vilja, viib põhimõtteliselt uute aparatuuride, masinate, materjalide loomisele.

Laseri kui teaduse instrumendi omaksvõtmine alles algab. Samaaegselt muutub ta tehnika tööriistaks.

Pole vaja olla spetsialist, et mõista, kui raske on teha avaust kõige kõvematesse maapealsetesse mineraalidesse — teemanti ja korundi. Laserikiir teeb selle töö miljondiku sekundi jooksul. Insenerid mõtlevad juba praegu laserite kasutamisele kõige raskemini sulavate metallide lõikamiseks, sulatamiseks ja keevitamiseks. Juba eksisteerivad projektid, mille järgi lasereid hakatakse kasutama kosmolaevade ja nende aparatuuri õmblusekohtade kõrgetemperatuurilisteks katsetusteks, samuti aga termotuumatehnika katsetamiseks.

Ka kirurgid võtavad laseri oma relvastusse. Hiljuti viidi laseri abil läbi keeruline silmaoperatsioon. Laserikiir on peenim skalpell, millega kirurg võib teha selliseid operatsioone, millest varem tuli vaid unistada.

Laser on suurepäraseks vahendiks ka kirurgia instrumendide steriliseerimisel.

Üks kaasaegse füüsika kesksemaid ülesandeid on juhitava termotuumareaktsiooni teostamine. See on võimalik vaid sadade miljonite kraadideni kuumutatud plasmas. Hiljuti rõõmustas meid teade, et nõukogude füüsikuil on õnnestunud jõuda 40-miljoniliste temperatuuride piirini. Rünak jätkub. Selles võivad kasutamist leida ka laserid.

Vastavalt valitud laserikiire võib suunata plasmasse selliselt, et kiire energia hakkab neelduma plasmaosakestes, suurendades nende kiirust, aga järelikult ka temperatuuri. Siin pole midagi imestada, sest laserikiires on kolossaalne pingelangus — mitu kilovolti iga sentimeetri kohta.

Võttes mitu laserit ja fokuseerides nende kiired ühte punkti, loodavad teadlased plasmata kuumutada väga kõrgete temperatuurideni.

Praegu on laserid köitnud ülikiirete arvutusmasinate loojate tähelepanu. Olemasolevad masinad ei rahulda meid enam paljuski.

Millest sõltub elektronarvuti töökiirus? Signaalide ülekandmise kiirusest tema erinevate sõlmede vahel. Ülim kiirus looduses on valguse kiirus. Seepärast saavad kõige kiiretoimelisemateks optilised arvutusmasinad. Neid töötatakse välja juba praegu, kuid nende loomiseks on vaja lahendada veel palju probleeme.

Need masinad luuakse uue teadusharu — kiuoptika saavutuste põhjal. On selgunud, et valgus levib väga hästi piki mõne mikroni paksusi klaaskiude, tungimata seejuures väljapoole. Klaaskiud on valguse jaoks sama mis toru vee jaoks. Valgus antakse piki kiudu edasi paljukordse sisepeegelduse tulemusena.

Sekundi tühiseid osi elavad laserite valgusimpulsid antakse optilises arvutusmasinas piki kiude praktiliselt silmapilkselt edasi ühelt masina sõlmelt teisele, ja nad lubavad saavutada tohutut töökiirust, kuni 10 tuhat korda suuremat praegusest.

Väga kasulikeks osutuvad laserid ka keemikuile. Eriti sellised laserid, mis loovad infrapunaseid kiiri.

Ammu on märgatud, et need kiired mõjutavad tugevasti mõnede keemiliste reaktsioonide käiku. Tungides kiirega keemilisse reaktoris, võib kiirendada protsessi käiku või sundida seda kulgema vajalikus suunas.

Tõenäoliselt piiramatud on laserite perspektiivid sides.

Juba praegu sooritatakse laseritega katseid veealuse side alal. Nad tekitavad rohelist valgust, mis levib hästi vees. Seni on saadud kiirusimpulsi võimsuseks 10 kilovatti, kuid seda võib tõsta mitme miljoni vattini. See võimaldab palju kordi suurendada allveeside kaugust.

Muuseas, laser, millest ma räägin, pole ehitatud mitte rubiini-, vaid neodüümilisandiga klaasi alusel. Klaas on perspektiivne laserimaterjal, eriti sel juhul, kui on vaja saada suurt võimsust. Klaasvarda võib teha kiukujulisena ja kerida poolile. See kergendab pumpamist.

Ei pruugi kahelda selles, et veealusteks töödeks, samuti aga allveelaevadele ilmuvad efektiivsed klaaslaserid, mis kindlustavad usaldatava veealuse side.

Mitte vähem hinnaliseks muutuvad laserid ka maapealsetes sides. Valgusgeneraatorite kiired võivad asendada telefoni ja isegi raadiosaatjat.

Optilist telefoni on juba edukalt katsetatud. Kahe punkti vahel leviv kiir muutis jutuajamise puhul oma intensiivsust kõne taktis. Vastuvõtukohal muundas fotoelement koos võimendi ja valjuhääldiga need muutused uuesti helivõnkumisteks. Kui seada laserid üles mägede tippudesse või kõrgetele mastidele, võib side kaugus olla väga suur, kusjuures selline «valgusjuhtmega» ühendus on väga kindel.

Kaasaegse raadioringhäälingu diapasoonis ei jätku juba nüüd kohti uutele jaamadele. Kui ultralühilaineid mitte lugeda, võib sellesse ilma vastastikuste häireteta mahutada mitte üle 3500 jaama. Kui aga sidet pidada valgusgeneraatorite ja -võimendite abil, siis võib edasi anda üle 10 miljoni telefonikõne, ringhäälingu- ja televisiooniprogrammi. Tõsi küll, enne kui see saab reaalsuseks, tuleb lähendada valgussignaali moduleerimise äärmiselt raske ülesanne, mis on vajalik selleks, et sundida valguskiirt kõnet või kujutist vastuvõtijaamale edasi andma.

Laserivalgus levib sirgjooneliselt, seepärast tuleb kaugside jaoks ehitada vahepealsed vastuvõtu-saatepunktid, nii nagu seda praegu televisioonis tehakse. Et sageli hägune atmosfäär ei nõrgendaks valgussignaale, võib laserikiiri anda edasi piki torusid. Selliste sideliinide ehitamiskulud tasuvad end kiiresti. Seal, kus on vähe sademeid ja õhk on alati läbipaistev, lähevad laserite sideliinid läbi õhu ning on väga odavad.

Tehtud on ka esimesed edusammud laserite rakendamiseks raadiolokatsioonis ja raadionavigatsioonis. Valguslokaatorid on juba tõestanud oma eeliseid raadiolokaatoritega võrreldes. Nendega on võimalik objekti asukohta määrata väga suure täpsusega. Peale selle võimaldab valguskiir teravalt eristada kaht teineteisele lähedast eset ja isegi nende piirjooni välja joonistada. Üks sellistest valguslokaatoreist eristas 10 kilomeetri kauguselt kaht liikumatut objekti, mis olid üksteisest vaid 3 meetri kaugusel. Tavalise raadiolokaatori ekraanil sulavad nende esemete kujutised kokku üheks laiguks.

Millist tohutut tähtsust omab laserite selline terav nägemine laevade ja lennukite juhtimisel, eriti kaasaegsete kiiruste juures!

Laserid laiendavad veel ühe lokatsiooniliigi võimalusi.

Kujutlege lennukit või raketti meist kusagil tuhandete kilomeetrite taga õhku tõusvat. Nende mootorid kiirgavad palju soojust. Tähendab, nad on küllaltki võimsad infra-

punase kiirguse allikad. Selle valguse tabamine tähendaks raketi või lennuki avastamist.

Valguse gaasvõimendid lubavad seda ülesannet edukalt lahendada. Hiljuti loodi heeliumi ja ksenooni seguga valguse gaasvõimendi, mis võimendas vastuvõetud signaali 100 tuhat korda. See on võimendamise rekord.

Kristall- ja gaaslaserite abil muutub lähemal ajal reaalseks ka kosmiline side.

Nõukogude inimeste läbimurre kosmosesse tõstis päevakorrale kosmoselaevade sidevahendite täiustamise. Suurtel kaugustel upub kosmoselaeva raadiosignaal vastuvõtja sisemürade kaoses. Tuleb suurendada raadiosaatjate võimsust. Laserite abil teostataval sidel on terve rida eeliseid raadiosidega võrreldes.

Esiteks on laseril väga kõrge kiirguse suunatus tema enese väga väikeste mõõtmete juures. Seepärast on kiire jõudmiseks läbi õhuta kosmilise ruumi Maale tarvis tunduvalt väiksemat võimsust. Erinevalt laserikiirtest levivad raadiolained antenni juurest lehvikuna ja lõviosa nende energiast raisatakse tühjalt.

Peale selle ei vaja laser toitmiseks mingeid vooluallikaid. Pumpamiseks on vaja rohelist valgust, seda aga on kimpalju tahes päikesekiirguses. Fokuseerides päikesekiired nõguspeegli abil rubiinikristallile, võib läbi saada ilma igasuguse elektrilise pumpamislambita.

Aeg, mil kosmosesse tungivad laserite valguskiired, pole kaugel. Need kiired seovad kosmoselaevu kindlalt Maaga, annavad edasi kujutisi, kõnesid ja kõikvõimalikku teaduslikku informatsiooni.

On olemas ka hoopis julgeid projekte: kasutada laserikiirt lunoidide lennutrajektooride parandamiseks. Selles pole midagi ebareaalset, avaldab ju valgus rõhku. Ja kui Maalt laserikiirega «nõjatuda» lunoidile, siis nihutab võimas valgusvoog selle Maast kaugemale.

Tõsi küll, on ka teistsuguse iseloomuga projekte. Vaevalt jõudis laser ilmuda, kui ameerika sõjaväeline kildkond hakkas sellest juba kisendama kui uuest relvaliigist. Surmakiired! Sellist osa kavatsevad nad sellele imetlusväärsele riistale peale sundida.

Muidugi, laser leiab sõjatehnikas rakendamist. Kuid rahvaste palge ees «uue relvaga» vehklemine, olgu see vesinikupomm või laser, võib agressoritele kurvalt lõppeda.

Seoses sellega tahaksin pöörduda Aleksei Tolstoi ro-

maani juurde. Avantürist Pjotr Garin, teinud valmis oma hüperboloidi, pidas end üliinimeseks ja otsustas maailma rahvad põlvili suruda. On teada, millega see lõppes. Kirjanik jutustab avantüristi krahhist väga veenvalt. Taoline krahh ootab kõiki, kes püüavad oma tahet relva jõuga rahvastele peale sundida.

## PLASMA TEISED «ELUKUTSED»

Jutustuse plasmast, mis on läbi teinud võidukäigu sädemest laserini, võiks lõpetada, kui plasma teeniks inimest vaid valgusallikana. Ja kuigi tema «tegevuse» see külg moodustab raamatu peamise sisu, tuleks siiski rääkida ka plasma teistest, «valgusega mitteseotud» elukutsetest. See lubab minu arvates paremini selgitada, kui võrd suured, kui võrd ammendamatud on neljanda «stiihia» võimalused.

Elektrilahendus, milles tekib plasma, on, nagu te veendusite, keeruline füüsikaline nähtus. Valgusallikaid loovad spetsialistid õpivad hoolikalt tundma plasma kiirguse rikkusi, püüdes vähima energiakuluga saada rohkem vajalikku «sorti» footoneid. Plasma valgus on neile põhiline töömaterjal.

Kuid on palju teadlasi, keda huvitavad plasma keerulise elu teised küljed. Selle tulemusena ilmuvad plasma uued praktilised rakendused, seejuures niisugused, millela pole tänapäeva tehnikat võimalik ette kujutada.

Siin on toodud mõned neist rakendustest.

## SÄDE TÖÖTAMAS

Meie maa ettevõtetes töötab tuhandeid trei-, puur- ja freespinke. Nende jaoks on vaja terveid mägesid lõiketeri, puure ja freese, sest kui vastupidav tööriist ka poleks, kuluks ta ja vajab väljavahetamist. Lõikamisinstrumendi küsimus muutus eriti teravaks siis, kui ilmusid väga kõvad sulamid.

Ja siin tuli teadlastele appi plasma. See juhtus nii.

Noored insenerid, abielupaar B. R. ja N. I. Lazarenkod uurisid elektrisädemete mõju kontaktide elueale. Asi on selles, et igal voolu sisse- või väljalülitamisel purevad kontaktide pinda nende vahel hüplevad sädemed. Looduses

pole sellist materjali, mis suudaks sädemete survele vastu panna. Uurijate ülesanne seisis selles, et leida kontaktide kulumist vähendavaid vahendeid.

Insenerid paigutasid kontaktid, mille vahel heitlesid sädemed, vedelasse tehnilisse õlisse ja avastasid, et viimane muutub järk-järgult hägusemaks. Hägu ilmus ka puhtas vees. Kui lähedusse paigutati magnet, siis tõmbus häöpilv selle poole. Oli selge, et vees hõljusid raudkontaktide pinnalt sädeme jõuga väljarebitud killukesed.

Insenerid otsustasid seda nähtust kasutada ja konstrueerida «sädemeveski», mis hakkaks tootma metallipulbrit. Selliseid pulbreid vajatakse terves reas tööstusharudes.

Lazarenkode seadeldises paigutati metallplaat õlivanni ja ühendati vooluallika positiivse klemmiga. Plaadi kohal hüples väsimatult negatiivse klemmiga ühendatud raudvardake. Säde läbilöögi puhul katoodiks olev metallplaadike lagunes, anoodiks olev raudvardake jäi aga täiesti terveks.

Kui elektroodid pärast esimest katsetamist vannist välja võeti, siis selgus, et metallplaadis oli tekkinud avaus, mille piirjooned kordasid täpselt kuueta hulise varda kuju. Leiutajad mõistsid, et nende ees pole mitte seade metallipulbri tootmiseks, vaid metallitöötlemispink, milles elekter mõjub vahetult detailile.

Nii tekkis metallide töötlemine elektrisädeme abil. Praegu kasutatakse seda kõikjal, kuna, kordan, pole sellist metalli või sulamit, mis peaks vastu sädemete survele. Elektrisädemete abil töötavad seadmed osutusid võimelisteks tegema väga keerulist tööd, olles ehituselt väga lihtsad. Kui varem tehti keerulise kujuga detaile, avausi või süvendeid kätsi, siis nüüd valmistavad uued tööpingid neid ise, ilma inimese vahelesegamiseta. Sädemete lehviku abil võib lõigata ülitugevaid sulameid, teritada tööriistu, lihvida detailide pindu.

Huvitav on sädemete kasutamine tavaliste lõikeinstrumentide — puuride, keermepuuride, freeside ja lõiketerade tugevdamiseks. Kui oskuslikult instrumenti ka ei karasta, nürineb ta lõppude lõpuks ikkagi. Kuid lõiketera või puuri eluiga võib pikendada, kui lõikepinda töödelda sädemetega. Seda tehakse nii. Lõiketera ühendatakse alaldi miinusega, pluss aga lülitatakse väikese kõvasulamist plaadi külge. See istub vibraatoripesas ja hüpleb pidevalt tera kohal. Vibreeriv plaadike kord suleb, kord avab elektriahela, see-

juures sünnivad pisitillukesed, vaevalt märgatavad sädemekesed. Nemat teevadki kasulikku tööd.

Eespool ma juba rääkisin, et sädemeplasma tõuseb temperatuur kuni kümne tuhande kraadini, seepärast kuumutavad sädemehammustused tera 4—5 tuhande kraadini. Mitte kogu tera, vaid tühise suurusega pinnalapikest. Ja kuigi see temperatuur püsib ainult miljondikke sekundeid, piisab sellest, et metalli karastada.

Kuid see pole kõik. Säde läbilöögil pudenevad positiivse elektroodi küljest pisimad metallitükikesed. Meie aparaadis, tugevdajas, on selliseks elektroodiks vibraatorisse paigutatud rasketisulavast metallist plaat. Tema «killud» imevad end lõiketera pinda ja jäävad sellesse pidama. Instrument muutub veelgi vastupidavamaks. See tugevdamise meetod on väga ökonoomne: 1000 ruutsentimeetri töötlemiseks vajatakse niisama palju energiat, kui palju kulutab 40-vatine lamp tunnis. Kuid kasu sellisest tööstusest on tohutu. Samuti pikeneb tunduvalt puuride, meislite, freeside, telgede, betoonisegajate labade ja teiste detailide tööstaž.

Kuid elektrisädele, sellele pisitillukesele plasmaportsjonile on jõukohane ka raskem töö.

Palju aastaid tagasi tegi Leningradi üliõpilane L. A. Jutkin sellise katse. Ta asetaski veega täidetud taldriku põhjale kaks elektroodi ja sundis nende vahelt läbi hüppava võimsa säde. Taldrik purunes kildudeks. Teadmishimuline üliõpilane jätkas selle nähtuse uurimist ja inseeeriks saades asutas spetsiaalse laboratooriumi.

Eespool juba jutustati, kuidas vedelikus elektroodide vahel hüppavate sädemete lehviku abil võib «puurida» detailidesse avausi. Kui aga säde teha väga kiireks, lühiajaliseks, teda sünnitav allikas aga varustada küllaldase võimsusega, siis tekivad vedelikus uued ebatavalised nähtused.

Kui vedelikku mõjutatakse mehhaaniliselt hästi kiiresti, siis on ta väga elastne. Temas hüppav säde rajab silmapilkselt endale tee, ajades laiali vedelikukihhi ja moodustades õõnsuse. See õõnsus lahmatas otsekohe kinni, naaberkihtides aga tekivad uued väiksemate mõõtmetega õõnsused, mis vajuvad samuti silmapilkselt kinni. Vees tekivad kolossaalsed rõhud, mis antakse ühelt vedelikukihilt teisele edasi kiirusega poolteist kilomeetrit sekundis. Need rõhud osutavadki vette asetatud esemetele mehhaanilist mõju. Tohutu maakivi laguneb üksikuteks tükkideks, kui tema

südamikus toimub lahendus. Elektrienergia läheb seejuures vahetult üle mehhaaniliseks tööks.

Avastatud nähtuse nimetas L. A. Jutkin elektrohüdrauliliseks efektiks. Praegu on see aluseks suurele arvule väga kasulikele masinatele.

Meie ees on kivipurustaja. Selles pole pöörlevaid osasid. Koos veega antakse temasse pidevalt kivitükke. Kivipurustaja keskel on anood, tema põhi aga on katoodiks. Veealused välgud tekivad anoodil ja lähevad katoodile. Nende välkude harud kohtuvad kõige suuremate kivitükkidega ja purustavad neid: märklaud «valitakse» automaatselt. Seadme põhja on tehtud avaused, millest väljuvad koos veega väikesed peenestatud kivimitükid. Ühe tunni jooksul võib kivipurustaja töödelda 20 tonni kive.

Raske on loetleda kõiki «veealuse äikese» rakendusi. Tema abil saadakse näiteks edukalt kõikvõimalikke emulsioone, kolloidlahuseid ja peenimaid pulbreid, puhastatakse metallivalu vormimullast, lõhatakse rändrahne ja tihendatakse maapinda hoonete ehitustel. Elektrohüdraulilist efekti kasutatakse edukalt rasvakerakeste peenestamiseks piimas. Veealuste sädemete läbilöögil tekivad vedelikus väga laia lainetediapasooniga mehhaanilised võnkumised infrahelisagedustest ultrahelini ja isegi röntgenisagedusteni. Neid laineid võib edukalt kasutada vedelike desinfitseerimiseks.

Elektrohüdraulilisele efektile kaasnevate nähtuste tundmaõppimine näitas, et lahenduse tsoonis lagunevad keemiliselt koosseisult keerulised ained lihtsateks komponentideks. Teadlased mõtlevad juba sellest, kuidas kasutada seda nähtust põllumajanduses. Võib kujutleda agregaati, mis liigub mööda põldu, haarab mulda ja pritsib selle juba ümbertöötatud kujul laiali. Sädemetega töötlemine muutis pinnases leiduvad keemilised ained taimede omandamiseks kõlblikeks.

Või kütuseta auto. Võimas akumulaator sünnitab veega täidetud silindrites sädemeid. Sädemete jõud tõukab kolbe ja auto hakkab liikuma. On tehtud edukaid katseid maisiseemnete töötlemiseks elektrohüdraulilise efekti seadeldises. Võrreldes kontrollseemnetega idanesid need varem ja andsid paremat saaki.

L. A. Jutkini laboratooriumis on vihik, millesse külastajad kannavad oma muljeid nähtust. Selles on palju sissekandeid.

Suured teadlased, näiteks akadeemik I. I. Artobolevski ja teised hindavad väga kõrgelt laboratooriumi töötulemusi ja elektrohüdraulilise efekti rakendamisperspektiivi rahvamajanduses.

Tasub rääkida veel ühest, mitte päris tavalisest elektrisädeme rakendusvõimalusest.

1961. aastal patenteeriti Inglismaal «sädemepumbaks» nimetatud leiutis. Kummaline nimetus, eks ju?

Kõne all olev aparaat on ehitatud lihtsalt: kahe plastmassist plaadi vahele on surutud tükk kunstlikku keraamilist materjali. Selle juurest, plastmassi alt on välja viidud kaks metallvuntsikest — elektroodi. Vuntsikeste otsad on lähendatud, kuid nad ei puutu kokku. Maksab vaid «pump» kätte võtta ja teda pigistada, kui vuntsikeste vahelt hüppab särinal läbi säde. Uus kokkusurumine — sähvatab järgmine säde. Mõõtmised näitasid, et riistas sünnib elektrilähendus pingega kolmkümmend tuhat volti!

Selle leiutise aluseks olev füüsikaline nähtus avastati juba 1880. aastal. Kaks prantsuse teadlast, vennad Curie'd täheldasid, et kui suruda kokku kvartsikristalli, siis ilmuvad tema paralleelsetele tahkudele nagu nõiaväel vastasmärgilised elektrilaengud. Sellist füüsikalist nähtust hakati nimetama piesoelektriliseks efektiks. Peale kvartsi esineb seda veel vähemalt 1200 kristallil, millest kolmkümmet kasutatakse laialdaselt tehnikas.

Üks sellistest rakendustest on teada igale lugejale. See on elektrigrammofoni või radiola helipea. Kui helipea nõel liigub piki grammofoniplaadi vagu, võtab ta vastu nõrku tõukeid ja annab need edasi piesokristallile. Viimane muundab need tõuked elektrilisteks impulssideks, mida võimendatakse lamp- või pooljuhtvõimendis ja mis panevad helisema valjuhääldi.

Kuid helipea piesokristall tekitab liiga väikese pinge, millest ilmselt ei piisa sädemete saamiseks. «Sädemepumbas» on kasutatud erilist piesokristalli. See on tehismaterjal — seatina-titaan-tsirkooniumkeraamika. Tugeva surve all nagu moodustaksid keraamika koostisosad palju tuhandeid piesokristalle. Igaühel neist tekivad laengud, ja loodav efekt on sarnane sellega, mis tekib, kui lülitada järjestikku palju galvaani elemente. Üldine pinge tuleb väga suur, olles võimeline sünnitama sädemeid.

Kuidas «sädemepumpa» praktiliselt rakendada?

Säde on paljude tehnikas laialdaselt kasutatavate füüsilis-keemiliste protsesside eostaja. «Sädemepumpa» on juba proovitud autodes magneeto- või patareisüüte asemel.

Kuidas sünnib säde automootori silindrites, see on teada peaaegu igaühele. Mootori juurde paigutatakse induktor ehk süütepool. Sellel on akumulaatorilt toidetav madalpingemähis ja kõrgepingemähis, millel tekib süüteküünalde elektrootididele antav mitme tuhande voldine pinge. Mootori vältvõlli pöörlemisel pöörleb ka katkesti nukk, mis kord suleb, kord avab süütepooli madalpingemähise ahela. Vool selles mähises kord ilmub, kord kaob. Tähendab, ka magnetväli mähisekeerdude ümber kord kasvab maksimumini, kord väheneb nullini. Magnetjõujooned lõikavad seejuures teist, suure keerdude arvuga mähist, ja selle klemmidel tekib tuhandetesse voltidesse ulatuv pinge. Eriseade — jaotaja — annab selle järjekorras küünalde tsentraalelektrootididele, silindrites süttib bensiiniaurude ja õhu segu, ja tuliste gaaside elastsusjõud lükkab kolvi alla.

Nagu näeme, on meie autode süütesüsteem veel keeruline ja... ebakindel. Tasub vaid katkesti kontaktidel hapenduda, ära kõrbedada, akumulaatoripatareil tühjaks laaduda või tekkida ebakõla süütesüsteemi üksikute elementide vahel, kui säde kaob ja auto peatub.

«Sädemepumbad» võimaldavad kõiki neid ebamugavusi ja raskusi likvideerida. Eelmisest süsteemist jäävad vahest alles vaid nukkmehhanism ja jaotaja. Küünaldega kõrvuti paigutatud «sädemepumbad» saavad vajalikel momentidel tõukeid spetsiaalse võlli nukkidelt ning «väljastavad» kõrgepingeimpulsse, mis tekitavad mootori silindrites säde-meid. Peale konstruktsiooni silmanähtava lihtsuse on uuel süütesüsteemil ka teised eelised. Tema tööks pole vaja akumulaatoripatareid, peale selle töötab ta kindlalt ka kõige kõvema pakasega. Viimane asjaolu on eriti tähtis, kuna olemasolev süütesüsteem töötab kõige halvemini madalatel temperatuuridel, eriti külma mootori käivitamise momendil.

Töösegu süütamine automootoris pole «sädemepumba» ainus rakendamisvõimalus. Tema abil võib mehhaanilist energiat vahetult muuta elektrivooluks.

Kujutleme mingit mootorit, näiteks hüdroturbiini, mille võllile on paigutatud nukkmehhanism. Ümberringi asuvad «sädemepumbad». Mootori võll pöörleb ja vajutab oma

nukkidega «pumpadele». Vooluimpulsid suunduvad üksteise järel elektriahelasse, nende energiat kulutavad tarbijad.

Selle idee elluviimiseks on vaja ületada puhttehnilisi raskusi, põhimõtteliselt on piesoelektrijaam võimalik ja tingimata saabub aeg, millal see idee saab teoks.

«Sädemepump», uus viis sädemete saamiseks, avastati ainete piesoelektriliste omaduste sügava uurimise tulemusena. Tema avastamine oli seaduspärane. Selles kuuluvad silmapaistvad teened nõukogude teadlastele akadeemikutele I. V. Kurtšatovile, A. V. Šubnikovile, B. M. Vulile ja teistele. Viimaste aastakümnete jooksul on nende juhendamisel põhjalikult uuritud paljude uute üsna efektiivsete piesoelektrikute omadusi: nende hulka kuuluvad baariumtitaanaat, viinhapu kaalium, ammoniummonofosfaat jt.

Kuid ka endine, «vanaisadeaegne» sädemete tootmise viis on arengut jätkanud.

Raamatu algul ma rääkisin, kuidas doktor Wall sai hõõrutavast merevaigutükist elektrisädeme — esimese plasmaportsjoni teaduse ajaloos. Hõõrdumise tagajärjel saadud elektrit nimetatakse praegu triboelektriks. Näiteks muundub merevaigu hõõrumisel villaga mehhaaniline energia osaliselt elektriks, osaliselt aga kulutatakse merevaigu ja villa soojendamiseks. Meid huvitab esimene muundumine.

Mitmesuguste ainete pinnal on olemas vabu ehk juhtivuselektrone. Mingi keha hõõrumisel võivad nad sellest lahkuda, üle minna riidetükile, millega hõõrumist teostatakse. Või vastupidi, «kolida» riidetükilt üle hõõrutavale kehale. Negatiivne laeng, s. o. elektronide ülejääk tekib kokkupuutuvatest kehast sellel, millel on nõrgemini väljendunud dielektrilised omadused, mille dielektriline läbitavus on väiksem.\* Juba Faraday paigutas mõned materjalid sellisesse ritta: nahk, flanell, elevandiluu, suled, määkristall, flintklaas, siid, puu, metallid... Kui hõõruda ükskõik millist kaht nimetatud materjali teineteise vastu, osutub positiivselt laetuks see, mis on lähemal nimekirja algusele.

Paljud mõtlevad ebaõigesti, et triboelektrit kasutatakse praegu vaid koolide füüsikakabinetides elektrofoormasi-

---

\* Mingi aine dielektriline läbitavus ehk dielektriline konstant näitab, mitu korda vähendab see aine vaakuumiga võrreldes elektrilaengu vastastikust toimet. (Tõlk.)

nas. Ei, ta on vajalik ka tõsisemateks asjadeks, näiteks hiiglaslike tehisevõrkude tundmaõppimisel uurimislaboratooriumides. Et säde hüppaks mitmemeetrist vahemaad ületades ühelt keralt teisele, selleks on vaja miljonivoldist ja suuremat pinget. Seda loovad hõõrdumisprintsiiibil töötavad elektrostaatilised generaatorid. Üks sellistest tagasihoidlikest masinatest, mis on ehitatud Prantsusmaal, «ajab kokku» kolossaalse laengu, mis tekitab viieteistkümne miljoni voldise pinget! Sellistelt generaatoritelt saadud sädemed on vajalikud nii välgu loomuse edasiseks sügavamaks tundmaõppimiseks, nii termotuumareaktsioonide uurimiseks kui ka paljudeks teisteks juhtudeks.

## PLASMA KUUMUS

Mitte ühelgi maal pole sellist ehitustempot nagu meil. Uued elumajad, tehaste ja vabrikute korpused, uued linnad kerkivad nõukogude riigi kõikides nurkades. Tuhandeid uusi masinaid väljub tehasekonveiereilt. Aga ühtki hoonet, ühtki laeva, lennukit ega autot ei valmi keevitaja abita.

Mis on elektrikeevitus? See on inimese poolt alustatud kaarlahendus, plasma. Ainult et siin ei kasutata mitte plasma valgust, vaid tema soojust.

Nagu juba märgitud, avastas elektrikaare 1802. aastal akadeemik V. V. Petrov. Kaheksakümne aasta pärast kasutas vene insener N. N. Benardos esmakordselt süsielektroodi ja metalltoote vahelist kaart keevitamiseks.

Hiljem asendas leiutaja N. G. Slavjanov süsielektroodi metallilisega, mis jättis kaarleegis sulades järele ühtlase ühendusõmbluse. Seda meetodit kasutatakse praegu kogu maailmas.

Keevitusasjandus on hoogsalt arenenud. Eriti suure panuse on sellesse andnud Kiievi teadlased akadeemik B. J. Patoni juhendamisel. Nemad leiutasid aparaadid, mis keevitavad inimese vahelesegamiseta, automaatselt. Selliste masinate abil tehakse meie maal kuni 45 protsenti kõigi keevitustööde mahust.

Oleme masinaehitustehase tsehhis. Pikale lauale on laotud detailid, mida on vaja keevitada. Nende kohal liigub suurt trillpuuri meenutav keevitusautomaat. Kaarleeki pudeneb pulbrit — see on vahend, mis muudab keevi-

tuse paremaks ja õmbluse vastupidavamaks. Eriseade annab kaare piirkonda automaatselt traati; see on elektroodiks, mis sulades ühendab tugevasti detaile. Sulatusrežiimi hoitakse automaatselt. Kui õmblus pole veel valmis, automaat aga ruttas edasi, siis venib kaarleek välja, järelikult suureneb pingelang kaarel. Silmapilk vähendab automaati piki õmblust sõidutav mootor pöördeid. Kui õmblus täitub sulametalliga, siis kaar lüheneb ja automaat hakkab kiiremini liikuma.

Tänu professor K. K. Hrenovi ja teiste töödele õnnestub keevitada edukalt ka vee all. Elektroodide jaoks on loodud eriline raskeltsulav määre. Kaarleegis sulab see hiljem kui elektroodi metall. Seepärast on elektroodi otsas alati määrdetilk, mille ümber tekib gaasimull. Selle mulli sees põleb kaar normaalselt, ümbritsev vesi teda ei häiri.

Veealust keevitamist rakendatakse praegu edukalt laevakorpuste remontimisel, jõe- ja meresadamate ehitustel.

Kaareplasma on töökindel instrument mitte ainult detailide, torude, rööbaste jne. ühendamisel, vaid ka nende lõikamisel. Seejuures aitab kaart hapnik, mida antakse valge hõõgumiseni kuumutatud metalli juurde piki voolikut. Hapnik hapendab metalli kiiresti, kuid hapendid pole vastupidavad. Seepärast laguneb terasleht või toru samas kaheks osaks.

Kui gaasipõleti leegiga lõikamine on hea terase, raua, mangaani jaoks, siis elekrikaarega lõikamist kasutatakse edukalt ka malmi ja värviliste metallide puhul.

Elektrikaar on muutunud kohustuslikuks osavõtjaks kõrgekvaliteediliste teraste ja sulamite tootmisel. Neid toodetakse elektrikaarahjudes.

Sellise ahju ehitus pole keeruline. See on suur tulekindlast tellisest paak, millesse paigutatakse sulatatav metall. Kahelt küljelt väljuvad ahju seintest jämedad süsielektroodid. Nende vahel süttib palav kaarleek, mis kuumutab ja sulatab metalli.

Pronksi, vase ja inglistina sulami leiutasid inimesed varem kui raua. Praegu valmistatakse seda elektrikaarahjudes.

Kui asetada sellisesse ahju valmis malmi ja kuumutada seda, siis paranevad tema mehhaanilised omadused tunduvalt. Malm muutub vastupidavamaks.

Kaasaegne tehnika pole mõeldav legeritud terasteta. Väntvõlle, kolvisõrmi, kuullaagrite kuule ja rulle, lõike-

terasid ja tuhandeid teisi detaile tehakse terastest, millele on lisatud kroomi, niklit, volframit, vanaadiumi. Väntvõlle näiteks tehakse kroomnikkelterasest. Legeeritud terase koosseis peab olema täpselt välja peetud, muidu kannatab tema kvaliteet. Seda õnnestub saavutada, kui terast sulatada elektrihaarajudes, mis väldivad kõrvaliste lisandite sattumise terasesse ja kindlustavad vajaliku temperatuuri. Ilma kaareplasmata pole võimalik saada ka sellist laialt levinud metalli nagu alumiinium.

Alumiiniumitehases on põhisisseseadeks sulatusahjud. Iga ahju põhi on kaetud hea elektrijuhi — söega, mis antud juhul mängib katoodi osa. Põhja kohal ripuvad anoodiks olevad söevardad. Algul pannakse ahju krüoliiti. See on punakas naatriumi, alumiiniumi ja fluori sisaldav mineraal. Elektrivool lülitatakse sisse ja elektrootodide vahel süttib kaarleek. Krüoliit sulab üles. Nüüd lisatakse ahju alumiiniumhapendit, mis lahustub krüoliidis. Süsielektroodid lastakse sellesse sulasse massi ja ahjus algab uus protsess — elektrolüüs. Positiivsed alumiiniumi ioonid liiguvad katoodi — ahju põhja poole ja kogunevad sellele. Tuleb vaid avada kraan ja valgelt sätendav metall voolab ahjust välja.

Kaareplasma toimivate füüsikaliste protsesside ülihoolikas uurimine on võimaldanud viimastel aastatel luua veel ühe suurepärase aparadi, nn. plasmatroni.

Kujutlege tavalist kahe elektrootodiga lahenduskaamrit. Üks neist, söevarras, on ühendatud vooluallika plussiga, teine, söeplaat avausega keskel, aga on lülitatud miinuse külge. Nende elektrootodide vahel süttib kaarlahendus ja kambri avausest tormab välja oma teelt kõike minema pühkiv plasmajuga. Kirjeldatu seletub sellega, et plasmatron paiskab välja plasmata, mis on kuumutatud 10—15 tuhande kraadini, s. o. mitu korda kõrgemale tavalise kaare temperatuurist.

Sellist «tulist» plasmajuga õnnestus saada jahutaja kasutamiseks. Puutujat mööda tungib kambrisse joana inertne gaas või vesi, mis aurustudes jahutab mitte ainult kambri seinu, vaid ka plasmanööri väliskihete. Nendes kihetes väheneb ionide arv ja nad hakkavad halvemini voolu juhtima. Seepärast eelistab lahendusvool voolata peamiselt piki plasma tsentraalset, kuumemat osa. Plasmaosakeste vastastike põrgete sagedus, järelikult ka nööri keskosa temperatuur kasvab. Toimub niinimetatud plasma-nööri esimene termiline kokkutõmbumine.

Peenikeses nõoris liikuvaid laenguid võib vaadelda kui suurt hulka vooluga juhte. Kui aga selliseid juhte läbib vool ühes suunas, tõmbuvad nad üksteise poole. Tähendab, ka siin leiab aset nõori kokkutõmbumine. See teine terminiline kokkutõmbumine suurendab plasma temperatuuri veelgi.

Plasmatron on väga kasulik ja väga vajalik riist. Tema juba lõikab kergesti igat sulamit või metalli, isegi kõige kuumakindlamat, sulatab keraamikat, aurustab kõiki materjale. Viimane asjaolu võib leida rakendamist keemias. Suunates plasmajoa maagitükkidele, pole neist raske eraldada mingit haruldast metalli ja saada seda puhtal kujul. Kuna erinevate elementide aurustumine toimub erinevatel temperatuuridel, on kerge eraldada üht elementi teisest.

## PLASMA JA KEEMIA

Pole vajadust rääkida, lämmastikväetiste tähtsusest. Tänu neile saavad nurmed teise nooruse ja annavad kõrgeid saake. Teadlasi on ammu huvitanud õhulämmastiku sidumise probleem. Kuid tavalistes tingimustes on lämmastik väheaktiivne gaas, mida polegi nii lihtne hapnikuga siduda.

Appi tuli plasma. Juba 1875. aastal sai inglise teadlane Henry Cavendish lämmastikhapendeid sädemekaskaadide läbilaskmisel klaastorusse suletud õhust. Hiljem avastati lämmastiku sidumise kaarmenetlus, mis juba 1903. aastal sai tööstuslikuks. Meie sajandi 20-ndail aastail saadi kaareplasmas kümneid tuhandeid tonne lämmastikväetisi. Kuid hiljem töötati välja menetlus lämmastikhappe saamiseks ammoniaagist ja plasma muutus siin tarbetuks.

Ja ikkagi on elektrilahendus köitnud keemikute tähelepanu. Aastatepikkused uurimised on näidanud, et selles võib saada kõige mitmekesisemaid keemilisi ühendeid. Plasmaosakesed osutuvad keemiliselt väga aktiivseteks, neil on olemas keemilistesse reaktsioonidesse astumiseks vajalik energia. Selle tulemusena kulgeb terve rida reaktsioone plasmas hoopis kiiremini ja kergemini isegi tavalistest madalamatel temperatuuridel.

Meie ajal, kui lahendatakse kogu rahvamajanduse kemiseerimise hiiglaslikku ülesannet, püüavad teadlased üha püsivamalt rakendada plasmat keemia teenistusse.

Reas laboratooriumides töötatakse edukalt ökonoomsete menetluste loomisel õhulämmastiku sidumiseks ja lämmastikhappe saamiseks. Selle happe kontsentratsioon on tunduvalt suurem ammoniaakmenetlusel saavutatavast. Väga odavat elektrienergiat tootvad tohutu võimsusega kaasaegsed hüdroelektrijaamad töötavad väetiste tootmise plasmamenetlusele suurt tulevikku.

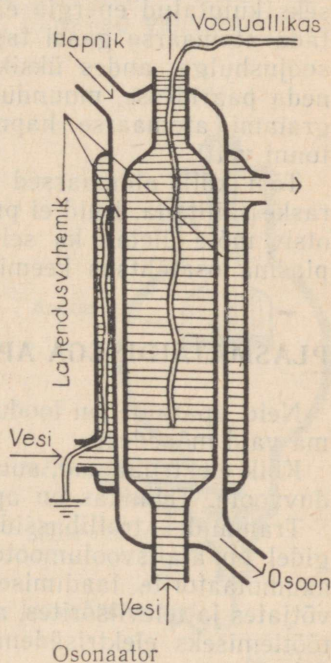
Kuid juba praegu on seadmeid ja isegi terveid keemiatehaseid, kus peaosaliseks on elektrilahendus. Ma pean silmas tehaseid, mis töötlevad looduslikku gaasi atsetüleeniks. Need on olemas Nõukogude Liidus, Rumeenia Sotsialistlikus Vabariigis ja teistes maades.

Kambrites, millest puhutakse läbi looduslikku gaasi metaani, süüdatakse kuni 1 meetri pikkune alalisvooluga toidetav võimas kaar. Lahenduses muundub see gaas atsetüleeniks, mis satub erikambrisse, kus teda jahutatakse.

Atsetüleen on keemiatööstuse tähtis produkt. Ta on peamiseks lähteaineks plastmasside, sünteetilise kautšuki, jne. tootmisel. Teda võib saada mitte ainult alalisvooluga toiditava kaare abil. Rumeenia akadeemikul Bedereul õnnestus metaani atsetüleeniks muundada kõrgsagedusvooluga toidetavas lahenduses. Ta lõi kõrgsageduslahenduse abil ka suurepärase omadustega polümeeri. See süsi-vesik ei karda happeid, kannatab välja 400-kraadist temperatuuri. Lisades seda plastmassidele, võib saada vilgukivist ja portselanist paremaid isolaatoreid.

Lõpuks tuleb peatuda elektrilahenduste osal osooni tootmises.

Osoon on hapnik, mille molekulid koosnevad mitte kahest, vaid kolmest aatomist. Esmaordselt avastati osoon 1758. aastal sädelahenduses. Sellel ainel on suurepäraseks hapenda-jaomadused. Osooniga töödel-



dud vesi on parem kui kloreeritud vesi, kuna ei teki eba-meeldivat kõrvalmaitset, mikroobid aga hukuvad. Osooni abil võib valgendada tselluloosi, saab töödelda vanu autokatteid, kiirendada kunstkiudude ja linoleumi tootmist ja isegi veini vananemist. Osooniga võib hapendada väävli-rikastel naftaproduktidel töötavate elektrijaamade kahjulike jäätmeid ja saada seejuures tohutul hulgal väävelhapet.

Kogu häda seisab selles, et osooni saadakse peaaegu eranditult gaaslahendusel osonaatoriteks nimetatud aparaatides, millel on väike tootlikkus. Tõsi küll, on juba loodud katseliselt kontrollitud teooria, mis lubab loota, et lähemal aastail valmistatakse võimsad osonaatorid. Need plasmaseadmed hakkavad andma riigile vajalikul hulgal osooni.

Plasma võimaldab leida uusi kütteineliike raketitele.

On teada, et sellised gaasid nagu vesinik ja hapnik koosnevad kaheaatomilistest molekulidest. Elektrilahenduse jõududega võib neid molekule purustada, saades niinimetatud atomaarseid gaase. Gaasimolekulide lõhkumiseks kulutatud energia ei kao jäljetult. Kui raketit varustada atomaarse gaasi tagavaraga, siis võib saada suure soojushulga, andes üksikutele aatomitele võimaluse ühineda paaridesse, muunduda tavaliseks gaasiks. Ühe kilogrammi atomaarse hapnikuga võib keema ajada pool tonni vett!

Tõsi küll, atomaarsed gaasid on ebapüsivad, neid on raske säilitada. Kuid ei pruugi kahelda selles, et teadlaste otsiv mõte ületab ka selle takistuse. Siis kasvab veelgi plasma osatähtsus keemias.

## PLASMATÄIDISEGA APARAADID

Neid aparaate on loodud suur hulk, seepärast jutustan ma vaid mõnedest.

Kõik elektrijaamad, suured ja väikesed, toodavad vahelduvvoolu. Tehnikas on aga väga sageli vaja alalisvoolu.

Trammidel, trollibussidel ja linnalähedastel elektrirongidel on alalisvoolumootorid. Alalisvool on vajalik autoakumulaatorite laadimiseks, raadiolampide tööks vastuvõtjates ja televiisorites, alumiiniumi tootmiseks, metallide töötlemiseks elektrisädemega ja paljudeks teisteks juhtudeks.

Seepärast tuleb rakendada eriseadmeid — alaldeid, mis muundaksid vahelduvvoolu alaliseks. Alaldite liike on loodud palju. Nende hulgas on ka plasmaga töötavaid, mida kõige sagedamini kasutatakse seal, kus on vaja alalisvoolu suurel hulgal.

Kujutlege kahe jätkega klaasballooni. See on elavhõbealaldi kolb. Katoodiks on temas kolbi valatud elavhõbe, anoodid aga paiknevad klaasjätketes. Katoodi kõrval on süütamiseks veel üks elektrood.

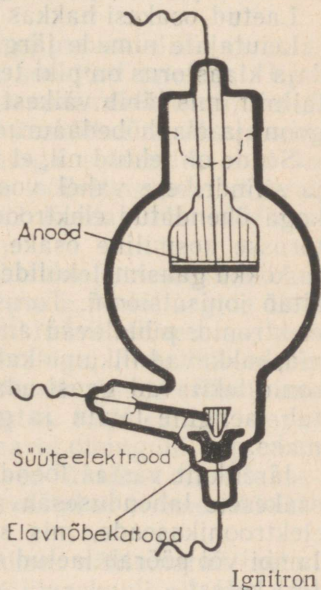
Kui peaelektroodidele on antud pinge, siis ei teki kolvis lahendust, kuna selles pole elavhõbedaaorusid, mis on materjal plasma tekkimiseks. Lahenduse süütamiseks kallutatakse kolbi nii, et elavhõbe ühendaks katoodi ja süüteelektroodi. Sellise lühiühenduse ajal tekib katoodi ja süüteelektroodi vahel lahendus. Kuumenemise tõttu elavhõbe aurustub ja lahendus hüppab üle ühele anoodidest. Alaldi hakkas tööle.

Iga vahelduvvoolualaldi on ühesuunalise «liiklemisega» tunnel. Elavhõbealaldi laseb voolu läbi samuti ühes suunas, ja nimelt siis, kui anoodil on positiivne, katoodil aga negatiivne pinge. Alaldi anoodid töötavad vaheldumisi ja ahelas voolab pulseeriv alalisvool. Pulseerimise vähendamiseks lülitatakse alaldi juurde spetsiaalne filter. See koosneb induktioonpoolist ja kondensaatorist.

Tarbijateni jõuab alalisvool juba filtreeritult.

Viimastel aastatel on ilmunud täiuslikumad elavhõbealaldid — ignitronid. Neil pole erilist jätket süüteelektroodi jaoks ning kolbi pole vaja töö alustamiseks kallutada. Süüteelektrood asub kolvi sees ja «ujub» elavhõbedas. Alaldi sisselülitamisel tekivad elavhõbedaaaurud vahetult süüteelektroodi tsoonis ja ignitron alustab tööd.

Laialt on levinud plasmaalaldid, millel katoodiks pole mitte elavhõbe, vaid vooluga kuumu-



tatav spiraal. Neid nimetatakse gasotronideks. Selliste alaldite kolvid on täidetud elavhõbedaurudega või inertsete gaasidega. Alaldatava pinge suuruse reguleerimiseks paigutatakse gasotroni katoodi ja anoodi vahele veel metallvõrk, mis on samuti elektroodiks. Laadides seda võrku erineva suurusega negatiivsete laengutega, muudetakse lambi süttimise algpinget, aga järelikult ka alaldatava pinge suurust. Selliseid kolme elektroodiga alaldeid hakati nimetama türatronideks.

Suur hulk elektrilisi skeeme nõuab oma tööks rangelt konstantse suurusega pinget. Võrgupinge aga muutub pidevalt, küll mitte palju, aga see tähendab, et ka alaldite väljundeis on pinge kord suurem, kord väiksem. Selle vältimiseks lülitatakse võrku veel üks plasmaseade, nn. stabilitron. Selles töötab huumlahendus. Pinge suuruse muutumisel muutub stabilitroni läbiv vool, pinge jääb aga konstantseks. See pinge antaksegi koormisele.

Aatomiajastu algas kosmiliste osakeste ja uraani, radiumi ja teiste radioaktiivsete elementide poolt väljastatavate laetud osakeste uurimisega. Teadlastel oli tähtis teada osakeste hulka, võimaldas see ju kindlaks teha kiirguse võimsust ja tuumade lagunemise kiirust.

Laetud osakesi hakkas loendama plasma.

Leiutajate nimede järgi kutsutava Geigeri-Mülleri loendaja klaastorus on piki telge pingule tõmmatud peenike metallniit, mis läbib väikest silindrikest. Toru on täidetud argooni ja elavhõbedaurude seguga.

Seade on tehtud nii, et tavalistes tingimustes ei teki niidi ja silindrikese vahel voolu, kuigi nad on kõrgepingeallikaga ühendatud elektroodid. Kuid nüüd tungis läbi klaasitorusse kosmiline osake. Omades suurt energiat, põrkab ta kokku gaasimolekulidega ja lööb välja elektrone, s. o. tekitab ionisatsiooni. Torusse ilmusid laengud. Ühed neist, elektronid, püüdlevad anoodile — niidi poole, teised, ioonid, hakkavad liikuma katoodi poole — silindrikesele. Elektronid tekitavad gaasi edasist ionisatsiooni, torus moodustub laengute laviin ja gaas temas muutub hetkeks plasmaks.

Järelikult vastas loendajatoru temasse tunginud laetud osakesele lahendusesähvatusena. Toru juurde on ehitatud elektroonikaseade, mis süütab kas signaliseeriva neonlambi või pöörab laetud osakeste üldarvu lugeva numeraatori ketast.

Meie ajal võib laetud osakeste loendajaid kohata kõikjal. Rakettidel ja kosmoselaevadel teevad nad kindlaks kosmilise kiirguse intensiivsust väljaspool atmosfääri piire. Sünges taigas signaliseerivad nad geoloogidele radioaktiivsete maakide lähedusest. Bioloogid teevad nende abil kindlaks, kuidas omandatakse taimede poolt väetisi, segades neisse eelnevalt näiteks radioaktiivset fosforit.

Geigeri-Mülleri loendajad ilmusid üle poole sajandi tagasi. Nüüd ma tahaksin aga rääkida plasmaseadmest, mille vanus on kõigest mõni aasta.

Küllap vist igaüks teab, et metallide või sulamite tugevus sõltub nende ehitusest ehk mikrostruktuurist. Metallurgid dešifreerivad metallide struktuuri lihtsalt. Nad võtavad poleeritud metallplaadikese ja panevad selle happelahusesse. Kuna plaadikese vastupidavus on erinevates kohtades erinev, sööb hape metalli ühes kohas vähem, teises kohas rohkem. Peale sellist söövitamist kattub sile metallipind kummalise mustriga. Vaadeldes seda mustrit mikroskoobis, otsustatakse selle või teise sulami omaduste üle.

Metallide keemiline söövitamine on metallurgide käes vana ja läbiproovitud vahend. Esmakordselt rakendas seda üle saja kolmekümne aasta tagasi silmapaistev vene teadlane Pavel Petrovitš Anossov.

Kuid viimastel aastatel lakkas selline metallide ja sulamite omaduste uurimine andmast soovitud tulemusi. Keemikud näiteks hakkasid üha sagedamini nõudma sulameid, mis oleksid hapete suhtes täiesti «ükskõiksed». Masinaehitajaile oli vaja alumiiniumilisandiga sulameid, kuid ka need alluvad halvasti keemilisele söövitamisele. Kuidas uurida selliste sulamite struktuuri? Kuidas teha kindlaks, milline sulam on parem?

See ülesanne osutus niivõrd tähtsaks ja raskeks, et tuli pöörduda teiste erialade teadlaste poole. Metallurgide üleskutsele vastas rühm Moskva ülikooli füüsikuid eesotsas professor Grigori Venjaminovitš Spivakiga. Metallide struktuuri nähtavale toomiseks esitasid nad põhimõtteliselt uue menetluse, mis end täielikult õigustas. Kuid enne uue aparadi loomist kulus mitu aastat visasid otsinguid ja proove.

Nüüd on uus riist loodud, teadlased-füüsikud on selle metallurgidele üle andnud. Seda nimetatakse ionse söövitamise seadeldiseks.

Peategelasteks on selles seadeldises nähtamatud laetud osakesed — ionid. Neid saadakse klaaskupli all, kus väl-

apumbatud õhk on asendatud erilise gaasi — neoniga. Sama kupli all on metallnäidis, mille struktuuri on vaja dešifreerida. Kui seadeldis sisse lülitada, siis hakkab kupli sisemuses olev gaas kiirgama kahvatu roosat valgust. See on elektrilahenduse algus, mille käigus gaas muundub plasmaks ning tekib tohtu hulk laetud osakesi — ioone. Elektrijõud haaravad neid ja paiskavad näidise pinnale. Nagu keemilise söövitamise puhulgi, nii puruneb ka siin metall nende löökide all ühtedes kohtades rohkem, teistes vähem, sõltuvalt selle või teise piirkonna tugevusest. Ioonkahurvägi teeb oma töö kümne minuti jooksul, siis võib näidise välja võtta ja teda mikroskoobi all vaadelda.

Ioonkahurvägi uues seadeldises on ebatavalise jõuga relv. Mitte ükski metall või sulam, kui tugev ta ka poleks, ei suuda tema löökidele vastu seista. Ja mitte ainult metall või metallide sulam. Ioonse söövitamise seadeldist võib edukalt kasutada keraamika, klaasi ja pooljuhtide mikrostruktuuri tundmaõppimiseks.

Ioonse söövitamise seadeldisel on veel üks hinnaline omadus. Temas on ette nähtud uuritavate objektide kuumutamine mitmesuguste temperatuurideni. Söövitades mitmesuguse temperatuuriga näidiseid, võib jälgida, kuidas muutub kuumutamisel nende ehitus, aga järelikult ka omadused. See võimaldab tungida veelgi sügavamale aine mikrostruktuuri, veel täielikumalt tema «elulugu» uurida.

## PLASMA «ELUKUTSED» TULEVIKUS

Plasma rakendustest võiks rääkida veel palju, kuna neid on väga ohtrasti. Kuid oma püüdes vallata kõiki võimalusi, mida endas kätkeb aine neljas olek, on inimesed täitmatud. Seepärast ei jäta teadlased otsinguid, päevast päeva vaatlevad nad paljudes laboratooriumides rohelisti madusid ostsillograafide ekraanidel, fotografeerivad spektreid, mõtlevad välja uusi aparate, et välja uurida rohkem saladusi, paremini tundma õppida plasmat. Eksperimentaatoritega käsikäes töötavad füüsikud-teoreetikud. Mitmekordsed valemid ja keerulised võrrandid, mida lahendavad matemaatilised masinad — see relv pole nõrgem kui füüsikaline katse.

Teadlaste selline töö annab rikkalikku lõikust. Ma toon

mõned näited, mis demonstreerivad, millele on meie ajal suunatud plasmaalustajate tähelepanu.

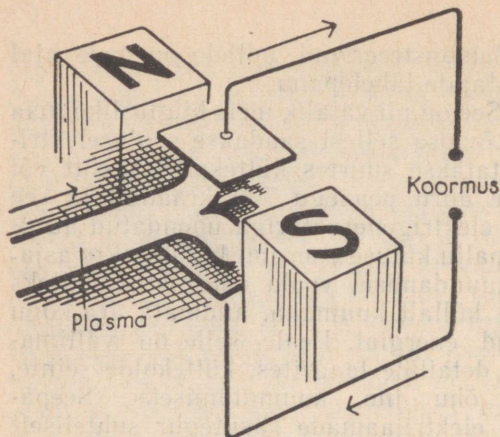
Elektrienergia . . . See on nii vajalik meie hiiglasliku maa rahvamajandusele. Lõviosa sellest saadakse soojuselektrijaamades. Siin põletatakse suurtes küttekolletes sütt või naftat, kuumutatakse auru peaaegu 700 kraadini ja see aur paneb pöörlema elektrigeneraatoriga ühendatud auruturbiini rootori. Kui palju kütuse energiat kulutatakse asjalt tema sellisel muundamisel voolu energiaks! Esiteks väljub aur turbiinist küllalt kuumana, andmata ära kogu kuumutamisel saadud energiat. Peale selle on vältimatu kaod pöörlevate detailide laagrites, küttekolde seinte, torude, ümbritseva õhu jne. kuumutamiseks. Seepärast on kaasaegsete elektrijaamade kasutegur suhteliselt madal.

Teadlasi on ammu huvitanud küsimus, kas põleva kütuse energiat ei saaks vahetult muundada voolu energiaks. Kas ei saaks loobuda kohmakatest pöörlevatest detailidest?

On selgunud, et saab. On ära märgitud ja töötatakse välja mitut võimalust. Üks neist on plasma kasutamine.

Kujutlege jäigalt alusele kinnitatud raketimootorit. Tema põlemiskambris sünnivad tulised gaasid, mis suunatakse torusse. Peene joana puistatakse torusse potast ehk süsihaput kaaliumi. See on vajalik selleks, et gaasi ioniseerimine oleks täielikum, et leegis sünniks rohkem elektrilaenguid. Torust satub plasmajuga düüsi ja, kogunud kiirust, tungib generaatori peakanalisse. Siin on kahele poole üles seatud väga tugeva magneti poolused. Magnetväli pidurdab laetud osakesi, paiskab neid sirgjooneliselt teelt kõrvale. Kui elektrone paisatakse seejuures üles, siis plussioonid lendavad vastupidises suunas — allapoole. Selliselt sorteeritud laengud satuvad spetsiaalsetele elektroodidele — katoodile ja anoodile. Kui need elektroodid ühendada välisahelaga, siis ilmub selles vool. Nii muundatakse kuumutatud plasmaosakeste energia võrdlemisi lihtsalt, ilma pöörlevate osade kasutamisetä, ilma hõõrdumisetä voolu energiaks.

Teadust vedelike liikumisest nimetatakse hüdrodünaamikaks. See eksisteerib juba palju aastakümneid. Hiljuti ilmus tema sugulane — teadus magnetväljas liikuvatest elektrit juhtivatest vedelikest. Seda hakati nimetama magnetihüdrodünaamikaks. Selgus, et selle teaduse seadused on kehtivad ka plasma kohta. Seepärast nimetataksegi voolu-



MHD-generaatori  
töötamise skeem

generaatorit, millest ma jutustasin, magnethüdrodünaamiliseks (lühendatult MHD-) generaatoriks.

MHD-generaatorite suureks väärtuseks on kõrge kasutegur. Juba esimeste erinevates maades ehitatud katseseadeldiste kasutegur oli 50—60 protsenti. See on tunduvalt kõrgem kui kõige parematel soojuselektrijaamadel.

Vaatamata esimestele vaieldamatutele edusammudele ei saa MHD-generaatorite probleemi lugeda täielikult lahendatuks. Raskus seisab selles, et pole veel loodud töökindlaid materjale kanali seinte ja elektroodide jaoks, mis suudaksid vastu pidada kestvale kokkupuutele tulise plasmaga. Kuid elektrijaam peab ju töötama vahetpidamatult paljude ööpäevade jooksul. Seepärast tuleb teadlastel ja inseneridel veel palju uurida, et luua tööstuslikud MHD-seadeldised.

Peale selle lubab plasma kasutusele võtta sellised energiarikkused, mis võimaldavad rahuldada kogu inimühiskonna tarvidusi, kui suured need ka ei oleks.

On teada, et ühe kilogrammi puude ärapõlemisel eraldub 2,5 kilovatt-tundi energiat, söe puhul on see arv 8, nafta puhul aga 11,6 kilovatt-tundi. Ühe kilogrammi uraani pooldumine annab juba 22 miljonit kilovatt-tundi energiat. Maakoos on hoiul 25 miljonit tonni uraani ja umbes miljon tonni tooriumi. Nende kasutamine kindlustab inimkonna energianälja eest. Kuid vaevalt hakkavad inimesed ootama, millal lõpeb ka tuumakütus. Kahtlemata leiavad nad uusi, praegu mitteteadaolevaid allikaid. Nendes otsingutes on põhiliseks püüd teostada juhitavat termotuumareaktsiooni.

Te muidugi teate, et on olemas vesinikupomm. See on täidetud «raske» vesinikuga, mille aatomites on peale positiivselt laetud prootoni veel üks või kaks neutronit. Kui sellise vesiniku aatomituumi üksteisele lähendada, võib toimuda nende kokkusulamine ja tekkida uue elemendi, heeliumi tuumi. Seejuures eraldub tohutu energia, mis on võimeline tekitama seninägematuid purustusi.

Kuid raske vesiniku tuumi pole sugugi kerge lähendada, neil on ühesugune laeng ja seepärast nad tõukuvad. Tuumi lähendada ja seega alustada termotuumareaktsiooni saab vaid miljonitesse kraadidesse ulatuvatel temperatuuridel. Seepärast pannakse vesinikupommi sütikuna tavaline aatomipomm. Lõhkemisel loob see tingimused vesinikutuumade sünteesiks. Igasugused pommid, sealhulgas aatomi- ja vesinikupommid, toovad surma ja purustusi. Nende energia teenib sõda. Et termotuumareaktsioon tooks inimestele kasu, on vaja teda aeglustada, sundida eraldama energiat järk-järgult. Teiste sõnadega, on vaja õppida seda reaktsiooni juhtima.

Teadlased teavad juba, millist teed mööda on vaja minna, et seda probleemi lahendada.

Ajakirjanduses on palju kordi teatatud juhitavate termotuumareaktsioonide alal töötavate nõukogude teadlaste edusammudest.

I. V. Kurtšatovi nimelises Aatomienergia Instituudis on akadeemik L. A. Artsimovitši juhendamisel ehitatud terve rida unikaalseid seadmeid — «Tokomak», «Ogra», «Orehh», millel on sooritatud palju edukaid katseid. Teadlaste tähelepanu on koondunud plasmaklombile, mis tekib vaakuumkambri ainult hetkeks. Nimelt võimsate elektrijõudude poolt sünnitatud plasmas on võimalik teostada vesinikutuumade ühinemist.

Ilmselt ei või miljonite kraadideni kuumutatud plasma puudutada vaakuumkambri seinu, kuna pole aineid, mis sellist temperatuuri välja kannataksid. Nõukogude akadeemikud A. D. Sahharov ja I. J. Tamm tegid juba 1951. a. ettepaneku suruda plasma kokku võimsa magnetväljaga ja sel viisil eraldada ta seintest. Katsed kinnitasid ettepaneku õigsust, kuid plasma ei osutunud nii kuulekaks, nagu oletati.

Peamist raskust, millega füüsikud kokku puutusid, nimetati plasma ebapüsivuseks. Tekkinud plasmanöör katkes väga kiiresti, plasma imbus läbi «magnetvara», mis eraldas teda seintest, ega tahtnud rohkem kokku tõmbuda. Kõik

teadlaste jõud paisati võitlema plasma ebapüsivusega. Ja tulemuseks oligi suur edu.

1963. aasta aprillis ilmus trükis teade selle kohta, et I. V. Kurtšatovi nimelises instituudis õnnestus saada püsivat, pika eksisteerimisajaga kõrgetemperatuurilist plasmata. Esmakordselt maailmas loodi plasmaklomp temperatuuriga 40 miljonit kraadi ja tihedusega 10 miljardit osakest igas kuupsentimeetris. Sellise plasma üldruumala oli mõnikümme liitrit. Tema «eluiga» ulatus sekundi sajandike osadeni. Mikromaailma mastaapides on see pikk aeg, mille jooksul iga osake jõuab seadeldises läbida mitme kilomeetri pikkuse tee.

Varem kõrvaldamatuteks peetud plasma ebapüsivuse liikidest õnnestus jagu saada väga keerulise geomeetrilise kujuga magnetvälja abil. Lahenduskambris loodi selline «magnettara», mille jõujoonte tihedus suurenes kõikides suundades plasma poolt haaratud alast kaugenedes.

Nõukogude füüsikute väljapaistev edu annab lootust, et juhitud termotuumareaktsioon saab teoks. Selleks on vaja kuumutada plasmata mitmesaja miljoni kraadini ja palju kordi suurendada tema osakeste kontsentratsiooni.

Miks võitlevad teadlased nii visalt selle probleemi lahendamise kallal?

«Raske» vesinik on looduses kõige sagedamini seotud hapnikuga, moodustades «raske» vee. Seda on olemas ka tavalises vees. Iga kuue tuhande hariliku veemolekuli kohta tuleb üks «raske» vee molekul.

Liitrisel anumal on seda kõigest 0,16 grammi, kogu maailma ookeanis aga 38 tuhat miljardit tonni. Selles on kätkeatud tohutu energiavaru, kuna üks kilogramm termotuumakütust võib eraldada 95 miljonit kilovatt-tundi energiat. Need arvud veenavad meid selles, et termotuumasete energiaallikate loomine saab inimkonnale tõeliseks hüveks, on ennenägematu tehnilise progressi alguseks. Siis võib inimene sulatada polaarjääd, muuta tundra õitsvaks maaks, jõuda teistele planeetidele ja luua Maa naabruses uusi, siis võib inimene astuda loodusega igasugusesse võitlusesse.

Lõpuks tuleb jutustada plasma rakendamise perspektiividest raketiasjanduses.

Rakette, mis viivad orbiitidele Maa tehiskaaslasi ja kosmoselaevu, võib nimetada keemilise tööprintsibiiga raketideks.

Energiat oma liikumiseks saavad nad petrooleumi või

muu raketikütuse põlemise arvel, see on aga keemiline protsess. Vähe usutav, et selliseid rakette kasutatakse tulevikus, eriti lendudeks teistele planeetidele. Neid asendavad aatomimootoritega raketid. Teadlased visandavad juba tulevikurakettide kontuure. Siin on neist mõned.

Raketile monteeritud aatomielektrejaam annab voolu, millega toidetakse võimsat elektrikaart. Selle leegis kuume-  
neb vesinik või mõni teine gaas rohkem kui 10 tuhande kraadini ja paiskub tugeva joana düüsist välja. Reaktiivjõud tõukab raketti edasi.

On olemas magnethüdrodünaamilise raketi projekt. Selles raketis kuumutatakse gaasi kaarleegiga ja muundatakse see plasmaks. Plasma ümber luuakse vahelduv magnetväli, mis kiirendab plasmaosakesi ja paiskab neid välja.

Nende projektide teostamise raskus seisab selles, et kaarega töötavates mootorites põlevad kiiresti läbi elektroodid, mille vahel kaar tekitatakse. On olemas projektid, kus sellest raskusest on mööda mindud. Laetud plasmaosakesed, mis on tekitatud aatomireaktori soojusega, satuvad tugeva elektrivälja mõju alla. See luuakse raketi düüsi ette paigaldatud õõnsate silindritega. Need silindrid on ühendatud elektrigeneraatori poolustega. Nad loovad tugeva elektrivälja, mis haarab plasmaioone ja kiirendab neid. Arvutused näitavad, et sellise raketi veojõud võib olla väga suur, mis lubab arendada tavaliste keemiliste raketitega kättesaamatuid kiirusi.

Teadlased töötavad ka teistsuguste kosmoserakettide projektide kallal. Milline neist saab kõige varem teoks, seda on raske öelda. Selge on üks: plasmaraketid leiavad tulevikus kõige laialdasema leviku.

Ma ei jutustanud kümnendikku osagi sellest, mis erutab plasmaalustajaid ja mille kallal nad praegu töötavad. Aine neljas olek, mis loodusliku leviku poolest on esikohal, saab aja jooksul inimese esimeseks, kõige tähtsamaks abiliseks. Mitte asjata ei tegele praegu plasma mikromaailma tundmaõppimisega, uute imestamapanevate plasmaaparaatide loomisega sadu laboratooriume ja uurimisinstituute. Iga aastaga suureneb plasmafüüsikale ja selle rakendustele pühendatud tööde arv. Üha enam on plasmast huvitatud ka nõukogude inimeste laiad ringkonnad.

Kui pärast raamatu läbilugemist see huvi tugevneb, siis loeb autor oma ülesande täidetuks.

## HUVITAV JA KASULIK TEADA

---

1. Raamat, mille te läbi lugesite, jutustab suuremas osas lahendustorudes loodavast plasmast. Aga kas teile on teada, et sellise toru valmistamine ja tööle panemine on tõsine tehniline ülesanne, mis nõuab hoolikat tööd, oskust ja suuri teadmisi?

Sissemonteeritud elektroodidega lahendustoru valmistamine klaasipuhuja poolt on alles selle tee algus, mille toru peab läbi tegema, enne kui temas süttib lahendus. Milline on see tee?

Kõigepealt tuleb torust eemaldada õhk. Selleks ühendatakse toru vooliku abil vaakuum- või pumpamissüsteemiga, mis koosneb vähemalt kahest pumbast. Esimene kujutab endast tavalise kolbpumba arendust. See alandab rõhku torus elavhõbedasamba tuhandike millimeetriteni.\* Vaatamata sellele, et niisugune rõhk on kolmveerand miljonit korda atmosfäärirõhust väiksem, sisaldab toru ruumala iga kuupsentimeeter veel miljardeid õhumolekule. Nende eemaldamiseks kasutatakse teist pumba.

Laboratooriumipraktikas on teiseks pumpamisastmeks tavaliselt elavhõbepumbad. Neis pole pöörlevaid osasid. Põleti või spiraaliga kuumutatavast anumast satuvad elavhõbedaaurud erilisse lahendustoruga ühendatud kambrisse. Torusse jäänud õhumolekulid sisenevad sellesse kambrisse ja kleepuvad elavhõbedatilgakeste külge. Seejärel satuvad need tilgakesed jahutatavasse kondensatsioonikambrisse. Elavhõbe koguneb pikkamisi selle põhjale ja läheb uuesti käiku, gaasimolekulid aga eemaldatakse pumba abil.

Elavhõbepumba rakendamine koos aurude väljakülmutamisega võimaldab alandada rõhku lahendustorus kuni miljondiku millimeetriteni elavhõbedasammast. See on hea vaakuum, kuid sageli pole sellest küllalt. Siis võetakse appi niinimetatudioonpumbad. Nendes pumpades ioniseeritakse gaas pumbakambris spetsiaalselt loodud elektrilahenduses, mille järel tekkinud ioonid eemaldatakse elektriväljaga. Pikiioonpumba telge luuakse peale elektrivälja veel magnetväli. See sunnib hõõgkatoodist väljalendavaid elektrone liikuma spiraali mööda, mistõttu suureneb tõenäosus nende kokkupõrgeteks gaasimolekulidega, tähendab, ka ioniseerimine on täielikum.

Pumpamisel tuleb eemaldada ka gaas, mis eraldub toru klaasist ja elektroodidest. Et see gaas ei rikuks vaakuumi, kuumutatakse lahendustoru teda ümbritsevas elektriahjus... Temperatuur sellise ahju sisemuses on lähedane klaasi pehmenemise temperatuurile. Seejuures eraldub gaas mitte ainult klaasi pinnalt, vaid ka selle sügavusest. Toru sees olevate metalldetailide läbikuumutamiseks kasutatakse kõrgsagedusvoolusid. Vajaliku kõrgsagedusliku elektrivälja loob pool, mille sisse paigutatakse toru.

Pärast õhu väljapumpamist torust täidetakse viimane gaasiga, mil-

---

\* Seda pumba nimetatakse eelvaakuumpumbaks. (Tõlk.)

les edaspidi on vaja lahendust saada. On olemas eritehased, mis toodavad gaase gaaslahendusriistade jaoks. Inertseid gaase — neooni, argooni, krüptooni, ksenooni — hangitakse veeldatud õhust. Keemiatehastest transporditakse nad välja teras- või klaasballoonides. Uurimislaboratooriumeis tuleb saadud gaase täiendavalt lisandeist puhastada.

Elektrilahendus ise loom sõltub tunduval määral gaasi rõhust torus. Selle rõhu mõõtmine pole lihtne, eriti siis, kui see rõhk on väike.

On olemas palju manomeetri tüüpe; nende hulgas on ka survemanoomeetrid, milles lahendus torust võetud «proov» surutakse elavhõbedasamba poolt kokku, rõhku aga määratakse elavhõbedanivoode vahe järgi. Laialdaselt on levinud ionisatsioonmanomeetrid, mida kasutatakse väga väikeste rõhkude mõõtmiseks — kuni kümnemiljondike millimeetriteni elavhõbedasammast.\*

Ionisatsioonmanomeeter on hõõgkatoodiga, anoodiga ja negatiivset potentsiaali omava kolmanda elektroodiga ehk kollektoriga lahendus toru. Kui katoodi ja anoodi vahele on rakendatud pinge, siis ioniseerivad katoodist väljalendavad elektronid gaasimolekule. Selle juures tekivate ionide arv sõltub torus olevast rõhust. Mida suurem on rõhk, seda rohkem tekib ioone. Ioonvoolu suuruse järgi otsustataksegi torus oleva rõhu üle.

Kuid mõnedel juhtudel võib torus oleva gaasi rõhu üle otsustada lahenduse helendust jälgides. Rõhust sõltuvad lahenduse katoodilähedaste osade mõõtmed, samuti aga selle heledate ja tumedate lõikude kaugused. Umbes ühe tuhandiku millimeetri suurusel rõhul katkeb gaasi helendus, tänu klaasi luminesentsile säilib vaid rohekas helendus. Kui rõhk on vähenenud sajatuhandiku millimeetrini, katkeb torus igasugune helendus. Muidugi on need tunnused üsna tinglikud ja mõnikord teevad neid kasutades vigu isegi kogenud spetsialistid, seepärast tehakse lõplik järeldus mõõteriista näitude põhjal.

Plasma keerulise mikromaailma uurimisega tegelevate teadlaste füüsikute käsutuses on kõik «relvaliigid». Nende hulgas on ostsillograafid, lampvoltmeetrid, terve gamma suuri ja väikesi spektraalriistu, ülikiired fotokaamerad, mis teevad miljoneid võtteid sekundis. Teoreetilisi arvutusi aitavad teha elektronarvutusmasinad. Praegu hakkavad füüsikud oma relvastusse võtma ka laserikiirt. Tungides sellega plasma sügavusse, proovivad nad välja selgitada uusi saladusi.

2. Arvatavasti leidub praegu vähe inimesi, kes ei teaks, et elektromagnetilise induktsiooni seaduse avastas Faraday, et Maxwell ennustas, Hertz aga avastas elektromagnetilised lained, et vene teadlane A. S. Popov ehitas esimese raadiovastuvõtja maailmas. Kuid kõigile pole teada, et teadlastel aitas avastusi teha ... plasma.

Faraday kuulus katse seisis järgnevas. Teadlane võttis raudrõnga ja mähkis sellele kaks mähist. Ühe ahelasse lülitas ta patarei, teise omasse aga elektrimõõteriista. Kuid kui palju vaeva ka teadlane nägi, ei õnnestunud tal «muundada magnetismi elektriks ja elektrit magnetismiks». Vaatamata sellele et primaarmähis läbis vool, polnud seda sekundaarmähises — mõõteriista osuti jäi liikumatuks.

Üks kord heitis Faraday pilgu mõõteriistale sel momendil, kui ta lülitas primaarmähisesse voolu. Riista osuti võpatas veidi-veidi ja langes uuesti nulli. Sama toimus ka voolu väljalülitamisel. Täheandab, sekundaarmähises ilmus vool vaid primaarahela voolu sisse- ja väljalülita-

\* Selliseid manomeetreid nimetatakse sageli vaakuummeetriteks. (Tõlk.)

mise momentidel. See tõestas, et primaarahela keerdude ümber tekkiv magnetväli võib sünnitada voolu naaberahelas, s. o. tõestas elektromagnetilise induktsiooni olemasolu.

Faraday aegadel olid teadlaste käsutuses vaid alalisvooluallikad. Selleks aga, et teha kindlaks elektromagnetilist induktsiooni, on vaja muutliku suurusega vahelduvvoolu. Faradayd aitas pisike säde, mis hüples lülitis voolu sisse- ja väljalülitamisel. Lülitilühistamisel saavutas vool primaarahelas oma normaalväärtuse kindla aja jooksul, s. o. muutus suuruselt, kasvas. Primaarmähise keerdude ümber tekkinud magnetilised jõujooned pikenesid ja lõikusid sekundaarmähise keerdudega, kutsudes neis esile voolu. Kui aga primaarahela vool saavutas piiri, muutudes tavaliseks alalisvooluks, siis magnetväli «tardus» ja vool sekundaarahelas katkes. Primaarahela väljalülitamisel toimus sama, ainult et voolu indutseeris «kokkutõmbuv» magnetväli.

Lülitis hüplev väike sädemekes sulges ahela kiiresti, hüppega, ja tekkiv vool lõi muutuva magnetvälja, mis oli võimeline esile kutsuma voolu sekundaarahelas.

Kui Faraday katses säde vaid «viibis» uue nähtuse avastamise juures, siis Hertzil vibraatoris, mille abil avastati elektromagnetilised lained, oli ta peategelaseks. Selles seadmes moodustati lahendusvahemik, milles pendeldasid sädemed, kahe kera vahel. Sädemed põhjustasid elektrilööke ja vibraatori elektronid hakkasid võnkuma. Vibraator kiirgas väga kõrge sagedusega elektromagnetilisi laineid. Vibraatori lähedal oli üles seatud resonator — ühes kohas katkestatud metallvõru. Kui seda lõikasid elektromagnetilised lained, tekkis temas elektronide liikumine ja võru katkemiskohast hüppas üle pisiilluke sädemekes. Nii ergutas plasmaportsjon laineid ja võimaldas neid ka avastada.

Hertz ei uskunud elektromagnetiliste lainete tulevikku. Vene teadlane A. S. Popov pani nad inimest teenima.

Meenutame, et esimest raadiovastuvõtjat nimetas leiutaja «äikesemärkijaks». Raadiosaatjaid sel ajal loomulikult ei olnud ja Popovi vastuvõtja võttis vastu äikeselahenduste, välkude poolt loodud raadiolaineid. Raamatu alguses juba räägiti, et välk on plasma, järelikult oli esimeseks raadiokorrespondendiks plasma.

Varsti, samal 1895. a. konstrueeris A. S. Popov esimese raadiosaatja. See töötas sädemega. Täheandab, ka raadiosignaalide edasiandmisel ei saadud läbi plasmata. Vaid pärast raadiolampide ilmumist tõrjusid lampsaatjad säde välja.

Seoses sellega tuleb märkida, et plasma teenindab raadiotehnikat ka praegu. Esiteks on plasmaseadmed — gasotronid, türatronid, stabilitronid, neonlambid jt. raadioaparatuuri lahutamatuks osadeks, ja teiseks arendatakse viimastel aastatel raadiosidet meteoride abil. Põleva meteoori poolt jäetud jälg on plasma. Sellist «plasmapeeglit» kasutataksegi peegeldunud kiirega kaugraadiosideks. See sideliik on analoogiline kaugraadiosidega, mis kasutab ionosfäärilt peegeldunud kiirt.

3. Aleksandra Andrejevna Glagoljeva-Arkadjeva nimi on läinud teadusesse tänu sellele, et tal õnnestus esimesena avastada ja tundma õppida väga lühikesi raadiolaineid, mis asuvad kõige pikemalaineliste soojuskiirte ja 20-ndaail aastail tuntud raadiolainete vahel.

Praegu teab iga elektromagnetiliste võnkumiste spetsialist, et nende võnkumiste spekter on pidev. Raadiolained, infrapunased kiired, nähtav valgus, ultravioletsed kiired, röntgenikiired ja gammakiired moodustavad elektromagnetiliste lainete pideva spektri.

1895. aastal sai vene füüsik P. N. Lebedev kõige lühemaid raadiolaineid pikkusega mõni millimeeter. Kahe aasta pärast sai Rubens valguskiiri lainepikkusega 60 mikronit, 1911. aastal aga laineid pikkusega 343 mikronit. Kahekümne seitsme aasta jooksul ei õnnestunud kellelgi täita vahemikku Lebedevi ja Rubensi poolt avastatud lainete vahel.

1922. aastal leiutas A. A. Glagoljeva-Arkadjeva uue raadiolainete allika — masskiirgaja. Peategelaseks on selleski seadmes plasma, pisi-tillukesed elektrisädemed.

Masskiirgaja on anum alumiinium- või messingipulbri ja viskoosse mittejuhtiva õli seguga. Pidevalt tegutsev segaja paneb segu liikuma, tulemusena saadakse kõrditaoline «vibratsioonimass». Väike karboliitrattake haarab anumast seda massi, mistõttu temale tekib viskoosne ümbrisrõngas. Induktorist tuuakse juhtmete abil kõrgepinge, nii et rõnga kuju võtnud vibratsioonimassis toimuvad mikroskoopilised lahendused. Tänu sädemekestele ergutatakse metallikübemekestes elektrivõnkumisi, mille sagedus sõltub peamiselt kübemekeste mõõtetest.

1923. aastal leidis Glagoljeva-Arkadjeva masskiirgaja spektrit uurides selles laineid pikkusega 0,082 kuni 50 millimeetrit. Need lained täitsid elektromagnetiliste võnkumiste skaalal eksisteeriva tühimiku, ületades selle piirid mõlemast küljest. Mõne aja pärast õnnestus teadlasele saada laineid pikkusega 80 millimeetrit, seejärel aga ka 180-millimeetrise laineid.

Glagoljeva-Arkadjeva teaduslik avastus tõi talle laialdase tunnustuse. Kuid ta jätkas masskiirgaja täiustamist ja töötas välja terve rea aparate uute kiirte uurimiseks ja rakendamiseks. 1937. aastal töötas ta välja võrkfiltrite meetodi, mis võimaldas masskiirgaja kiirgusest eraldada kindla pikkusega laineid. Ta uuris mitmesuguste vibratsioonisegude spektreid. Need segud koosnesid gaasilisest, vedelast, poolvedelast või tahkest dielektrikust ja metallipurust. Parimateks osutusid õhus või õlis hõljuvate alumiiniumikübemekestega generaatorid.

Glagoljeva-Arkadjeva masskiirgaja leidis laialdast kasutamist mõõtmistel millimeetriste ja kümnendikmillimeetriste lainete piirkonnas. Nii võrd lühikeste lainete saamisel on ta real juhtudel eelistatavam hiljem ilmunud klüstronitest. Viimased nõuavad üsna keerulist aparatuuri ja kohmakaid seadmeid; neid on keerukas teenindada, samal ajal kui masskiirgaja on konstruktsioonilt väga lihtne ja teda on mugav kasutada.

A. A. Glagoljeva-Arkadjeva poolt oskuslikult ära kasutatud plasmaannused võimaldasid laiendada meie teadmisi elektromagnetilistest lainetest.

4. Niiske ilmaga võib vahel kuulda, kuidas ragisevad kõrgepingeliinide juhtmed, õhtul aga võib isegi näha nende ümber sinakat helen-dust. Seal helendub koroonalahendus, üks plasma liikidest. Selline lahendus tekib siis, kui elektrood on kas teravikuga või omab väikest kõverusraadiust.

Teravdatud või peenikese elektroodi ümber on elektriväli tugevasti moonutatud, siin, jõujoonte põimumiskohtades toimubki gaasimolekuli-dergastamine, tekib suur hulk laetud osakesi, ioone. Helenduva oreooli, koroona piiride taga gaasi ei ioniseerita, kuid ionid liiguvad sinna siiski, sest elektrijõud tõmbavad neid teise elektroodi poole. Lahendusvahemikus tekib midagi elektrituule sarnast.

Teadlased on suutnud panna seda «tuult» kasu tooma.

Jõgede, järvede ja merede kallastel võib kohata tumehalli liiva, milles sisaldub haruldaste metallide titaani, tsirkooniumi jt. terakesi. Tavaliste

meetoditega on neid väärtusetust kivimist raske eraldada. Seepärast võetakse appi elektriline sorteerija, milles töötab plasmalahendus.

Elektriseparaator — nii seda sorteerijat nimetatakse — kujutab endast vahetpidamatult pöörlevat metalltrumlit, mis on ühendatud kõrgepingeallika negatiivse poolusega. Teatud vahemaa järel on piki trumlit pingule tõmmatud peenikesed konstantaantraadid, mis on lülitatud teise, positiivse klemmi külge. Nende ümber helendub koroonalahendus. Traatidevahelisse ruumi puistatakse punkrist liiva. Positiivsed ioonid kleepuvad liivaterade külge ja tõmbavad neid trumlile. Liivaterakesed ja metalliosakesed liibuvad trumli pinnale koos neile «istunud» ioonidega. Metalliosakesed annavad oma laengu kiiresti trumlile, lakkavad tema külge tõmbumast ja langevad alla spetsiaalsesse lõksu. Lihtne liiv hoiab kindlalt trumlist kinni ja pühitakse temalt harjaga maha. Ta satub teise kambrisse. Ühe tunni jooksul võib elektriseparaator töötada läbi üle kahe tonni kivimit.

Koroonalahendust kasutatakse ka tahma, tuha ja põlemata kütuseosakeste kinnipüüdmiseks suitsust. Need reostavad õhku, on kahjulikud inimeste tervisele.

Küttekoldes satub suitsune õhk lahenduskambrisse. See on suur kast, mille telge mööda on pingule tõmmatud peened traadikesed. Kast on ühendatud kõrgepingeallika plussiga, traadid aga miinusega. Nende ümber tekib koroonalahendus, mille tsoonis moodustub palju negatiivseid ioone (elektronid «liibuvad» gaasimolekulide külge, muutes neid negatiivseteks ioonideks). Need ioonid sadestuvad suitsuosakestele ja tõmbavad neid kasti pinna poole. Kambrī seinad kattuvad tahma ja suitsukihiga. Et seda kihti punkrisse raputada, seatakse kasti juurde üles väike elektrimootor vastu seina lõõva vasarakesega.

Taalised elektrifiltrid on väga kasulikud keemiateshastes. Nad aitavad õhust kinni püüda hinnaliste produktide terakesi ja neid uuesti tootmise lasta. Tsemenditeshastes püütakse elektrifiltritega tsemenditolmu.

Lõpuks tuleb meenutada veel ühte, mõnevõrra ebatavalist koroonalahenduse rakendust. Peetakse silmas koroonavaljuhääldit.

Elektroakustikas käib pidev võitlus vastuvõtjate, televiisorite, radioolade hea kõlavuse eest. Seepärast võib nende seadmete sisemuses näha mitte ühte, vaid mitut dūnaamilist valjuhääldit. Suured, võimsad valjuhääldid taasesstavad hästi madalaid bassihelisid, väikesed tenorihelisid. Ja ikkagi ei rahulda kaasaegsete valjuhääldite kõlavus spetsialiste. Valjuhääldite paberdifuusorid järgivad halvasti voolu muutusi poolides, toovad sisse moonutusi. Seepärast pole tänini katkenud uute taasesstussüsteemide otsingud.

Huvitavad on katsed, milles õnnestus panna helisema plasma. Tera- viku ümber loodi koroonalahendus. Seda tekitavat voolu sunniti vōnkuma ühes taktis elektriliste helivōnkumistega, mida saadi näiteks vastuvõtja väljundis. Plasma reageerib tundlikult teda tekitava voolu muutustele. Seejuures muutub tema poolt hōivatav ruumala. Need plasma ruumala muutused loovad ümbritsevas ruumis helivōnkumisi, kusjuures nii madalate kui ka kõrgete tsoonide taasesstus osutub väga heaks.

5. Meditsiinis kasutatakse plasmat mitte ainult kiiritamisallikana. Füsioteraapiakabinettides ravitakse närvisüsteemi funktsionaalsete haiguste all kannatavaid haigeid... sädemetega. Seda meetodit nimetatakse darsonvalisatsiooniks tema autori prantsuse arsti A. d'Arsonvali nime järgi. Haige pannakse tugitooli istuma ja tema pea juurde

tuuakse klaasist elektrood. Elektroodi otsast eralduvad raginal sädemed. Hüpates elektroodi ja inimese keha vahel, kutsuvad nad viimases esile keerulisi protsesse. Nahk kaotab tundlikkust ja hakkab punetama. Kesknärvisüsteemi jooksevad impulsid, sädemed sunnivad rakke aktiveeruma. Peavalud vaigistuvad, haigus taganeb.

Sädemeid kasutatakse ka paisete, põletushaavade, ekseemide, haavade ravimiseks. Nad soodustavad uute kudede kasvu, kiirendavad haavade kinnikasvamist.

Darsonvaliseerimisel tekivad voolud sagedusega 100—200 tuhat võnget sekundis. Füsioteraapias kasutatakse ka aparate, milles tervistavad sädemed tekivad kõrgepingelise alalisvoolu toimel. Inimese kehale hüppavad nad kerakujuliselt elektroodilt. Haige aistib seejuures kergetid torkeid.

Lõpuks aitab plasma luua elustavat kliimat. Inimesed on ammu märganud, et Abhaasias ja teistes mägistes maakohtades elavad paljud inimesed sada ja rohkem aastat vanaks. Nendes kohtades suunatud ekspeditsioonid andsid huvitavaid tulemusi. Osutus, et mägedes on õhk tugevasti küllastatud negatiivsete ioonidega. Kuidas nad siin tekiavad? Neid sünnitab loodus ise.

Esiteks on mägedes reeglina radioaktiivsete maakide lademeid, mille kiirgus ioniseerib õhku. Teiseks on seal palju jugasid; veosakeste ja õhu hõõrdumine tekitab samuti ioone.

Kui õhk on läbipaistev ja puhas, siis elavad negatiivsed ioonid temas kaua. Nii näitasid Abhaasia õhu proovid, et selle iga kuupsentimeeter sisaldab kuni 20 tuhat negatiivset iooni. See on kaksikümmend korda rohkem kui tasandikel ja luhtadel ning sada korda rohkem kui linnatänavail.

Negatiivsed ioonid, mis tekivad elektronide liibumise tulemusena õhumolekulide külge, mõjuvad soodsalt inimese organismile. Seepärast hakkasid teadlased pärast nende mõju väljaselgitamist tegelema aeroionisaatorite — negatiivseid ioone loovate aparate ehitamisega. See töö algas kolmkümmend aastat tagasi ja käesoleva ajani on loodud palju tüüpe õhuionisaatoreid. Mõned neist on kopeeritud loodusest.

1933. aastal ioniseeris professor A. B. Vernigo õhku, kiiritades seda radioaktiivsete ainetega. Ventilator sundis õhujuga mööduma radioaktiivsest ainest ja see õhk rikastus negatiivsete ioonidega. Praegu on laialt levinud ionisaatorid, milles veevärgivee puitsmed põrkavad vastu metalltassikese põhja, s. o. luuakse joa koopia.

On olemas ka õhu plasmaionisaatoreid. Neis on teravikuga ühendatud kõrgepingeallika miinus. Teravikel tekib koroonalahendus. Õhku ilmub palju negatiivseid ioone.

Praegu hakatakse aeroionisaatoreid üha laialdasemalt ravipraktikasse juurutama. Arsti poolt määratud «ioonidušš» aitab ravida südamehaigusi, astmat, hüpertooniat ja teisi haigusi.\*

6. Aatomituuma uurimisega tegelevate teadlaste käsutuses on terve rida keerulisi seadmeid, nagu lineaarsed kiirendajad, tsüklotronid, fasotronid ja lõpuks sünkrofasotronid. Neid seadmeid kasutatakse positiivselt laetud osakeste, ioonide kiirendamiseks. Viimaseid «tõmmatakse» välja plasmast.

\* Mitmed uued aeroionisaatorite tüübid on välja töötatud Tartu Riikliku Ülikooli aeroionisatsioonilaboratoriumis dots. I. Reineti jt. poolt. Prof. E. Siirde juhendamisel on nende abil edukalt ravitud mitmeid haigusi. (Tõlk.)

Olgu kiirendaja määratud tavalise vesiniku tuumadega — prootoni-tega tulistamiseks. Et saada selliseid mürske, täidetakse lahenduskamber vesinikuga väikese rõhuni. Tüvikoonusekujuline kamber on ka anoodiks. Koonuse alusesse paigutatakse massiivne volframspiraal, mis on katoodiks. Nende elektroodide vahel tekib lahendus ja vesinik muutub plasmaks. Elektronid liiguvad ühes, ioonid teises suunas. Viimased lendavad läbi koonuse avause ja satuvad kiirendaja kiirenduskambrisse.

Tuleb märkida, et võimsad kiirendajad tarbivad suurt alalisvoolu. Selle saamiseks kasutatakse plasmaalaldeid — ignitroni.

7. Võrdlemisi haruldast loodusnähtust, keravälku, loevad mõned füüsikud plasmaklombiks. Tihti ilmub keravälg pärast tavalist välku ja kujutab endast punakalt helenduvat sinise äärisega kerakujulist, mõnikord pirnjat keha. Mõningail juhtudel kiirgab keravälg selgelt piiritletud pinnalt pimestavalt valget valgust.

Keravälg ilmub ootamatult ja eksisteerib sekundist kuni mõne minuti. Õhus liigub ta aeglaselt käänulist teed mööda, järgneb mõnikord õhuvooludele ja laseb kuuldavale vilistavat või sumisevat heli. Ta võib tungida kinnisesse ruumi, liuelda piki esemeid, kuumutades nende pinda, kaob aga kas märkamalt või kõrvulukustava plahvatusega. On olnud juhuseid, kus keravälg tappis inimesi ja loomi või tekitas põletushaavu.

Toome ära möödunud sajandi lõpul Kolpinos nähtud keravälgu kirjelduse pealtnägijate sõnade järgi: «Lennanud õhuaknast kööki, pöörles keravälg raudpliidil seisvas veega täidetud malmpotis, lendas läbi sama õhuakna tänavale, kusjuures mõningal kaugusel õhuaknast libises ta mööda klaasi. Klaasile jäi välgu poolt tekitatud jälg. See oli lühike vaoke (pikkus 5—6 sentimeetrit) maksimaalse laisega 1,5 sentimeetrit. Vaoke läks mööda raami puuääristusest, kusjuures ei kõrvetanud ega rikkunud seda.

Majas jäid kõik puutumata. Tänaval aga tappis välg kaks inimest, hobuse ja sulatas veidi rööpajupi äärt...»

Füüsikud on teinud keravälgu loomuse kohta palju oletusi ja püüavad teda oma laboratooriumeis kunstlikult esile kutsuda. Alles pärast seda on keravälku võimalik üksikasjaliselt uurida.

8. Metallilaast... Kuidas sellest vabaneda? See probleem vaevab palju aastaid inseneride ja teadlaste ajusid. Tõepoolest, meie tehastes läheb miljoneid tonne esimese sordi metalli laastudeks. Lõikamise teel töötlemine on juba põhimõttelt seotud osa tooraine üleviimisega jäätmeteks.

Selle raamatu viimases peatükis räägiti metallide töötlemisest elektirsädeme abil, mis võimaldab sädemetekaskaadiga varustatuna viia jäätmete hulka miinimumini. Kuid plasma pole selle kohta veel öelnud oma viimast sõna.

1961. aastal anti kahele nõukogude insenerile, M. I. Popovile ja I. M. Popovile, välja autoritunnistus «igasuguse kujuga detailide loomise menetluse» kohta. See on plasmamenetlus, mis seisab järgnevas.

Kujutlege suletud kambrit, millesse viiakse kõrge rõhu all argooni või mõnda teist inertset gaasi. Kambris möllab plasmapõleti kuum leek, süües aeglaselt vardakujulist elektroodi. See elektrood on anoodiks, kambri düüs aga, millest tungib välja plasmajuga, — katoodiks. Võimas magnetväli surub plasmajoa kokku nõelana peeneks kiireks. See kiir satub tasasele ekraanile ja hakkab... valmistama detaili.

Plasmakiire liikumine on väga sarnane kiire liikumisega televiisori kineskoobis. Siin on samuti kaks magnetilist süsteemi, vertikaalne ja

horisontaalne, need sunnivad plasmakimpu kogu ekraani rida rea järel läbi jooksuma. Seejuures sadestuvad põleti metallelektroodist väljunud positiivsed ioonid ekraanile, kusjuures kooskõlas tulevase detaili profiiliga sadestub neid ühes kohas rohkem, teises vähem. Plasmakiire tööd jälgib pidevalt eriline optiline kontrollseade. Kui kasvatatav detail saavutab vajalikud mõõtmed, katkestab automaat kiire töö.

Selle detailide valmistamise meetodi juurutamine saab revolutsiooniks kogu metallitööstuses. Ebatavalised plasmatööpingid hakkavad kiiresti ja väga täpselt valmistama kõige kaelamurdvama konfiguratsiooniga detaile, kusjuures nende materjaliks võivad olla ükskõik millised metallid ja sulamid, isegi kõige rasketesulavamad.

9. On teil olnud juhust jälgida, kuidas bensiiniveoki taga lohiseb mööda teed väike kett? Milleks see seal on?

Tuleb välja, et sellel ketil on tegemist... plasmaga.

Kui bensiiniveok sõidab mööda teed, siis hõõruvad bensiiniosakesed tsisterni seinu, mille tulemusena tekivad elektrilaengud. Seda elektrit nimetatakse staatiliseks. Kui teda koguneb küllalt palju, võib mõnes kohas tekkida säde ja süüdata bensiini. Metallist ketijuppi kasutatakse nende laengute maandamiseks.

Tuleb välja, et säde, see väike plasmaportsjon, võib tuua mitte ainult kasu, vaid ka kahju. Mõnedes keemiaettevõtetes ja kaevandustes on ta ohtlik vaenlane. Piisab sädeme tekkimisest, et võiks toimuda kohutav gaasi- või tolmuplahvatus.

On teada juhul, mil säde sai stratosfääris toimunud katastroofi põhjuseks. 12. oktoobril 1939. aastal tõusis stratostaat «SSSR-VR-Komso-mol» kolme aeronaudiga umbes 17 tuhande meetri kõrgusele. Ballastiga kotte polnud sellele stratostaadile vaja: meeskonna soovi järgi võis ta muutuda langevarjuks ja laskuda maapinnale. Stratostaadi-langevarju konstruktoriks oli suurepärase õhusõitute spetsialist T. M. Kulintšenko.

Tõus kulges normaalselt. Pidevalt plõksus kosmiliste osakeste ionisatsioonloendaja, regulaarselt võeti õhuproove, perioodiliselt tehti ülesvõtteid stratostaadi kestast.

Kolmetunnilise tõusu järel hakkasid aeronaudid kestast vesiniku välja laskma — algas laskumine. Kest muutus hiiglaslikuks langevarjuks. Ja äkki nägi üks aeronautidest 10 kilomeetri kõrgusel läbi illuminaatori, kuidas kest süttis. Gondel hakkas viivitamatult kukkuma. Aeronaudid kinnitasid selga langevarjud ja hakkasid ühekaupa gondlist lahkuma. Pärast maandumist kiirustasid nad päästma põlevasse stratostaati jäänud teaduslikke üleskirjutusi.

Katastroofi põhjuseks oli säde, mis tekkis staatilise elektri kogunemise tõttu. See süütaski stratostaadi.

Aga välg? See gigantne atmosfäärsete elektrilahenduste puhul tekkinud säde on toonud ja toob edaspidigi inimestele palju kahju. Välg võib süüdata metsa või viljapõllu, kahjustada hooneid, tappa inimesi. Majade ja tööstushoonete kaitsmine pole kerge ülesanne. Ühtki hoonet, eriti kõrget, ei hakata ehitama enne, kui pole välja töötatud ja kinnitatud piksekaitse projekt. Erilaboratooriumeis ehitatakse hoone makett ja «tulistatakse» seda kunstlike välgudega. See võimaldab avastada kergesti tabatavaid kohti. Isegi tavalise raudkatusega elumaja puhul nõutakse kaitset välgulöökidest. Iga 25 meetri järel ühendatakse katus kindlalt maaga.

Väga kõrgeid nõudeid esitatakse piksekaitsele selliste tööstusobjektide juures, kus toodetakse plahvatusohtlikke aineid või kus saadakse

plahvatusvõimelisi tolmu, gaaside või aurude segusid. Sellistele hoonetele piksekaitseid ei panda, vaid paigutatakse ümber hoone nii, et nad kaitseksid välgulöökide eest tervet maa-ala. Hoone sees maandatakse kindlalt kõik sisseade metallosad. See kaitseb salakavala sädeme tekkimise eest.

Sideks ja elektriülekaneks määratud õhuliinidel on samuti piksekaitse. Kui juhtmesse lööb sisse välg, võivad temas tekkida mõne miljoni voldi suurused pinged. Sadadesse tuhandettesse voltidesse ulatuvad pinged tekivad siis, kui välg ei puuduta juhtmeid, vaid hüppab nende lähedal pilvede vahel. Purustava jõuga ülekoormuse laine kihutab piki juhtmeid, tungib majadesse ja asutustesse, võib rivist välja viia aparate, teha kahju inimestele.

Kuid seda ei juhtu. Elektriülekanedeliinides kasutatakse ühte neljast juhtmest, kõige ülemist, kaitseks välgulöökide vastu. See on paljudes kohtades ühendatud maaga ja seda nimetatakse piksekaitsetrossiks. Kui aga välg lööb siiski juhtmesse, aitavad hädast välja eriseadmed, mida nimetatakse lahenditeks. Neid on loodud palju tüüpe. Selleks võivad olla kaks üksteise peale paigutatud metallrõngast. Ülemine rõngas ühendatakse juhtmega, alumine maandatakse. Kui juhtmes tekib ohtlik pinge, siis süttib rõngaste vahel lahendus ja plasma juhib laengud maasse.

Telegraafijuhtmeid kaitstakse kas samasuguste sädelahenditega või eriliste plasmaseadmete,ioonlahenditega. Need on neoniga või vesinikuga gaaslahendustorud, mille üks elektrood on ühendatud juhtmega, teine aga maandatud. Kui välg lööb juhtmesse, maandabioonlahendaja liini automaatselt. Kui aga laeng on maasse voolanud ja pinge juhtmes muutub ohutuks, kustub lahendus torus ja liin jätkab oma tööd. Paljud võib-olla ei saa arugi, kui telefoni-kaugekõne ajal satub kahe linna vaheline telefoniliin välgude rünnakute alla. Ustavad valvurid, lahendid, ei lase välgudel kõnet segada.

Elektriülekanedeliinidel võib kustumata plasma teha veel üht liiki kahju. Tuleb välja, et sinakas helendus kõrgepingeliinide juhtmete ümber läheb maksma kenakese kopika. Toomata mingisugust kasu, kulutab see koroonalahendus vabrikutele, tehastele, elumajadele vajalikke kallihinnalisi kilovatt-tunde. Eriti suured kaod tekivad koroona fõttu siis, kui elektrienergia kantakse üle kõrge pinge all. Kui projekteeriti Kuibõševi—Moskva elektriülekanedeliini, siis näitasid arvutused, et kaod koroonale võiksid moodustada 130—170 miljonit kilovatt-tundi aastas. Loomulikult ei võidud lubada, et elektrienergia läheks «õhku», tuli tarvitusele võtta eriabinõud.

Inseneridel on teada, et koroona toob vähem kahju, kui ülekanedeliini juhtmed on üksteisest kaugemal ja kui need juhtmed on jämedamad. Konarused ja kisud juhtmete pinnal suurendavad koroneerimist. Peale selle mõjub kadudele ilm. Kõiki neid faktoreid, peale ilma, arvestatakse elektriülekanedeliinide projekteerimisel.

Kuid juh et ei saa teha palgipaksuseks, samuti ei saa kolmefaasilise liini juhtmeid viia üksteisest sadade meetrite kaugusele, tavaliselt monteeritakse nad ühisele alusele. Seepärast läksid insenerid tuhandekilomeetrise Kuibõševi—Moskva liini projekteerimisel välja kavalusele. Kolme asemel otsustasid nad üles panna üheksa juh et — kolm igale faasile. See andis vajalikku efekti.

Üksiku faasijuhtme ümber on elektriväli väga tugevasti moonutatud. See soodustab koroona teket. Kui faas aga «lõhestada», kanda teda

üle mitte ühe, vaid kolme juhtmega, on elektrivälja jõujooned nende ümber harvemad, väli moonutub vähem ja kaod koroona läbi on väikesed.

Nüüd tuleb lühidalt rääkida sädemete poolt tekitatud kahjust.

Inimesed lülitavad voolu pidevalt sisse ja välja. On olemas eriseadmed — releeregulaatorid, autode süüteseadmed jt.

Elektrisädemed teevad kahekordset kahju.

Esiteks lõhuvad sädemed kontakte. Ma juba rääkisin, et pole olemas sellist sulamit või metalli, mida sädemed ei purustaks. Kuid kontaktide lõhkumist sädemete poolt võib tunduvalt vähendada, kui kontaktidega paralleelselt lülitada kondensaatorid. Kontakte avamisel läheb osa voolu kondensaatori laadimiseks ning säde ei tule nii «rasvane».

Palju muret tekitavad kaaresädemed ka võimsates voolulülites. Esialgu tuli ehitada massiivseid lüliteid. Ahela katkestamiseks tõmbasid neis pakse metallnugasid pesadest välja tugevad vedrud. Hiljem hakati lüliteid paigutama hästipuhastatud õlisse: selles pole elektrilähendus nii purustav. Eriti võimsates lülites katkestatakse ahel mitte ühe, vaid kahe kontaktiga, mis töötavad paarina. Kahe nõrgema kaarega on tunduvalt kergem võidelda kui ühe võimsaga. Sageli kasutatakse õhk- või vesiniklöötsa. Kaare sündimise momendil lööb gaasijuga kaareplasma segamini, katkestab kaare, nõrgendades sellega plasmalöögi purustavat jõudu.

Võitlusest selle pahega võtab osa ka plasma ise. On olemas palju tüüpe elektrivoolu plasmalüliteid. Nendena kasutatakse türatrone või ignitrone.

Teiseks ebameeldivuseks, millega inimesed sädemeid tekitades kokku puutuvad, on raadiohäired.

Te sisenesite tuppa ja lülitasite sisse valguse. Kui raadiovastuvõtja töötab, vastab ta kohe raginaga. Kõik elektrisädemed ja elektrikeevituse kaared on mittevajalikud, kahjulikud raadiolainete allikad. Omal ajal aitasid sädemed avastada raadiolaineid ja leiutada raadiot, praegu segavad nad raadiosidet.

Selliste raadiohäirete poolt tekitatud kahju on niivõrd suur, et meil ja teistes maades on välja antud eriseadused, mis kohustavad tootma elektriseadmeid spetsiaalse kaitsega.

Et autode süütesüsteem ei segaks raadio kuulamist, lülitatakse küünalde juurde minevate juhtmete külge summutavad takistid. Seetõttu nõrgeneb küünlas saadav sädemeke, kuid see-eest kiirgab juhe vähem raadiolaineid. Sageli pannakse need juhtmed ekraanidesse — korpusega ühendatud metallsukkadesse.

Võitluses raadiohäiretega toovad väga suurt kasu elektrilised filtrid. Need ühendatakse raadiohäireid loova elektriseadme korpusega. Lihtsaim filter on kondensaator, keerulisemad koosnevad kondensaatoritest ja induktiivpoolidest. Kondensaatorid lülitatakse juhtme ja korpuse vahele. Kõrgsagedusvoolud lühistatakse läbi selle korpusega ning nad ei satu juhtmetesse. Juhtmed kiirgavad sel juhul tunduvalt vähem raadiolaineid. Induktiivpool lülitatakse juhtmega järjestikku. Elektriseadet toitva voolu jaoks pole pool tõkkeks, raadiohäireid loova kõrgsagedusvoolu jaoks aga on ta barjääriks, mida see peaaegu ei suuda ületada.

Hool raadioside ja raadioringhäälingu töökindluse eest sunnib looma kaitset raadiohäirete vastu, mida tekitavad elektrikeevitusagregaadid, lülitid, kollektoritega elektrimasinad, releeregulaatorid, röntgeniaparaadid ja teised seadmed. Kui plasma toob kahju, siis peab see kahju olema viidud miinimumini.

## SISUKORD

<b>Saagem tuttavaks, plasma</b> .....	3
Selle raamatu kangelase nimest .....	3
Kolm kõigile hästi tuntud stiihiat .....	5
Neljas stiihia — plasma .....	7
Plasmas sündinud valgus .....	11
Universum koosneb...plasmast .....	14
<b>Mõned leheküljed plasma eluloost</b> .....	17
Sädeme sünd .....	17
Tulinõõri ajalugu .....	19
«Vene päikese» triumf .....	21
Suur avastus väikeses linnas .....	23
Päikesel avastatud aine .....	25
Millest jutustasid tumedad jooned .....	27
<b>Säragu alati Päike</b> .....	30
Kuidas pikendada päeva .....	30
Päevavalguse poole .....	31
Veel kord plasma kiirgusest .....	33
Lambid annavad päevavalgust .....	38
Elavhõbelambi teine sünd .....	44
Kollase dubleti teenistus .....	47
Ksenoonpäike .....	50
<b>Kiired tööl</b> .....	58
Lahenduste perekond .....	58
Linna keel .....	62
Prožektorivalgus .....	65
Kino aparaadiruumis .....	67
Välg klaaskestas .....	71
Plasma signalseerijana .....	75
Teaduse võimas tööriist .....	78
Tervise valgus .....	81

<b>XX sajandi laps — laser</b> .....	85
Iidne unistus .....	85
Valgus rubiini sisemusest .....	92
Mõelgem veidi arvudele .....	100
Plasmalaserid .....	105
Laserite perekond kasvab .....	108
Täna ja homme .....	114
<b>Plasma teised «elukutsed»</b> .....	120
Säde töötamas .....	120
Plasma kuumus .....	127
Plasma ja keemia .....	130
Plasmatäidisega aparaadid .....	132
Plasma «elukutsed» tulevikus .....	136
<b>Seda on huvitav ja kasulik teada</b> .....	142

Фомин Борис. ОТ ИСКРЫ ДО ЛАЗЕРА. На эстонском языке. Оформление А. Сяде. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja M. Kalman, Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja T. Linkvist. Korrektorid H. Kahar ja V. Leibak.

Ladumisele antud 5. VI 1966. Trükkimisele antud 20. X 1966. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 9,75. Tingtrükipoognaid 8,2. Arvestuspoognaid 9,07. Trükiarv 5000. Tellimise nr. 536. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn, Pikk tn. 54/58. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik.

Hind 27 kop.

27 kop.

A-28042

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00446398 2