TAHAN KÕIKE TEADA

D. VARDJA

Valgusest ja valgustusest

A-23362

DANIEL VARDJA

VALGUSEST JA VALGUSTUSEST

Tartu Riiklik Ülikool
Raamatukogu
23 65

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN · 1960

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
59266

SAATEKS

NLKP XX kongressi otsused koolireformi alal tõid ajaloolise pöörde noorte kasvatusküsimustesse meie kodumaal. Tollest ajast alates tõsteti koolitöös esikohale polütehniline haridus. Selle laiahaardelise küsimuse üheks põhiliseks eesmärgiks on anda noortele peale eeskujulike teoreetiliste teadmiste ka eluks vajalikke praktilisi oskusi kodumajanduse, tööstuse ning põllumajanduse alal.

Käesoleva raamatu vähestele lehekülgedele on tihedalt kokku surutud põgus ülevaade valgusest, valgustusest ja valgustitest. Raamat on koostatud nii, et ta pakuks materjali mitte ainult lugemiseks, vaid võiks kasulik olla ka neile, kes on huvitatud praktilistest juhistest mitmesuguste valgustusseadmete ehitamiseks. Veel on raamatus kirjeldatud mõningaid katseid, mida igaüks saab ka kodustes tingimustes edukalt sooritada.

Raamatus leiduvad joonised ja fotod aitavad kaasa käsitletavate küsimuste selgitamisele. Ta on koostatud nii, et võib abiks olla ka koolides füüsika tunnivälise töö korraldamisel.

Autor

1. Valguse olemus

Raske on öelda, kas on rohkem neid inimesi, kes armastavad lõket sellepärast, et see soojendab, või sellepärast, et see valgustab, või koguni neid, keda meelitab nii lõkke valgus kui ka soojus. Üks on aga kindel: lõke on nii soojuse kui ka valguse allikaks.

Võrreldamatult rohkem levitab aga maailmaruumi nii soojust kui ka valgust Maale lähim hiiglaslik looduslik «lõke» — Päike.

Suunanud pilvitul ööl pilgu taevalaotuse tohutusse avarusse, näeme seal vilkumas tuhandeid päikesi, millest paljud on meie Päikesest tuhandeid kordi suuremad. Ja nad kõik on soojuse ning valguse allikad.

Meilt suure kauguse tõttu väikeste tähtedena näivatelt päikestelt saabub meile mitte ainult valgust, vaid ka soojust. Oma meeleorganitega me seda soojust küll ei taju, sest inimese kompimismeel ei ole nii tundlik kui nägemismeel, kuid teda mõõdavad inimese poolt loodud aparaadid — pürheliomeetrid[1].

Soojus võib edasi kanduda juhtivuse[2], konvektsiooni[3] või kiirguse[4] teel. Valguse levimiseks aga on üksainus viis — kiirgus.

---

[1] Pürheliomeeter — riist, mille abil saab mõõta Päikeselt maakera pinnale kiirguvat soojust.

[2] Juhtivus — soojuse edasikandumine kehade kokkupuutumise teel.

[3] Konvektsioon — soojuse edasikandumine vedeliku- või gaasikihtide ümberpaigutumise teel. Teatav osa on tal looduses ka tuule tekkimises.

[4] Kiirgus — soojuse levimine kiirte näol.

Inglise teadlase Isaac Newtoni õpetuse järgi levib valgus kiirgava keha väikeste osakestena — korpusklitena. Ta võrdles valgust imeväikeste haavlitega, mis igas sihis paiskuvad valgusallikast ruumi. Missugune nähtus viis Newtoni niisugusele veendumusele? Kui asetada mingisugune läbipaistmatu keha valguskiirte teele ette, siis jääb tema taha tume vari — ala, kuhu valgus ei lange. Oleks aga valgus lainetusnähtus, siis ei tohiks tõkke taha varju ilmuda, sest näiteks veelained painduvad takistuste taha. Sama on ka häälelainetega, mille levikut vaevalt suudab takistada üksik puu või isegi maja. Oletades, et valgus on lainetusnähtus, oleks raske seletada neeldumist, valguse keemilist toimet, fotoelektrilisi nähtusi jne.

Ka Saksa teadlase M. Plancki kvantide teooria räägib valguse algosakestest — footonitest ehk kiirgusenergia kvantidest. Selle teooria järgi kiirgavad aine aatomid ja molekulid valgust mitte pideva voona, vaid kindlate annustena, mida enam pole võimalik jaotada. Neid mittejaotatavaid valguse annuseid nimetaski M. Planck kvantideks, millest on tulnud ka teooria nimetus.

Valguskvandi energia $E = h\nu$ ergi[1], kus h on jääv suurus ja võrdub $6{,}62 \cdot 10^{-27}$ ergi · sek., ν aga on võnkesagedus hertsides.

Vastupidiselt Newtoni seisukohale väitsid hollandlane Chr. Huygens[2], inglise loodusteadlane Th. Young[3] jt., et valgusel on laineline iseloom. Laine kandjaks on aga aine — veelainel vesi, helilainel õhk. Kuid maailmaruumis Päikese ja Maa vahel puuduvad nii õhk, vesi kui ka igasugused tei-

[1] Erg — töö, mida teeb ühedüünine jõud 1 cm pikkuse tee ulatuses.

[2] Huygens (l. *höigens*).

[3] Young (l. *jang*).

sed tuntud ained. Mille abil siis valgus levib? Ka valguse lainetusteooria pooldajad eesotsas Huygensiga ei suutnud valguse levimist seletada ilma aine vahenduseta ja seepärast lõid nad teooria mingist ebamääraste omadustega ainest, mis täidab kogu universumi. Selle aine nimetasid nad eetriks.

Siis aga tõestas inglane J. C. Maxwell, et valgus peab olema elektromagnetiline lainetus. Veel enam, Maxwell näitas arvutustega, et peale laineliste omaduste on valgusel ka mass. Ilmekalt tõendab seda fakt, et valgus avaldab rõhku oma teel olevatele aineosakestele. Vene teadlane P. N. Lebedev püüdis valgusrõhu olemasolu katseliselt tõestada. 1899. aastal valmiski tal katseriist, mille abil saadi näidata valguse rõhku mingile pinnale. Nüüdsest peale ei kahelnud keegi enam ka vene astronoomi Bredihhini väites, et komeetide sabad, mis koosnevad gaasidest, hoiduvad Päikesest eemale päikesevalguse rõhu mõjul.

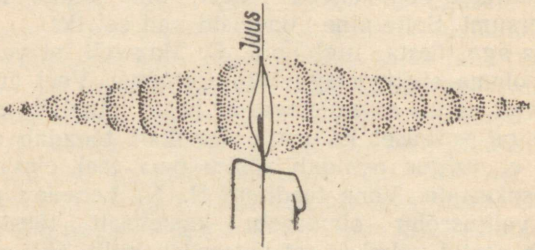
Nii on Maxwelli teooria nagu teatav kompromiss kahe vastandliku teooria vahel, tunnustades nii valguse korpuskulaarset kui ka selle lainelist iseloomu.

Katseliselt tõestas elektromagnetiliste lainete olemasolu esimesena saksa teadlane H. Hertz. Tal õnnestus tekitada umbes 1,5 m pikkusi elektromagnetilisi laineid ja näidata, et nende levimiseks pole tarvis mingisugust ainelist keskkonda.

Sooritagem nüüd mõned katsed, mis tõestavad valguse lainelist iseloomu:

1. Süütame küünla. Vaatame ühe silmaga silmade ja leegi vahele asetatud raamatu tagant selle leegi tippu. Raamatu taga on näha punakat valgusekuma. Samasugust punakat valgust võib täheldada ka siis, kui kiiresti mööduda püsttarast või hõredast plangust ajal, kui päike on laskunud madalale plangu varju.

2. Võtame juuksekarva, tõmbame ta oma silmade ees sirgu ja vaatame nüüd küünlaleeki. Kahel pool juust näeme me vikerkaarevärvilisi ribasid (joon. 1).



1. Kahele poole juust ulatuvad vikerkaarevärvilised ribad.

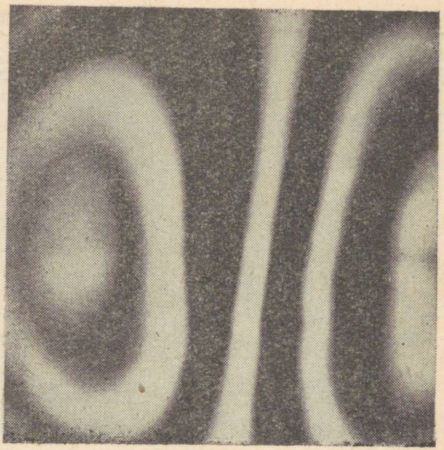
3. Kirjeldatud nähtus on veelgi täiuslikum ja vaadeldav üheaegselt mõlema silmaga, kui me jälgime küünlaleeki või elektrihõõglambi niiti läbi gaasriide (riie, millest valmistatakse näiteks naiste pearätikuid).

4. Asetagem projektsiooniaparaadi objektiivi ette ava või avadega ekraan ja me näeme sellel suurepärast vikerkaarevärvilist pilti (joon. 2).

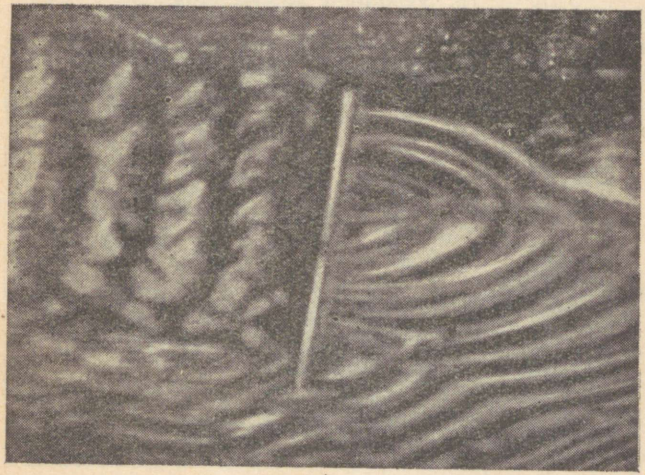
Eespool toodud katsed tõendavad valguse levimist varju piirkonda ja on analoogilised veelainete paindumisega tõkke taha (joon. 3). Seda nähtust nimetatakse lainete d i f r a k t s i o o n i k s.

Kui liigutada latti, mille ots ulatub vette, tekivad veepinnal igas sihis levivad lained. See pilt on kindlasti kõigile isiklike kogemuste kaudu tuttav (vt. joon. 4). Kui kahes teineteise ligidal asuvas punktis tekitada veepinnale samaaegselt kaks lainetust, siis saame joonisel 5 kujutatud pildi. Kahe laine harjade ühtimiskohas saame kõrgenenud harjaga liitlaine.

2. Kui projektsiooniaparaadi objektiivi ette asetada avadega kate, näeme ekraanil värvilist pilti.

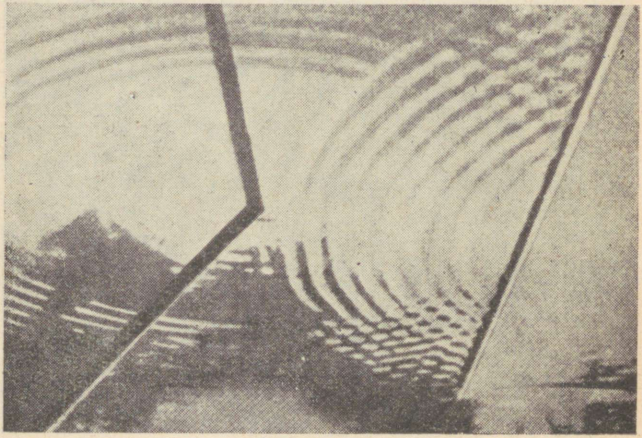


3. Veelaine paindub tõkke taha.



4. Vees liigutatav latt tekitab veepinnal laineid.

5. Veelainete interferents.

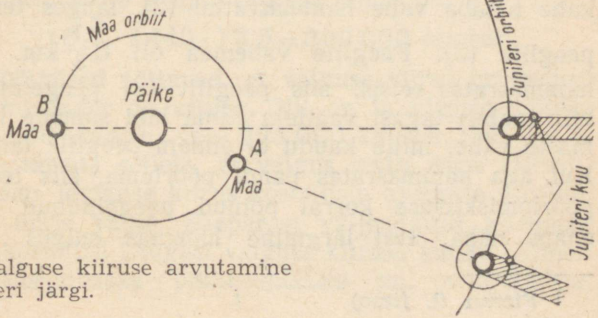


Seal aga, kus ühtivad kahe laine põhjad, vajub liitlaine põhi peaaegu kahekordselt madalamale. Kui ühe laine hari langeb kokku teise laine põhjaga, siis üks laine hävitab teise ja niisuguses kohas lainet ei esine. Kirjeldatud lainete liitumisnähtust nimetatakse lainete interferentsiks. Interferentsinähtus ilmneb ka valguse juures. Niisugusel juhul, piltlikult öeldes, üks valgus hävitab teise ja tekib pimedus. Seda saab tõestada ka katseliselt.

Kokkuvõttena peame meeles tänapäeval kindlaks tehtud tõsiasja: valgusel on samaaegselt nii lainelised kui ka korpuskulaarsed omadused.

2. Valguse kiirus

Kuidas saaks määrata valguse kiiruse? Aastail 1675 tegi taani astronoom Ole Römer seda järgmiselt. Uurides planeet Jupiteri ja selle kuude liikumist, arvutas ta Jupiteri sisemise kuu tiirlemisperioodi oma planeedi ümber. Samuti arvutas Römer selle kuu planeedi varju peitumise täpse aja nende



6. Valguse kiiruse arvutamine Römeri järgi.

juhtude jaoks, kui Maa asub Jupiterile kõige lähemal (seis A, joon. 6) või Jupiterist kõige kaugemal (seis B). Römer pani aga tähele, et arvutuse tulemused ei vastanud tegelikkusele. Nimelt, kui Maa asus seisus B, hilines kuu Jupiteri taha kadumise hetk, võrreldes arvutatud ajaga, tuhande sekundi võrra. Sellest tegi Römer õige järelduse: hilinemise põhjustas asjaolu, et valgus ei levi mitte silmapilkselt, vaid tal kulub selleks teatav aeg. Seisus B on Maa aga Jupiterist tunduvalt kaugemal kui seisus A. Seega hilinebki mitte kuu varjuminek Jupiteri taha, vaid valguse jõudmine vaatlejani. Hilinemine on tuhat sekundit. Et Römer teadis ligikaudu Maa orbiidi läbimõõtu ($300 \cdot 10^6$ km), siis võis ta lihtsate arvutustega leida valguse kiiruse:

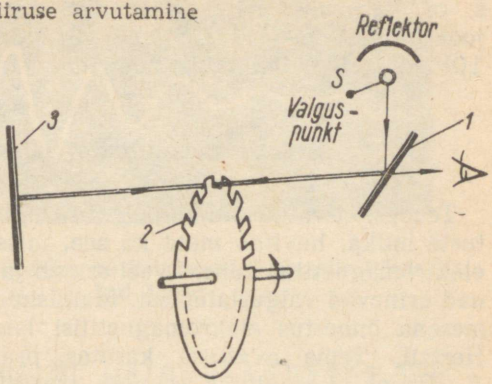
$$\frac{300 \cdot 10^6}{1000} = 300\,000 \text{ km/sek.}$$

Hiljem on valguse kiirust arvutatud veel mitmel erineval viisil, tulemused erinevad üksteisest aga ainult vähesel määral.

Huvi pakub katse, millega prantslane A. Fizeau[1] määras umbes 100 aastat tagasi valguse kiiruse (vt. joon. 7). Ta suunas valguskiire poolläbipaistvale peeglile (1), kust kiir peegeldus ja, läbinud kahe hamba vahe hammasrattal (2), langes teisele peeglile (3). Peeglite vahemaa oli $8\frac{1}{3}$ km. Kui hammasratas seisis, siis peeglilt (3) peegeldunud kiir saabus tagasi vaatleja silma läbi samade hammaste vahe, mille kaudu ta ennem peeglile langes. Kui aga hammasratas pandi pöörlema, siis teatud pöörlemiskiiruse korral polnud peegeldunud kiirt enam näha, sest järgmine hammas sulges talle

[1] Fizeau (l. *fizoo*)

7. Valguse kiiruse arvutamine Fizeau' järgi



tee. Kuna hammaste ja nendega laiuselt võrdsete vahede arv kokku oli 1440, ratta kiirus oli 12,5 pööret sekundis, siis sulges hammas kiire tee kohe pärast seda, kui ratas oli pöördunud üheainsa hamba võrra (ratta ümbermõõdust moodustas see $\frac{1}{1440}$). Ühe pöörde tegi ratas $\frac{1}{12,5}$ sekundiga. Seega kulus valgusel liikumiseks peeglile (3) ja sellelt tagasi silma ehk $16\frac{2}{3}$ km pikkuse vahemaa läbimiseks $\frac{1}{1440 \cdot 12,5}$ sekundit, mille põhjal valguse kiirus on:

$$16\frac{2}{3} \cdot 1440 \cdot 12,5 = 300\,000 \text{ km/sek.}$$

Mõõtmised näitavad, et valguse kiirus erinevates keskkondades on erinev. Nii on ta klaasis näiteks 200 000 km/sek., vees 225 000 km/sek. jne.

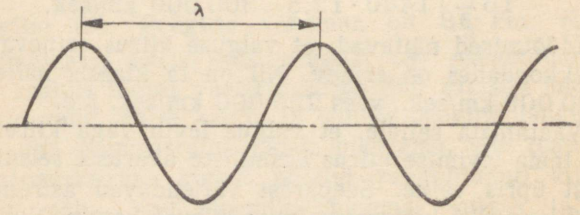
Vaatamata sellele, et valgus levib väga kiiresti, on tema levimise kiirus kosmiliste avaruste seisukohast üpris väike. Seepärast väljendavad astronoomid kosmilisi kaugusi valguse kiiruse kaudu. Nimelt on kosmiliseks pikkusühikuks nn. valgusaasta,

s. o. vahemaa, mille valguskiir läbib ühe aasta jooksul. Kilomeetritesse ümberarvutatuna on see 10^{13} ehk 10 triljonit kilomeetrit.

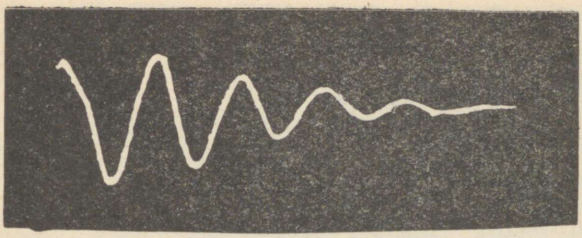
3. Elektromagnetilistest lainetest

Teades, et valgus kuulub elektromagnetiliste lainetuste hulka, huvitab meid ka see, missuguseid teisi elektromagnetilisi laineid veel esineb ja mille poolest nad erinevad valguslainetest. Mainisime juba, et esimesena õnnestus elekromagnetilisi laineid tekitada Hertzil. Tema avastuse kasutas praktiliselt ära A. Popov, kes ehitas esimese traadita telegraafi, teiste sõnadega — leiutas raadio. Hertzi poolt avastatud lained ehk, nagu neid nüüd nimetatakse, raadiolained pole silmaga nähtavad. Milles on siis valguslaine ja raadiolaine erinevus? Et sellest paremini aru saada, tutvume veidi lähemalt laine omadustega.

Joonisel 8 on kujutatud laine kulg. Niisuguseid lainepilte saame tekitada võnkuvate esemetega. Paneme metallsaelehe ühe otsa kruustangide vahele, teise otsa külge kinnitame teraviku. Nüüd tahmame klaasplaadi. Paneme saelehe võnkuma ja libistame teraviku mööda tahmatud plaati. Klaasile tekib lai-



8. Laine kulg.



9. Võnkuva saelehe poolt tahmatud klaasile tekitatud laine.

neline joon (joon. 9). Lainepikkuseks nimetatakse ühe laineharja kaugust teisest laineharjast ja tähistatakse tähega λ (lambda). Kui libistamine toimub ühtlase kiirusega, märkame, et sama plaadi pikkuse korral ühe ja sama aja vältel joonistunud lainete arv, s. t. võngete arv sekundis ehk sagedus sõltub kahe laineharja vahelisest kaugusest (lainepikkusest) järgmiselt:

$$\text{sagedus} = \frac{\text{sekundis läbitud tee}}{\text{lainepikkus}}.$$

Tähistanud sageduse kreeka tähega ν ja lainepikkuse λ ja pidades silmas, et elektromagnetilise laine poolt ühes sekundis läbitud tee on 300 000 km, saame tuntud valemi:

$$\nu = \frac{300\,000}{\lambda},$$

millest lainepikkus

$$\lambda = \frac{300\,000}{\nu},$$

Sagedusühikuks on võetud võnkumine sagedusega üks võnge sekundis, mida füüsik Hertzi järgi

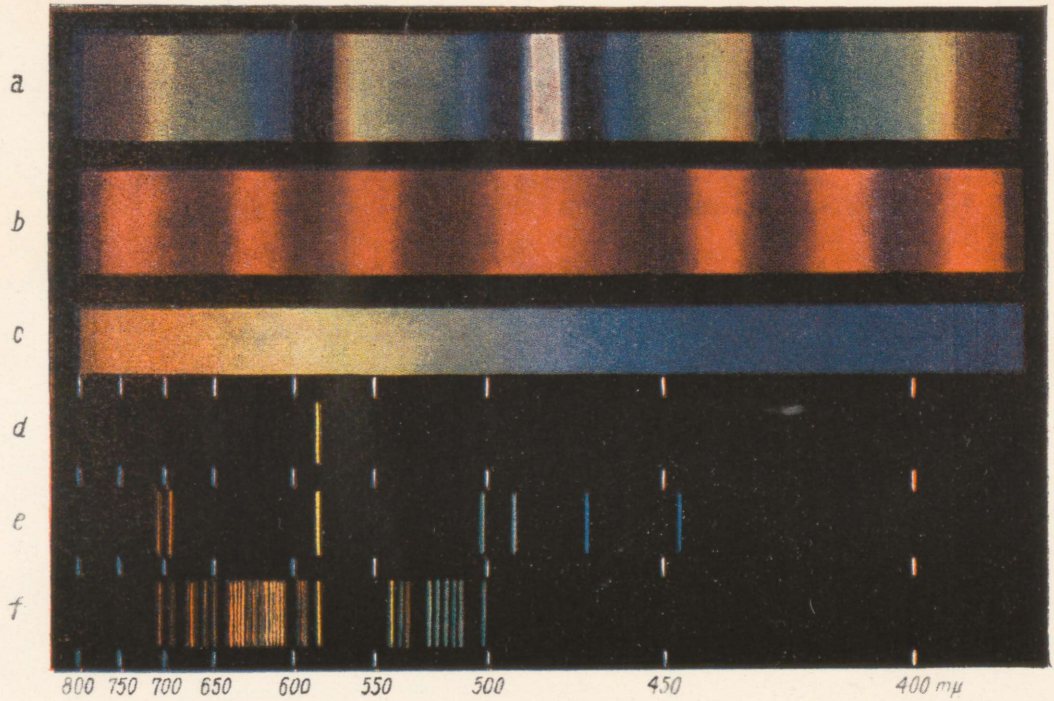
on nimetatud hertsiks (lühendatult Hz). Tuhat hertsi on kiloherts (kHz), miljon ehk 10^6 hertsi on megaherts (MHz).

$$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz},$$
$$1\,000\,000 \text{ Hz} = 10^6 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}.$$

Seega sõltub lainepikkus sagedusest: mida suurem on sagedus, seda väiksem on lainepikkus ja vastupidi. Sagedus võib aga ulatuda mõnest võnkest sekundis miljonite võngeteni sama aja jooksul. Nii see tegelikult ongi. Esineb elektromagnetilisi laineid, mille pikkus ulatub kilomeetritesse, ja laineid, mis on lühemad kui miljondik millimeetrit. Ja kusagil selles tohutus piirkonnas asuvad ka need elektromagnetilised lained, mida nimetatakse *valguslaineteks*. Ülevaate elektromagnetiliste lainete liigitusest annab tabel 1.

Seega on nii raadiolained, valgus kui ka röntgenikiirgus kõik ühe ja sama elektromagnetiliste lainete «perekonna liikmed».

Nähtav valgus hõlmab elektromagnetiliste lainete ala lainepikkusega 400 kuni 800 mμ. See on küllaltki lai piirkond. Tekib küsimus, mille poolest võiks erineda valgus lainepikkusega näiteks 400 mμ valgusest, mille lainepikkuseks on 600 mμ. Ka sellele küsimusele leidis vastuse juba Newton. Kui läbi kitsa pilu pimedasse ruumi tungiva valguskiire teele asetada klaasprisma, siis valguskiir läbib selle ja tekitab ekraanile suurepärase värvilise pildi, mida nimetatakse valguse *spektriks* (joon. 10). Valguse «perekond» — valge valgus — on lahutatud üksikuteks liikmeteks, mis omavahel erinevad lainepikkuse poolest ja seetõttu tekitavad ekraanil ka erinevad värvused. Niisugust spektrit nimetatakse



10. Valguse spekter

Tabel 1

Elektromagnetiliste lainete skaala

	Elektromagnetilise lainetuse liik (ja kasutusala)	Võnkesagedus	Lainepikkus
Sides kasutatavad lained	Telegraaf	Kuni 20 kHz	kuni 15 km
	Raadiolained	150 kHz ... 20 MHz	2000 ... 15 m
	Televisioonis kasutatavad lained	20 ... 300 MHz	15 ... 1 m
	Infrapunane ja soojuslik kiirgus	750 000 ... 375 000 000 MHz	0,4 mm ... 0,8 μ[1]
	Nähtav valgus	375 000 000 ... 750 000 000 MHz	0,8 μ ..., 0,4 μ
	Ultravioletkiirgus	750 000 000 ... 75 000 000 000 MHz	0,4 μ ... 0,004 μ
	Röntgenikiirgus	75 000 000 000 ... 60 000 000 000 000 MHz	0,004 μ ... 0,0005 μ
	Gammakiirgus	60 000 000 000 000 ... 60 000 000 000 000 000 MHz	0,5 ... 0,0005 mμ

1 μ (mikron) $=10^{-4}$ cm

1mμ$=10^{-6}$ cm

pidevaks spektriks. Katse lahutada prisma abil mõnda üksikut spektri valgust, näiteks kollast, ei anna tulemusi — mitmevärvilise spektri asemel saadakse üksainus kollane joon.

4. Spektraalanalüüs

Hoides gaasi- või piirituslambi leegis mingit aurustuvat ainet, saame nn. joonspektri. Viime leeki näiteks vasesoolasid. Leek värvub tugevasti roheliseks. Kui vase toimel värvunud leegi valgus suunata läbi prisma, s. t. tekitada spekter, ilmuvad ekraanile eredad rohelised jooned, muus osas jääb ekraan aga tumedaks. Hoides leegis näiteks keedusoola kristallikesi, muutub leek keedusoolas sisalduva naatriumi tõttu kollaseks ja tekitab ekraanile ereda kollase joone (joon. 10, d).

Nii värvub leek mingi aine lisamisel kindla iseloomuliku värvusega ja leegist tekib ekraanile antud ainele omane spekter. Paljude ainete spektris on mitu erineva värvusega joont — raual näiteks isegi enam kui 4000.

Joonspektreid kasutatakse ainete koosseisu uurimiseks ehk analüüsimiseks ja seda meetodit nimetatakse spektraalanalüüsiks. Tabelis 2 on toodud mõnede ainete spektreid iseloomustavad jooned:

Ainete omadust anda leegile teatav värvus kasutatakse ilutulestike korraldamisel. Üheks lihtsamaks värvilise valguse tekitajaks on piirituseleek, kus piiritusele on lisatud boorhapet. Niisugune leek värvub ereroheliseks.

Värvilise valgusega rakettide valmistamiseks kasutatakse mitmesuguseid segusid. Toome näiteks kahe niisuguse segu koostise.

Tabel 2

Elementide tähtsamaid spektraaljooni

Elemendi nimetus	Tähtsamad värvused spektris	Lainepikkus mμ
Lämmastik	Oranž	594,2
	Kollakasrohelised	567,1 ja 566,6
	Rohelised	500,5 ja 500,1
	Sinine	478,3
Tsink	Oranž	636,2
	Sinised	481, 472,2 ja 468
Nikkel	Rohelised	547,7 ja 508,1
	Sinine	471,4
Vask	Rohelised	521,8, 515,3 ja 510,6
Kuld	Oranž	627,8
	Kollane	583,7

1. Punase valguse jaoks: 180 g salpeetrit, 180 g pulbrilist püssirohtu, 150 g väävlit, 200 g strontsiumnitraati, 25 g väävelantimoni ja 60 g sütt.

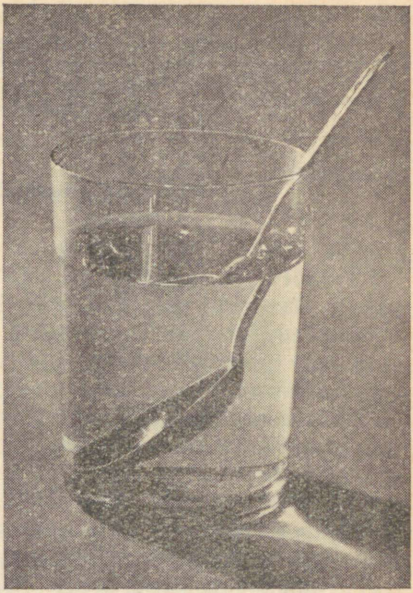
2. Rohelise valguse jaoks: 70 g salpeetrit, 80 g pulbrilist püssirohtu, 20 g väävlit, 100 g baariumnitraati ja 20 g sütt.

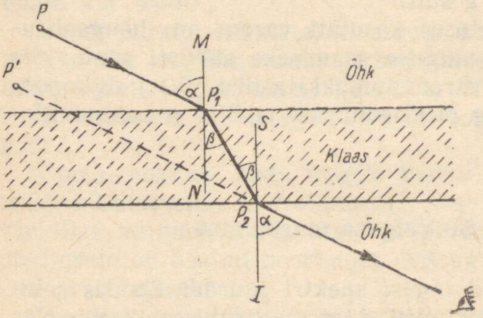
Teatrivalgustuses kasutati varem nn. bengaalitulesid. Punase valguse saamiseks süüdati segu, mis koosnes 50 g strontsiumoksalaadist, 50 g lükopoodiumist, 200 g piimasuhkrust ja 300 g kaaliumkloraadist.

5. Valguse murdumine

Tuleme nüüd tagasi spektri juurde. Kuidas seletada spektri tekkimist? Asetame lusika teeklaasis olevasse vette (joon. 11) ja vaatleme teda läbi klaasi. Lusikas näib murdununa. Või tuletagem näiteks

11. Valguse murdumine vees.





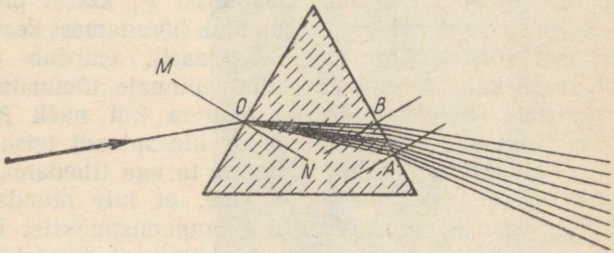
12. Valguskiire murdumine tasaparalleelses klaasplaadis.

meelde, kui moonutatuna paistavad supleja jalad läbi vee. Mõlemat nähtust saab seletada valguskiirte murdumisega. Tungides ühest läbipaistvast keskkonnast teise, kalduvad valguskiired oma esialgsest suunast kõrvale. Selle paremaks mõistmiseks vaatleme joonist 12. Punktist P (õhus) lähtuv valguskiir langeb tihedama keskkonna — klaasplaadi — pinnale. Tõmbame läbi langemispunkti P_1 klaasi pinnale ristsirge MN. Kui kiir suundub hõredamast keskkonnast (õhust) tihedamasse (klaasi), murdub ta lähemale kahe keskkonna lahutuspinnale tõmmatud ristsirgele. See nurk α on suurem kui nurk β[1]. Edasi liikudes langeb valguskiir klaasplaadi teisele tahule punktis P_2. Edasi suundub ta aga tihedamast keskkonnast hõredamasse. Näeme, et kiir muudab jällegi oma suunda. Tõmmates langemispunktist P_2 klaasi pinnale ristsirge ST, märkame, et nüüd kiir murdub ristjoonest kaugemal. Vaatleja aga näeb eset silma langevate valguskiirte sihis ja talle tundub, nagu saabuks kiir sirget mööda punkti P'. Seepärast paistabki iga klaasplaadi taga asuv ese, millelt silma suunduvad kiired langevad klaasi pinnale kaldu, nihutatuna vasakule või paremale, sõltuvalt nurgast, mille all valguskiired langevad klaasile.

Nii murduvad aga ainult need kiired, mis läbivad rööbitiste tasapindadega piiratud tihedamat keskkonda, näiteks tasaparalleelset klaasplaati. Seejuures jääb vaatlejale märkamatuks teine tõsiasi — nimelt see, et valge valguse kiirtest üks osa murdub tunduvalt rohkem kui teine. Asetades valge valguse kiirtekimbu teele ette prisma, murduvad kiired järgmiselt. Valguskiir (joon. 13) langeb pris-

[1] α (alfa) on kreekakeelse tähestiku esimene ja β (beeta) teine täht.

male punktis O ja murdub jällegi lähemale ristsirgele. Tegelikult koosneb valge valguse kiir paljudest erineva lainepikkusega valguskiirtest, millest igaüks eraldi tekitab eri värvusega valguse taju. Lühema lainepikkusega kiired murduvad rohkem kui pikema lainepikkusega kiired ja seetõttu satuvad

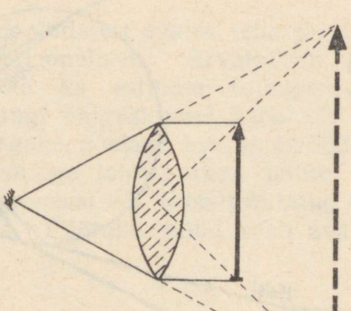


13. Valguskiire murdumine prismas.

esimesed pärast prisma läbimist punkti A, teised aga punkti B. Väljudes prismast taas õhku, murduvad lühemalainelised kiired jälle tugevamini kui pikemalainelised. Nii muutus prismasse suundunud valge valguse kiir mitmevärviliste kiirte kimbuks, mis prismast eemaldumisel üha laieneb ja tekitab ekraanile tuntud vikerkaarevärvilise valgusriba — spektri (vt. joon. 10).

Vaevalt leidub ainustki kooliealist last, kes poleks näinud kahepoolse kumerusega suurendusklaasi ehk luupi. Luubi suurendusvõimet saab samuti seletada valguskiirte murdumisega (joon. 14). Hoides luupi päikesekiirte teel, tekib luubi t u l i p u n k t i ehk f o o k u s e s s e hele tähn. Kui see tähn langeb mingile süttivale ainele, hakkab viimane peagi suitsema ja lõpuks koguni leegiga põlema. Kiired, mis läbivad luupi, murduvad ja koonduvad ühte

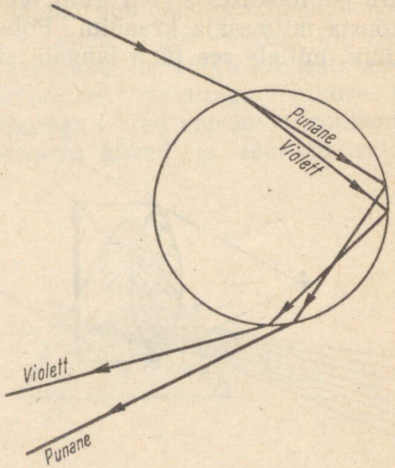
punkti — fookusesse. Nii võib temperatuur fookuses tõusta mitmesaja kraadini. Pole siis ka ime, et puutükk, millele see tähn langeb, süttib.



14. Ese luubis.

Valguskiirte murdumisega seletuvad ka paljud teised loodusnähtused. Kindlasti on kõik näinud vikerkaart. Vikerkaare tekkimise põhjuseks on valguskiirte murdumine veepiisakestes. Üksiku tilga kohta selgitab seda joonis 15. Tõeline vikerkaar on miljonites veepiiskades samaaegselt tekkivate pisispektrite liitumine üheks suureks spektriks. Samasugust spektrit võite näha ka supeldes. Selleks seiske seljaga päikese poole ja vaadelge veepritsmeid, mida tekitab teie kaaslane. Niisugune spekter tekib ka siis, kui päikesepaistelise ilmaga vaatlete veet pritsivat tänavakastmise autot.

Võib juhtuda, et veepinna lähedased õhukihid mingil põhjusel tihenevad. Kui kõrgemal asuvad hõredamad õhukihid, siis murdub tihedamast kihist hõredamasse suunduv valguskiir kihtide kokkupuutepinna ristsirgest kaugemale. Sõltuvalt õhu kihili-



15. Valguskiire murdumine vihmapiisas.

susest võib niisugune murdumine toimuda mitu korda. Nii avaneb mõnikord võimalus näha metsade taga olevaid kaugeid veekogusid (joon. 16). Seda nähtust nimetatakse t e r e n d u s e k s.

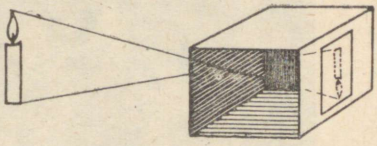
16. Terendus.

6. Valguse sirgjooneline levimine

Kui valgus tungib hämarasse ruumi läbi kitsa pilu, näeme alati sirgjoonelist valguskiirt. Valguskiirte tee saab nähtavaks ruumis hõljuvate tolmukü-

bemete tõttu, millelt valgus peegeldub. Öösel näeme juba kaugelt autolaternate suurepäraseid valgusjugasid; maasse püsti löödud kepi taha tekib vari jne.

Toodud näidetest saame teha järelduse, et valgus levib sirgjooneliselt. Arvatavasti põhineb sellele kogemusele ka esimese fotoaparaadi ehitamine. Võtke mingi valguskindel karp või kast. Selle esikülge torgake nõelaga ava läbimõõduga umbes 0,7 mm, tagakülge tehtud aken katke aga pauspaberist, mattklaasist või lihtsalt õlitatud valgest paberist ekraaniga. Pöörake nüüd kasti ava põleva küünla



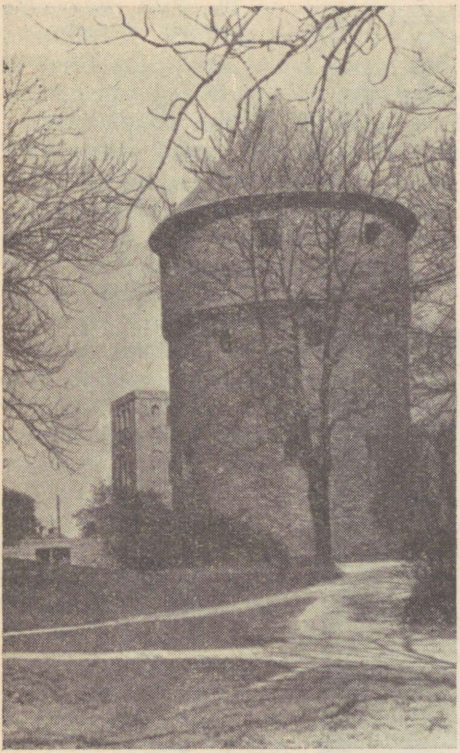
17. Ava kaudu ekraanile peegeldunud küünla kujutis.

suunas ja te näete ekraanil sama küünla ümberpööratud kujutist (joon. 17). Vaadeldava eseme kõrgeimast punktist, antud juhul näiteks küünlaleegi tipust, lähtuv valguskiir kulgeb sirgjooneliselt läbi ava ja me näeme seda ekraani allserval. Küünla alumisest punktist lähtuv valguskiir on nähtav aga ekraani ülemisel serval. Saadud ümberpööratud kujutis tõestabki valguse sirgjoonelist levimist.

See ava ja ekraaniga kastike on kõige lihtsamaks objektiivita fotoaparaadiks. Teda nimetatakse pimekambriks ehk *camera obscura*'ks ja ta oli tõepoolest tänapäeva fotoaparaadi tagasihoidlikuks eelkäijaks. Hea valgustuse puhul võib selle lihtsa kas-

18. *Camera obscura'ga* tehtud foto.

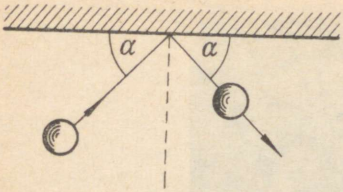
tikese abil saada küllaltki terava ülesvõtte (joon. 18). Pildistamiseks tuleb ekraani asemele paigutada fotoplaat, mis muidugi ka tagant tuleb valguse eest hoolikalt varjata.



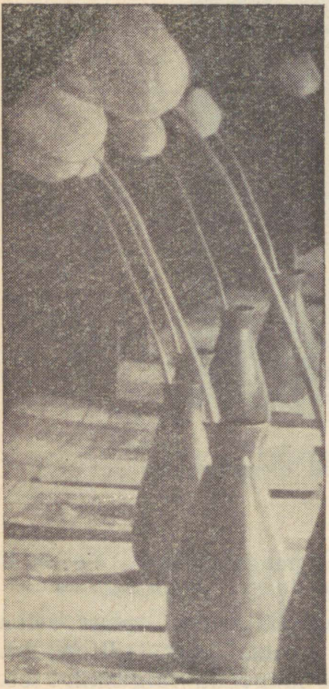
18a. Fotoaparaadiga tehtud ülesvõte.

7. Valguskiirte peegeldumine

Mingi nurga α all (joon. 19) vastu tasast seina visatud pall põrkab sealt sama nurga all tagasi. Samuti kulgeb ka peeglile langenud valguskiire tee.



19. Palli põrkamine tasaselt seinalt.



20. Kahe rööbitise peegli vahele asetatud vaas paistab lõputu vaaside reana.

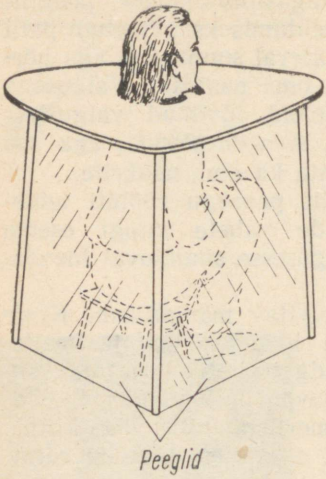
Niisugust valguskiire «tagasipõrkumist» peeglilt nimetatakse valguse peegeldumiseks. Visatud palli võime kinni püüda, soovi korral suunata ta aga põrgatamisega kas tagasi või oma naabrile. Valgusega võime toimida samuti. Meieni jõudnud valguskiir võib «meie juure jääda», s. o. neelduda, aga me võime ta peegli abil suunata ka oma naabrile.

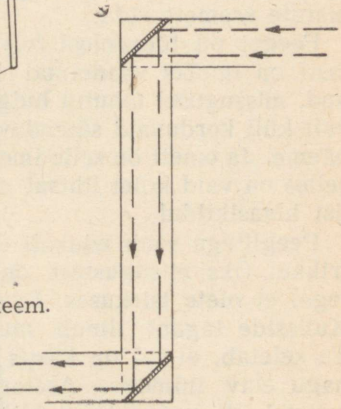
Paigutades kahte peeglit peaaegu rööbiti teineteisega ja asetades nende vahele mingi eseme (joon. 20), näeme me kaugusesse suunduvat loendamatute esemete rida.

Peegel on tõepoolest huvitav mängukann. Kindlasti on igaüks vaadelnud kaleidoskoopi ja imetlenud, missugusel tohutul hulgal üha uusi ja uusi vaevalt küll korduvaid sätendavaid kujundeid me selles näeme. Ja ometi on selle imeriista ehitus väga lihtne: selles on vaid kolm lihtsat peeglikest ja kolm värvilist klaasikildu!

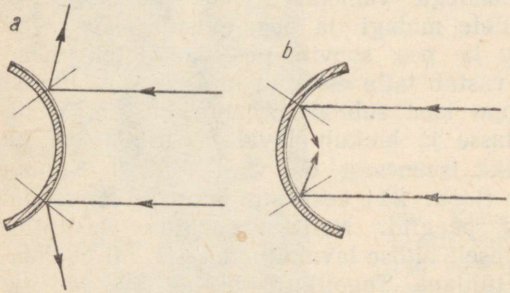
Peeglitega saab edukalt sooritada ka mustkunsti trikke. Üks niisugustest on «rääkiv pea». Kujutlege, et olete tsirkuses. Laval seisab lihtne lauake. Kulisside tagant ilmub mustkunstnik kastikesega. Ta seletab, et tal on kastis pea, mis võib rääkida nagu elav inimene. Asetanud kasti lauale, avab artist kasti kaane ja publiku ees lebab tõepoolest suletud silmadega vahakarva pea. Mustkunstnik pomiseb sellele midagi ja pea elustub: avanevad silmad, suu ja pea soovib pealtvaatajatele head õhtut ning vastab talle esitatud küsimustele. Pärast etteaste lõppu kast suletakse, mustkunstnik võtab selle kaenlasse ja lahkub lavalt. Atraktsioon on läbi... Trikk iseenesest on väga lihtne. Kolmejalgse laua (joon. 21) eesmiste jalapaaride vahele on asetatud peeglid. Neilt peegelduva lavapildi osa ühtib täpselt üldise lavakujundusega, nii et lauaalune näib tühjana. Tegelikult kükitab laua jalgade

21. «Rääkiv pea».





22. Periskoobi skeem.

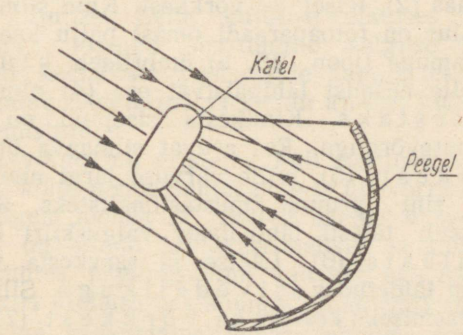


23. Kumerpeegel (a) ja nõguspeegel (b).

vahele asetatud peeglite taga inimene, kes parajal hetkel avab lauas ja kastis oleva augu ning pistab oma vahataoliseks värvitud pea kasti või eemaldab selle sealt.

Peegeldumisnähtusel põhineb ka periskoobi ehitus. Periskoop on riist, millega vee all viibivatelt allveelaevadelt jälgitakse merepinda. Lihtsaima periskoobi saab valmistada kahest tasapinnalisest peeglikesest, paigutades need vineerist või papist torusse (joon. 22). Nooltega varustatud jooned näitavad valguskiirte kulgu periskoobis.

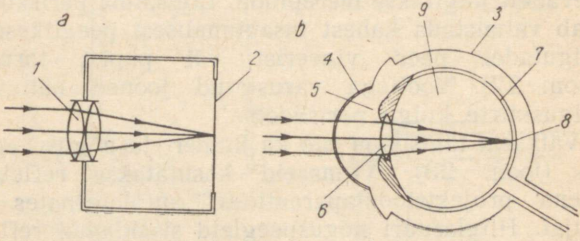
Väiksem tähtsus ei ole ka kumer- ja nõguspeeglitel (joon. 23). Viimaseid kasutatakse reflektoritena projektsiooniaparaatides, autolaternates ja mujal. Hiiglasuuri nõguspeegleid sisaldavad reflektoritena ka päikesekatlad (joon. 24), mida päikeseküllastes piirkondades kasutatakse vee soojendamiseks. Reflektorile langevad päikesekiired koonduvad tema tulipunkti paigutatud katlale ja soojendavad selles oleva vee kuni keemiseni. Sel teel soojendatud vee ja auruga saab kütta ruume või tarvitada neid ka tööstuses.



24. Päikesekatel.

8. Silm ja nägemine

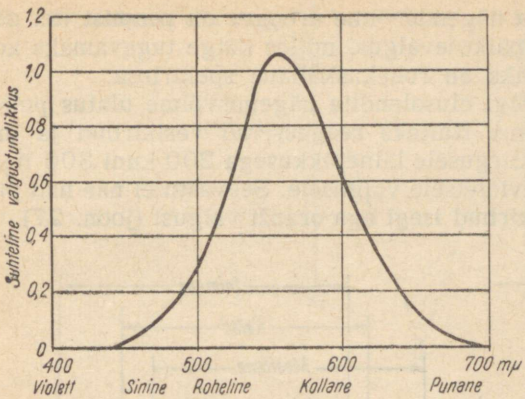
«Silm on elav fotoaparaat». Niisugust võrdlust silma kohta võib kohata õige sageli. Ja tõepoolest on silmal ning fotoaparaadil palju ühist (joon. 25).



25. Fotoaparaadi (a) ja silma (b) võrdlus.

Mõlemas esineb optiline süsteem, mis projekteerib väliskeskkonnast saadavaid kujutisi ekraanile. Fotoaparaadil on projekteerivaks optiliseks süsteemiks enamikus mitmest läätsest koosnev objektiiv (1), silmas aga kohastuv silmalääts; ekraaniks on esimesel mattklaas (2), teisel — võrkkest. Kuid silma ehitus ja talitlus on fotoaparaadi omast palju keerulisem.

Silmamuna (joon. 25, b) ümbritseb kiudkest (3). Selle eesmist läbipaistvat osa (4) nimetatakse sarvkestaks. Kiudkesta sisepind on kaetud veresoontevõrguga. Ees asuvat silmaava ümbritseb vikerkest (5), mille värvuse järgi nimetatakse inimesi sini-, pruuni-, mustasilmalisteks. Silmaava taga asub täiesti läbipaistev valguskiiri koondav silmalääts (6). Läätse ja sarvkesta vaheline ruum on täidetud vesivedelikuga. Silmamuna seina sisemiseks kestaks on võrkkest (7). Selles on nägemisnärvi lõppharud — kepikesed ja kolvi-



26. Silma suhteline valgustundlikkus.

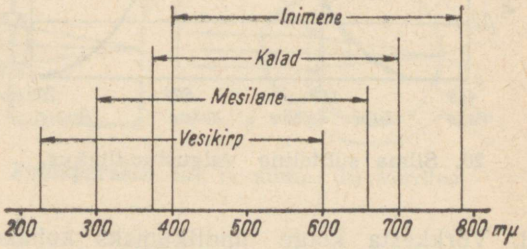
kesed. Võrkkesta kõige tundlikumaks kohaks on kollastähn (8). Silmamuna õõnt läätse taga täidab sültjas klaaskeha (9).

Esemelt silma langevad valguskiired murduvad silmaläätses nagu fotoaparaadi objektiivis ja tekitavad võrkkestal esemest vähendatud ning ümberpööratud kujutise. Selle kujutise ulatuses tekib nägemisnärvi lõpmete ärritumine valguse poolt põhjustatud keemiliste protsesside tagajärjel. See ärritus kandub nägemisnärvi kaudu ajusse, kutsudes esile nägemistaju.

Silm on võimeline eristama küll paljusid värvitoone, kuid kõigi nende suhtes pole ta ühevõrra tundlik. Vaadelgem joonist 26. Sellelt näeme, et suurim tundlikkus on silmal kollakasroheliste ja kollaste värvuste suhtes, nägemisvõime kahaneb aga märgatavalt spektri violetse osa suunas. Veidi väiksem on nägemisvõime kahanemine punase valguse suunas. Maksimaalse tundlikkuse piirkonna määrab fakt, et

silma nägemisvõime arengus on peamist osa etendanud päikesevalgus, milles kõige tugevamaks komponendiks on rohekaskollane spektriosa.

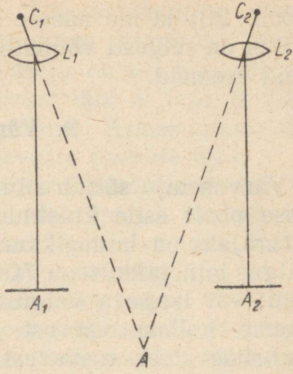
Kõigi elusolendite nägemisvõime ulatus pole ühesugune. Näiteks reageerivad vesikirbud ja mesilased kiirgusele lainepikkusega 200 kuni 300 mμ, s.o. ultravioletsele valgusele. Seevastu ei näe nad punast, vesikirbud isegi aga oranži valgust (joon. 27).



27. Mitmesuguste olendite nägemispiirkond.

Nägemistaju ei kao hetkeliselt pärast ärrituse lakkamist, vaid säilib silmas umbes 0,1 sekundit. Niisugust järelmõju saame näidata järgmise katsega: seome nööri otsa kuulikese ja keerutame seda. Me ei näe enam kuulikest, vaid pidevat ringjoont. Ometi on selge, et kuulike ei saa samaaegselt viibida ringjoone erinevates punktides. Niisuguse pettepildi seletus on lihtne: enne kui kustub meie nägemistaju kuulikesest, jõuab kuulike tagasi punkti, kus ta oli vaatluse alghetkel. Sellel nähtusel põhineb ka kino. Kinofilmile on pildistatud hulk üksteisele ajas järgnevaid ülesvõtteid liikuvast kehast. Kui need ülesvõtted projekteerida ekraanile kiirusega 20 kuni 25 ülesvõtet sekundis, siis näemegi ekraanil seda keha liikuvana.

28. Stereoskoobi ehitus.



Vaadeldes ettesirutatud käes olevat pliiatsit algul ühe, seejärel aga teise silmaga, varjab pliiats kummalgi juhul erineva osa enda taga asetsevast ruumist. Sellest võime järeldada, et kummaski silmas tekib esemest erisugune kujutis. Just see erinevus aga võimaldabki näha esemeid ruumiliselt, s.t. annab võimaluse tajuda nägemisel ruumilist sügavust. Nii saamegi otsustada, missugused esemed asuvad ligemal ja missugused kaugemal.

Tavalise foto vaatlemisel me selget ruumilist muljet ei saa. Pildistades aga kaheobjektiivilise, nn. stereoskoopilise fotoaparaadiga, mille objektiivide kaugus võrdub inimsilmade vahelise keskmise kaugusega (6 cm), saadakse korraga kaks veidi erinevate nurkade all tehtud fotot, mis koos moodustavad stereofoto. Asetame positiivi stereofotost stereoskoopi[1]

[1] Stereoskoop — lihtne optiline riist, mida kasutatakse stereofotode vaatlemiseks. Tema optilise süsteemi moodustavad kaks ühesugust läätse.

(joon. 28) ja me näeme suurepärast ruumilist pilti, millel on selgesti võimalik eraldada lähedasi ja kaugeid esemeid.

9. Värvustest

Värvusetaju sõltub silma võrkkestale langeva valguse poolt esile kutsutud ärrituse suurusest, mille määrajaks on lainepikkus. Kui näiteks silma langeb valgus lainepikkusega 700 mμ, tekib punase värvuse taju, kui langeva valguse lainepikkus on 590 mμ, näeme kollast värvust jne. (vt. joon. 10). Meid ümbritsevatest esemetest on ühed sinised, teised kollased jne. Esemete värvus sõltub neilt peegelduva valguse lainepikkusest. Nii peegeldab punasena näiv ese ainult punaseid valguskiiri, kõik teised neelduvad temas; rohelisena paistev ese neelab kõik valguskiired peale roheliste jne. Nii näemegi esemeid neilt peegelduva valguse värvuses.

Valge värvuse spektris me eristame rea värvusi, mille vahel puudub terav piir. Igale lainepikkusele vastab üksainus kindla värvusega valgus. Meie silm ei ole suuteline tajuma igale lainepikkusele vastavat värvust, vaid ainult teatavaid värvuseribasid. Näiteks näeme punasena kiirgust lainepikkuste piirkonnas 650 kuni 760 mμ.

Kui prisma abil värvusteks lahutatud valgus koondada läätse abil jälle ühte, saadakse uuesti valge valgus. Kuid valge valgus tekib ka siis, kui koondada ühte ainult kaks teatud värvusega valgust. Nii tekib valge valgus ekraani üheaegsel valgustamisel:

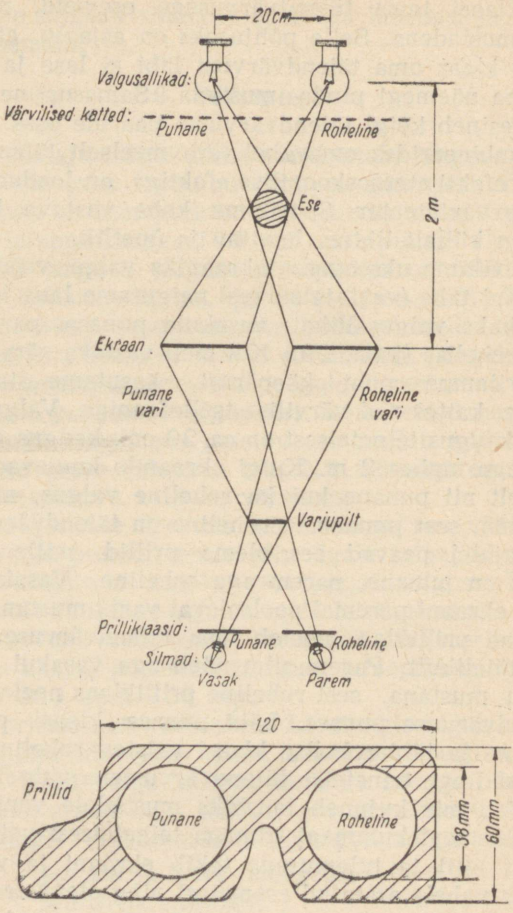
punase ja mererohelisega,
oranži ja sinisega,
kollase ja sinivioletsega,
rohelise ja purpurpunasega jne.

Niisuguseid värvusi nimetatakse teineteise täiend-

värvusteks. Vaadeldes aga läbi mingisuguse värvilise klaasi tema täiendvärvusega esemeid, näeme neid mustadena. Selle põhjuseks on asjaolu, et värviline klaas oma täiendvärvust läbi ei lase ja tulemusena näemegi pinda mustana. Samasugune olukord esineb kõigi täiendvärvuste paaride osas.

Kombineerides omavahel teravmeelselt täiendvärvuste efekti stereoskoopilise efektiga, on loodud ruumiline varjuteater. Sooritame kohe vastava katse, mis on küllalt lihtne, huvitav ja õpetlik.

Kinnitame ukseavasse ekraaniks valge voodilina. Ekraani taha (vaataja suhtes) paigutame laua kõrgusele kaks valgusallikat: vasakule punase, paremale mererohelise (joon. 29). Kui meil vastava värvusega elektrilampe pole käepärast, kasutame tavalisi lampe, kattes nad värvilise tsellofaaniga. Valgusallikate kaugus teineteisest on ca 20 cm, kaugus ekraanist aga umbes 2 m. Kuigi ekraanile langevad üheaegselt nii punane kui ka roheline valgus, näib ta valgena, sest punane ja roheline on täiendvärvused. Vaatajatel peavad ees olema prillid, mille vasak klaas on punane, parem aga roheline. Vasak silm näeb ekraani paremal pool olevat varju mustana, sest punane prilliklaas neelab oma täiendvärvuse rohelise täielikult. Parem silm näeb aga vasakul olevat varju mustana, sest roheline prilliklaas neelab oma täiendvärvuse punase. Läbi punase klaasi paistev punane ja läbi rohelise klaasi paistev roheline vari liituvad aga teineteise täiendvärvustena valgeks valguseks, mis kujuneb taustaks mustadele varjudele. Nii näemegi kummagi silmaga teineteisest veidi erinevat pilti ja tulemusena tekib ekraani ja valgusallika vahele asetatud esemetest ning olevustest ruumiline varikujutis, s. t. me näeme esemeid mitte ekraanil, vaid kusagil meie ja ekraani vahelises ruumis valgel taustal.



29. Ruumiline varjuteater.

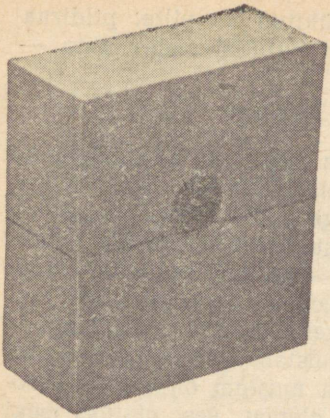
Samal põhimõttel on trükitud ka pilte, pildiraamatuid ja loodud ruumilisi kujutisi andev kino — stereokino.

10. Must ja valge

Ese on valge värvusega siis, kui talle langenud valgus peegeldub igas sihis ühtlaselt tagasi. Niisugusena paistab parim valge paber, mis peegeldab kuni 95% temale langevast päikesevalgusest. Üheks valgemaks aineks peavad füüsikud pulbrilist magneesiumoksüüdi, mis peegeldab peaaegu kogu langeva valguse. Kui aga keha neelab pealelangeva valguse, siis paistab ta mustana. Mida suurem osa valgusest neelatakse, seda mustem on keha. Absoluutselt musta keha pole olemas, sest näiteks isegi tahm, mis kõige rohkem ligineb absoluutselt mustale kehale, neelab langevast valgusest umbes 99%.

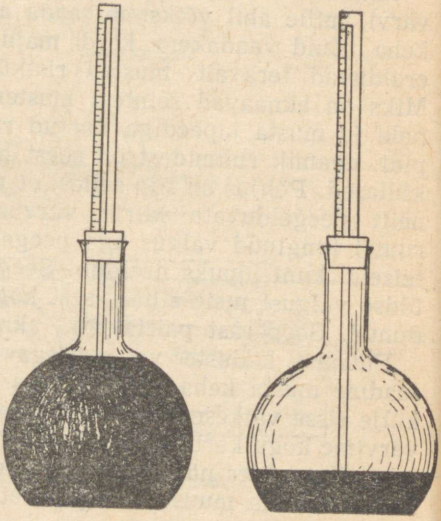
Jah, looduses ei leidu niisugust materjali ega värvi, mille abil võiksime saada absoluutselt musta keha. Kuid vaadakem kord maju. Nende seintest eralduvad teravalt mustad ristkülikud — aknad. Miks on aknaavad seintest mustemad? Nende taga pole ju musta tapeediga kaetud ruume, otse vastupidi, enamik ruumidest on seest heledad ja valgusküllased. Põhjus on siin selles, et me näeme esemeid neilt peegelduvate kiirte värvuses. Akna kaudu ruumi tunginud valgus aga peegeldub ühelt seinalt teisele, kuni lõpuks neeldub. Seega ei saabu aknast üldse valgust meie silma, sest kogu valgus on neeldunud. Seepärast paistavadki aknad mustadena.

Püüame koduste vahenditega valmistada katseseadme musta keha vaatlemiseks. Teeme karbi ühe külje sisse väikese metallraha suuruse ava. Seejärel värvime kogu karbi nii seest kui väljast tuššiga mustaks. Vaadeldes nüüd karbi ava, eraldub see sügavmusta sõõrina muust karbipinnast (joon. 30).



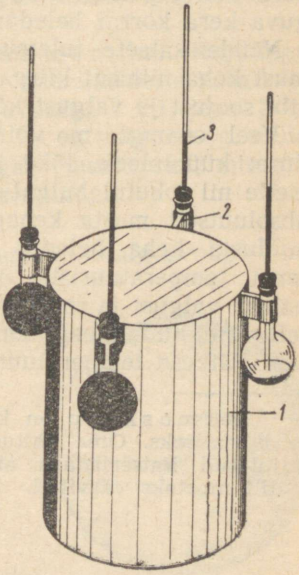
30. Katseseade absoluutselt musta keha vaatlemiseks.

31. Termoskoobid.



Füüsikast teame, et keha neelab nii valgust kui ka soojust seda rohkem, mida tumedam ta on. Kontrollige ise seda nähtust katsega. Katseks kasutage kahte ühesuurust pudelit või kolbi, millest üks tahmake või värvige mustaks. Valage neisse veidi värvilist vedelikku ja sulgege nad tihedalt korgiga, millest on läbi pistetud võimalikult väikese siseläbimõõduga klaastoru (joon. 31). Viimase ots peab ulatuma vedeliku sisse. Asetades pudelid ühesugusele kaugusele soojusallikast, näete, et vedelikusammas tõuseb mustaks värvitud pudelisse pistetud torus hoopis kiiremini. Tähendab, mustas pudelis soojenes õhk kiiremini, paisus ja surus vedeliku välja.

Sooritage nüüd veidi teistsugune katse (joon. 32). Värvige või tahmake liitrise metallanuma (1) väliskülg.



32. Seade soojusliku kiirgamise jälgimiseks.

pind poole ulatuses matilt mustaks. Anuma külge kinnitatud hoidjatesse (2) asetage aga termoskoobid[1] (3) või termomeetrid. Valage anumasse kuuma vett ja pange tähele, kuidas reageerivad sellele termoskoobid. Te märkate, et anuma tahmatud külje juures oleva termoskoobi torus tõuseb vedelikusammas tunduvalt kiiremini ja kõrgemale kui teistel termoskoopidel.

Sooritage veel järgmised katsed:

1. Kuumutage tumeda mustriga portselananuma kildu. Te märkate, et kui kild hakkab hõõguma, muutuvad mustri tumedamad osad ümbritsevast pinnast heledamaks.

2. Kuumutage õõnsat avaga metallkera kuni hõõgumiseni. Seejuures te täheldate, et ava, mis külma kera puhul paistis kera pinnast tumedam, on hõõguva kera korral heledam.

Nende katsete tulemused lubavad järeldada, et must keha niihästi kiirgab kui ka neelab (absorbeerib) soojust ja valgust kõige paremini.

Veel enamgi, me võime teha ka niisuguse järelduse: küünlaleek, lõke ja eriti päike, mis kiirgab meile nii tohutul hulgal energiat, on üsna sarnased absoluutselt musta kehaga.

Musta keha heledus ja kiirgamisvõime sõltub tema temperatuurist. Asjaolu, et küünal kiirgab vähem valgust ja soojust kui Päike, on tingitud just sellest, et küünlaleegi temperatuur (900° C) on madalam Päikese temperatuurist (6000°C).

---

[1] Termoskoop on katseriist suhtelise soojenemise jälgimiseks. Oma ehituselt sarnaneb ta joonisel 31 kujutatud katseriistaga, ainult kolb on poole ulatuses matilt mustaks värvitud.

11. Valguse mõõtühikud

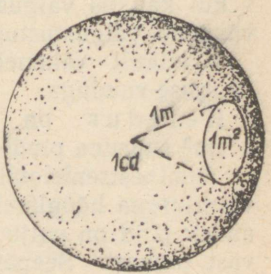
Valgustugevust mõõdetakse küünaldes (lühendatud tähiseks on K). Nimetus «küünal» pärineb veel sellest ajast, kui valguse mõõtmiseks kasutati tõepoolest küünlaleegi taolist leeki. Leek tekitati erilise nn. amüülatsetaadilambiga, mille tahi läbimõõt oli 8 mm ja leegi kõrgus 30 mm. Alates 1949.a. on rahvusvahelise ühikuna kasutusel nn. uus küünal ehk kandela, mida lühidalt tähistatakse cd. Kandela on valgustugevus, millega helendab absoluutselt must keha plaatina tahkumistemperatuuril (1774°C) kui keha pindala on $^1/_{60}$ cm^2. Valgustugevuse mõõtmistel kasutatakse tegelikult hõõgniitlampi, mille helendus on täpselt normeeritud.

Valgusvoog on valgusallikast väljakiiratava nähtava valguse hulk.

Valgusvoo ühikuks on luumen (lm). Kujutlege kera, mille raadius on 1 m. Asetame selle kera keskele valgusallika valgustugevusega 1 cd (joon. 33). 1 luumen ehk lühendatult 1 lm on valgusvoog, mida valgusallikas ühtlaselt kiirgab ruuminurka, mis piirab kerapinnal 1 m^2 suuruse pindala.

Näiteid:

15-vatise elektrihõõglambi valgusvoog on 122 lm,



33. Valgusvoo ühiku selgitus.

100-vatise elektrihõõglambi valgusvoog on 1220 lm,

200-vatise kõrgrõhu-elavhõbelambi valgusvoog on 8500 lm jne.

Valgustustugevus näitab valgustatava eseme pinnaühikule langevat valgusvoogu. Valgustustugevuse ühikuks on luks ehk lühendatult lx. Niisugune valgustustugevus tekib siis, kui 1 m^2 suurusele pinnale langeb ühtlane valgusvoog 1 lm. Kunstliku valgustuse suhtes püstitatakse kindlaid nõudeid. Näiteks nõutakse üldvalgustuseks:

tänavatel ja väljakutel	valgustustugevust	2...10 lx,
töökodades	"	30 ",
klassiruumides	"	75 ",
haiglate operatsiooniruumides	"	80 ".

Võrdle neid andmeid looduses esinevate valgustustugevustega:

kuupaisteta selgel ööl	0,0003 lx,
täiskuuvalgel ööl	0,2 ",
suvel päikesevalgel	üle 100 000 ".

Valgusallika eemaldamisega valgustatavast pinnast väheneb pinna valgustustugevus väga kiiresti: kui pinna kaugus valgusallikast suureneb 2 korda, siis väheneb valgustustugevus 4 korda;

kui kaugus valgusallikast suureneb 3 korda, siis väheneb valgustustugevus 9 korda; jne.

Järelikult väheneb valgustustugevus võrdeliselt kauguse ruuduga.

Heledus on valgustugevus, mida kiirgab 1 cm^2 suurune pind vaadeldavas suunas. Nii näiteks on luminestsentslambi heledus palju väiksem sama võimsusega hõõglambi heledusest, sest tema valgust andev pind on palju suurem hõõglambi valgust andvast pinnast. Seepärast võibki luminestsentslampi

vaadelda avatud silmadega, hõõglambi vaatlemine aga pimestab silmi.

Või teine näide. Vaadelge kahte 60-vatist hõõglampi. Ühel neist on läbipaistvast klaasist kolb, teise kolb on mattklaasist. Osutub, et mattklaasist lambi heledus on palju väiksem, vaatamata sellele, et mõlema lambi poolt kiiratav valgusvoog on ühesuurune.

Heleduse ühikuks on s t i l b ehk lühendatult sb. 1 sb = 1 cd/cm^2.

Valgusallikate (näit. elektrilampide) ökonoomsuse hindamisel on oluline valgusviljakus. Pole kaugeltki ükskõik, kas 60-vatise elektrilambi valgusvoog on 220 lm (tantaallamp) või 830 lm (krüptoonlamp). Mõlemad lambid tarbivad küll võrdsel hulgal elektrienergiat, kuid esimene neist annab peaaegu neli korda vähem valgust kui teine. Valgusviljakus on suurus, mida mõõdetakse elektrilambi valgusvoo ja tema võimsuse suhtega,

$$\text{valgusviljakus} = \frac{\text{valgusvoog}}{\text{võimsus}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right].$$

1. Tõrvikust gaasivalgustuseni

Meie päikesesüsteemi keskne taevakeha Päike asub Maast umbes 150 milj. km kaugusel. Ta kujutab endast gaasikera, mille pinnatemperatuur on ligikaudu 6000°C, sisemuses aga ulatub see kuni 20 milj.° C. Igas sekundis väheneb Päikese mass energia kiirgumise arvel 4,2 milj. tonni võrra. Päikeselt kiirgub aasta jooksul soojushulk $2{,}7 \cdot 10^{30}$ kilokalorit[1]. Selge südasuvise ilmaga on päikesekiirguse valgustustugevus keskpäeval 100 000 luksi. Võrrelge seda valgustustugevusega 60 lx, mis on vajalik laboratooriumis töötamiseks.

Meie teine looduslik valgusallikas Kuu saab oma valguse Päikeselt. Täiskuu ajal on valgustustugevus ainult 0,2 lx. Niisugune valgustus oli aga liiga nõrk isegi hästiarenenud nägemisvõimega loodusinimesele. Kuuvalgel ööl saadi ainult hädavaevalt eristada kogusid, rääkimata sellest, et pilvistel öödel oldi täielikus pimeduses. Et aga pimedus oli täis ootamatuid ohtusid, siis vajas inimene juba kauges minevikus kunstlikku valgusallikat. Esimeseks kunstlikuks valgusallikaks oli kindlasti lõke, mis võis tekkida näiteks äikese ajal välgust. Lõkkest võetud põlev tukk võimaldas aga tuld endaga kaasas kanda. Nii leiutas ürginimene t õ r v i k u.

[1] $2{,}7 \cdot 10^{30} = 2\,700\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ ehk 2700 oktiljonit; kilokalor (kcal) on soojushulga ühik, s. o. niisugune soojushulk, mis kulub, et tõsta 1 kg vee temperatuuri 1°C võrra.

Niisiis oli üks esimesi kunstlikke valgusallikaid tõrvik. Mõnes kohas kasutatakse teda veel praegugi: näiteks kalastavad loodusrahvad öösiti tõrvikute valgel ja kultuurrahvad korraldavad tõrvikutega rongkäike.

Kõige lihtsamaks tõrvikuks on tõrvane puutükk. Rongkäikudel kasutatakse tõrvikuid, mis kujutavad endast puitkeppe, mille ühe otsa ümber on mässitud aeglaselt põlevas aines (tõrvas, pigis) immutatud urbsest materjalist tomp. Vanad kreeklased tegid tõrvikuid, mis põlesid isegi vees. Nende immutamisel lisati tõrvale või pigile kustutatud lupja, salpeetrit jms.

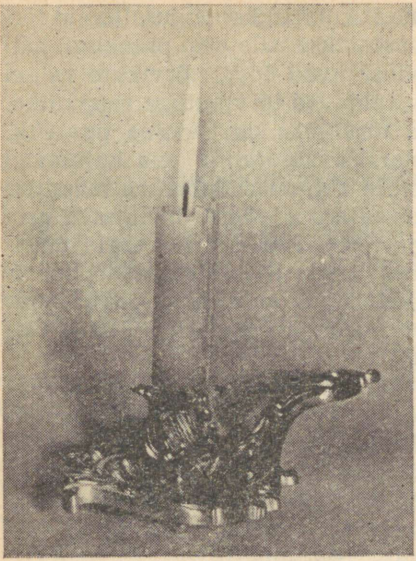
Tõrviku kõrval on teiseks iidseks kunstlikuks valgusallikaks p e e r g.

P e e r g (joon. 34) lõhestati tavaliselt männipakust ja teda kasutati kuni algelise petrooleumilambi ilmumiseni. Et aga petrooleum oli väga kallis, võis peergu kohata veel hiljemgi, isegi käesoleva sajandi algul. Peeru eest hoolitses harilikult keegi lastest või mõni vanem töövõimetu inimene. Et vältida tuleohtu, asetati peeruhoidja ehk pilaku alla anum veega.

Samaaegselt peeruga kasutati ka rasvalampe kui petrooleumilambi algkuju. Rasvalamp on väga vana. Paljude muinasleidude põhjal on arheoloogid jõudnud järeldusele, et rasvalambi vanus ulatub tuhandetesse aastatesse. Prantsusmaal leiti ühest esiajaloolise inimese koopast lamp, milles oli põletatud rasva. Neil maadel, kus leidus maaõli, põletati seda rasva asemel. Nii kasutati õlilampe näiteks Pärsias, Kreekas ja Roomas.

34. Peerg pilakus.

K ü ü n a l (joon. 35) valgusallikana on samuti küllalt eakas. On



35. Küünlajalg.

teada, et teda kasutati Vana-Egiptuses ja Väike-Aasias juba enne meie ajaarvamist.

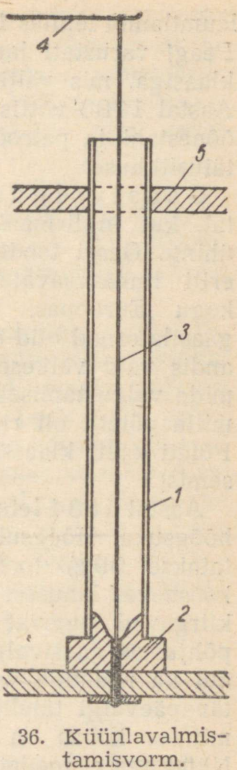
Peergu ja rasvalampi kasutasid peamiselt vaesemad inimesed. Feodaalide ja jõuka keskkihi valgusallikaks oli keskajal küünal. Küünlaid põletati ühe-, kahe- või kolmeharulistes küünlajalgades, samuti aga ka harulistes hiilgasuurtes kullatud või puhtast kullast kroonlühtrites. Nii mõnegi ülika lossi valgustasid keskajal kümned sellised kroonlühtrid.

Esimesed küünlad valmistati lamba- ja kitserasvast või meevahast, möödunud sajandi algul ilmusid aga esimesed stearriin- ja parafiinküünlad.

Tänapäeval on küünal valgusallikana kaotanud oma tähtsuse. Teda kasutatakse ainult hädavalgus-

tuseks või siis traditsiooniliste sündmuste puhul — näärikuusk, perekondlikud tähtpäevad jne.

Nüüd valmistatakse küünlaid enamasti puhtast parafiinist või parafiini ja steariini segust vahekorras 2 : 1. Varem valmistati küünlaid järgmisel teel: tahti kasteti korduvalt küünlarasvasse, kuni küünal saavutas soovitud jämeduse. Ajakulu oli töö juures väga suur ja pealegi ei olnud küünal seejuures ühtlase paksusega. Hiljem hakati küünlaid valama vastavatesse vormidesse, millest üht lihtsamat näeme joonisel 36. Vormi kestaks (1) on klaas- või metalltoru. See suletakse alt punniga (2), milles on küünla ülemist otsa matkiv lehtritaoline süvend. Punnis olevast august pistetakse läbi puuvillasest lõngast keerutatud taht (3), mille ülemine ots kinnitatakse hoidja (4) külge. Püstasendis hoiab vormi raam (5). Vorm täidetakse sula küünlarasvaga. Et aga jahtudes rasva ruumala tugevasti väheneb, lisatakse teda veel paaril korral juurde. Kui küünlarasv on täielikult tardunud, asetatakse vorm hetkeks kuuma vette ja lükatakse valmis küünal pulga abil vormist välja.



36. Küünlavalmistamisvorm.

Petrooleumilamp levis alles pärast petrooleumitööstuse tekkimist. Suitseva klaasita petroo-

leumilambi leiutas 1765. aastal prantslane Quinquet[1]. Peagi varustati lamp ka klaassilindriga — lambiklaasiga, mis vältis suitsemist ja leegi võbisemist. Aastal 1783 võttis šveitslane A. Argand kasutusele õõnestahi ja petrooleumilamp oli saavutanud oma täiuslikkuse.

Gaasivalgustus hakkas levima 1813. aastal, kui Inglismaal asutati esimene gaasivalgustusühing. Gaasi toodeti kivisöest ja tema kasutamine, eriti linnatänavate valgustamiseks, levis kiiresti kogu Euroopas. Tänavavalgustuseks kasutatavad gaasilaternad olid esialgu väga primitiivsed: valgust andis vaid väikese ava kohal põlev leegike. Ruumide valgustamiseks leiutas Argand gaasivalgusti, mille põletil oli rida ringjoonel paiknevaid avasid. Põleti kaeti klaassilindriga, mis takistas leegi võbisemist.

Aastal 1884 leiutas Auer von Welsbach nn. Aueri hõõgsuka. Hõõgsukk on siidist kotike, mida immutatakse 99% tooriumist ja 1% tseesiumnitraadist koosnevas lahuses. Kõrgel temperatuuril need ained kiirgavad tugevat nähtavat valgust. Aueri leiutis põhjustas gaasivalgustuse võidukäigu nii tänavate kui ka ruumide valgustamisel. Gaasivalgustus pole tänapäevalgi täielikult kaotanud oma tähtsust, sest mitmes kohas on ta ökonoomsem elektrivalgustest. Nüüd aga ei toodeta valgustusgaasi mitte enam kivisöest, vaid koksist ja veeaurust. Valgustusgaasi põhilisteks koostisosadeks on metaan, vesinik ja vingugaas (Kohtla-Järve gaasi saadakse põlevkivi gaasistamise teel). Hiljem täiustati gaasilambi eeskujul ka petrooleumilampi. Petrooleumilamp varustati hõõgsukaga ja saadi üsna hea eluruumides kasutatav valgusti.

---

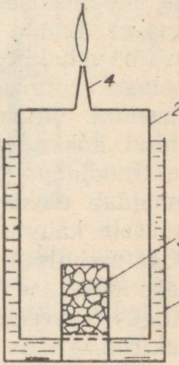
[1] Quinquet (l. *kvinkee*).

Esimese maailmasõja ajal oli aga puudus petrooleumist. Kättesaadavaks osutus uue valgustusainena seevastu karbiit. Karbiit ehk täpsema nimetusega kaltsiumkarbiit CaC_2 on söest ja lubjast elektrileegis toodetav aine. Lisades karbiidile vett, tekib reaktsioon

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2.$$

Reaktsioonil tekkivat lenduvat ainet (gaasi) nimetatakse atsetüleeniks. Atsetüleen põleb väga heleda leegiga. Seejuures saab ühest kilogrammist karbiidist 300 liitrit atsetüleeni.

Lihtsa karbiidilambi ehitust selgitab joonis 37. Välisanumas (1) on vesi ja atsetüleeniga täidetud siseanum ehk gaasimahuti (2). Viimases paikneb aukliku põhjaga karbiidinõu (3). Leek asub põleti (4) kohal. Karbiidilampi kasutati ja kasutatakse veel praegugi valgusallikana projektsiooniaparaadis. Karbiidi ja karbiidilampide käsitsemisel peab olema aga ülimalt ettevaatlik, sest atsetüleen plahvatab väga kergesti. Tänapäeval kasutatakse väga laialdaselt atsetüleeni koos hapnikuga keevitamiseks ja metalltorude, plekkide jms. lõikamiseks.



37. Lihtne karbiidilamp: 1 — vett sisaldav välisanum, 2 — astetüleeniga täidetud siseanum ehk gaasimahuti, 3 — aukliku põhjaga karbiidinõu, 4 — põleti.

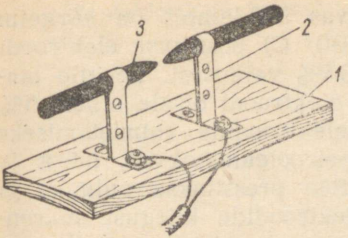
TRU Raamatukogu

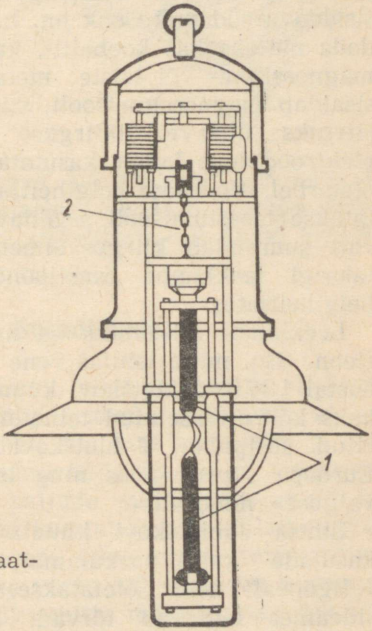
2. Leeklamp

Üks esimesi elektrienergia rakendusalasid oli elektrivalgustus. Elektrivalgustusel muundatakse elektrienergia valgusenergiaks. Esimeseks elektrivalgusallikaks oli leeklamp.

Esmakordselt tekitas elektrileegi vene füüsik V. Petrov 1802. aastal. Lähendades teineteisele kaks voltasamba poolustega ühendatud söetükki, tekkis söetükkide vahel ere leek. Leeklambi saame valmistada ka koduste vahenditega. Võtame kaks taskulambipatareist eraldatud süsielektroodi (joon. 38, a). Puitaluse (1) külge kinnitame millimeetrisest terasplekist elektroodihoidjad (2), millesse paigutame elektroodide süsipulgad (3). Lambi süütamiseks viiakse süsipulgad kokkupuutesse ja seejärel eemaldatakse nad teineteisest nii kaugele, kuni nende vahel tekib püsiv leek. Lampi võib aga süüdata ka sel teel, et kolmanda süsipulgaga puudutada üheaegselt mõlemat elektroodi ja siis see pulk jälle eemaldada.

Täiusliku leeklambi ehitust selgitab joonis 38, b. Joonisel on süsielektroodid (1) ja elektromagnet (2), mis automaatselt reguleerib elektroodide vahelist kaugust. Lambi töötades mõlemad elektroodid lühenevad: vahelduvvooluga toitmisel ühepalju, alalisvooluga toitmisel aga põleb positiivne elektrood kiiremini. Süütamise hetkel, kui süsielektroodid on viidud kokkupuutesse, läbib lampi tugev vool ja elektroodidega järjestikku ühendatud elektromagnet eemaldab elektroodid automaatselt teineteisest niisugusele kaugusele, mille puhul nende vahel tekib kõige stabiilsem ja eredam leek. Elektroodide lühemaks põlemise tõttu lambi töö vältel nende vahekaugus suureneb ja vool kogu vooluringis ning elektromagnetis väheneb. Tulemusena väheneb ka





38. Leeklamp:
a — lihtne katselamp,
b — kaasaegne automaat-regulaatoriga leeklamp.

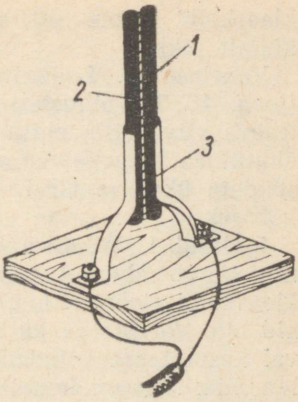
elektromagneti tõmbejõud ja elektroodid lähenevad teineteisele. Peale mainitud põhiosade ühendatakse vooluringi alalisvoolu puhul veel takisti, vahelduvvoolu puhul aga paispool.

Alalisvooluga toidetavas leeklambis on kõrgeim temperatuur (umbes 4000° C) positiivse elektroodi otsal, mis annab kuni 85% valgusest. Leegile langeb 10% ja negatiivse elektroodi otsale ainult 5% kogu valgusvoost. Süsielektroodide valmistamiseks segatakse söepulbrist, petrooleumikoksist, nõest ja tõrvast ühtlane mass. See pressitakse pulgaks ja lõõmutatakse. Et süsielektroodide kiirgust suurendada, varustatakse süsipulgad mingit metallisoola sisaldava südamiku ehk nn. tahiga. Taht võib sisaldada näiteks kas koobalti-, kaltsiumi-, strontsiumi-, magneesiumi- või teiste metallide sooli. Kui taht sisaldab magneesiumisooli, siis muutub lamp intensiivseks ultraviolettkiirguse allikaks. Niisuguste elektroodidega lampe kasutatakse arstiteaduses ravi otstarbel. Võimsate helgiheitjate elektroodid valmistatakse tseesiumisooli sisaldava tahiga, mis tunduvalt suurendab kiirgusvõimet. Tänapäeval kasutataksegi leeklampe esmajoones suure võimsusega helgiheitjates.

Leeklambi eritüübiks on nn. Jablotškovi küünal (joon. 39), mille leiutas vene insener P. Jablotškov aastal 1876. Jablotškovi küünla elektroodideks olid kaks kõrvuti asetatud teineteisest kaoliiniga isoleeritud süsipulka. Jablotškovi küünal levis kõigis Euroopa suurlinnades ning isegi idamaadel «vene valguse» nime all.

Lihtsa Jablotškovi küünla valmistamiseks võib kasutada kaht taskulambipatarei süsielektroodi. Kõigepealt neid põletatakse, et eemaldada nende sideaines leiduvad tõrvad. Seejärel isoleeritakse elektroodid (1) õhukese savi- või kipsikihiga (2). Teineteisest isoleeritud elektroodid asetatakse 1 mm paksusest plekist valmistatud hoidjate (3) vahele. Juhtmete otsad kinnitatakse hoidjate kinnituspoltidele keeratud mutrite (4) alla (joon. 39).

39. Jablotškovi küünal.



Voolutugevus erineva võimsusega leeklampides ulatub 30 kuni 40 amprini. Nende toitepinge alalisvoolu puhul on 40 V, vahelduvvoolu puhul aga 50 kuni 55 V.

3. Süsiniitlamp

Inglise füüsik H. Davy, vene insener A. N. Lodõgin jt. katsetajad ning leidurid märkasid, et kui vool läbib elektrijuhet, siis juhe kuumeneb ja hakkab tugeva voolu puhul hõõguma, s. o. valgustab. Leidurid katsetasid paljude metallidega, kuid iga metall sulas enne, kui ta suutis anda küllalt tugevat valgust. Ainus aine, mis talus kõrget temperatuuri ja juhtis seejuures ka voolu, oli süsi. Nii kujuneski esimeseks hõõglambiks mitte metall-, vaid süsiniitlamp. Kuid ka süsiniiti polnud lihtne valmistada, sest süsi on küllalt rabe. Pealegi põles süsi vabas õhus kiiresti ära.

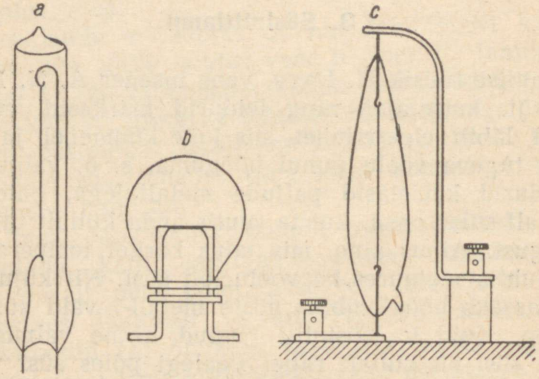
Aastal 1854 kasutas sakslane Goebel hõõgniidiks söestatud bambuskiudu, mille ta paigutas õhutühja

klaaskolbi (joon. 40, a). Goebeli lambi tööiga oli küllalt pikk.

Venelase A. Lodõgini konstrueeritud lampidega (joon. 40, b) valgustati 1875. aastal Peterburis üle Neeva viiva silla ehitustöid. Lodõgini lampides oli õhutühjas klaaskolvis neli süsipulgakest, mida sai süüdata üksteise järel. Nii kasvas lambi iga neljakordseks.

Inglasel I. W. Swanil õnnestus valmistada süsiniiti läbimõõduga 1 mm. Selle paigutas ta õhutühja klaaskolbi (joon. 40, c). Tema konstrueeritud lambid olid varustatud ka silindrilise sokliga (tänapäeval kasutatakse silindrilist soklit näiteks veel autolampides). Swani lambid olid nii täiuslikud, et neid hakati isegi tööstuslikult tootma.

Ameeriklane Th. A. Edison viis süsiniitlambi ehituse täiuslikkuseni. Esimesi katsetusi hõõglambi loomiseks alustas ta 1878. aastal. Juba aasta hiljem



40. Vanemaid elektrihõõglampe:
a — Goebeli lamp, b — Lodõgini lamp, c — Swani lamp.

valmis tal hõõglamp, mille hõõgniidiks oli söestunud paber. Lambi tööiga oli 40 tundi. Suurt leidurit need tulemused veel ei rahuldanud. Hõõglambi loomiseks sooritas Edison tohutul hulgal katseid ja kulutas selleks väga palju aega ning raha, kuid lõpuks kandsid tema pingutused vilja.

Reedel, 10. augustil 1881. aastal avati Pariisis rahvusvaheline elektrotehnika näitus. Õhtuses pimeduses üllatas näitusekülastajaid seninähtamatu elektrivalguse sära. Edisoni paviljoni ees seisis pikk järjekord — kõik, nii noored kui ka vanad tahtsid näha ja oma käega keerata imenuppu, mis käsutas ebaharilikku valgust. Kümneid inimesi kogunes nende ümber, kes olid juba seda imenuppu isiklikult keeranud. Viimased aga seletasid vaimustatult: «Kujutlege ometi, see valgustandev pudel ripub kõrgel lae all nööri otsas, nöör aga ei põle ära ega lähe isegi kuumaks. Keerad korra — lamp süttib, keerad teise korra — ta kustub!»

Edison varustas oma lambid keermekujulise sokliga, mida nimetatakse Edisoni sokliks ja kasutatakse tänapäevani.

4. Metallniitlamp

Tänapäeval süsiniitlampi valgustuseks enam ei kasutata, sest selle valgusviljakus on väike. Küll kasutatakse teda aga arstiteaduses soojuskiirgajana. Ent isegi sealt tõrjub ta välja volframhõõgniidiga lamp ehk volframlamp, mis intensiivse infrapunase kiirguse allikana on ühtlasi tugevaks soojusallikaks. Soojuskiirgajatel on tänapäeva tööstuses suur tähtsus. Neid kasutatakse lakkide ja tekstiilitoodete kuivatamiseks ning paljudeks teisteks eesmärkideks.

Edisoni lampides ei tõusnud süsiniidi temperatuur üle 1800°C. Nii madalal temperatuuril kiirgub

nähtavat valgust suhteliselt vähe. Uurimised aga näitasid, et temperatuuri tõusuga suureneb tugevasti nähtava valguse kiirgamine. Hakati otsima metalle, mille sulamistemperatuur oleks küllalt kõrge. Niisugused on näiteks osmium, molübdeen, tantaal ja volfram.

Aastal 1890 valmis Lodõginil esimene volframniidiga hõõglamp. 1901. aastal ehitas aga tuntud hõõgsuka autor Auer von Welsbach osmiumlambi. Kuid peenikese traadi saamine neist metallidest osutus esialgu õige raskeks ja esimeste lampide hõõgniidid olid jämedad. Mõni aeg hiljem õnnestus saksa inseneril W. Siemensil[1] tõmmata peenikest osmiumtraati. Tema osmiumlamp ja tantaallamp (1903. a.) talusid juba temperatuuri kuni 2000° ning nende tööiga ulatus kuni 800 tunnini.

Volframi kasutamine hõõgniidi materjalina ei andnud esialgu rahuldavaid tulemusi, sest volfram on väga kõva ja rabe metall. Pealegi on teda kõrge sulamistemperatuuri tõttu raske sulatada. Alles pärast inglase C. Coolidge'i[2] ettepanekut rakendada volframtraadi valmistamisel pulbermenetlust, saavutas volframhõõgniidi valmistamine kaasaegse taseme.

5. Kaasaegne hõõglamp

Vaatleme kõigepealt, kuidas valmistatakse volframhõõgniiti kaasaegsete hõõglampide jaoks.

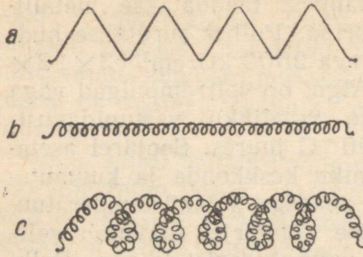
Coolidge'i menetluse järgi lahustatakse volframimaak soolhappes. Lahust puhastatakse, töödeldakse ammooniumhüdroksüüdi vesilahusega, kuumutatakse temperatuuril 600° C ja lõpuks saadakse puhas

[1] Siemens (l. *siimens*).
[2] Coolidge (l. *kuulidž*).

volframhape. Sellest happest taandatakse metalliline volfram musta pulbrina. Pulber surutakse hüdraulilise pressi abil survega 2500 kG/cm² 12×12× ×400 mm pulkadeks. Algul on volframpulgad väga rabedad. Et anda neile vajalikku vastupidavust, kuumutatakse neid 1300° C juures. Seejärel asetatakse pulgad ahju vesiniku keskkonda ja kuumutatakse neid teistkordselt peaaegu sulamistemperatuurini. Niisuguse töötlemise tagajärjel saavutab volfram vajaliku sitkuse ja muutub sepistatavaks. Pulki vasardatakse erilises vasardamismasinas temperatuuril üle 1000°. Vasardatud pulgad tõmmatakse algul läbi kõvametallist, pärast läbi teemandist tõmbesilma. Nii saadakse volframtraat, mis on rohkem kui neli korda peenem juuksekarvast. Saadud ülipeenest volframtraadist hõõgniidiga lambid ületasid oma eelkäijaid — Edisoni süsiniitlampe — valgusviljakuse poolest mitmekordselt. Näis, et on võimatu valmistada veelgi paremaid hõõglampe, sest hõõgniidi temperatuuri tõstmisel põles lamp volframtraadi aurustumise tõttu kiiresti läbi. Et vältida metalli aurustumist, soovitas prantslane Langmuir[1] 1912. aastal täita lampide kolvid inertse gaasiga — lämmastikuga. Lämmastik takistaks metalliosakeste lendumist ja kujutaks endast traati kaitsvat ümbrist.

Neil aastail oli hõõgniidiks ligi 0,5 m pikkune siksakiline traat (joon. 41, a). Traadi üksikud osad olid üksteisest väga kaugel, mis soodustas traadi jahtumist. Tulemusena langes hõõgniidi temperatuur ja vähenes nähtava valguse kiirgumine. Soojuskao vähendamiseks otsustas Langmuir keerata traadi spiraaliks, sest lühemaks seda lõigata polnud võimalik — oleks vähenenud traadi takistus (joon. 41, b). Tulemused olid head. Lambi hõõgniidi tem-

[1] Langmuir (l. *langmüür*).



41. Elektrilambi hõõgniite: a — siksakiline, b — spiraalne, c — kaheli- ehk bispiraalne.

peratuur tõusis nüüd kuni 2600° C-ni ja hõõglambi valgusviljakus suurenes 6,3 luumenilt vati kohta kuni 10,3 luumenini vati kohta. Paarkümmend aastat hiljem (1935) hakati hõõgniite tegema kaksik- ehk bispiraalina (joon. 41, c), mille tulemusena lambi valgusviljakus veelgi kasvas.

Aastast 1938 hakati elektrilampide kolbe täitma krüptooniga. Nimelt on hõõgniidi soojuskadu seda väiksem, mida raskem on täitegaas. Seepärast asendatigi lämmastik ühega kõige raskematest inertsetest gaasidest — krüptooniga. Suuri raskusi on aga krüptooni tootmisega, sest seda leidub õhus väga vähe. Et saada liiter krüptooni, tuleb töödelda 1 000 000 liitrit õhku. Ent vaatamata raskustele õnnestus siiski krüptooni hind hoida küllalt madal, nii et krüptoonitäidisega lambid on tavalistest lampidest ainult veidi kallimad. See-eest annavad need lambid aga ilusat valget valgust. Krüptoonlampide valgusviljakus on 13,9 lm/W. Mõningad hõõglambi arengut peegeldavad andmed on toodud tabelis 3.

Kerkib küsimus, kas leidub veel võimalusi hõõglambi täiustamiseks, ilma et lambi ökonoomsus seejuures väheneks? Uurimised ja katsetused on näidanud, et võimalusi leidub. Tõstes hõõglambi kolvis

Tabel 3

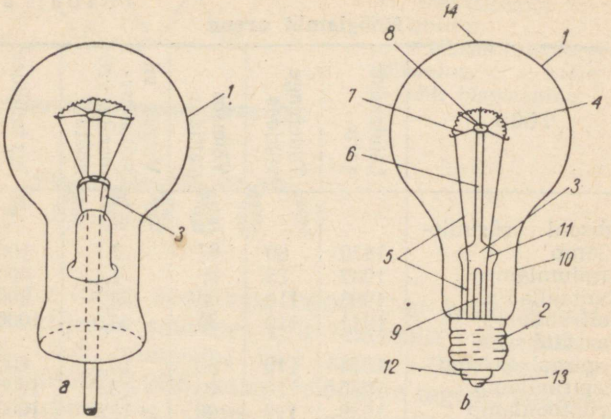
Hõõglambi areng

Tüüp	Leiutamise aasta	Toitepinge voltides	Võimsus vattides	Valgus viljakus luumenites vati kohta	Iga tundides
Edisoni süsiniitlamp	1879	80	87	2,1	100
Osmiumlamp	1902	75	50	4,4	800
Tantaallamp	1903	110	60	3,7	800
Volframlamp	1911	110	35	6,3	1000
Gaastäidisega spiraalniitlamp	1915	110	60	10,3	600
Bispiraallamp	1935	110	60	13,2	1000
Krüptoonlamp	1938	110	60	13,9	1000

sisalduva gaasi rõhku, tõuseb ka hõõgniidi temperatuur ja suureneb lambi valgusvoog. Näiteks kui rõhk kolvis ületaks kaks korda atmosfäärirõhu, suureneks lambi valgusvoog 10% võrra. Niisuguste kõrgrõhulampide valmistamisel esineb praegu veel mõningaid tehnilisi raskusi ja seepärast on nende laialdane kasutamine alles tulevikuküsimuseks.

Hõõglamp tundub meile õige lihtsa tarbeesemena. Kuid püüdke kord kirjeldada tema ehitust! Selgub, et seda teha polegi nii hõlpus. Et rahuldavalt seletada selle lihtsa tarbeeseme ehitust, on tarvis üle paari tosina oskussõna, millest peaaegu igaüks osutub lambi mingi üksikosa nimetuseks (joon. 42). Vaatleme, kuidas neid osi valmistatakse ja kuidas valmib lõpuks lamp ise.

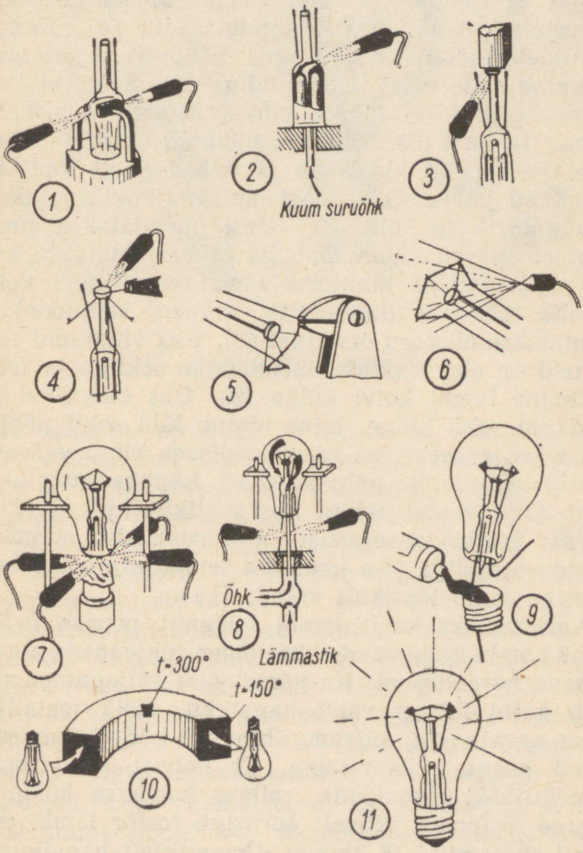
Hõõgniidi tootmist on juba kirjeldatud. Ka muus osas on hõõglambi valmistamine mehhaniseeritud ja ulatuslikult automatiseeritud. Vaatamata üksikute töövõtete suurele arvule väljub masinast iga kolme



42. Hõõglambi jalake (a) ja kolb (b):
1 — kolb, 2 — sokkel, 3 — jalake, 4 — hõõgniit, 5 — elektroodid, 6 — klaastugi, 7 — aasakesega kandetraat, 8 — lääts, 9 — õhutoru, 10 — kolvi kael, 11 — platiniidist läbiviimisosa, 12 — isoleerkettake, 13 — põhjakontakt, 14 — silt lambi andmetega.

sekundi järel üks hõõglamp. Jälgime mõningaid seejuures esinevaid töövõtteid (joon. 43).

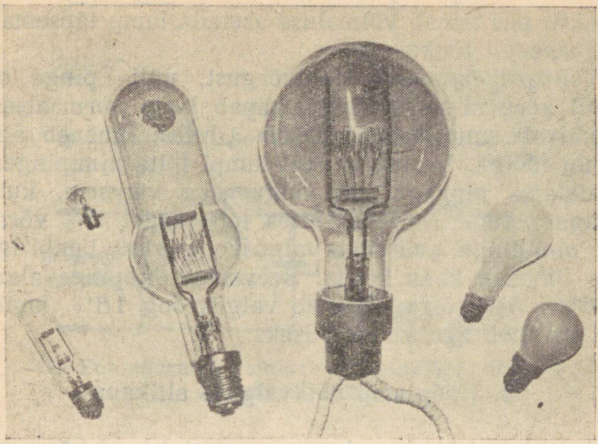
Eraldi valmivad lambi klaaskolb ja jalake. Vastutusrikkaks ülesandeks on jalakese varustamine elektroodidega (1). Elektroodid tehakse harilikult mingist vasesulamist, kuid niisuguse arvestusega, et klaasisse sulatatud osal peab olema klaasiga võrdne paisumistegur. Selliseks erisulamiks on platiniit. Gaasileegis muutub klaas pehmeks ja erilised käpad vajutavad platiniittraadid tihedalt klaasimassi. Et vältida jalakese purunemist järsul jahtumisel, noolutatakse teda tunnelahjus, milles temperatuur alaneb sujuvalt 400 kuni 150 kraadile. Seejärel asetatakse jalake uuesti leeki ja kuuma suruõhuga läbipuhu-



43. Hõõglambi valmimine.

mise teel sulatatakse lahti õhutoru (2). Nüüd kuumutatakse jalakesele toetuva klaastoe tippu ja vajutatakse see templi abil läätseks (3). Edasi kinnitab vastav seadis läätse külge peenikesed aasakestega varustatud molübdeenist kandetraadid (4). Kandetraatidele asetatakse volframist hõõgniit ja automaat ühendab selle otsad elektroodiga (5). Seejärel kantakse hõõgniidile õhuke kiht piirituses lahustatud punast fosforit (6). Nüüd on jõudnud ühisele tööpingile ühelt poolt klaaskolb ja teiselt poolt lõplikult valminud jalake. Gaasileegis sulavad kokku jalakese põhjataldrik ja kolb (7). Edasi ühendatakse lambi õhutoru ots vaakuumpumbaga ja eemaldatakse kolvist õhk. Pärast juhitakse sama toru kaudu kolbi vajalik täitegaas (lämmastik, argoon, krüptoon) ja sulatatakse õhutoru ots kinni (8). Üks viimaseid töövõtteid on elektroodide ühendamine sokliga ja sokli kittimine lambi kolvi külge (9). Üks elektrood on joodetud sokli külge, teine ulatub läbi sokli põhjas oleva isoleerkettakese ja on joodisega kinni valatud, moodustades lambi põhjakontakti. Lõpuks suunatakse lamp jälle noolutusahju, kus soklikitt kuivab (10). Pärast lambi katsetamist ja varustamist andmeid sisaldava sildiga (see kantakse templijäljendina kolvile) on lamp lõplikult valmis (11).

Aga milleks kaeti lambi hõõgniit punase fosforiga? Lambi kolbi suudetakse õhust tühjendada ainult teatava hõrenduseni. Ka pärast õhu väljapumpamist jääb kolbi ikkagi veidi hapnikku. Kõik metallid, kaasa arvatud ka volfram, ühinevad kõrgel temperatuuril kergesti hapnikuga. Et kolvist ka viimast hapnikujääki eemaldada, selleks kaetakse hõõgniit punase fosforiga. Nimelt aurustub fosfor lambi esimesel süütamisel ja ühineb silmapilkselt hapnikuga, mille tulemusena kolbi vaba hapnikku enam ei jää.



44. Näiteid hõõglampidest.

Hõõglampe on väga mitut tüüpi. Me tunneme hästi väikest 0,2-vatise võimsusega taskulambipirni. Kuid on veelgi väiksemaid hõõglampe, millega arstid valgustavad inimese siseelundeid, s.t. need lambid on nii väikesed, et nad koos arstiriistadega mahuvad läbi söögitoru. Eluruumide valgustamiseks kasutatakse peamiselt 60-, 100- ja 150-vatiseid lampe. Suuremaid ühiskondlikke ruume, tööstusruume ja tänavaid valgustatakse veelgi võimsamate lampidega. Need lambid, mille võimsus ületab 500 vatti, on varustatud suurema sokliga. Eriti võimsaid lampe (2000 . . . 10 000 W) kasutatakse filmimisel. Enamik valgustamiseks kasutatavaid lampe on pirnikujulised, kuid valmistatakse ka piklikke ja silindrilisi lampe (joon. 44). Mitmesuguste projektsioonlampide iseärasuseks on see, et nende hõõgniit asub ühes tasapinnas ja on koondatud võimalikult ühte

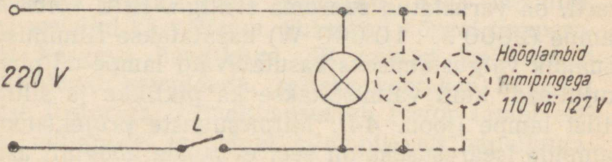
punkti, mis annab võimaluse asetada lamp täpsemalt nõguspeegli fookusesse.

Toites hõõglampi vooluvõrgust, mille pinge on veidi kõrgem nimipingest, annab lamp normaalsest tunduvalt suurema valgusvoo. Ühtlasi lüheneb aga lambi tööiga. Vastupidi, kui lampi toita nimipingest madalama pingega, on valgusvoog väiksem, kuid tööiga pikem. Näiteks tõstes toitepinget 5% võrra üle nimipinge, suureneb valgusvoog 21%, lambi iga aga lüheneb kaks korda. Seevastu toitepinge alandamisel 5% võrra väheneb valgusvoog 18%, lambi iga pikeneb aga kahekordseks.

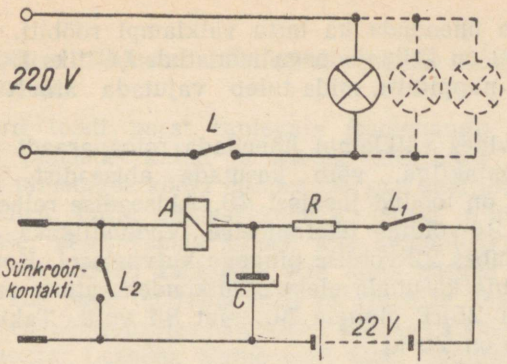
6. Hõõglamp välkvalguse allikana

Asjaolu, et lambi valgusvoog nimipingest kõrgema pinge korral kasvab, rakendatakse fototehnikas, kus kasutatakse hõõglampi välkvalguse allikana. Selleks lülitatakse 110- või 127-voldise nimipingega hõõglamp hetkeks 220-voldise pingega elektrivõrku. Hõõgniidi ülekuumutamise tõttu lüheneb lambi iga küll mõnele minutile, kuid sellest piisab ligemale tuhande «välgu» tekitamiseks, millest igaühe kestus on umbes $^1/_{10}$ sekundit.

Juuresolev tabel 4 näitab, kuidas muutuvad 110- ja 127-voldise nimipingega lampide omadused, kui neid lampe toita 220-voldise pingega elektrivõrgust. Selleks kõlbab väga lihtne lülitus (joon. 45).



45. Hõõglamp välklambina.



46. Fotoaparaadi sünkroonkontaktiga ühendatud välklamp.

Tabel 4

Hõõglampide omadusi, kui toitepinge on kõrgem nimipingest

Hõõglambi nimipinge	Nimipingel			220-voldise toitepinge puhul			
	võimsus W	vool A	valgusvoog lm	vool A	valgusvoog lm	$^1/_{10}$ sek. helendumise vältel: valgusenergia lm-s	$^1/_{10}$ sek. helendumise vältel: juhtarv[1] filmile 17° DIN
110	100	0,9	1 500	1,25	21 000	2 100	14
110	200	1,8	3 300	2,5	46 000	4 600	20
110	300	2,7	5 100	3,75	71 000	7 100	26[2]
127	100	0,8	1 500	1	13 500	1 350	11
127	200	1,6	3 300	2	29 600	2 960	16
127	300	2,4	5 100	3	4 600	4 600	20

[1] Juhtarv on katiku ava ja pildistatava eseme kauguse korrutis (kaugus on mõõdetud meetrites).

[2] Välklambi ИФК-120 juhtarv on umbes samasugune.

Võib ühendada ka mitu välklampi rööbiti, nagu joonisel on kriipsjoonega näidatud. Lülitiks L sobib kõlisti nupplüliti, mida tuleb vajutada ainult hetkeks.

Soovides välklampi ühendada fotoaparaadi sünkroonkontaktiga, võib kasutada abiseadist, mille skeem on toodud joonisel 46. Abiseadise releeks A sobib 24-voldine telefonirelee. Vooluallikaks võib olla umbes 22-voldise pingega kuivpatarei. Kondensaatorina kasutada elektrolüütkondensaatorit mahtuvusega 25μF pingele 30 kuni 35 volti. Takisti R suurus on 20 kΩ.

7. «Külm valgus» ja selle allikad

Päike, peerg, petrooleumilamp, elektrihõõglamp ja teised seni vaadeldud valgusallikad on nn. kuumvalgusallikad. Nad kiirgavad nähtavat valgust seda rohkem, mida kõrgem on nende temperatuur. Kuid on olemas niisuguseid valgusallikaid, mis kiirgavad nähtavat valgust, ilma et sellega kaasneks soojuse eraldumine. Näiteks hõõguvat söekest me peos hoida ei saa — see kõrvetab. Asetades aga peole kas või tosina jaanimardikaid ehk nn. jaaniusse, ei tunne me mingisugust soojust. Niisugust valgust, mille põhjustajaks ei ole kõrge temperatuur, nimetataksegi «külmaks valguseks» ehk luminestsentsvalguseks.

Looduses võib tihti kohata «külma valgust». Enamik lugejaist tunneb kindlasti rohekaskollaselt hiilgavat jaanimardikat, kelle piklikul tagakehal on helendav koht.

Maakeral tuntakse tuhandeid helendavate putukate liike. Eriti tugevat valgust kiirgab Ameerika troopikavööndis elutseva tulikärbse helenduselund.

Helenduse põhjustab lutsiferiini-nimelise aine oksüdeerumine.

Kord toodi poest tuulekala (tuulehaugi). Perenaine puhastas kalad ja asetas taldrikuga kööki. Öösel pimedasse kööki minnes märgati seal imelikku helendust, mille põhjust kohe ei leitud. Süüdanud valguse, nähti samas kohas, kus helendustki taldrikut tükeldatud kaladega. Kui olete näinud tuulekala, siis teate, et tema luud on rohekad. See värvus sarnaneb pimedas helendava kõduneva kasepuidu värvusega. Lapsena oleme tihti vana puupinu juurest hiilgavaid puutükke otsinud. Kohates pimedas metsas helendavat kändu või puuhalgu, saab ebausklik inimene rohkesti ainet mõneks salapäraseks looks, nagu neid rahvasuus palju leidub. Tegelikult on aga eelnimetatud juhtudel helenduse tekitajaks helendavad puuseened.

Veekogude helendamine on üldtuntud tõsiasi. Oma raamatus «Meri elab» toob N. Tarassov terve rea näiteid. Helenduse tekitajateks on enamuses väikesed selgrootud loomad — Mustas meres elutsev oherdkarp, lehtlimulane, mitmesugused hiilgevähklased jt. Kõige sagedamini helenduvad aga bakterid soojades meredes jõesuudmete läheduses. Tarassov kirjutab: «Mõnikord, eriti Jaapani ja Ohhoota meres, on helendus nii tugev, et selle peegeldus pilvedel loob kaugete suurlinnatulede või helgiheitja kiirte kuma mulje. Helenduse üksikuid sähvatusi laineharjadel võib eemalt kergesti pidada laeva- või signaaltuledeks. Nii esines Teise maailmasõja ajal juhtum, kus Vaikse ookeani avaveel viibivad valvelaevad teatasid välgahtusist vaatepiiril. Otsustades välgahtuste arvu ja asukoha järgi arvati algul, et need on ettevaatamatu vaenlase laevastiku peajõudude laevatuled ja helgiheitjad. Kõik see osutus aga

täiesti ohutuks nähtuseks — laiguliseks merehelenduseks.»[1]

Kuid mitte üksnes soojades meredes, vaid isegi arktilistes vetes on nähtud merehelendust. Suurematest loomadest helendavad esmajoones mitmesugused kalad, meduusid, peajalgsed, madutähed jt. Kõige heledamini on varustatud helenduselunditega igaveses pimeduses elavad süvamereloomad. Osal neist on endal helendusallikas, teiste helenduselundites asuvad aga helendavad bakterid.

Seni toodud näidetes olid helenduse tekitajateks elusolendid, seepärast nimetatakse mainitud luminestsentsinähtust b i o l u m i n e s t s e n t s i k s.

Juba ammu täheldati luminestsentsinähtusi ka elutus looduses. Esimesed andmed fosforestseeriva aine valmistamise kohta ühe Jaapani preestri poolt pärinevad esimese ja teise aastatuhande vahetusest. Ta sai fosfoori[2] austrikarpide põletamisel koos väävliga. Niiviisi valmistatud värviga tehti maal, mis päeval polnud nähtav, kuid pimedas helendas seda paremini. Alkeemik Vincentius Casciarolo, elukutselt kingsepp, katsetas nagu paljud teisedki «tarkade kivi» avastamisega. Itaalias Bologna lähedal leidis ta mingi raske kivi. Peale kuumutamist kivi kiirgas pimedas. Tänapäeval tuntakse seda raskepao (baariumsulfaat, $BaSO_4$) nime all. 1624. aastal kirjutas Poterius, et iga päev kerkivad looduses esile uued asjad, kõikjal näeme me uusi looduseimesid . . . Bologna lähedal leidub tähelepanuväärset kivi, mis on täiesti uudne ja ennekuulmatu. See on nimelt kivi, mida ühed lutsiferiks (valgusetoojaks), teised solaariseks (päikesekiviks), mõned lunaariseks (kuukiviks) nimetavad, kuna tal on omadus saavutada

[1] Vt. N. Tarassov «Meri elab», Tallinn, 1953, lk. 19.
[2] Fosfoorid — vt. lk. 73.

valgusjõudu pärast päikese- või kuuvalguses hoidmist. Edasi kirjeldab ta kivi omadusi, leiukohti ja seda, kuidas kivi helendavaks muuta.

Mõnikümmend aastat pärast eespool toodud kirjeldust avastati mitu menetlust, kuidas valmistada imekivi, mis kogub endasse valgust. Tänapäeval nimetatakse niisugust helendumist fotoluminestsentsiks, sest helendus tekib valguse toimel. Kui aga helendus kestab veel mõni aeg pärast valgustamist, nimetatakse nähtust fosforestsentsiks. Meie päevil valmistatakse mitmesuguseid fosforestseerivaid aineid, millest mõned helendavad rohekalt, teised punaselt, kolmandad siniselt jne. Harilikult on fosforestseerivad ained pulbrilised. Nende valmistamist vaatleme veidi hiljem.

Nagu teada, on petrooleum värvitu või veidi kollakas vedelik. Vaadeldes teda aga kõrvalt langevas valguses, helendab ta sinakalt. Seganud vette vähe eosiini (punast tinti), paistab vesi helerohelisena.

Asetage piiritusesse rohelisi taimelehti. Peagi kaotavad need oma rohelise värvuse, sest klorofüll ehk leheroheline lahustub piirituses. Kui nüüd niisugust piiritust vaadelda teatud kindla nurga all langevas valguses, helendab ta punasena. Ka viimased nähtused kuuluvad fotoluminestsentsi hulka. Et aga nende ainete korral kestab helendus ainult nii kaua, kuni ainet valgustatakse, siis nimetatakse nähtust täpsemalt fluorestsentsiks. Eriti hästi fluorestseerivad paljude orgaaniliste ainete lahused.

Tugeva fosforestsentsi ja fluorestsentsi kutsub esile kiiritamine ultraviolettkiirtega. Paljud ained helenduvadki ainuüksi ultraviolettkiirguse mõjul.

Sulatage segu ühest osast salmiaagipulbrist ja kahest osast lubjast. Kui pimedas saadud segu hõõruda või lüüa, näete helendust. Niisuguse katse sooritas juba 1693. aastal sakslane W. Homberg. Saa-

dud segu hakati leiutaja nime järgi hüüdma Hombergi fosfooriks. Luminestsentsi, mis tekib hõõrumise või löökide tagajärjel, nimetatakse tänapäeval triboluminestsentsiks.

Sooritage veel mõningad katsed:

1. Hõõruge pimedas ruumis teineteise vastu kahte suhkrutükki. Te näete helendavaid sädemekesi.

2. Asetage kõvale alusele mõned uranüülnitraadi kristallid ja lööge neile vasaraga. Löögi hetkel levitavad nad ilusat rohelist valgust.

3. Pimedas ruumis segage kontsentreeritud keedusoolalahusele sama suur kogus kontsentreeritud soolhapet ja te näete nõrka helendust. Keemilise reaktsiooni tagajärjel tekkivat luminestsentsi nimetatakse kemoluminestsentsiks.

Rasv, mis keeb pimedas ahjus, helendab valgena. Seda nähtust nimetatakse termoluminestsentsiks.

Paljud ained helendavad röntgenikiirte toimel. Niisugust helendust nimetatakse röntgenoluminestsentsiks.

Televiisori ekraan helendub elektronkiire toimel ja ilmnevat helendust nimetatakse katoodluminestsentsiks.

Me oleme loetlenud seitse erisugust luminestsentsinähtust, kus üks või teine energialiik muundub valgusenergiaks. Tänapäeva tehnikas rakendatakse esmajoones fotoluminestsentsi, mille tekkimise põhjusi on uuritud üsna üksikasjaliselt. Rahuldav seletus paljudele valgusnähtustele (nende hulgas ka luminestsentsinähtusele) suudeti anda alles siis, kui valgust hakati käsitama mitte üksnes lainelise nähtusena, vaid ka osakeste — footonite — voona.

Samuti nagu soojusenergia ja elektroni liikumisenergia (kineetiline energia) võivad põhjustada aatomi energiasisalduse muutuse, nii võib selle esile

kutsuda ka «pommitamine» valguskvantidega. Ergastades luminofoori mingi kindla lainepikkusega valgusega, paikneb elektron tuumalähedasest kihist tuumast kaugemal olevasse kihti. Elektroni tagasipöördumisel tuumalähedasse kihti energia uuesti vabaneb ja võib kiirguda silmale nähtava valgusena. Nagu näitavad katsed ja tähelepanekud, on seejuures kiiratud valguse lainepikkus alati suurem ergastava valguse lainepikkusest. Samuti on kindlaks tehtud, et lühemalainelise kiirguse kvantide energia on suurem kui pikemalainelisel kiirgusel. Seega esineb ka luminestsentsi korral teatav energiakadu, osa energiat hajub soojusena ning lõpuks luminofoori kiirgamine lakkab.

8. Fosfooride valmistamine

Fosfoorid segatakse mitmesugustest ainetest temperatuuridega 700 kuni 1200 kraadi. Kõige üldisemaks ja olulisemaks nõudeks luminofooride [1] valmistamisel on, et kasutatavad ained oleksid keemiliselt täiesti puhtad. Seepärast tuleb mõnikord käepärast olevaid aineid laboratoorsel teel ümberkristalliseerida. Eriti väheneb helenduse tugevus siis, kui segu sisaldab raskeid metalle, eelkõige aga rauda. Et vältida mittesoovitavate lisandite, eriti aga metallide sattumist preparaatidesse ja segudesse, kasutatakse ainete lõstmiseks ja kaalumiseks mittemetalseid vahendeid. Preparaate kuumutatakse glasuurimata portselan- või kvartstiiglites. Puhtuse

[1] Luminofoorid — ained, mis helenduvad valguse toimel. Kõige olulisem luminofooride liik on kristallilised ained, mis sisaldavad vähesel määral lisandeid — aktivaatoreid. Nende järelhelendus (helendumise kestvus peale valgustamise lõppemist) on küllalt pikk ja neid nimetatakse fosforideks.

saavutamiseks kasutatakse iga erineva preparaadi valmistamiseks eri tiiglit.

Iga luminofoor koosneb teatud põhiainetest, millest tuletatakse ka fosfoori nimetus. Näiteks kaltsiumsulfiidfosfoor koosneb põhiliselt kaltsiumist ja väävlist. Peale põhiainete sisaldab luminofoor aktiivainetena vähesel määral veel mõningaid preparaadi valmistamist soodustavaid ja tema omadusi mõjutavaid lisandeid. Viimaste tähtsus on erinev. Mõned neist mõjuvad tunduvalt preparaadi helenduse kestusele ja tugevusele, teised mõjutavad helenduse värvust, kolmandate mõjul lüheneb preparaadi valmistamiseks kuluv aeg jne.

Aktiivainetena ehk aktivaatoritena kasutatakse mõningaid metalle, nagu vask, vismut ja mangaan. Kuid sama metalli lisandamine erinevatele luminofooridele ei avalda ühesugust mõju. Nii näiteks tõstab muldmetallsulfiidfosfooride helenduse tugevust eriti vismut, tsinksulfiidfosfooridele lisandatakse samal eesmärgil aga vaske ja mangaani. Leelismuldmetallfosfooride valmistamisel kasutatakse aktivaatorina samaariumi. Aktivaatori lisamisel tuleb olla väga täpne, sest kui aktivaatori kogus ületab teatud kindla piiri, nõrgeneb tunduvalt luminofoori helendumise tugevus ja kestus.

Kindlate omadustega (tugevus, kestus) helenduse saavutamisel on suur tähtsus ka preparaadi kuumutamise temperatuuril ning vältusel. Pikemaajalise tugeva kuumutamise tulemusena saadakse kauahelendavad fosfoorid. Kuumutades aga lühemat aega madalamal temperatuuril, saadakse ainult hetke vältel helendavaid fosfoore. Näiteks saab tugeva hetkelise helendusega fosfoori strontsiumsulfiidist ja tsingist koosneva preparaadi üheminutilise kuumutamisega väikesel leegil.

Erineva koostisega preparaatide kuumutamist teos-

tatakse väga mitmesugusel temperatuuril erineva aja vältel. Strontsiumsulfiidpreparaatide soodsaim kuumutamistemperatuur on 750° C, kaltsiumsulfiidpreparaate tuleb aga kuumutada 1000 kraadini ja üle selle. Strontsium- ja baariumsulfiidpreparaatide kuumutamiseks piisab 30 kuni 40 minutist, sest pikemaaegsel kuumutamisel muutuvad nad tihti kõlbmatuks. Enamikul juhtudel on soovitav kuumutatud preparaat kohe jahutada, et ta oleks peeneteralisem ja heledam. Jahutamiskiirus avaldab mõju ka luminofoori helendumise värvusele. Nii saadakse tsinksulfiidpreparaatide kiirel jahutamisel kollaselt või punakalt, aeglasel jahutamisel aga roheliselt helendav fosfoor.

Et preparaadi kuumutamistemperatuur[1] oleks madalam, manustatakse talle naatriumsulfaati, naatriumfluoriidi, liitiumisooli jms. Samal ajal mõjutavad need lisandid aga ka fosfoori helenduse värvust. Näiteks kaltsiumsulfiidist ja vasest koosnevale preparaadile naatriumkarbonaadi lisandamisega saadakse rohekalt helendav fosfoor, lisades talle aga sama suures koguses kaaliumkarbonaati, helendab fosfoor oranžilt.

Kui luminofoori valmistamise käigus tekivad tiiglile mustad viirud, siis näitab see, et mõni preparaadi koostisse kuuluvatest ainetest (harilikult väävel) sisaldab rauda. Samuti võib rauda sisaldada ka tiigli materjal.

Leelismuldmetallfosooride põhiaineks on mingi leelimuldmetall — baarium, strontsium või kaltsium. Seega kuuluvad leelismuldmetallfosfooride hulka kaltsiumsulfiid-, baariumsulfiid- ja strontsiumsulfiidfosfoorid.

---

[1] Kuumutamistemperatuuriks nimetatakse temperatuuri, mille puhul tekib preparaadi koostisse kuuluvate ainete vahel keemiline reaktsioon.

Kaltsiumsulfiidfosfoore valmistatakse kaltsiumoksüüdist. Juhul kui puhast kaltsiumoksüüdi pole, võetakse lähteaineks kaltsiumkarbonaati — marmoritükikesi. Purustatud marmorit kuumutatakse lahtises tiiglis 2 tundi, kusjuures marmorikihi paksus ei tohi ületada 4 cm. Kuumutamisel lisatakse ainele iga poole tunni järel vett. Veeaur eraldub koos anumas tekkinud süsihappegaasiga. Saadusena valminud kustutamata lubi ei tohi happe lisamisel kihiseda.

Strontsiumsulfiidfosfooride valmistamisel on parimaks lähtematerjaliks strontsiumhüdroksüüd, millest kõigepealt eraldatakse kuumutamisega kristallvesi. Kasutatakse ka strontsiumoksüüde või -karbonaate. Sageli on kõige kättesaadavam strontsiumnitraat. Sel juhul sadestatakse nitraadist karbonaat ammooniumkarbonaadi abil (lähem kirjeldus vt. D. Vardja ja H. Andra, «Noor elektrokeemik», Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1958, lk. 73).

Baariumsulfiidfosfoore valmistatakse baariumhüdroksüüdist või baariumkarbonaadist. Viimast saadakse baariumnitraadist samal teel nagu strontsiumkarbonaati strontsiumnitraadist.

Sulfiidide valmistamiseks võetakse aineid järgmises vahekorras:

kaltsiumoksüüdi	10 g	ja	väävlit	7	g
strontsiumkabronaati	10 ,,	,,	,,	4	,,
baariumkarbonaati	10 ,,	,,	,,	1,65	g.

Lähteained segatakse ja saadud segu kuumutatakse kaanetatud tiiglis temperatuuril umbes 600° C (algab punahõõgumine) nii kaua, kuni väävli leeki enam näha ei ole. Pärast jahtumist saadus pulbristatakse ja hoitakse hermeetiliselt suletud anumas.

Sulfiidide valmistamisel ei ole vajalik kasutada eri anumaid.

Aktivaator manustatakse preparaadile lahusena. Vismutilahuse valmistamiseks võetakse 0,5 g vismutnitraati ja 100,0 ml alkoholi. Lahus on veidi sogane. Selgimiseks lisandatakse talle mõni tilk väävelhapet.

Vaselahuse jaoks võetakse 0,4 g vasksulfaati ja 100,0 ml vett.

Eespooltoodud retseptidega saadakse pulbrilised fosfoorid, kuid fosfoore on võimalik valmistada ka suuremate tükkidena. Niisugustest fosfooridest on eriti tuntud nn. bologna kivi, mille retsept on

baariumkarbonaati	20 g
väävlit	3 ,,
liitiumkarbonaati	0,5 ,,
rubiidiumkarbonaati	0,5 ,,

Segu tuleb kuumutada 45 minutit temperatuuril 1200° C.

Leelismuldmetallide sulfiide saab kasutada pikaajalise helendusega fosfooride valmistamiseks. Niisugused fosfoorid helenduvad tugevasti nii päikese kui ka kunstliku valgusega kiiritamisel. Tugeva fluorestsentsi või fosforestsentsi kutsuvad esile röntgenikiired või elektronidega pommitamine.

Valmis fosfoore säilitatakse hermeetiliselt suletud klaaspudelites. Leelismuldmetall-sulfiidfosfooridest säilivad hästi kaltsium- ja baariumsulfiidfosfoorid. Strontsiumsulfiidfosfooridele mõjub eriti halvasti niiskus ja nad riknevad kaunis kiiresti.

Paremini säilivad tsinksulfiidfosfoorid. Arvestades ka nende mõningaid teisi häid omadusi, on nad tehnikas leidnud palju laialdasema kasutamise kui leelismuldmetallfosfoorid.

Tsinksulfiidfosfoor valmistatakse hoolikalt puhastatud tsinksulfiidist, mida saadakse laboratoorsel teel keemiliselt puhtast tsinksulfaadist. Vii-

Tabel 5

Leelismuldmetallfosfooride retsepte

Retsepti nr.	Koostisosade nimetus	kogus	Kuumutamise temperatuur °C	kestus min.	Helenduse värvus	vältus
1	Kaltsiumsulfiid	10,0 g				
	Naatriumfosfaat	0,5 „				
	Booraks	0,25 „				
	Kaltsiumflouriid	0,25 „				
	Vismutnitraadilahus	0,5 ml	1000	16	Indigo	Pikk
2	Kaltsiumoksüüd	20,0 g				
	Väävel	6,0 „				
	Liitiumsulfaat	1,5 „				
	Vismutnitraadilahus	1,0 ml	800	40	Violett	Keskmine
3	Strontsiumkarbonaat	30,0 g				
	Naatriumsulfaat	1,0 „				
	Väävel	6,0 „				
	Vismutnitraadilahus	1,2 ml	750	30	Mererohe-line	Pikk
4	Baariumsulfiid	10,0 g				
	Booraks	0,3 „				
	Vasksulfaadilahus	1,0 ml	800	30	Kollakasroheline	Keskmine
5	Baariumkarbonaat	10,0 g				
	Naatriumsulfaat	0,2 „				
	Väävel	1,65 „				
	Vismutnitraadilahus	0,5 ml	800	30	Kollane	Pikk
6	Baariumoksüüd	20,0 g				
	Väävel	4,5 „				
	Liitiumfosfaat	0,35 „				
	Vasknitraadilahus	1,5 ml	750	30	Punane	

mane lahustatakse destilleeritud vees vahekorras 7 : 100. Saadud lahusele lisatakse vähehaaval mõni milliliiter naatriumsulfiidilahust ja siis kuumuta-

takse. Anumas tekib sade. Anuma sisu kallatakse filtrile. Puhas lahu nõrgub filtreerimisanumasse, kõik raskemetallide sulfiidid jäävad aga filtrile. Seejärel lisandatakse filtraadile mõnda mineraalhapet, kuni tekib happeline reaktsioon. Järgnevalt soojendatakse lahust 50 kraadini. See toimub väikese rõhu all, mida võib tekitada käsipumbaga. Samal ajal juhitakse lahusesse väävelvesinikku. Seadmesse on tarvis paigutada ka pesupudel (pudel kontsentreeritud väävelhappega) ja vatitopike väävelraua osakeste kinnipidamiseks. Tsinksulfiid langeb põhja hästi väljapestaval kujul. Saagis kuivatatakse vesivannil.

Tsinksulfiidfosfooride valmistamisel manustatakse põhiainele järgmisi lisandeid:

kaaliumkloriidi	5 g
naatriumkloriidi	5 ,,
ammooniumkloriidi	2 ,,
väävlit	10,5 ,,
vaskkloriidi ($CuCl_2$) 1% lahust	1 ml.

Vaskkloriidi lahuse valmistamisel küllastatakse lahus ammooniumhüdroksüüdiga. Kõik mainitud osised segatakse hoolikalt mittemetalses anumas ja kuivatatakse. Saadus pulbristatakse.

Kui kaheldakse mingi aine puhtuses, lahustatakse ta destilleeritud vees ja kristalliseeritakse ümber. Anumateks sobivad ainult täiesti puhtad portselan- või klaasnõud, mida muudeks otstarveteks kasutada ei tohi.

Saadud segu võetakse 6,8 g ja segatakse see 20,5 g tsinksulfiidiga. Segada tohib erilises, selleks määratud portselantiiglis või -uhmris. Segu asetatakse kvartstiigliga elektriahju ja kuumutatakse 2,5 kuni 3 tundi temperatuuril 1000° C. Kuumutamise

lõppedes jahutatakse suletud tiigel kiiresti, võetakse aine tiiglist välja ja purustatakse tükkideks. Saadud tükke valgustatakse. Kõik halvasti helenduvad tükid eemaldatakse, väljavalitud tükid asetatakse aga destilleeritud vette, kus nad pulbristuvad. Järgneb pesemine, kuivatamine ja lõpuks mehhaaniline pulbristamine. Valmis fosfoori säilitatakse puhtas klaasnõus.

Et saada hetkelise helendusega fosfoore (neid kasutatakse röntgeniekraanide valmistamiseks), lisatakse segule aktivaatorit rohkem ning kuumutatakse teda lühemat aega madalamal temperatuuril.

Kui aktivaatorina manustada mangaani, saadakse kuldkollaselt helenduv fosfoor. Üks retsepte selleks on järgmine:

tsinksulfiidi	10,0 g
kaltsiumfluoriidi	5,0 ,,
kaaliumkloriidi	5,0 ,,
mangaani	0,02 ,,

T s i n k s i l i k a a t f o s f o o r i d. Kunstlikult valmistatud tsinksilikaatfosfoorid helendavad hästi igasuguse kiirguse mõjul. Aktivaatorina on kõige kohasem mangaan, mida manustatakse 0,0001 kuni 0,01 osa ühe osa tsinksilikaadi kohta. Helendus on neil fosfooridel kollane või roheline.

Tsinksilikaati saadakse kas tsinkoksüüdi või tsinkfluoriidi ja ränihapendi kokkusulatamise teel. Tekkivat reaktsiooni väljendavad võrrandid:

$$2ZnO + SiO_2 = Zn_2SiO_4$$
$$2ZnF_2 + 2SiO_2 = Zn_2SiO_4 + SiF_4$$

Lihtsaim tsinksilikaadi valmistamisviis on järgmine. Aktiveeritud koostisosad segatakse ja asetatakse grafiidist tiiglikesse. Tiigel paigutatakse elektrileeki või 10 sekundiks metallelektroodide vahele.

Mõnevoldise elektroodide vahelise pinge korral läbib tiiglit vool kuni 600 A. Saadus jahutatakse ja peenestatakse. Mida kõrgem on kuumutamistemperatuur ja mida kauem kuumutamine kestab, seda pikema helendusega fosfoor saadakse. Röntgenikraanid valmistatakse preparaatidest, mida lühiajaliselt kuumutatakse madalal temperatuuril. Katsetamiseks võiks võtta koostisaineid järgmistes kogustes:

tsinkoksüüdi	4 g
ränihapendit	1,3 „
mangaansulfaadi lahust	1 ml

Sõltuvalt kuumutamistingimustest võime saada fosfoori, mis päevavalguse toimel ei helendu, helendub aga ultravioletse kiirguse ja kõrgsagedusliku elektrivälja mõjul.

Muid fosfoore

Boorhappefosfoor, mis ergastub ainuüksi nähtava valguse toimel, annab tugeva, kuid lühiajalise kestusega helenduse (umb. 10 sek.). Selle fosfoori valmistamiseks aktiveeritakse puhast boorhapet fluorestseiiniga. Näiteks 1 grammile boorhappele lisandatakse nii palju fluorestseiini, kui seda jääb 3 mm läbimõõduga klaaspulga külge, mis 1—2 cm pikkuselt kastetakse fluorestseiinpulbrisse. Aktivaatoriteks sobivad ka eosiin ja fenoolftaleiin, kuid need annavad tunduvalt nõrgema helenduse. Koostisained segatakse hästi kokku. 0,5 mm paksuse segukihiga kaetud tsinkplekitükikest kuumutatakse, kuni pulber sulab ühtlaseks klaasjaks massiks. Õhus muutub see fosfoor kiiresti kõlbmatuks.

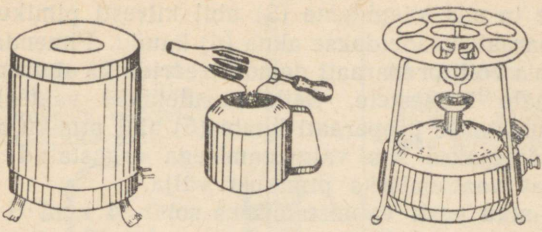
Et valmistada helendavaid lavakatteid, lisatakse kontsentreeritud boorhappelahusele vähesel määral uraniini. Niisuguse lahusega immutatud katted helenduvad tugevasti ultraviolettkiirguse mõjul.

Viinhappefosfoor saadakse, kui pulbristatud viinhappele lisatakse õige vähe fluorestseiini või mõnda teist fluorestseerivat ainet. Segu soojendatakse sulamiseni. Kirjanduses soovitatakse sulatada segu keeva glütseriini sisse asetatud katseklaasis, sest leegil sulatades võib segu kõrbema minna. Sula segu sisaldavat katseklaasi veeretatakse sõrmede vahel, nii et sulatis katab ühtlase kihina katseklaasi seinu. See fosfoor helendab küllalt tugeva roheka värvusega, kuid helendus kaob kiiresti (10 sek. jooksul). Madalamal temperatuuril helenduse tugevus tunduvalt suureneb.

Manustanud mingile kogusele pulbrilisele kaltsiumfosfaadile sama suure koguse linaõli ja hoidnud segu mõni aeg päikesekiirtes, saame tindi, millega kirjutatud tekst pimedas helendab.

9. Lihtsaid katseabinõusid

Näpunäiteid kemikaalide ettevalmistamiseks ja elektriahjude ning tiiglite tegemiseks leidub D. Vardja ja H. Andra raamatus «Noor elektrokeemik». Tiiglid peavad olema glasuurimata. Parimad on kvartstiiglid. Enamikul juhtudel kasutatakse suletavaid tiigleid, mille kaas valmistatakse savist (soovitav on šamottsavist). Selleks võetakse neli osa savi ja üks osa puhast mereliiva. Viimast puhastatakse korduvalt, kuni pesuvesi jääb läbipaistvaks, s. o. kõrvalaineid savis enam ei leidu. Hästi segatud savist valmistatakse tiigli ava järgi kaas. Paarikordseks katsetamiseks kõlbavad ka heast vormikipsist valmistatud kaaned. Kaas kinnitatakse tiiglile peenikese traadiga. Tiigliks sobib ka kvarts-, portselan- või savitoruke läbimõõduga üle 10 mm. Niisugune tiigel suletakse otstest savi- või kipskorkidega.



a b c

47. Luminofooride valmistamisel kasutatavaid koldeid: a — tiigelahi, b — jootelamp, c — priimus.

Katsevahendina kasutatava süsivannikese võib valmistada jämedamast süsielektroodist.

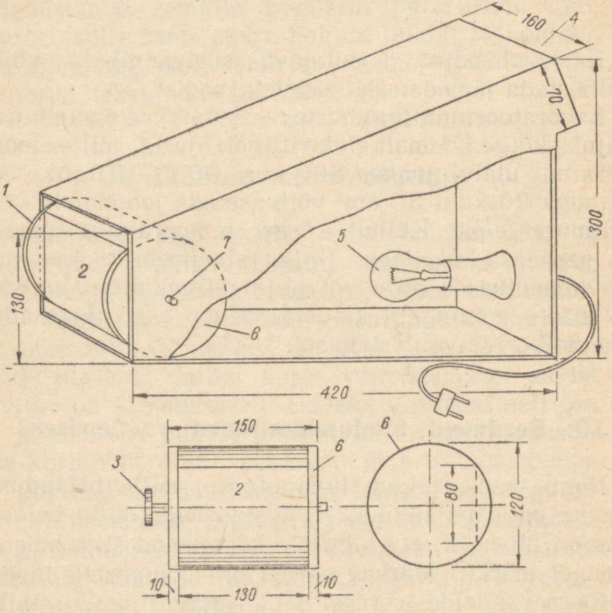
Laboratooriumitingimustes kasutatakse kuumutusahjuks kõige laiemalt elektritiigelahjusid, milles temperatuur ulatub umbes 800 kuni 900°C. Tiiglikesed mahuga 20 kuni 30 cm^3 võib asetada jootelambi või priimuse leeki. Küllalt kõrget temperatuuri annab ka sepaääsi koksileek. Kõige algelisemaks kuumutusvahendiks on ahju või pliidi küttekolle. Joonisel 47 näete mõningaid koldeid, mida saab kasutada luminofooride valmistamisel.

10. Seadmeid fotoluminestsentsi vaatlemiseks

Nagu teada, leidub luminofoore, mille helenduskestus on väga lühike, ja niisuguseid, mille helendus on nii nõrk, et valgusele kohanenud silm helendust ei märka. Märksa parem on niisuguseid luminofoore vaadelda joonisel 48 kujutatud pimiku abil. Pöörleva silindri (1) ekraanile (2) kinnitatakse preparaat, mida valgustatakse väljastpoolt ja pööra-

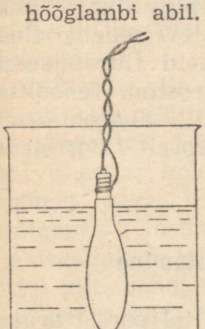
takse ta siis käepideme (3) abil kiiresti pimikusse. Preparaati vaadeldakse akna (4) kaudu. Pimendatud ruumis võib preparaati demonstreerida ka suuremale rühmale inimestele. Selleks suletakse vaateaken, valgustatakse preparaati lambi (5) abil pimiku seest ja pööratakse siis valgustamisega ergastatud preparaat vaatlemiseks pimikust välja.

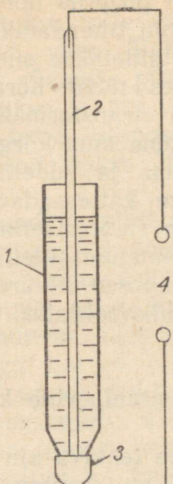
Pimiku kasti valmistamiseks sobib 4 kuni 6 mm paksune vineer. Kast peab olema valgustihe ja seestpoolt matina mustaks värvitud. Esiseina ava ette kinnitatud pöörleva silindri läbimõõt on 120 mm ja



48. Pimik luminofooride vaatlemiseks (ülal) ja selle silinder (all).

49. Abinõu fluorestseerivate vedelike vaatlemiseks elektrihõõglambi abil.





50. Abinõu fluorestseerivate vedelike vaatlemiseks hõrendustoru abil.

pikkus 150 mm. Silindri tasapinnaliseks töödeldud külg (2) on ekraaniks mõõtmetega 80×130 mm. Silindri otspinnad (6) valmistatakse 10 mm paksusest puidust, külgpinna katteks sobib 1 kuni 2 mm paksune papp. Enne silindri paigaldamist kaetakse kasti esiava servad musta plüüšiga. Seejärel leitakse silindrit kasti sobitades paras koht võllile (7), puuritakse kasti külgseintesse avad võlli läbiviimiseks ja paigutatakse silinder kohale.

Suurt huvi pakub ka mitmesuguste fluorestseerivate vedelike vaatlemine. Lihtsa vaatlusvahendi saame klaaspurgist, millesse riputame pikliku elektrilambi (joon. 49). Palju efektsema seadme saame aga, kasutades hõrendustoru (valmistamist vt. ptk. 12) ja võimalikult kõrget pudelit (joon. 50). Pudeli

(1) kaelast on läbi pistetud hõrendustoru (2). Kaela ja toru ühinemiskoht tihendatakse kummivooliku (3) abil. Enne katset täidetakse pudel vaadeldava vedelikuga. Ühendades nüüd hõrendustoru klemmide (4) kaudu Tesla transformaatori, sädeinduktori, elektrofoori või mõne muu kõrgepingeallikaga, hakkab toru helendama ja pudelis olev vedelik fluorestseerima. Kõige kättesaadavamaid fluorestseerivaid vedelikke on fluorestseiini, eosiini, fenoolftaleiini, salooli, naatriumsalitsülaadi, hüdrohinooni, novokatiini jm. lahused. Suurepäraselt fluorestseerib ka klorofülli alkoholilahus.

11. Luminofooride kasutamine

Fosfooride võime teatava aja vältel pärast ergastamist helendada on tinginud nende kasutamise kõige mitmekesisematel otstarvetel nii minevikus kui ka olevikus. Nendega kaunistatakse mänguasju ja nääriehteid. Fosfoore on kasutatud ka taevakaartide valmistamiseks. Nende põhjal on ehitatud mitmesuguseid riistu valguse mõõtmiseks. Aastal 1928 võeti patent fosfooride abil helendavale kirjutusplaadile. Sajandi algul valmistati helenduvaid kärbsepabereid, kalapüügiriistu ja helenduvate osutitega kelli. Mõne aastakümne eest püüti luminofoore ka raviotstarbel kasutada. Sõjatehnikas on luminofoorid leidnud väga laialdase rakenduse: nendega märgistatakse riistu, lüliteid ja pimedas liikuvaid väeüksusi. Esimesed märkmed luminofooride kasutamisest fotograafias pärinevad juba 1824. aastast.

Helenduvaid koopiaid fotonegatiividest tehakse järgmiselt. Läbipaistev tselluloid- või klaasplaat kaetakse lahusega, mis saadakse 9 g želatiini, 1 g kaaliumbikromaadi ja 5 g helendava värvi lahus-

tamisel sajas kuupsentimeetris vees. Kui plaat on kuivanud, koopeeritakse talle läbi lahusekihi pilt ja seejärel pestakse vees. Valgustatud kohtades jääb helendav värv plaadile püsima, valgustamata kohtadelt aga uhutakse ta ära. Pärast plaadi kuivamist kleebitakse tema kihipoolsele küljele must paber. Ülesvõtet vaadeldakse läbi tselluloid- või klaasplaadi.

Lihtsaim viis helenduva pildi saamiseks on järgmine. Diapositiivi tagakülg kaetakse luminestseeriva värviga. Pärast valgustamist näeme diapositiivil pimedas helenduvat pilti. Et negatiivist saada mõnda aega helenduvat ülesvõtet, valgustatakse kõigepealt fosfooriga kaetud plaati, seejärel projekteeritakse talle punase valguse abil läbi negatiivi pilt. Saadakse eeskujulik ülesvõte, mille helenduskestus on võrdne fosoori helenduskestusega.

Fosfoore on kasutatud ka fotoplaatide katmiseks ja valgusallikana pildistamisel. Asetage fotoaparaati fosfooriga kaetud plaat, avage katik ja valgustage plaati mõni aeg. Plaadile tekib pilt, mida te pildiotsijas nägite. Pilt on positiivne ja helendub pimedas.

Peamine luminofooride rakendusala on siiski valgustustehnikas. Juba ammu valmistati helendavaid silte ja plakateid. Peagi hakati fosfooridega katma ka kellade numbreid, osuteid, kompassinõelu ja tähiseid kompassidel. Harilikult kasutati selleks leelismuldmetallfosfoore — kaltsiumsulfiidvismut- ja strontsiumsulfiidvismutfosfoore. Fosfoorid segatakse läbipaistva niiskuskindla lakiga ja kantakse peale pintsli abil.

Eespoolmainitud fosfoorid helendavad ainult teatava aja kestel pärast valgustamist. Nii on ka enamiku lauakellade numbritega. Kuid on olemas niisuguseid fosfoore, mis ei vaja üldse valgustamist,

vaid helendavad lakkamatult aastaid. Niisuguste fosfooride põhiaineks on tsinksulfiid, millele on vajalikus koguses manustatud mingit radioaktiivset ainet. Viimane laguneb pidevalt, vabastades energiat. Osa energiast neelab luminofoor ja kiirgab selle uuesti valgusena. Pikapeale aga radioaktiivne aine lagundab luminofoori ja helendus lakkab.

Luminofoore on kasutatud ka kunstitoodete, nagu maalide, plastika, ehete jms. valmistamisel. Ka lavapiltide kujundamisel pakuvad luminofoorid tõhusat abi. Näiteks on nende abil võimalik muuta suvemaastik silmapilkselt talvemaastikuks: lilledega kaetud aas kaob ja hetk hiljem seisab näitleja hangede keskel. Niisuguse lavapildi kujundamiseks maalitakse suvemaastik tavaliselt värvidega, samale dekoratsioonile kantakse peale aga ka talvepilt luminofooridega, mis helendavad ultraviolettvalguses. Hetkel, kui tavaline valgus kustub, süttib ultraviolettvalguse allikas ja publiku silmadele avanebki nagu nõiakepi väel sootuks teine maailm. «Estonia» teatris kasutati luminofoore esmakordselt 1950. aastal Krassevi lasteooperis «Külmataat». Hiljem on samas teatris kasutatud luminofoore F. Lehári operetis «Lõbus lesk» ja teistes lavastustes. Ultraviolettkiirtega valgustamisel on puuduseks asjaolu, et laval viibivate tegelaste näojume muutub ebameeldivalt tuhmiks.

Tänapäeval kaetakse luminofooridega ka riideid ja seinakatteid. Tõenäoliselt on viimastel ees suur tulevik, sest luminofooridega kaetud seinad kiirgavad ruumi sooja hämarat valgust ja võimaldavad ruumis liikuda ilma teisi valgusallikaid kasutamata.

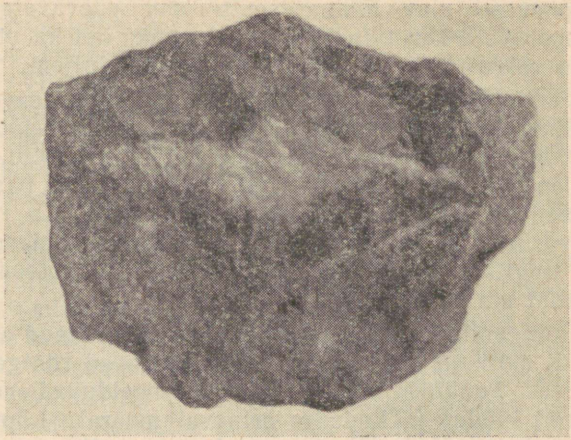
Kui minevikus pöörati peamist tähelepanu kestvalt helendavatele fosfooridele, siis käesoleval ajal on hakatud üha rohkem kasutama hetkelise helendusega luminofoore. Kõige laialdasemalt tuntakse

igapäevases elus luminestsents- ehk päevavalguslampe. Neid kasutatakse nii reklaamiks kui ka otseseks valgustamiseks. Kuid sellest veidi hiljem.

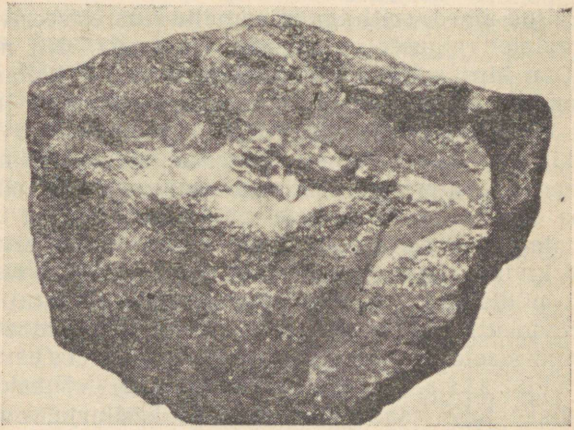
Vist küll vähesed televiisori ees istujatest teavad, et ilma luminofoorideta poleks olemas televisiooni, sest televiisori ekraan helendab ainult selletõttu, et ta on kaetud luminofooriga. Luminofoori paneb helendama ekraanile langev elektronkiir. Ka raadiovastuvõtja «maagilise silma» roheline helendus on tingitud elektronide langemisest luminofooriga kaetud ekraanikesele.

Röntgenikabinetis on kindlasti igaüks näinud aparaadi ekraanil kopsu pilti. Selle tekitavad röntgenikiired. Tungides läbi organismi, neelduvad need kiired luudes ja kudedes erineval määral. Lõpuks langevad nad luminestseerivale ekraanile ja viimane helendub vastavalt keha erinevatest kudedest läbitunginud röntgenikiirte tugevusele.

Paljud ained, eriti aga mineraalid fluorestseerivad ultraviolettvalguses erisuguse värvusega. Nii näiteks on kipsi värvus kiiritamisel roosa või kollane, dolomiidil oranž, kaltsiidil ja marmoril violetne jne. Kui mingile maagile või kivimile suunata ultraviolettkiirgus, siis hõlbustab kiirguse mõjul tekkinud helendus materjalis leiduvate ainete määramist. Juba tavalisel must-valgetel päikesevalguses ja ultraviolettkiirguses tehtud ülesvõtetel ilmneb erinevusi kivimi kirjas. Fotol 51 on toodud üks ja sama kivi pildistatuna tavalisel päevavalgel (51, a) ja ultraviolettkiirguses (51, b). Sel nähtusel põhinevat uurimismeetodit nimetatakse luminestsentsanalüüsiks. Luminestsentsanalüüs võimaldab kindlaks teha vanu seinamaale ja käsikirju, avastada võltsinguid jne. Luminestsentsi abil saab kindlaks teha mõrasid metallis ja sel teel vältida ava-



a



b

51. Kivim pildistatuna tavalisel päevavalgel (a) ja ultraviolettkiirguses (b).

riisid. Metallurgid nimetavad seda menetlust l u m i n e s t s e n t s d e f e k t o s k o o p i a k s.

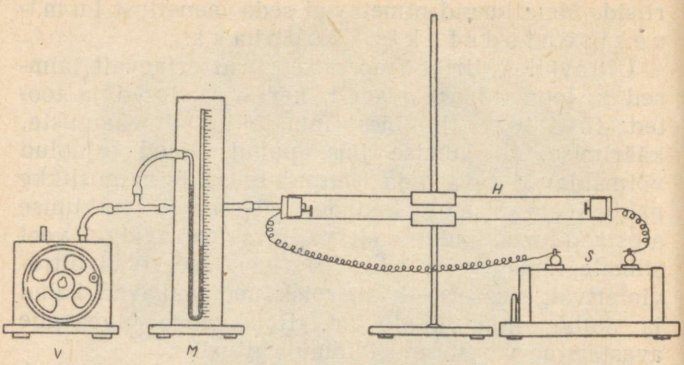
Ultraviolettkiirtes fluorestseerivad erinevalt taimsed ja loomsed organismid, nende saadused ja tooted. Eriti tugev luminestsents tekib taimehaiguste, käärimise, roiskumise jms. puhul. Need asjaolud võimaldavad avastada mitmesuguseid haiguslikke nähtusi organismide kudedes juba nende tekkimise algstaadiumis, kui elundi välimus päevavalgel veel silmale midagi ei reeda. Nii fluorestseerivad ultraviolettvalguses eriti hästi roiskuma hakkavad kalad ja kala- ning lihatooted. Roiskumise õigeaegne avastamine väldib aga toidumürgitusi.

Ultraviolettkiirte abil saab eristada mürgiseid seeni söögiseentest ja erinevaid kartulisorte üksteisest. Ultraviolettkiirtes fluorestreerivad erinevalt margariin ja või. See annab võimaluse kindlaks teha, kas võile on segatud hulka margariini. Ultraviolettvalguse toimel ilmnevat fluorestsentsi kasutatakse ka väga paljude teiste ülesannete lahendamisel.

12. Elektrivool gaasides

Valgustehnikas on eriline tähtsus hõrendatud gaasides elektrivoolu toimel tekkival helendusel, mis põhjustab luminestsentsi. Helenduse, s. o. nähtava valguse tekkimist hõrendatud õhuga klaaskuulis pani tähele juba vene teadlane M. V. Lomonossov. Laialdaselt tuntakse Geissleri ja Crookesi[1] torusid, mida veel praegugi kasutatakse koolis füüsika tundides. Kui neid torusid toita kõrgepingeallikast (sädeinduktor, Tesla transformaator, elektrofoormasin jms.), siis nad helendavad, valgustades lähemat ümbrust.

[1] Crookes (l. *kruks*).



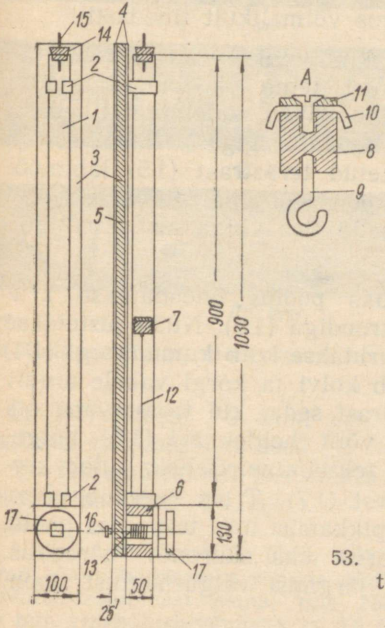
52. Vaakuumpumpa sisaldav seade hõrendatud gaasides elektrivoolu toimel tekkiva helenduse jälgimiseks: V — vaakuumpump, M — manomeeter, H — hõrendustoru, I — sädeinduktor.

Tutvume veidi lähemalt nähtuse füüsikalise olemusega. Õhk on gaaside segu. Ta on väga halb elektrijuht ja seepärast nimetatakse teda isoleermaterjaliks. Kui aga pinge on küllalt kõrge, siis elektrilaeng läbib õhku. Elektrilaengute liikumist läbi õhu sädeme kujul võime näha elektrofoori konduktorite, sädeinduktori klemmide või mingi muu kõrgepingeallika klemmide vahel. Looduses esineb niisugune nähtus välguna.

Kui on olemas vaakuumpump, võib joonise 52 järgi koostada seadme elektrivoolu jälgimiseks hõrendatud gaasides. Sellesse seadmesse on ühendatud ka manomeeter, millega saab määrata helenduse sõltuvust hõrendusest.

Kui aga vaakuumpump puudub, tuleb leppida lihtsa, kuid siiski otstarvet täitva omavalmistatud kolbpumbaga hõrenduse tekitamiseks. Niisuguse seadme ehitus on toodud joonisel 53. Tema olulisemaks osaks on 0,8 kuni 1,5 m pikkune ja 15

kuni 40 mm läbimõõduga klaastoru (1), nn. hõrendustoru. Niisuguse toru võib saada 30- kuni 40-vatise päevavalguslambi torust. Metallklambrite (2) abil kinnitatakse toru puitalusele (3). Viimane on valmistatud kahest viie kuni kaheksa mm paksusest vineeriribast (4), mille vahele on kinnitatud 10 kuni 15 mm paksused puitliistud (5). Hõrendustoru üks ots toetub tugevate puidukruvidega alusele kinnitatud 30 kuni 40 mm paksuse puitklotsi (6) vastu. Selle otsa kaudu on lükatud torusse 30 kuni 40 mm pikkune kolb (7). Kolvi võib valmistada kummikorgist, kuid kummikolvi halvaks küljeks on see, et kattemäärde toimel ta paisub ja lõpuks tursub

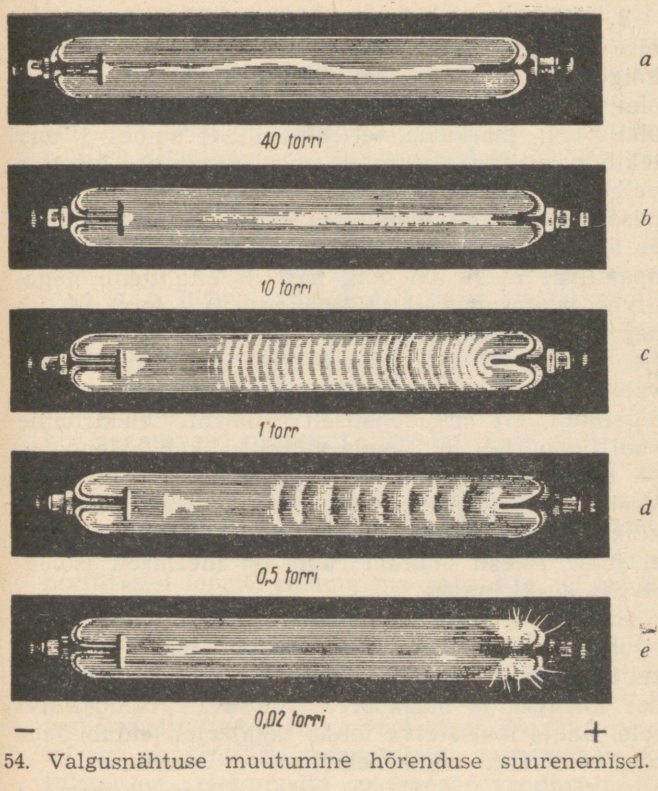


53. Kolbseade hõrenduse tekitamiseks torus.

torusse kinni. Seepärast on otstarbekohane valmistada nahktihendiga metallkolb, nagu on näidatud joonisel 53, A. Niisuguse kolvi metallsüdamiku (8) võiks valmistada 18 mm läbimõõduga ümarmetallist pikkusega umbes 20 mm. Kummassegi südamiku otsa puuritakse viie kuni kaheksa mm sügavune auk läbimõõduga 3 mm. Augud keermestatakse 4 mm keermepuuriga. Ühte auku keeratakse aas (9), teise aga nahktihend (10) ja seda hoidva seibi (11) kinnituskruvi. Nahktihend tuleb valmistada kahe kuni kolme mm paksusest pargitud nahast. Tihendi vormimiseks puuritakse tugevasse puitklotsi pesa läbimõõduga 24 mm ja vajutatakse sellesse kolvi südamiku abil eelnevalt vees leotatud nahatükk. Kolb peab istuma torus võimalikult tihedasti.

Kolvi aasa taha kinnitatakse mitmetraadiline metalltross (12). Trossi teine ots on kinnitatud pööra võlli (13) külge. Toru suletakse tihedasti 30—40 mm pikkuse kummikorgiga (14), millest on elektroodiks läbi pistetud terastraat (15) läbimõõduga umbes 2 mm. Pööra võlli paigalhoidev kruvi (16) on nii pikk, et selle otsa külge saab kinnitada trossi otsa.

Kõrgepingeallika üks poolus ühendatakse kruviga (16), teine elektroodiga (15). Nüüd pistetakse tross torust läbi ja surutakse kolb kummikorgi (14) abil torusse. Nii jääb kolvi ja korgi vahele ainult õige vähe õhku. Pärast seda, kui trossi vaba ots on kinnitatud pööra võlli hoidekruvi (16) külge, võib alata hõrenduse tekitamine. Selleks tuleb keerata pööra käepidemest (17). Tross keerdub pööra võllile ja veab kolbi pikkamisi toru teise otsa poole. Tulemusena tekib torus üha suurenev hõrendus. Seejuures täheldame järgmisi valgusnähtusi (joon. 54).



54. Valgusnähtuse muutumine hõrenduse suurenemisel.

1. Hõrendusel 70 kuni 60 torri [1] läbivad toru üksikud valgusesähvatused.

2. Hõrendusel 40 torri tekib torus pidev lillakas valgusriba (joon. 54, a).

[1] Torr on õhurõhu ühik, mis arvuliselt on võrdne 1 mm elavhõbedasamba rõhuga. Näiteks on rõhk 760 mm elavhõbedasammast sama, mis rõhk 760 torri; rõhk 0,5 mm elavhõbedasammast = 0,5 torri jne.

3. Hõrendusel 10 torri täitub kogu toru helesinise valgusega (joon. 54, b). Valgussammas on kõige eredam hõrendusel 4—2 torri. Nüüd on torus olev õhk hakanud elektrit juhtima. Kui toru läbib alalisvool, märkame, et hõrendusel umbes 1 torr tekib positiivse elektroodi ehk anoodi ees kihiline valgussammas (joon. 54, c). Veel suuremal hõrendusel, mida aga meie oma seadmega tõenäoliselt ei saavuta, väheneb positiivne valgussammas [1] ja negatiivse elektroodi ehk katoodi ette tekib negatiivne huumsammas [2]. Hõrendusel 0,1 torri ulatub negatiivne huumvalgus katoodist peaaegu anoodini (joon. 54, d). Hõrendusel 0,02 torri kaob huumvalgus ja katoodilt väljuvad nn. katoodkiired, mis tegelikult on sirgjooneliselt liikuvate elektronide vool (joon. 54, e). Nende mõjul hakkab helendama — fluorestseerima — toru klaassein anoodi taga. Veel suuremal hõrendusel kaovad katoodkiired ja kõik valgusnähtused torus ning toru enam elektrit ei juhi. Täiesti õhutühi ruum on ideaalselt isoleerivaks keskkonnaks.

Et õhk või üldse mingi gaas saaks muutuda elektrijuhiks, peab temas leiduma vabu elektrone. See eeltingimus on ka tavaliselt täidetud, sest kosmilise kiirguse ja maakoores sisalduvate radioaktiivsete ainete ioniseeriva toime tagajärjel leidub õhus tõepoolest alati vabu elektrone.

Elektroodidele rakendatud pinge mõjul hakkavad gaasis leiduvad vabad elektronid liikuma anoodi poole. Teel põrkavad nad kokku õhu koostisse kuuluvate gaasimolekulidega. Kui elektroodidevaheline pinge on madal, siis elektronide ja gaasimolekulide vahel toimuvad nn. elastsed põrked: pärast kokku-

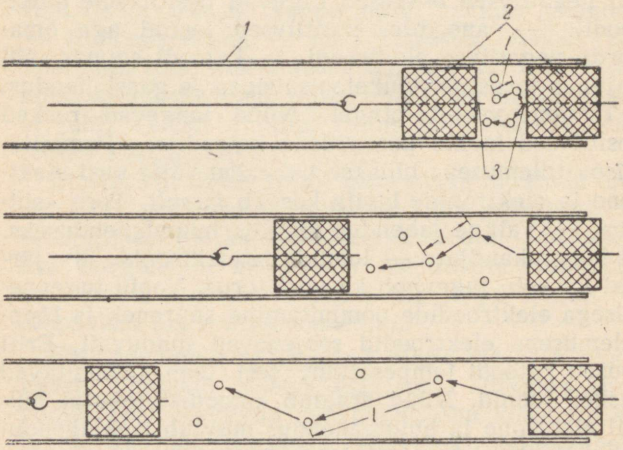
[1] Anoodi ette tekkiv valgussammas.
[2] Katoodi ette tekkiv valgussammas.

põrget jätkavad elektronid oma liikumist teises sihis, gaas aga peaaegu ei soojene. Kõrgema pinge puhul võib elektronide kiirus osutuda niivõrd suureks, et gaasimolekulidega põrgates suurendavad nad viimaste energiat. Gaasimolekulid annavad kokkupõrkel saadud energia ülejäägi ära elektromagnetilise kiirguse näol, mille tagajärjel tõuseb gaasi temperatuur. Sageli kaasneb sellele ka nähtava valguse kiirgumine, nn. vaikne lahendus. Veel kõrgemal pingel kasvab elektronide kiirus juba nii suureks, et nad on suutelised ioniseerima gaasimolekule, s. o. lööma molekulidest välja nende koostisse kuuluvaid elektrone. Tulemusena iga uue kokkupõrkega vabade elektronide arv gaasis pidevalt suureneb. Gaasimolekulid aga, mis on kaotanud elektronid, muutuvad positiivseteks ioonideks. Elektronid kui negatiivsed osakesed liiguvad positiivsele elektroodile — anoodile, positiivsed ioonid aga omakorda negatiivse elektroodi — katoodi suunas. Nii kujuneb torus nn. tõukeionisatsioon ja gaaslahendus.

Tõstame veelgi pinget. Nüüd langevad rasked positiivsed ioonid pommidena katoodile. «Pommitamise» tulemusena lüüakse katoodist välja uusi elektrone ja elektronide laviin kasvab järsult. Toru «süttib» — vaikne lahendus muutus huumlahenduseks. Et laengukandjate — ioonide ja elektronide arv järjest kasvab, tugevneb ka vool torus. Voolu tugevnemisega elektroodide pommitamine suureneb ja lõpptulemusena elektroodid soojenevad tunduvalt. Eriti tõuseb katoodi temperatuur, sest teda pommitavad rasked ioonid. Nüüd eraldub katoodist tohutul hulgal elektrone ja huumlahendus muutub leeklahenduseks. Et gaaslahendus oleks püsiv, tuleb toruga järjestikku ühendada kas takisti või paispool.

Eelnevast selgub, et elektrivool torus ja sellega kaasnevad valgusnähud sõltuvad torus sisalduva õhu

hõrenduse astmest. Mis siis õhuhõrenduse tagajärjel torus õieti toimub? Heitkem pilk joonisele 55. Algul on torus elektroodide vahel teatav hulk gaasimolekule, mis on sama tihedalt üksteise kõrval nagu vabas õhuski. Torus olev rõhk on võrdne atmosfäärirõhuga. Siis on õhus sisalduvate gaasimolekulide arv niivõrd suur, et nende vahel toimub ühes kuupsentimeetris iga sekundi jooksul 100 miljonit kokkupõrget. Eeldagem nüüd, et selles ruumis leidub ka üks vaba elektron, mida anood tõmbab enda poole. Nagu jooksja ei saa kiiresti läbida tihedat rahvamurdu, nii pole ka elektronil võimalik liikuda niisuguse hulga molekulide seas kuigi suure kiirusega. Ja kui pinge on madal, ei jõuagi elektron sihile ning

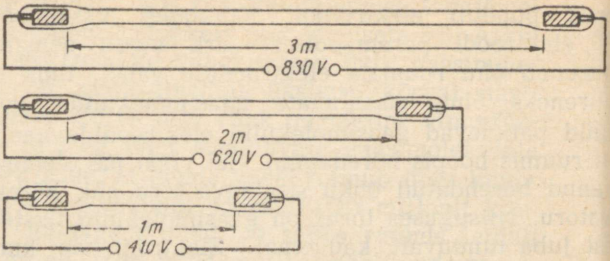


55. Elektronide vaba tee pikkuse 1 muutumine õhu ruumala muutudes hõrendamisel: 1 — klaastoru. 2 — korgid, 3 — elektroodid.

torus puudub elektrivool. Nihutades vasakpoolset elektroodi parempoolsest järk-järgult eemale, suureneb õhu ruumala elektroodide vahel, ilma et suureneks õhus sisalduvate gaasimolekulide arv. Nüüd paiknevad gaasimolekulid elektroodidevahelises ruumis hoopis hõredamini. Sel viisil me olemegi saanud hõrendatud õhku sisaldava toru ehk hõrendustoru. Niisuguses torus on gaasimolekulid üksteisest juba tunduvalt kaugemal. Elektroni tee kuni põrkeni mõne gaasimolekuliga ehk nn. elektronide vaba tee pikkus suureneb. Elektronil on võimalik arendada kiirust nagu lagedal teel jooksjalgi ja tulemusena suureneb elektroni kineetiline energia. Kui niisugune elektron põrkab kokku gaasimolekuliga, võib põrge olla nii tugev, et gaasimolekuli energiasisaldus märgatavalt muutub. Teatava hulga sellest energia ülejäägist annab ta ära nähtava valguse näol, s. o. elektromagnetilise kiirgusena. Elektron jõuab aga lõpuks sihile ja langeb anoodile. Toru läbib elektrivool, mida näitaks ka vooluringi ühendatud mõõteriist.

Seega kasvab õhu hõrendamise tulemusena elektroni liikumiskiirus ja energia, ilma et oleks vajalik tõsta vooluallika pinget. Hõrenduse otseseks tulemuseks on asjaolu, et toru muutub juhtivaks tunduvalt madalamal pingel. Et aga suurema liikumiskiiruse tõttu on suurem ka elektroni energia, siis kokkupõrkel gaasimolekuliga kasvab tunduvalt ka viimase energiasisaldus. Hetk hiljem annab gaasimolekul üleliigse energia elektromagnetilise kiirguse näol ära. Seega tekib hõrenduse teise tulemusena elektromagnetiline kiirgus, mis tihti ilmneb nähtava valgusena.

Kuid hõrendamisel ehk õhurõhu vähendamisel on oma piirid, sest rõhu vähenemisega kahaneb ka gaasimolekulide arv torus. Lõpuks võib nende arv



56. Helenduspinge sõltuvus gaaslahendustoru pikkusest.

muutuda nii väikeseks, et elektronidel polegi enam millegi vastu põrgata ja kiirgus lakkab. Tähendab, suurima helenduse saamiseks võib õhurõhku vähendada ainult teatud optimaalse piirini, s. o. 4 kuni 2 torrini.

Toru elektroodidele rakendatav helenduspinge[1] sõltub toru pikkusest ja läbimõõdust: mida pikem on toru, seda kõrgemal pingel algab helendus, mida suurem on aga toru läbimõõt, seda madalam on helenduspinge.

Näiteks torud, mille läbimõõt on 22 mm, vajavad helendumiseks pinget (joon. 57)

pikkusel	1 m	210 + 200 V
,,	2 ,,	210 + 210 + 200 ,.
,,	3 ,,	210 + 210 + 210 + 200 ,,

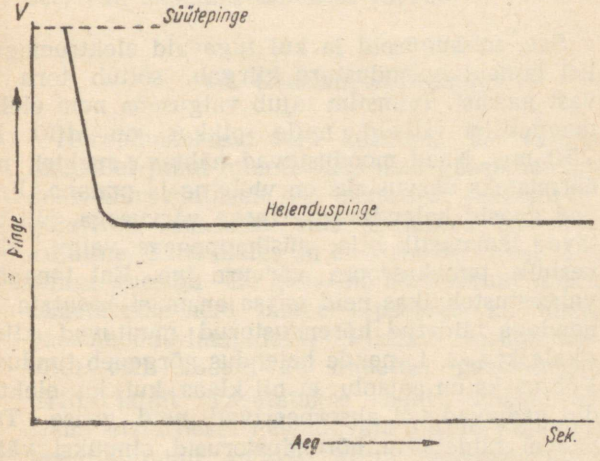
Lugeja tõenäoliselt märkab, et antud läbimõõdu korral kasvab toru pinge tema pikkuse iga meetri kohta 210 voldi võrra. Ülejäänud 200 volti on helenduspinge, millest madalama väärtuse korral ei helenduks toru ka siis, kui elektroodid paigutada

[1] Helenduspinge — pinge, mille korral algab torus helendus.

teineteisega hoopis lähestikku. Niisugust pinget nimetatakse p i n g e k a o k s elektroodidel.

Helenduspinge sõltub ka toru täitvast gaasist ehk nn. täidisgaasist. Pinge sõltuvust täidisgaasist ja toru läbimõõdust selgitab tabel 6.

Seni on meil esinenud üldine mõiste «pinge» ja täpsustatum mõiste «helenduspinge». Helenduspinge on niisugune pinge, mida on vaja toru kestvaks ja ühtlaseks helendamiseks. Kuid ainuüksi selle pinge mõjul hõrendustoru veel helendama ei hakka. Et toru hakkaks helendama ehk süttiks, on vaja talle hetkeks rakendada kõrgem pinge, mida nimetatakse s ü ü t e p i n g e k s (vt. joon. 57). Pärast süttimist langeb pinge konstantse väärtuseni, mille korral hõrendustoru jääb kestvalt helendama. See ongi helenduspinge. Langeb aga näiteks võrgupinge järsku allapoole teatud kindlat väärtust, mida nime-



57. Hõrendustorule rakendatava alalispinge kulg.

tatakse kustumispingeks, siis hõrendustoru helendus lakkab.

Tabel 6

Helenduspinge sõltuvus täidisgaasist ja hõrendustoru läbimõõdust

Täidisgaas	Helenduse värvus	Helenduspinge hõrendustoru iga meetri kohta (voltides), kui toru läbimõõt on				Pingekadu elektroodidel voltides
		10 mm	13 mm	17 mm	22 mm	
Neoon	Punane	430	400	360	300	150
Neoon ÷ argoon ÷ elavhõbedaur	Sinine	330	290	260	210	200

13. Täidisgaasi valik

See, missuguseid ja kui tugevaid elektromagnetilisi laineid helendustoru kiirgab, sõltub toru täitvast gaasist. Inimsilm tajub valgusena neid elektromagnetilisi laineid, mille pikkus on 400 kuni 750 mμ. Need moodustavad nähtava spektri, mille äärmisteks värvusteks on violetne ja punane. Erinevad gaasid helendavad erineva värvusega. Nii tekitavad lämmastik lilla, süsihappegaas valge, kloorvesinik punakasroosa värvuse jne. Ent tänapäeva valgustustehnikas neid gaase enam ei kasutata, sest nendega täidetud hõrendustorud muutuvad kiiresti «kalgiks», s. t. nende helendus nõrgeneb tunduvalt. Põhjuseks on asjaolu, et nii klaas kui ka elektroodid neelavad või absorbeerivad neid gaase. Tänapäeval täidetakse hõrendustorusid ainuüksi väärisgaasidega.

Seejuures neooni sisaldavad torud helendavad punaselt, heeliumi sisaldavad torud kollaselt, argooni ning neooni segu sisaldavad torud ja argooni, neooni ning elavhõbedaauru segu sisaldavad torud siniselt.

Valmistades klaastoru eri liiki klaasist, kasutades värvilisi klaastorusid või luminofoore, võib saada ka mõningaid teisi värvusi. Nii näiteks annab neooniga täidetud punasest filterklaasist hõrendustoru tumepunase värvusega valgust, kuna aga neooni, argooni ja elavhõbedaauruga täidetud kollasest filterklaasist hõrendustoru annab rohelise värvusega valgust jne.

Kuni 1937. aastani ei suudetud gaaside ja nende segude ning eri liiki värviliste klaaside valikuga saavutada kõiki värvitoone. Alates aga 1937. aastast hakati hõrendustorusid katma seestpoolt luminofooridega, mida valmistatakse nii, et nad fluorestseerivad mistahes soovitud värvuses.

14. Gaaslahenduslambid

Hõrendustorusid võib kasutada ka valgusallikatena. Sel juhul nimetatakse neid gaaslahenduslampideks. Oma ehituselt nad üksteisest peaaegu ei erine: kõigil on klaaskest, mis enamikus on sirge toru kujuline. Toru otstes on elektroodid. Kest täidetakse mingi gaasiga. Et gaas on hõrendatud olekus, siis nimetatakse neid lampe täpsemalt ka madalrõhugaaslahenduslampideks. Pikliku torutaolise kuju tõttu võib kohata ka nimetust gaaslahendustoru. Eriti laialt kasutatakse neid tänapäeval reklaami otstarbeks, helendavate siltide kujundamiseks jne. Sel juhul antakse kesta moodustavale torule tähe kuju või vormitakse neist embleeme, tähiseid ja

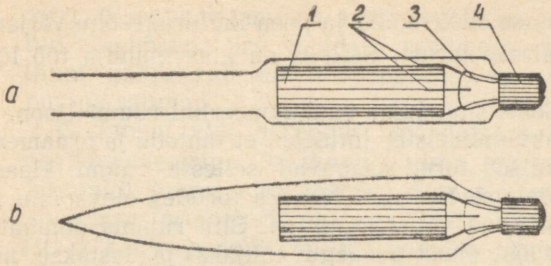
keerulisi pilte. Kuna gaaslahenduslambid ja gaaslahendus-reklaamtorud nõuavad võrdlemisi kõrget toitepinget, nimetatakse neid ka kõrgepinge-gaaslahenduslampideks ja -gaaslahendustorudeks. Sageli nimetatakse neid täitegaasi järgi, nagu neoonlamp, argoonlamp jne.

15. Tutvumiskäik gaashelenduslampide töökotta

Tallinnas Pikk tänav nr. 29 asub kombinaadi «Torgmontaaž» neoonvalguse töökoda, kus valmistatakse gaaslahenduslampe valgusreklaamiks. Sama käitise töötajad ühtlasi ka paigaldavad neid lampe vastavalt tellija soovidele. Siirdudes töökotta, huvitavad meid esmajoones kolm küsimust:

1) lampide ehitus,
2) nende valmistamine ning
3) lampide abiseadised ja monteerimine.

Kõigepealt siirdume torude kujundamise osakonda. Ruumi ühe seina ääres seisab pikk laud mitmesuguste klaastorudega. Torusid võib näha ka kastides, riiulitel ja teistel laudadel. Samal lauaal on põleti klaasi jootmiseks või sulatamiseks. Siin valmivad valgusreklaamtorud kogu vabariigi tarbeks. Reklaamtorude valmistamiseks kasutatakse värvilisi ja luminofooridega kaetud klaastorusid pikkusega 1 m ja läbimõõduga 12 kuni 20 mm. Niisuguseid torusid saadakse Moskvast, kus neid toodab eritehas. Sama tehas toodab ka elektroode (joon. 58). Viimased suletakse õhutühja klaaskesta, et eraldada neid välismõjude toimest ja pikendada nende säilitamise kestust. Elektroodid (1) valmistatakse torukujulistena armkomplektist. Lambi klaaslabale kinnitub elektrood kolme kandetraadi (2) abil, millest kahe külge on keevitatud klaasist läbiulatuvad platiniit-



58. Gaaslahenduslambi elektroodi ehitus (a) ja elektrood suletuna õhutühja kesta (b).

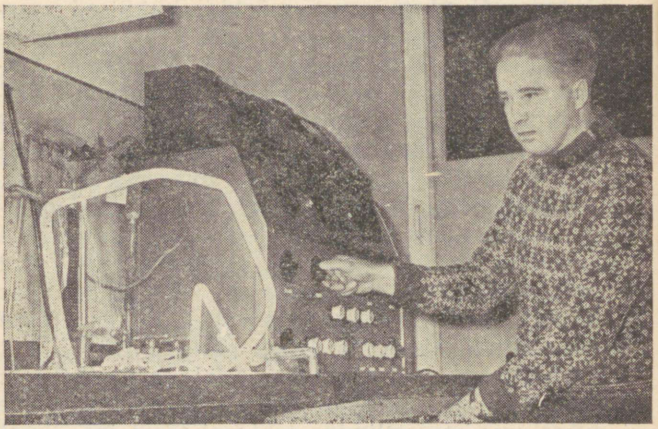
traadikesed (3), mis läbi klaasi paistavad punastena. Platiniit on sulam, mille paisumistegur on sama suur nagu klaasil ja seepärast kujuneb kandetraatide läbiviimine klaaslabast õhutihedaks. Platiniittraadikeste teise otsa on joodetud vasktraadid, mis omakorda ühendatakse lambi sokliga (4).

Tähtede või mingisuguste märkide kujulised gaaslahendustorud vormitakse kavandi ehk tööjoonise järgi, mille esitab töökojale tellija. Vaatleme, kuidas toimub kavandi järgi gaaslahendustorudest näiteks sildi «Foto» valmistamine. Kavandil antud tähekuju ei tohi muuta. Et aga tähed on kavandil kujutatud harilikult neli korda väiksemas mõõdus, siis teeb klaasipuhuja endale nende joonised loomulikus ehk täissuuruses. Neid jooniseid nimetatakse šabloonideks. Nüüd võtab ta kavandis ettenähtud värvusega klaastoru ja hoiab seda võimalikult laias gaasileegis. Pöörates toru käte vahel, soojendatakse selle painutatavat kohta igast küljest. Niipea kui toru muutub pehmeks, tehakse esialgne painutus ja kontrollitakse ta vastavust šabloonile. Järgneb uus painutus, uus kontrollimine šablooni järgi jne., kuni täht ongi valmis. Lõpuks joodetakse painutatud toru

otstesse elektroodid ja peen imitoruke õhu väljapumpamiseks torust. Sellega on klaasipuhuja töö lõppenud.

Edasi suundume vaakuumeerimisruumi (joon. 59). Vaakuumimeister jutustab, et tähtede ja ornamentide kujulised torud saabuvad sellesse ruumi klaasikujundamise ruumist. Nendes torudes oleva õhu rõhk on võrdne välisõhurõhuga. Siin ruumis pumbatakse nad aga õhust peaaegu tühjaks ja lastakse neisse pärast seda veidi argooni või neooni. Teiste gaasidega valgusreklaamtorusid ei täideta. Koos argooniga viiakse torudesse ka veidi elavhõbedat.

Selles ruumis on kõige olulisemaks seadmeks vaakuumpump. Viimasega saab tühjendada torusid kuni rõhuni 0,001 torri. Normaalne õhurõhk on aga keskmiselt 760 torri. Suuremat hõrendust on raske saavutada, sest see nõuaks palju täiuslikumaid pumpasid ja seepärast piirdutaksegi hõrendusega 0,001



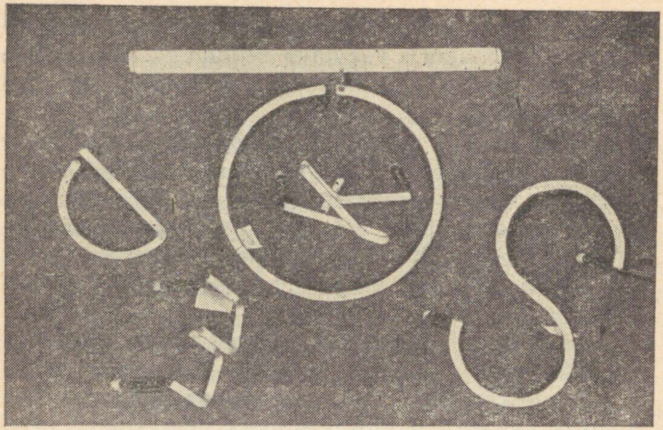
59. Gaaslahendustorude vaakuumeerimine.

torri. Vaakuumpump on kummivoolikutega ühendatud elavhõbedaauru veeldava seadmega, mis püüab kinni kahjulikud elavhõbedaaurud, enne kui nad pumpa satuvad.

Vaakuumi ehk hõrendust mõõdetakse elektrilise vaakuummeetriga. Vaakuumseadme tegevust jälgib juhtpuldi juures olev töötaja. Samas näeme kõrgepingetransformaatorit ehk nn. Tesla transformaatorit ja kahte pudelit, millest ühes on argoon, teises aga neoon. Jälgime kõigi nende seadmete osa tööprotsessis.

Tõmbekapis tilgutatakse torusse veidi elavhõbedat. Elavhõbe on tugeva toimega mürk, mis aurustub üsna kergesti. Kui elavhõbedaaurud satuvad ruumi, kus kestvalt viibib inimesi, haigestuvad need raskesti ravitavasse tõvesse, mis võib lõppeda isegi hullumeelsusega. Seepärast ongi tarvis säilitada elavhõbedat tõmbekapis.

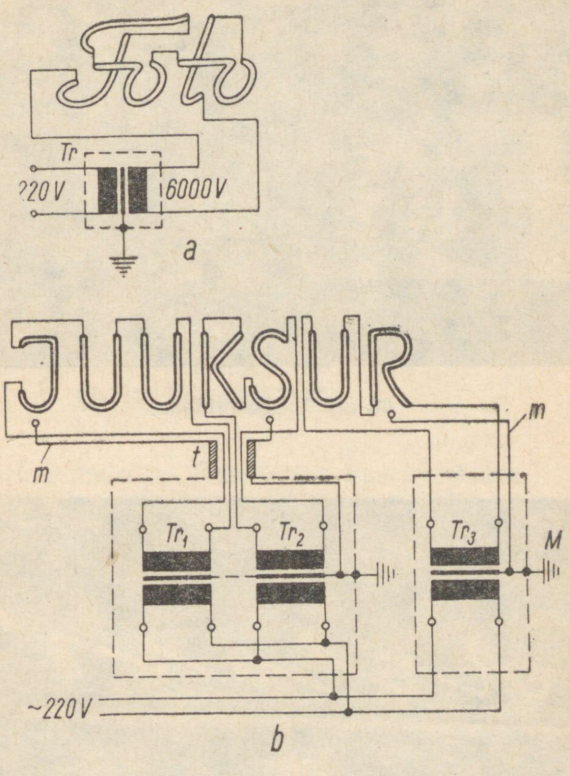
Nüüd joodetakse õhust tühjendatav toru leegi abil imitoru kaudu vaakuumseadmega, avatakse kraan ja käivitatakse pump. Jälgides vaakuummeetri osuti liikumist, selgub, et hõrendus 0,1 torri saavutatakse võrdlemisi kiiresti. Ühendanud tühjendatava toru elektroodid 10 000-voldise kõrgepingeallikaga, näeme, et elektroodid hakkavad hõõguma. Nii peab neid kahel korral vaakuumis lõõmutama. Selle tulemusena põlevad nad igasugustest lisanditest täiesti puhtaks ega riku hiljem vaakuumi. Edasi kontrollitakse Tesla transformaatoriga toru tihedust. Kui kusagil toru pinnal tekib säde, siis see näitab, et sealt toru «lekib». Niisugune toru ei pea õhku ja ta tuleb praagina kõrvale heita. Pikemas torus kulub vajaliku vaakuumi saavutamiseks aega umbes pool tundi. Kui on saavutatud hõrendus 0,001 torri, avatakse gaasipudeli kraan ja lastakse torusse voolata niipalju gaasi, et selle rõhk torus oleks 6 kuni 8 torri.



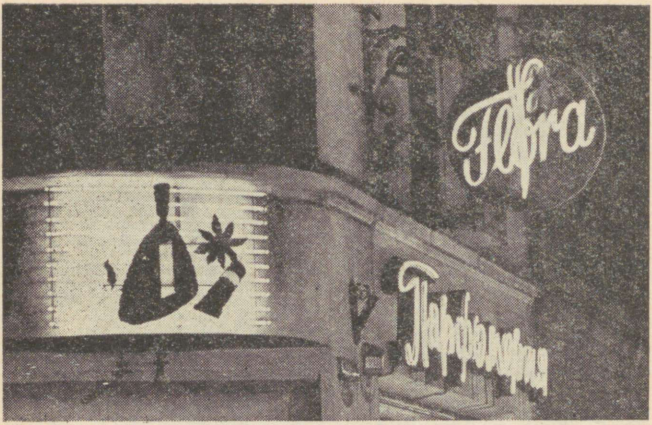
60. Gaaslahenduslambid.

Seejärel joodetakse imitoru kinni ja gaaslahenduslamp (joon. 60) ongi valmis.

Edasi läheme monteerimisruumi, kus töötavad elektrikud. Ruumi keskel seisab plekist raamistik, millelt võime lugeda sõna «Foto». Raamistik on värvitud punaseks, temale paigutatud tähtedekujulised gaaslahenduslambid annavad aga sinist ja kollast valgust. Meile jutustatakse, et gaaslahenduslambid süttivad ainult kõrge pinge rakendamisel. Seetõttu nimetatakse neid ka kõrgepinge-gaaslahenduslampideks. Vajaliku kõrge toitepinge saavutamiseks tuleb kasutada kõrgepingetransformaatoreid. Neid toodetakse Nõukogude Liidus pingele 13 000, 10 000, 6 000 või 3 000 volti. Gaaslahenduslambid ühendatakse omavahel järjestikku (joon. 61, a) ja nad nõuavad toru iga meetri kohta toitepinget 1000 volti. Seega 3000-voldisest transformaatorist piisab mitte üle 3 jooksva meetri valgus-



61. Valgusreklaamseadme skeem:
ülal: üheainsa toitetransformaatoriga Tr, all: kolme toitetransformaatoriga Tr_1, Tr_2 ja Tr_3; M — maandus, m — eelmisega ühendatud maandusjuhtmed, t — toitejuhtmeid ümbritsev metalltoru; kriipsjoonega on kujutatud maandatud varjestuskestad.



62. (a) Valgusreklaam.

62. (b) Valgusreklaam.

62. (c) Valgusreklaam.

reklaamtoru toitmiseks. Tihti ulatub aga gaaslahenduslampide toru kogupikkus paarikümne meetrini. Sel juhul tuleb kasutada mitut transformaatorit (joon. 61, b).

Kõik transformaatorid ja muud lisaseadised paigutatakse ühisesse metallkasti. Et vältida õnnetusi, mida kõrgepinge võib põhjustada, tuleb transformaatorite kered, tähti piiravad peegeldavad plekkpinnad ja kõik muud metallosad maandada.

Joonisel 62 on toodud kolme valgusreklaami ülesvõtted, neist üks on tehtud öösel (joon. 62, c).

16. Luminestsentslamp

Luminestsents- ehk päevavalguslamp on üsna noor valgusallikas kaasaegses valgustustehnikas. Tema arengutee ei ületa paari aastakümmet. Seni käsitle-

tud valgusallikad, kaasa arvatud ka elektrihõõglamp, on kuumvalgusallikad. Luminestsentslambi helendumise põhjustab aga mitte kõrge temperatuur, vaid gaaslahendus ja luminofoori helendus. Käega katsudes tunneme, et luminestsentslamp on külm. Sellest tuleneb ka tema nimetus «külmvalguslamp». Luminestsentslamp on väga sarnane valgusreklaamis kasutatavate luminofooridega kaetud kõrgepingegaaslahenduslampidega.

Luminestsentslambi helendumise põhjustavad kaks nähtust: gaaslahendus ja luminofoori helendus. Gaaslahenduse tulemusena tekib elavhõbedaaurus lühilaineline ultraviolettkiirgus, mis lambi toru sisepinda katvale luminofoorile langedes ergastab seda. Tulemusena hakkab helendama luminofoor, levitades pikemalainelist silmale nähtavat valgust.

Luminestsentslampides kasutatakse mitmesuguseid luminofoore, millelt nõutakse, et nad

1) peavad neelama kogu torus tekkiva ultraviolettkiirguse,

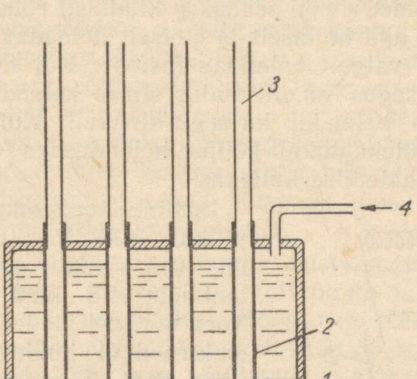
2) ei tohi neelata nähtavat valgust,

3) peavad tekitama järelhelenduse umbes 0,01 sek.

Järelhelendus on vajalik selleks, et luminestsentslampi saaks toita ka vahelduvvooluvõrgust. Järelhelenduseta lamp tekitaks vahelduvpingega toitmisel väga tugevalt virvendava valguse. Sagedamini kasutatavaid luminofoore on tsinkberülliumsilikaat. Sõltuvalt aktivaatori (mangaani) sisaldavusest 0,9% kuni 4,8%, kujuneb luminofoori helendus rohekaskollasest kuni oranž-punaseni. Magneesiumvolframaatluminofoor tekitab sinise helendusé. Kui soovitakse saada punast helendust, kasutatakse kaadmiumbromaati 0,1-protsendise mangaani lisandiga. Viimasel ajal on suure tähtsuse omandanud halogeenfosfaatfosfoor, mis on eriti vastupidav elavhõ-

bedaauru leeklahendusele, ühtlasi annab aga ilma igasuguste lisanditeta valget valgust. Aktivaatorina manustatakse fosfoorile antimoni või mangaani.

Sõltuvalt fosfoori teralisusest kulub teda ühe 40-vatise lambi katmiseks üks kuni neli grammi. Katmine toimub järgmiselt. Peeneks jahvatatud fosfoor

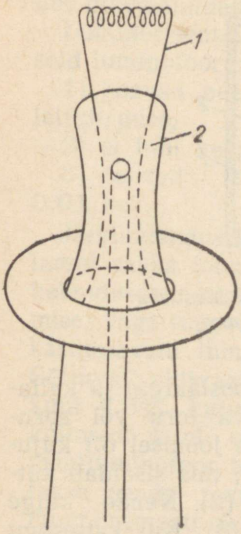


63. Luminestsentslampide kestade katmine fosfooriga.

segatakse liimainega (nitrotsellulooslakiga) ja kallatakse läbi lambi kesta moodustava toru või surutakse üheaegselt mitmesse torusse joonisel 63 kujutatud seadme abil. Anumasse (1), mis sisaldab kattesegu, on kinnitatud juhttorud (2). Nende külge ühendatakse lampide klaastorud (3). Kui kattesegu pinnale tekitada kompressori (4) abil rõhk, tõuseb segu juhttorude kaudu klaastorudesse. Niisugusel teel kaetakse torusid kolm kuni neli korda. Lõpuks

põletatakse torude kattekihis sisalduv sideaine ja torud on lampide tootmiseks valmis.

Et saada soovitava värvusega valgust andev lamp, kaetakse toru teatavate fosfooride seguga. Fosfooride segamisel üksteisega ei saada samasuguseid värvusi kui värvide segamisel. Näiteks segades kollast ja sinist värvi, saadakse kindlasti roheline värv. Seganud aga kollaselt ja siniselt helendava fosfoori, saadakse valgelt helendav fosfoor. Kui samade fosfooride segus on ülekaalus sinise helendusega fosfoor, siis helendab ka segu sinakalt. Kui aga segu sisaldab ülekaalukalt kollase helendusega fosfoori, on ka segu helendus kollakas.



64. Luminestsentslambi elektroodi 1 hoidev klaasist jalake 2.

Luminestsentslampide toru pikkus 220 V pinge puhul on 0,5 kuni 1,2 m ja läbimõõt 25 kuni 50 mm. Toru otstesse joodetakse lambi elektroodi (1) hoidev jalake (2) (joon. 64). Viimane sarnaneb nii oma ehituselt kui ka tootmisviisilt hõõglambi jalakesega. Isegi mõlema lambi jalakese juurde kuuluvad üksikosad on omavahel väga sarnased. Elektrood (1) luminestsentslambis meenutab elektrilambi hõõgniiti. Selle elektroodi moodustab kahekordselt spiraali keeratud volframtraat. Ehkki traat voolu läbimisel mõne hetke vältel isegi veidi helendab, ei nimetata teda hõõgniidiks, vaid lihtsalt lambi elektroodiks. Elektroodi ülesandeks on siin mitte otseselt

valguse kiirgamine, vaid lambi torus oleva elavhõbedatilga aurustamine lambi süütamisel. Ühtlasi hõlbustab ta pärast gaaslahenduse tekkimist voolu üleminekut metallist gaasi ja vastupidi. Hõõguv volframtraat on seejuures nagu teatavaks hõõgkatoodiks, mis suunab torusse palju suuremal arvul vabu elektrone kui külm katood. Elektronide emissiooni suurendamiseks on elektrood kaetud strontsium- või baariumoksüüdi kihiga. Need asjaolud ongi peamisteks põhjusteks, miks luminestsentslambid helendavad suhteliselt madala toitepinge korral. Kuid ometi ei piisa neist abinõudest lambi süütamiseks. Seepärast tuleb luminestsentslambi vooluringi ühendada lisaseadisena veel paispool, mis tekitab süütamiseks vajaliku pingeimpulsi.

Toodetakse luminestsentslampe, mis erinevad üksteisest oma kuju, rakendatava toitepinge ja tekitatava valguse värvuse poolest. Hõõguvate elektroodidega luminestsentslampide toitepingeks on harilikult 110, 127 või 220 volti. Külmade elektroodidega lampe tuleb madalpingevõrgust toita läbi transformaatori, mille sekundaarpinge on 800 kuni 1000 volti.

Nõukogude Liidus toodetakse peamiselt hõõguvate elektroodidega luminestsentslampe pingele 127 või 220 volti võimsusega 8 kuni 80 vatti. Lampide iga on vähemalt 1500 tundi.

Enamik tööstusettevõtteid toodab sirgete torude kujulisi lampe läbimõõduga 25 kuni 55 mm. Väiksema võimsusega lampide toru on tavaliselt lühem kui suurema võimsusega lampidel. Mõnel maal on hakatud tootma ka kõvera toruga lampe. Nii on Ameerika Ühendriikides levinud 32-vatine ringikujulise toruga lamp. Ringi raadius on 15 cm, lambi helenduspinge 84 V, vool 0,43 A ja valgusvoog

1600 lm. Niisuguseid lampe toodetakse ka mujal, näiteks Inglismaal.

Laialdase poolehoiu on leidnud päevavalgust tekitavad ja valge või roosaka valgusega lambid. Meie kodumaal toodetavatest lampidest tähistatakse esimesi AC ja teisi BC. Sageli kasutatakse ühes ja samas valgustusseadmes neid mõlemaid koos.

Mõningad andmed Nõukogude Liidus toodetavate lampide kohta on toodud tabelis 7.

Tabel 7

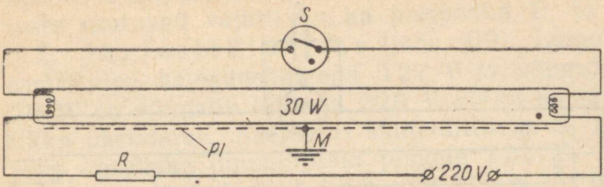
Luminestsentslampide elektrilisi andmeid

Võimsus W	Toitepinge V	Süütevool °A		Helendusvool A		Helenduspinge V		
		Normaalne	Maksimaalne	Normaalne	Maksimaalne	Normaalne	Minimaalne	Maksimaalne
8	127	0,18	0,2	0,16	0,145	60	55	65
12	127	0,43	0,49	0,3	0,32	44	40	48
15	127	0,43	0,49	0,3	0,31	57	55	62
20	127	0,54	0,6	0,35	0,37	63	59	68
30	220	0,44	0,5	0,32	0,34	110	105	120
40	220	0,57	0,65	0,41	0,44	125	110	125
80	220			0,81		110		

17. Luminestsentslampide lülitusi

Luminestsentslampide süütamine ega kasutamine pole võimalik ilma abiseadisteta. Seetõttu esineb ka rida erinevaid lampide lülitusi, millest siin kirjeldatakse mõnda olulisemat.

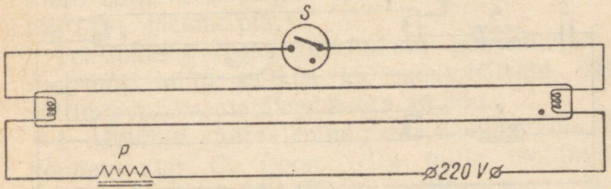
1. Takistilülitus (joon. 65) on küll lihtne, kuid tegelikkuses kasutatakse teda väga vähe, sest kaod, mis tekivad eeltakistis elektrienergia soo-



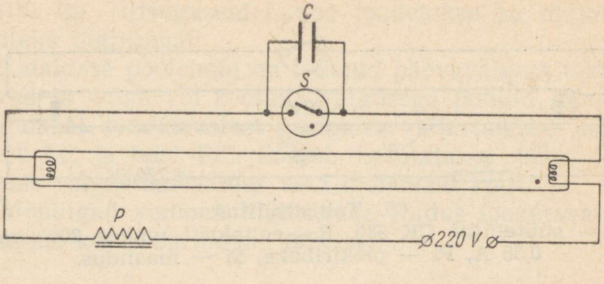
65. Takistilülitus:
S — süütelüliti CK-220, R — eeltakisti umbes 300 oomi, 0,36 A, Pl — plekiribake, M — maandus.

juseks muundumise tagajärjel, on väga suured. Eeltakisti takistus peaks 30-vatise lambi puhul olema umbes 300 oomi. Niisuguse takistuse tekitaksid neli omavahel järjestikku ühendatud 220 V pingele määratud 600-vatist elektriküttespiraali. Et vältida asjatut soojuskadu, on soovitav kasutada 39-vatise luminestsentslambi eeltakistina 40-vatist elektrihõõglampi pingele 110 V. Süütelülitiks S on huumlüliti (vt. järgm. ptk.).

2. Paispoollülitus (joon. 66) on samuti väga lihtne ja võib-olla kasutatakse kõige laialdasemalt. Sellesse lülitusse kuuluvad paispool P ja huumlüliti S. Kuid paispoollülituse võimsustegur on küllaltki halb — 0,5 kuni 0,6.



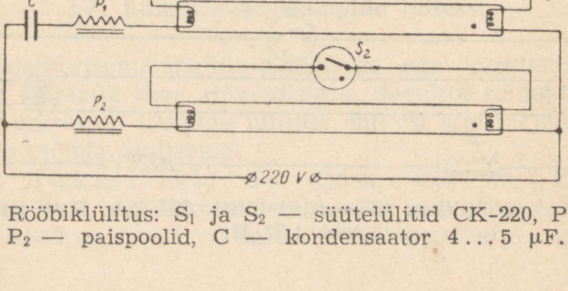
66. Paispoollülitus: S — süütelüliti CK-220, P — paispool 1,87 H.



67. Kondensaatoriga paispoollülitus: S — süütelüliti CK-220; P — paispool, 1,87 H; C — kondensaator 30 ... 40 W lampidele 3,6 ... 4 μF, väiksematele ... 6μF.

3. Kondensaatoriga paispoollülituses (joon. 67) on ühendatud huumlülitiga rööbiti veel kondensaator C, mille mahtuvus on 30- ja 40-vatiste lampide puhul 3,6 kuni 4 μF, väiksema võimsusega lampide puhul aga 5 kuni 6 μF. Kondensaatori talitluspinge peaks olema vähemalt 400 V. Niisuguse lülituse võimsustegur on 0,6 kuni 0,85.

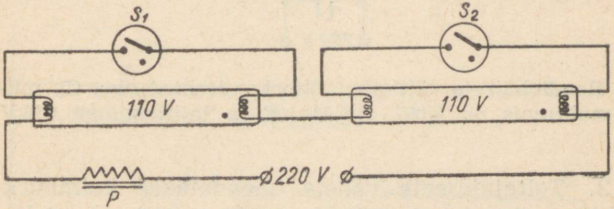
4. Rööbiklülitus (joon. 68). Ühendades kaks luminestsentslampi rööbiti, kujuneb lülituse võimsusteguriks 0,9 kuni 1,0. Lülituses sisalduva



68. Rööbiklülitus: S_1 ja S_2 — süütelülitid CK-220, P_1 ja P_2 — paispoolid, C — kondensaator 4 ... 5 μF.

kondensaatori mahtuvus on 4 kuni 5 μF. Selles lülituses osutuvad vajalikeks ka paispoolid P_1 ja P_2.

5. Järjestiklülitus (joon. 69). Luminestsentslampe helenduspingega 127 V ja võimsusega 20 W on võimalik lülitada 220 V võrku ka järjestikku ühendatult. Seejuures süütelülititena S_1 ja S_2 peab kasutama huumlüliteid pingele 127 V. Lampide sisselülimisel süttib neist enne üks ja siis teine.

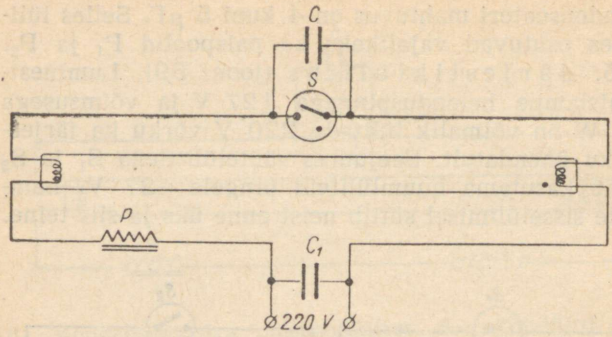


69. Järjestiklülitus: S_1 ja S_2 — süütelülitid CK-127, P — paispool 1,8 H.

6. Alalisvoolulülitus. Mõnes kohas kasutatakse ka alalisvooluvõrkusid. Siis tuleb lülitusse ühendada tegevtakistusega eeltakisti, mis täidab stabilisaatori ülesannet. Nagu eespool kirjeldatud takistilülituseski, nii on ka siin soovitav eeltakistina kasutada elektrihõõglampi. Süütelülitiks sobib alalisvoolulülituses kas hõõglüliti või magnetlüliti (vt. järgm. ptk.).

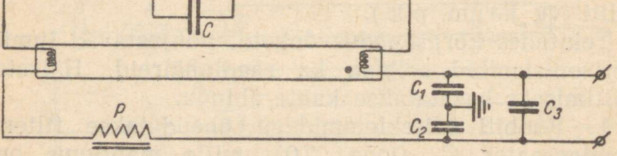
Tekitades kõrgsagedusvõnkeid, põhjustavad luminestsentslambid sellega ka raadiohäireid. Häirete vältimiseks kasutatakse kahte abinõu.

1. Rööbiti toiteklemmidega ühendatakse filterkondensaator C_1 (joon. 70), mille mahtuvus on 0,007 kuni 0,01 μF ja talituspinge vähemalt 650 V.



70. Raadiohäirete vältimine filterkondensaatoriga C_2, mille mahtuvus on 0,007 ... 0,01 μF ja talitluspinge 640 V.

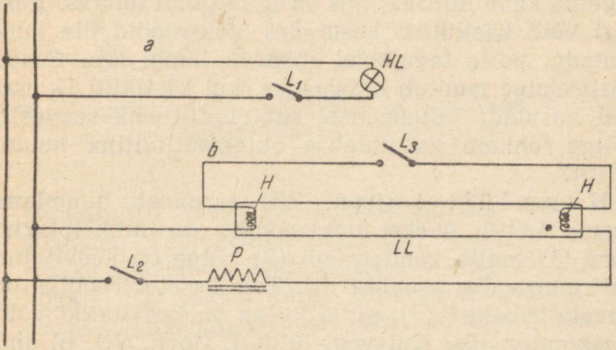
2. Toitejuhtmete vahele ühendatakse kolmnurklülituses kondensaatoritest moodustatud nn. deltafilter (joon. 71). Kondensaatorite C_1 ja C_2 mahtuvus on 0,005 μF ja kondensaatoril C_3 0,1 μF. Niisugune filter osutub kõige kasulikumaks, kui maandada kondensaatorite C_1 ja C_2 ühenduspunkt. Sobiva maandamisvõimaluse puudumisel võib kondensaatori ühenduspunkti ühendada valgusti metallosadega.



71. Raadiohäirete vältimine deltafiltri abil: C_1 ja C_2 — kondensaatorid 0,005 μF, C_3 — 0,1 μF.

Luminestsentslamp vajab süütamiseks nn. süütelülitit ehk starterit. Neid on nelja liiki: käsi-, huum-, hõõg- ja magnetlülitid. Süütelüliti S asukohta lülituses näeme skeemidelt joonistel 66 kuni 72.

Käsilülitiks sobib ka tavaline nupplüliti. Et saada aru elektrilüliti vajalikkusest luminestsentslampidel, võrdleme hõõglambi ja luminestsentslambi võrguga



72. Hõõglambi (a) ja luminestsentslambi (b) ühendamine võrguga.

ühendamise skeeme. Joonisel 73, a näeme võrguga ühendatud hõõglampi HL. Et lamp helenduks, tuleb sulgeda lüliti L_1. Kuni lüliti on suletud, läbib vool lambi elektroodi. Viimase temperatuur on ligi 3000° C ja ta eraldab tugevat valgust. Kui avada lüliti, katkeb vooluahel ja lamp kustub.

Joonisel 73, b näeme samasugust lülitit L_2, kuid lisaks sellele veel teist lülitit $L_3 \cdot L_3$ on luminestsentslambi LL süütelüliti, antud juhul käsilüliti (näiteks nupplüliti). Et luminestsentslamp süttiks, tuleb

kõigepealt sisse lülitada lüliti L_2 ja seejärel vajutada hetkeks süütelüliti L_3 nupule. Nüüd läbib vool luminestsentslambi hõõgniite H. Need kuumenevad, aurustavad elavhõbeda ja eraldavad torusse elektrone. Katkestame lüliti L_3. Voolu järsu katkemise tõttu tekib paispoolis tugev pingetõuge, mida ongi vaja luminestsentslambi süttimiseks. Et kustutada lampi, tuleb vool lüliti L_2 abil katkestada.

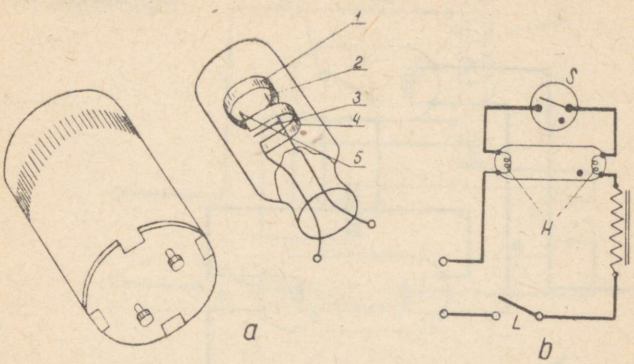
Eespooltoodust selgub, et kui luminestsentslambi süütelülitiks on käsilüliti, tuleb lambi süütamisel tegelda kahe lülitiga, mis on aga küllalt tülikas. Pealegi võib käsilülitit kasutades elektroodid üle kuumutada, mille tagajärjel lüheneb lambi iga. Seade käsitsemine muutub lihtsamaks, kui käsilüliti L_3 asemel kasutada automaatset süütelülitit ehk starterit. Kõige rohkem kasutatakse automaatlülitina huumlülitit.

Huumlüliti (joon. 73) sarnaneb huumlambiga[1]. Lüliti üheks elektroodiks on nikkelplekist võru (1), mille kandetraadi (2) külge on keevitatud volframtraadist kontakt (3). Teiseks elektroodiks on bimetallribake[2] (4), mille külge on keevitatud volframkontakt (5). Kui vool lüliti L (joon. 73, b) abil sisse lülitada, tekib huumlülitis (3) gaaslahendus.

---

[1] Huumlamp on väike külmade elektroodidega gaaslahenduslamp, mille elektroodid on paigutatud teineteise lähedale. Täidisgaasina kasutatakse sageli neooni. Huumlambid süttivad pingel 40 kuni 60 V. Neid kasutatakse indikaatorlampides, näiteks täitesulepeataolistes nn. voltoskoopides, millega tehakse kindlaks pinge olemasolu vooluringides. Huumlambid tarvitavad nii vähe voolu, et need süttivad juba siis, kui pingestatud juhet puudutatakse üheainsa elektroodiga.

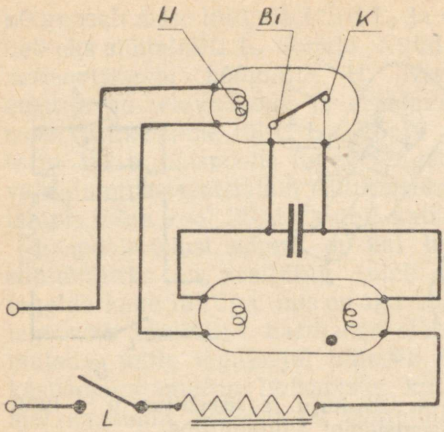
[2] Bimetallriba koosneb kahest erisugusest omavahel ühendatud metall-lehest, mille paisumistegurid teineteisest erinevad. Kui niisugust metallribakest soojendada, paindub ta väiksema paisumisteguriga lehekese poole.



73. Huumlüliti: a — väliskuju ja siseehitus, b — luminestsentslambi süütelülitina.

Huumlülitit läbib mõnemilliampriline vool ja ta soojeneb. Soojenemise tagajärjel paindub bimetallribake sissepoole ja kontaktid (3) ning (5) puutuvad kokku. Sel hetkel läbib luminestsentslambi elektroode H helendusvoolust kuni poolteist korda tugevam vool. Elektroodid hakkavad hõõguma, aurustavad torus oleva elavhõbeda ja paiskavad torusse elektrone.

Niipea kui huumlüliti elektroodid kokku puutusid, tekkis lühis, huumlahendus lakkas ja elektroodide temperatuur hakkas alanema. Jahtudes paindub bimetallribake uuesti tagasi ja katkestab luminestsentslambi elektroode läbiva voolu. Samal hetkel tekib paispoolis voolu järsu katkemise tõttu tugev pingeimpulss, mis ongi vajalik luminestsentslambi süütamiseks. Luminestsentslambis tekkinud gaaslahenduse tõttu läbib lampi nüüd pidev vool, mis on poolteist korda nõrgem süütevoolust. Gaaslahenduse tõttu on aga luminestsentslambi sisetakistus suhteli-

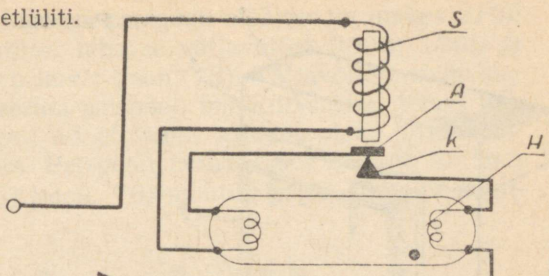


74. Hõõglüliti.

selt väike, mistõttu vool huumlülitit sisaldavasse suurema takistusega harusse ei suundu.

Hõõglüliti (joon. 74) sisaldab samuti bimetallribakest Bi, mis koos vastaskontaktiga K moodustab bimetallrelee. Relee ja hõõgniit H asuvad ühises kestas. Hõõgniit ühendatakse luminestsentslambi elektroodidega ja bimetallrelee kontaktidega järjestikku. Kui vooluring lüliti L abil sulgeda, siis luminestsentslambi elektroodid kuumenevad, aurustavad elavhõbeda ja vabastavad lambi torusse elektrone. Ühtlasi soojeneb ka hõõglüliti hõõgniit. Soojuse mõjul bimetallreleele kontaktid avanevad. Tekib järsk voolukatkestus ja pingeimpulss ning luminestsentslamp süttib. Hõõgsüütaja puuduseks on asjaolu, et pärast kustutamist pole luminestsentslampi kohe võimalik süüdata, sest bimetallrelee vajab aega jahtumiseks, et ta kontaktid uuesti sulguksid. Ka põhjustab hõõglüliti teatavaid energiakadusid, sest tema hõõgniiti läbib luminestsentslambi töö vältel pidev vool.

75. Magnetlüliti.



Magnetlüliti (joon. 75) on lihtne elektromagnetiline relee, mille kontaktid K on voolu puudumisel suletud. Kui aga lüliti L sulgeda, läbib relee mähist vool, südamik S tõmbab ankru A enda poole ja relee kontaktid avanevad. Tekkinud voolumuutus tekitab järsu pingeimpulsi ja luminestsentslamp süttib.

Seega on luminestsentslambi süütelülitil ehk starteril kaks ülesannet:

1) kuumutada luminestsentslambi elektroode, et aurustada elavhõbe ja saavutada tugev elektronide vool,

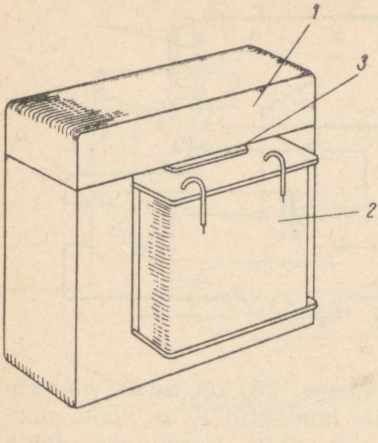
2) tekitada järsk voolukatkestus, mis kutsub paispoolis esile luminestsentslambi süütamiseks vajaliku kõrge pingeimpulsi.

Paispooli ülesandeks on:

1) tekitada luminestsentslambi süütamiseks vajalik pinge,

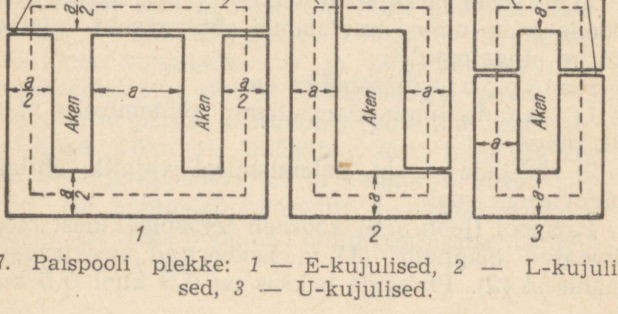
2) säilitada lambi helendamisel vajalik ühtlase tugevusega vool.

Paispool (joon. 76) koosneb terasplekkidest moodustatud magnetist (1) ja isoleeritud vasktraadist mähisest (2). Plekkide paksus on 0,3 kuni 0,5 mm



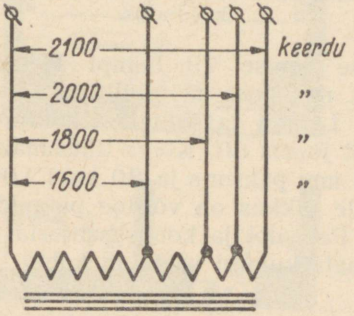
76. Paispool.

ja neil on E, L, U jms. kuju (joon. 77). Plekipaki ristlõike pindala on keskmiselt 5 cm². Aken peab olema nii suur, et sinna mahuks mähis koos isolatsiooniga. Mähis keritakse lakiga isoleeritud vasktraadist, mille läbimõõt valitakse sõltuvalt lampi läbiva voolu tugevusest 0,4 kuni 0,5 mm. Kesk-



77. Paispooli plekke: *1* — E-kujulised, *2* — L-kujulised, *3* — U-kujulised.

miste mõõtmetega paispooli mähises on umbes 2100 keerdu, millest tehakse väljavõtted 2000, 1800 ja 1600 keeru järelt (joon. 78). Väljavõtted võimaldavad reguleerida paispooli induktiivsust ja temas tekkivat pinget, nii et lambi heledus oleks piisav valgustamiseks. Paispooli induktiivsus muutub ka koos õhupilu (3) (joon. 76) muutumisega. Õhupilu muut-



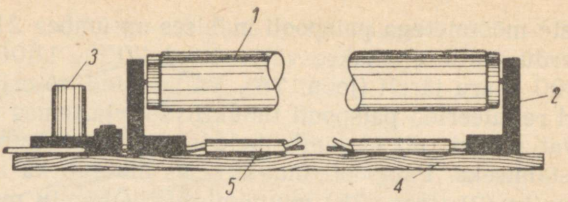
78. Väljavõtteid paispooli mähisest.

miseks on plekipakkide vahele vaja asetada paberi- või papilehti. Mida suurem on õhupilu, seda väiksem on induktiivsus.

Paispooli arvutamise ja mähise paigutamise kohta aknasse saab andmeid D. Vardja ja U. Aguri raamatust «Amatöörelektrik».

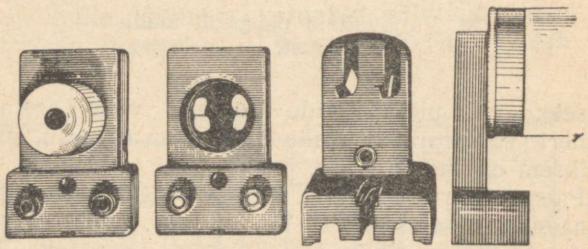
19. Luminestsentslampide paigaldamine

Luminestsentslampide paigaldamisel võib lähtuda mõnest joonisel 65 kuni 72 toodud skeemist. Kõige ajakohasem on lülitus joonisel 71. Paigaldatud



79. Paigaldatud luminestsentslambi ehituslik kujundus.

lampi näeme joonisel 79. Lampi (1) hoiavad lambihoidjad (2), mis koos süütelülitiga (3) kinnitatakse alusele (4). Lambi- ja süütelülitihoidja ehitust näitab lähemalt joonis 80. Kõige lihtsamaks aluseks on 10 kuni 15 mm paksune ja 80 kuni 100 mm laiune lauake, mille pikkus on võrdne paigaldatava lambi pikkusega. Paispool ja kondensaatorid paigutatakse lambist eemale kuhugi varjatud kohta.

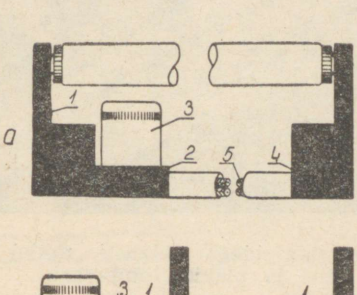


80. Lambi- ja süütelülitihoidjad.

Luminestsentslampi saab süütelülitiga ühendada kahesugusel viisil. Üheks võimaluseks on see, et üks lambihoidjatest paigutatakse süütelülitihoidjale, teise lambihoidja alla kinnitatakse aga paraja paksusega

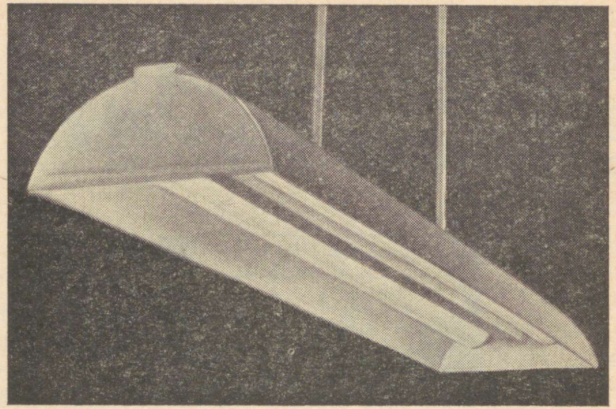
klotsike, nii et lamp oleks paralleelne alusega (joon. 81, a). Teiseks lambi ja süütelüliti ühendamise võimaluseks on lambihoidja paigutamine süütelülitihoidja kõrvale (joon. 81, b).

Elektrilised ühendused tehakse valitud skeemi järgi. Paigutanud ühendusjuhtmed aluse peale,

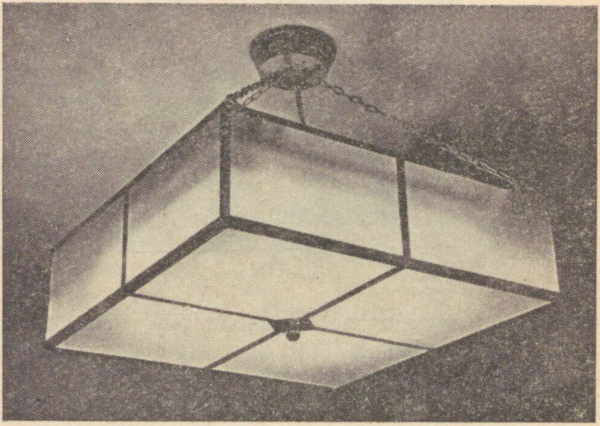


81. Luminestsentslambi ja süütelüliti ühendusviise:
a — lambihoidja on paigutatud süütelülitihoidja peale ja b — selle kõrvale; 1 — lambihoidja, 2 — süütelülitihoidja, 3 — süütelüliti, 4 — alusklots, 5 — metalltorusse mahutatud ühendusjuhtmed.

tuleb nad mahutada metalltorusse (vt. joon. 79 ja 81, 5). Valgustusseade jääb aga nägusam, kui juhtmed on viidud aluse taha. Plekkaluse puhul jäävad aluse esipinnale ainult lambihoidjate ülemised otsad, hoidjate alumine osa ja kõik muud üksikosad jäävad aga aluse taha. Niisuguse alusega plekist lambivar-



82. Luminestsentslampidega valgusti, millel on plekkalus ja plekist lambivari.

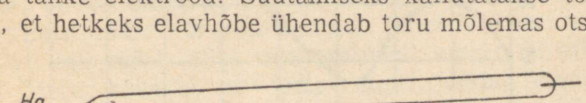


83. Luminestsentslampidega sisevalgusti.

juga kaetud luminestsentslampe näeme joonisel 82. Joonisel 83 on toodud veel teine näide luminestsentslampidega valgustite kohta.

20. Elavhõbelamp

Gaaslahenduslampidest on käesoleva sajandi algusest peale suurim tähtsus Cooperi-Hewitt'i[1] elavhõbelambil (joon. 84). Lamp kujutab endast 25 mm jämedust ja 70 cm pikkust õhutühja klaastoru, mille kõveraks painutatud otsas on elavhõbe, sirges otsas aga tahke elektrood. Süütamiseks kallutatakse toru nii, et hetkeks elavhõbe ühendab toru mõlemas otsas

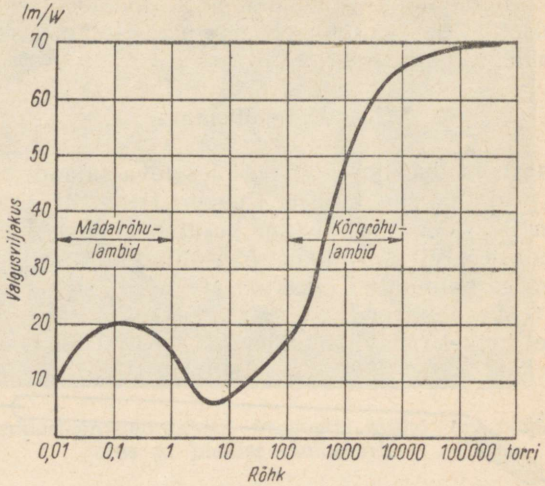


84. Cooperi-Hewitt'i elavhõbedaaurulamp.

olevad elektroodid. Tagasi valgudes kujuneb elavhõbeda ja vastaselektroodi vahel elektrileek, mille tulemusena elavhõbe osaliselt aurustub. Elavhõbedaaurus tekib gaaslahendus. Niisugune lamp annab sinakat valgust, kuid selles valguses pole võimalik eristada üksikuid värvusi, nii nagu me seda oleme harjunud päevavalguses tegema. Seepärast neid lampe ka igapäevases elus ei kasutata.

Lambi temperatuur on ainult mõnisada kraadi ja seega põhjustab valgusnähtusi mitte kõrge temperatuuri tagajärjel tekkiv kiirgus, vaid elavhõbedaaurus esinev gaaslahendus. Kui toru läbiva voolu tugevus kasvab, tõuseb elavhõbedaauru rõhk torus. Alates umbes kümnetorrisest rõhust hakkab lambi val-

[1] Cooper-Hewitt (l. *kuuper-hjuuit*).



85. Elavhõbelambi valgusviljakuse sõltuvus rõhust.

gusviljakus pidevalt kasvama (joon. 85). Selle nähtuse alusel hakati peagi valmistama kõrgrõhuelavhõbelampe, mida lihtsamalt nimetatakse ka elavhõbelampideks. Peale elavhõbeda sisaldavad need lambid veel mingisugust süttimist soodustavat väärisgaasi (argoon, neoon). Pärast lambi sisselülitamist tekib hõrendatud väärisgaasis huumlahendus, mille tulemusena tõuseb temperatuur. Elavhõbedat aurustub järjest rohkem ja auru rõhk üha kasvab. Elektroodid kuumenevad, kuni lõpuks puhkeb elavhõbedaaurus leeklahendus. Nüüd kaob väärisgaasile omane helenduse värvus ja mõni minut pärast süttimist annab lamp ainult elavhõbedaaurule omast valgust.

Aurude rõhu järgi lambis eristatakse kolme liiki

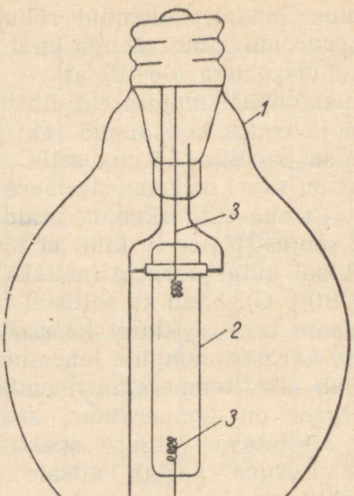
elavhõbelampe: madalrõhulambid rõhuga 0,1 kuni 1,0 torri, kõrgrõhulambid rõhuga kuni 30 at ja ülikõrgrõhulambid rõhuga üle 30 at.

Kõrgrõhu-elavhõbelampides ehk lihtsalt kõrgrõhulampides on helendus koondunud piki lampi kulgevasse peenesse kanalisse. Kuna selle nn. valguskanali juhtivus on suur, on tema sisemuse temperatuur väga kõrge. Et aga valguskanalit eraldab lahendustoru seinast soojust isoleeriv kiht, ei tõuse temperatuur toru pinnal kuigi kõrgele (näiteks 10 at rõhul ei ületa see 800° C). Kuid ka sellistel temperatuuridel ei saa enam tavalist klaasi kasutada. Seepärast valmistatakse kõrgrõhulampide lahendustorud kvartsist, mis sulab alles temperatuuril umbes 1600° C.

Mida kõrgem on temperatuur, seda laiem on lambi poolt tekitatava valguse spektriala. Madalrõhulampide kiirgus vastab kitsale spektrialale, kõrgrõhulambid seevastu annavad aga valgust kaunis laias spektripiirkonnas. Niihästi kõrgrõhu- kui ka ülikõrgrõhu-elavhõbelampide valguse värvus on sinakasvalge.

Kõrgrõhulamp ühendatakse võrku läbi eeltakisti, sest vastasel korral oleks voolutugevus nii suur, et lambi elektroodid või nende sisenemisjuhtmed puruneksid ja lamp rikneks. Eeltakistiks sobib kas traattakisti või hõõglamp. Traattakisti korral on lambi kasutegur väike, sest osa energiat muundub takistis kasutult soojuseks. Vahelduvvooluvõrkudes tuleb kasutada induktiivset takistit — paispooli. Paispool piirab voolutugevust, ilma et seejuures esineks energiakadu.

Et kõrgrõhulampide elektroodid on võrdlemisi lähestikku, süttivad need lambid nii 220-voldise kui ka 110-voldise võrgupingega. Lamp süttib veel kiiremini, kui tema elektroodid on oksüdeeritud. Mõnes lambis asub ka süüteelektrood koos süüte-



86. Kõrgrõhu-elavhõbelamp РВДЛ: 1 — tavalisest matt-klaasist kolb, 2 — kvartstoru, 3 — elektroodid.

takistiga. Lambi sisselülitamisel tekib algul gaaslahendus väärisgaasis, süüteelektroodi ja selle naaberelektroodi vahel, temperatuur tõuseb ja elavhõbe hakkab aurustuma. Umbes 5 kuni 7 minuti pärast on elavhõbedaauru rõhk torus tõusnud ettenähtud väärtuseni ja lamp helendab normaalselt.

Tänapäeval valmistatakse kahesuguseid kõrgrõhu-elavhõbelampe: osas on elavhõbedat ülemäära, teises on elavhõbedat aga parajasti nii palju, et see helendades jäägitult aurustub. Viimaste eeliseks on

see, et nad pole eriti tundlikud pinge kõikumiste suhtes.

Kõigi kõrgrõhulampide puuduseks on, et neid kohe pärast kustutamist uuesti süüdata ei saa, vaid nad peavad enne kaks kuni neli minutit jahtuma.

Joonisel 86 on Nõukogude Liidus toodetavate kõrgrõhulampide РВДЛ väliskuju. Andmed nende lampide kohta on toodud tabelis 8.

Tabel 8

Andmed kõrgrõhu-elavhõbelampide kohta

Lambi tüüp	Võimsus W	Süütevool A	Süttimise kestvus min.	Helendus-pinge V	Helendus-vool A	Valgusvoog m	Välismõõt-med mm	Kvartstoru mõõtmed mm
РВДЛ-250	250	3,6	6	120	2	10 000	120×300	17×55
РВДЛ-500	500	8,5	6	120	4	22 000	140×310	24×85
РВДЛ-750	750	11	6	120	6	35 000	165×370	28×40
РВДЛ-1000	1000	15	6	120	8	48 000	195×420	30×135

Lambid ühendatakse võrguga joonisel 87 toodud skeemi järgi. Kõik abiseadised koondatakse lambist eraldi paiknevasse kasti.

Paispooli (lambile РВДЛ-250) arvutame järgmiselt.

Pingelang paispoolis

$$U_r = \sqrt{U^2 - U_t^2} = \sqrt{220^2 - 120^2} = 184 \text{ V},$$

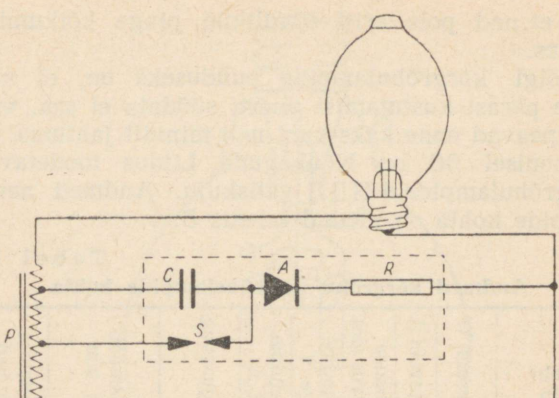
kus U on võrgupinge ja

U_t lambi helenduspinge.

Et helendusvool $I_t = 2$ A, siis paispooli induktiivsus

$$L = \frac{U_r}{2\pi f I_t} = \frac{U_r}{6{,}28 \cdot 50 \cdot I_t} = \frac{184}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 2} = 0{,}28 \text{ H},$$

kus 50 on voolu sagedus hertsides.



87. Kõrgrõhu-elavhõbelambi toitelülituse skeem: P — paispool, C — kondensaator МВГЦ 1 μF, 250 V, A — seleenalaldi АВС-6-600, R — takisti ВС 0,25 W, 47 kΩ, S — sädemik tüüp РБ-3 Т.

Eeldame, et kasutatakse terassüdamikku ristlõikega 25 cm² ja magnetringi pikkuseks on 50 cm. Keerdude arv sel juhul on

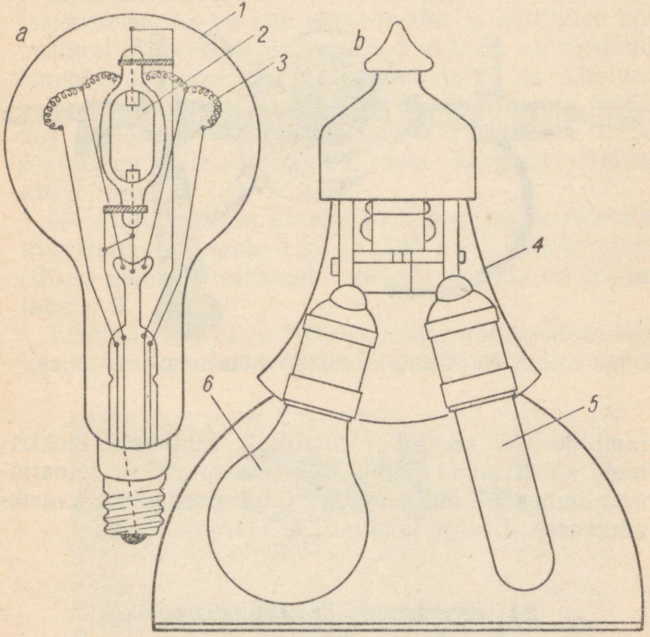
$$w = 450\sqrt{\frac{0{,}28 \cdot 50}{25}} = 338 \text{ keerdu.}$$

Kui 450 on arvutuslik tegur, voolu tihedus on 2,5 A/mm², saame traadi läbimõõduks 1,0 mm. Tegevtakisti suurus oleks sel juhul 85 oomi, sest induktiivsusele 1 mH vastab tegevtakistus 0,3 oomi.

Vaatamata kõrgrõhulampide mõningatele puudustele, kasutatakse neid järjest laialdasemalt väljakute, suurte saalide, tänavate, vabrikute jm. valgustamiseks. Nende lampide levimist soodustab eelkõige suur valgusviljakus, mis on võrdne luminestsents-

lampide omaga ja kolm korda suurem hõõglampide valgusviljakusest. Et aga luminestsentslambid võimsustel üle 100 vati osutuvad ebaökonoomseteks, siis on suurematel võimsustel otstarbekohane kasutada kõrgrõhu-elavhõbelampe. Et elavhõbelamp annaks päikesevalgusele rohkem sarnanevat valgust, kasutame järgmisi võtteid:

1. Lisaks elavhõbedale asetatakse lambi sisse veel teisi metalle, mille aurude spektrid täiendavad



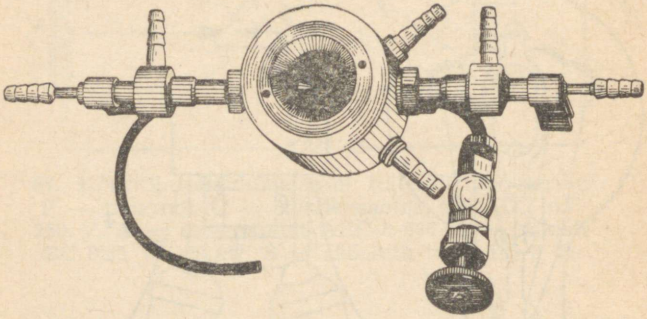
88. Segalamp (a) ja segavalgusti (b):
1 — ühine lambikest, 2 — elavhõbelamp, 3 — hõõgniit, 4 — ühine lambivari, 5 — iseseisev elavhõbelamp, 6 — iseseisev hõõglamp.

elavhõbedaauru spektrit. Niisugusteks metallideks on esmajoones tsink ja kadmium.

2. Lampide kolb kaetakse seest luminofooridega.

3. Valmistatakse nn. segalampe, milles elavhõbelamp on ühendatud hõõglambiga (joon. 88, a), või nn. segavalgusteid, milles on ühise kupli alla paigutatud kumbagi liiki lambid iseseisvalt (joon. 88, b).

Ettekujutuse ülikõrgrõhu-elavhõbelambist annab joonis 89. Kogu helendust tekitav energia on nendes



89. Ülikõrgrõhu-elavhõbelamp.

lampides koondatud võimalikult lühikesse elektrileeki. Volframist elektroodid paigutatakse teineteisest umbes 12 mm kaugusele paksuseinalisse kvartsanumasse. Lampi jahutatakse voolava veega.

21. Kvartslamp ja kõrgustikupäike

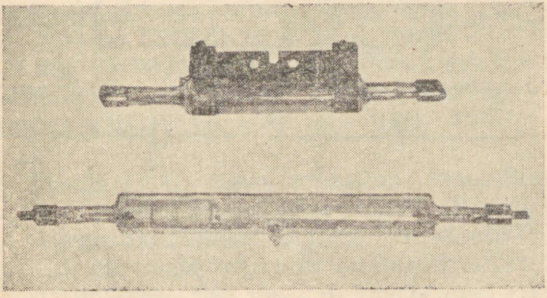
Eriotstarbelistest kõrgrõhu-elavhõbelampidest on võitnud suure populaarsuse kvartslamp ja sellest valmistatav nn. kõrgustikupäike.

Päikeselt saabub maale väga mitmesuguse lainepikkusega kiirgusi. Arstiteadus on ammu kindlaks teinud, et lühilainelised ultraviolettkiired päikesevalguses avaldavad tervistavat toimet. Peale selle tõstavad mõõdukad päikesevannid inimese töövõimet. Ultraviolettkiirte mõju on eriti suur kõrgel maapinna kohal ja mägestikes, sest seal on õhk hõre ja tolmuvaba. Seepärast nimetataksegi kunstlikke ultraviolettkiirguse allikaid kõrgustikupäikeseks.

Kvartslambi ehitus on lihtne (joon. 90). Õhutühjas kvartstorus on tilk elavhõbedat ja süttimise hõlbustamiseks veidi väärisgaasi. Kui lamp on süttinud, elavhõbeda aurustumine intensiivistub ja täielikul helendamisel on elavhõbedaauru rõhk lambis umbes üks atmosfäär. Lamp kiirgab mitmesuguse lainepikkusega ultraviolettkiiri, mis kergesti läbivad kvartstoru.

Nõukogude Liidu tööstus toodab erinevas suuruses kvartslampe pingele 127 ja 220 volti. Nende elektrilised andmed toitmisel vahelduvvooluga on toodud tabelis 9.

Lambid ПРК-2 ja ПРК-4 sobivad individuaalseks kasutamiseks, lampe ПРК-7 aga kasutatakse suurte



90. Kvartslamp.

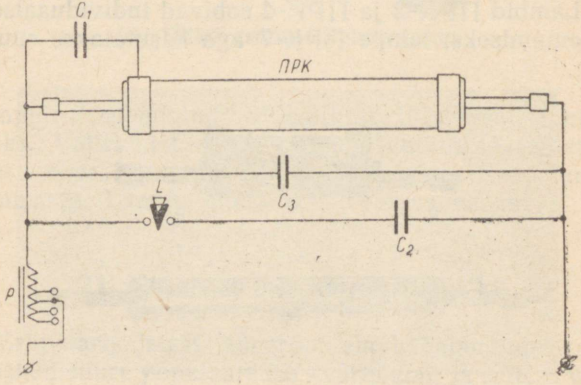
Tabel 9

Kvartslampide elektrilised andmed

Tüüp	Võrgupinge V	Süütevool A	Süttimise kestus min.	Heleduse vool A	Heleduspinge V	Võimsus W
ПРК-2	220	6	15	3,7±0,6	120±12	375
ПРК-4	127	5	10	3,7±0,6	70±8	220
ПРК-5	220	4,5	15	2,3±0,3	120±12	240
ПРК-7	220	14	10	8,0±1,0	135±12	1000
ПРК-8	220	6	15	3,8±0,6	70±8	220

inimrühmade üheaegseks kiiritamiseks, näit. võimlates, lastesõimedes, lasteaedades jne.

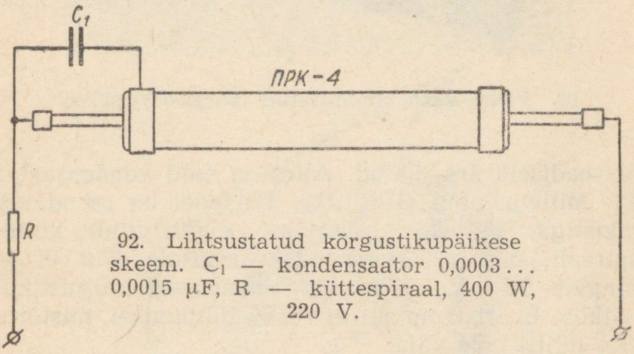
Et luua lambile vajalikke talitlustingimusi, kasutatakse stabiliseerivaid kondensaatoreid ja paispoole, mis ühendatakse omavahel joonisel 91 toodud skeemi kohaselt. Skeemil kujutatud kondensaatorite andmed on järgmised: C_1 0,003 kuni 0,0005 μF, C_2 2 kuni



91. Täiusliku kõrgustikupäikese skeem.

3 μF talitluspingega 300 kuni 600 V, C_3 0,05 μF lambi ПРК-4 puhul ja 0,005 kuni 0,007 μF teiste lampide puhul. L tähistab nupplülitit ja P paispooli.

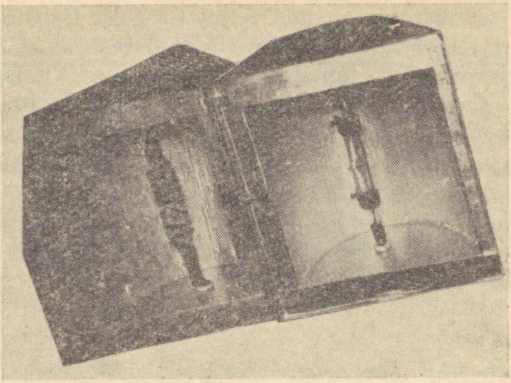
Kui paispooli ise valmistada, võib arvutada ta samuti nagu seda tehti ptk. 20. Valmistades ta aga ilma arvutamata, võib plekipaki mõõtmed, magnetringi pikkuse ja südamiku ristlõike valida samasugused nagu eelmises peatükis toodud näites. Traadi läbimõõdu valik sõltub pooli läbivast voolust, kusjuures traadi ristlõike iga mm² kohta ei tohiks voolu-



92. Lihtsustatud kõrgustikupäikese skeem. C_1 — kondensaator 0,0003 ... 0,0015 μF, R — küttespiraal, 400 W, 220 V.

tugevus ületada 2,5 amprit. Seega oleks traadi ristlõige lampide ПРК-2 ja ПРК-4 puhul 3,7 : 2,5 ≈ ≈ 1,4 mm² ja läbimõõt 1,3 mm. Pool keritakse lakkisolatsiooniga vasktraadist keerdude arvuga 500, kusjuures väljavõtted võib teha 300, 350 ja 400 keerult.

D. Vardja ja U. Aguri raamatus «Amatöörelektrik» lk. 277 on toodud kvartslampi ПРК-2 sisaldava kõrgustikupäikese ehituse kirjeldus. Lisaks sellele kirjeldatakse siin veel tunduvalt lihtsustatud kõrgustikupäikest. See sisaldab kvartslampi ПРК-4. Nagu skeemilt (joon. 92) nähtub, on siin enamik



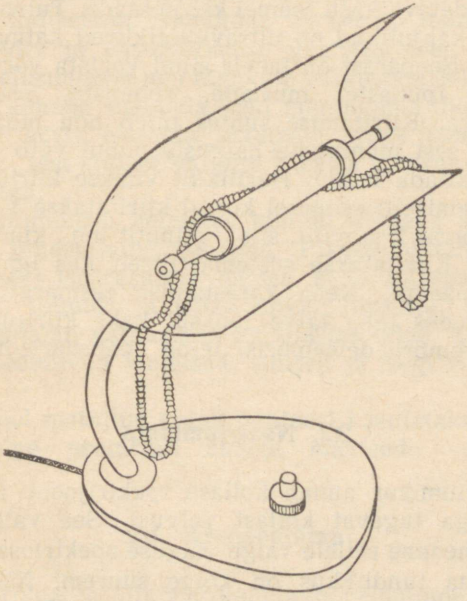
93. Plekk-kesta mahutatud kõrgustikupäike.

abiseadiseid ära jäetud. Alles on vaid kondensaator C_1, milleta lamp ei süttiks. Paispool on asendatud takistiga, milleks kasutatakse elektripliidi küttespiraali, mis on arvestatud võimsusele 400 W ja pingele 220 V. Niisuguse lihtsustatud kõrgustikupäikese kvartslamp süttib võrku lülitamisel, mistõttu siin lülitit pole vaja.

Missuguse välisilme keegi oma kõrgustikupäikesele annab, see jäägu iga ehitaja enese valida. Kuid peab silmas pidama, et kvartslampi tohib paigutada ainult horisontaalselt. Joonisel 93 näete plekk-kastis kõrgustikupäikest. Ülemises nõguspeeglis on kvartslamp, alumises aga küttespiraal 220 V, 400 W. Kvartslamp ja küttespiraal on ühendatud omavahel järjestikku.

Kuna kesta valmistamine eespoolkirjeldatud kõrgustikupäikesele on oskust ja aega nõudev töö, siis võiks valida ka märksa lihtsama ehitusviisi (joon. 94). Antud juhul on kõrgustikupäikese alusena kasuta-

tud vana laualambi jalga. Viimaselt on eemaldatud lambipesa ja selle asemele on kinnitatud nõguspeegel. Kui võimalik, painutatakse peegel 1 kuni 2 mm paksusest alumiiniumplekist. Pleki mõõtmed võiksid olla 200×225 mm. Lambi kontaktid asetatakse lambihoidjatesse, mis on kinnitatud nõguspeeglile ja sellest riista isolaatorite abil isoleeritud. Takistiks võiks edukalt kasutada 400- kuni 600-vatist isoleerpärlitega kaetud küttekeha. See poolitatakse keskelt ja tema üks pool ühendatakse ühe ning teine teise lambihoidjaga. Vabaks jäänud otsad aga ühendatakse võrku lülitatava ühendusnööriga.



94. Lauavalgusti külge ehitatud kõrgustikupäike.

Nagu tabelist 9 näeme, helendab kvartslamp täie võimsusega alles 5 kuni 10 minutit pärast süttimist. Lambi süttimist saab jälgida vaatluse teel, mida tuleb teostada ainult läbi tahmatud klaasi või tumeda filmitüki. Süttimise jooksul on kogu lambi toru täitunud ühtlase sinaka helendusega. See tõmbub pikkamööda ikka koomale ja koomale. Täielikul helendusel moodustub lambis lõpuks umbes pliiatsijämedune tugevasti helendav valgusriba.

Uut kvartslampi tuleb enne kasutamist puhastada piirituses niisutatud lapiga.

Kõik, kes on ehitanud endale kõrgustikupäikese, peavad teadma selle kasutamise nõudeid, muidu võib loodetava kasu asemel kahju saada. Tuleb teada, et eriti kahjulikud on ultraviolettkiired katmata silmadele. Seepärast on tarvis silmi varjata värvilisest klaasist (punaste, mustade, roheliste, pruunide) prillidega. Kiiritamise suhtes tuleb nõu pidada ka arstiga, sest mõningate haiguste puhul võib kiiritamine tekitada kahju. Harilikult viiakse kiirituskuur läbi järgmiselt: esimesel korral kiiritatakse 1 minut, teisel korral 2 minutit, siis 3 minutit jne., kuni poole tunnini. Kiiritatakse süstemaatiliselt kas iga päev või ülepäeviti. Keha karastamise eesmärgil võiks meie oludes teha talve jooksul kaks kiirituskuuri: üks novembris-detsembris, teine veebruaris-märtsis.

22. Naatriumlamp

Naatriumiaur annab kollase spektrijoone ja tekitab seega tugevat kollast valgust. See valgus on väga lähedane sellele valge valguse spektriosale, kus inimsilma tundlikkus on kõige suurem. Nii pöörduski teadlaste ja leidurite tähelepanu sellele, kuidas kasutada naatriumiauru valgustamiseks, nii nagu sel-

leks kasutatakse elavhõbedaauru. Et naatrium sulab 300° C juures, on tarvilik lambi eelsoojendamine. Selleks juhitakse lampi tema valmistamisel veidi neooni. Nii tekib algul gaaslahendus neoonis ja toru soojeneb. Selle tagajärjel aurustub naatrium ja umbes 10 minuti möödudes helendab torus juba naatriumiaur.

Naatriumiaurulampide ehk lihtsalt naatriumlampide valgusviljakus on suurem kui ühelgi teist liiki elektrilambil, ulatudes 100-vatistel lampidel üle 70 W/lm.

Naatriumlamp annab tugevat kollast valgust. Selles nn. monokromaatilises valguses paistavad kõik esemed kollastena. Niisugune värvus on inimsilmale ebameeldiv ja vastuvõtmatu, mistõttu need lambid ei sobi eluruumide ega tänavate valgustamiseks. Küll on aga kohane kasutada neid mõningates tööstustes, kus on tarvis eristada seadmete kõige pisemaidki üksikosi, sest kollase valguse käes on nad suure kontrastsusega.

Naatriumiauru helendus kuulub nähtava kiirguse spektri pikemalainelisse ossa. Pikemalainelise kiirguse üheks iseärasuseks on see, et ta hõlpsasti läbib tahmast, tolmust ja udust õhku. Järelikult suudab naatriumlamp valgustada ka tihedas udus, kus täielikult neelduvad violetsed, sinised ja isegi rohelised kiired.

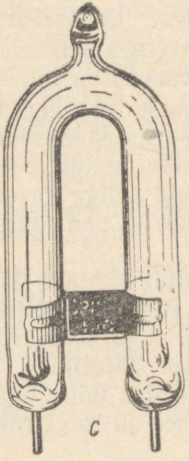
Eespool mainitud kahel põhjusel kasutatakse naatriumlampe peamiselt suurte maateede valgustamiseks.

23. Ksenoonlamp

Kõrgrõhu- ja ülikõrgrõhu-elavhõbelampide kõrval on suur tähtsus raske ja väga haruldase gaasi ksenooniga täidetud lampidel. Ksenoon on üks viiest

a

b



c

95. Ksenoonlambid:
a, b — õhkjahutusega kõrgrõhuksenoonlampe,
c — koolutatud toruga ksenoonlamp.

õhus leiduvast väärisgaasist. Kuid teda leidub seal ainult jälgedena — nimelt 0,000 009%. Seega on teda õhus rohkem kui kümme korda vähem krüptoonist ja kakssada korda vähem neoonist.

Lampides on ksenoon isegi kuni mitmekümne atmosfäärilise rõhu all. Niisuguste lampide valmistamine on seotud suurte tehniliste raskustega, kuid ometi on need lambid end õigustanud ja just selle-

pärast, et nende lampide valgus on värvuselt väga sarnane keskmise päevavalgusega.

Ksenoonlampe valmistatakse nii õhk- kui ka vesijahutusega — 50 kuni 600 vatini. Valgusvoog on 50-vatisel lambil umbes 1000 lm ja 6000-vatisel lambil 180 000 lm. Kuid valgusviljakus on neil lampidel natuke väiksem kui elavhõbelampidel, nimelt 30 W/lm.

Valgusallikatena pole ksenoonlambid veel elanikkonnani jõudnud. Kuid neilgi on oma kasutusala — välklampides. Viimaseid kasutavad nii paljud kutselised kui ka asjaarmastajad fotograafid. Välklambid on kõikjalt ja lõplikult välja tõrjumas magneesiumvälkvalgust ja teisi hetkvalguse lampe. Mõningaid ksenoonlampe näete joonisel 95.

24. Välklamp

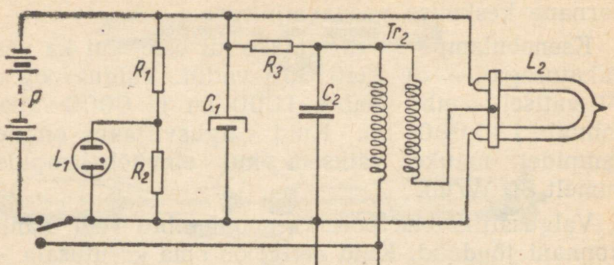
Nagu juba eelnevalt selgus, on välklamp ksenoontäidisega gaaslahenduslampi sisaldav seadis fotografeerimisel välkvalguse tekitamiseks. Gaaslahenduse kutsub siin esile suure mahtuvusega elektrolüütkondensaatorist (toitekondensaatorist) saadav laeng. Toitekondensaator laetakse alalisvooluga pingeni mõnisada volti. Laadimisvoolu saadakse kas

1) otseselt vastava pingega patareist (joon. 96),

2) madalpingepatareist läbi vibraatori, transformaatori ja alaldi (joon. 97) või

3) vahelduvvooluvõrgust läbi transformaatori ja alaldi (joon. 98).

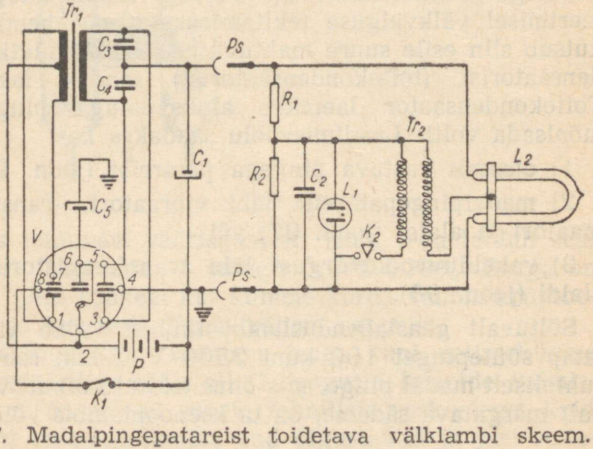
Sõltuvalt gaaslahenduslambi tüübist vajab välklamp süütepinget 100 kuni 2500 V. Ehkki see on suhteliselt madal pinge, mis õhus tekitaks ainult vaevalt märgatava sädeme, on ta ksenoonlambis võime-



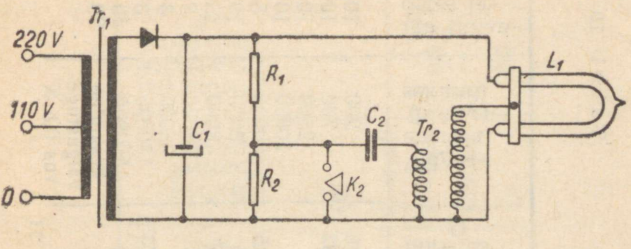
96. Otseselt vastava pingega patareist toidetava välklambi skeem.

line tekitama mitmekümne sentimeetrise gaaslahenduse tänu inertse gaasi erilistele omadustele.

Et ksenoonlambis tekiks gaaslahendus, peab lambi torus olevat gaasi eelnevalt ioniseerima. Selleks on



97. Madalpingepatareist toidetava välklambi skeem.



98. Vahelduvvooluvõrgust toidetava välklambi skeem.

tarvis pingeimpulssi üle 10 000 voldi. See tekitatakse süütepooli abil (Tr_2 joon. 96 kuni 98). Impulss suunatakse lambi väliselektroodile. Koolutatud toruga ksenoonlambil (joon. 95, c) on väliselektroodiks toru mõlemaid otsi haarav nikkelplekist klamber ja selle võrusid ühendav piki toru kulgev hõbedast või grafiidist sadestatud ribake.

Hetkeline gaaslahendus, mille kestel vool ulatub kuni 200 A, vältab ainult tuhandiku osa sekundist — mõne millisekundi, kuid tema helendus on väga suur. Aga just see ongi fotografeerimisel oluline.

Gaaslahendusele hetkeliselt kuluv energia on arvutatav valemiga:

$$E = \frac{C_1 U_2}{2},$$

kus E on energia vatt-sekundites,

C_1 — toitekondensaatori mahtuvus mikrofaradites,

U_2 — süütepinge kilovoltides.

Välklambi ehitaja peab tundma veel valemit, mis aitab määrata särituskestust. Kiiresti kulgevast tegevusest pole võimalik saada head ülesvõtet kümnendikesse sekunditesse ulatuva säritusega. Tihti peab

Ksenoonlampide andmeid

Tabel 10

Lambi tüüp	Lahendu-se energia (vatt-sekund)	Tailitus-pinge V	Toitekon-densaatori C_1 mahtu-vus μF	Keskmine võimsus W	Minimaal-ne vaheaeg lahendus-te vahel sek	Laadimis-takisti R_1 takistus Ω	Valgus-energia (luumen-sekund)	Iga tuhan-dates la-hendustes
ИФК-20	20	130	2500	2	10	0,16	200	10
ИФК-50	50	200	2500	5	10	0,32	700	10
ИФК-120	120	300	2500	12	10	1	2500	10
ИФК-500	500	500	4000	30	15	4	10000	10
ИФК-2000	2000	500	16000	130	15	0,45	60000	5
ИФБ-300	300	300	6500	40	7,5	2,5	5000	10
ИФП-200	200	1250	250	27	7,5	2,5	3500	3
ИФП-500	500	1800	300	65	7,5	3,5	12000	3
ИФП-1500	1500	2500	450	100	15	6	35000	3
ИФП-4000	4000	2000	2000	270	15	8	120000	3
ИФП-15000	15000	2400	5000	1250	12	1,8	500000	10
ИСТ-10	0,01	500	0,08	10	0,001	1	keskmine valgustuge-vus 0,5 K	20

Tabel 11

Süütepoolide ja -kondensaatorite andmeid

Lambid, millele sobib antud süütepool	Mähis I			Mähis II			Piirmõõtmed		Immutusmaterjal	Süütekondensaatori mahtuvus µF
	Keerdude arv	Mähise traadi mark	Traadi läbimõõt mm	Keerdude arv	Mähise traadi mark	Traadi läbimõõt mm	Läbimõõt mm	Pikkus mm		
ИФК-2000 ИФП-1500 ИФК-500 ИФП-200 ИФП-500 ИФК-20 ИФК-50 ИФК-120 ИСТ-10 ИФБ-300	25 27 30 30	ПЭЛ ПЭЛ ПЭЛ ПЭЛ	0,95 0,8 0,69 0,69	2500 3000 2000 2000	ПЭЩО ПЭЩО ПЭЩО ПЭЩО	0,15 0,07 0,06 0,06	21 8 7 7	50 30 20 20	Õli Kampoli ja tseresiini segu	1 4 0,1 0,5

särituskestus olema õige lühike. Särituskestus määratakse valemist:

$$t = C_1 R_1,$$

kus t on särituskestus mikrosekundites,

C_1 — toitekondensaatori mahtuvus mikrofaraditeS,

R_1 — laadimistakisti suurus oomides.

Välklambi ehitamisel on tarvis teada ksenoonlambi andmeid. Mõningad neist on toodud tabelis 10. Andmed gaaslahendust põhjustava pingeimpulsi tekitamiseks vajaliku süütepooli (Tr_2) ja süütekondensaatori (C_2) kohta on tabelis 11.

25. Välklambi ehitamine

Välklambi ehitamisel võib lähtuda joonisel 97 toodud skeemist. Selle skeemi järgi ehitatakse eraldi toiteosa ja süüteosa.

Toiteosa on mahukam ja paigutatakse kasti. Tema kokkumonteerimiseks tehakse alusraam 1,5 kuni 2 mm paksusest alumiiniumplekist. Antud juhul võiksid raami kuju ja mõõtmed olla sellised, nagu on näidatud joonisel 100. Alusraamile kinnitatakse järgmised üksikosad:

transformaator Tr_1 keerdude arvuga 2×36 ja 2×3150,

plokk-kondensaatorid C_3 ja C_4 0,015 µF, 600 V (mida joonisel pole näha),

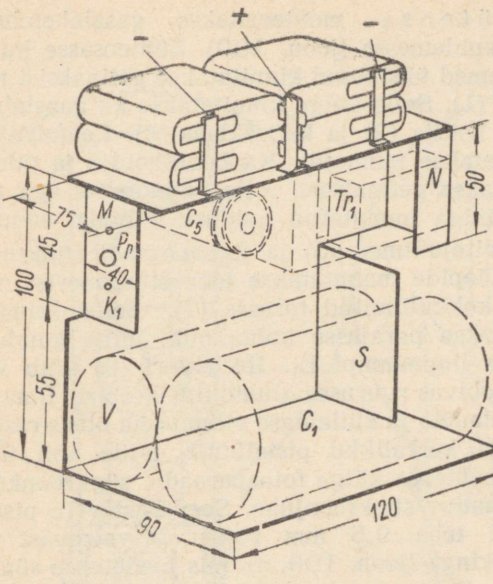
elektrolüütkondensaatorid C_5 30 µF, 20 V ja C_1 800 µF, 300 V,

vibraator V tüüp BC-4,8,

taskulambipatareid P 4,5 V, 4 tk.,

pistikupesad P_p toiteosa külge süüteosa lülitamiseks, 2 tk.,

toitelüliti K_1.



99. Välklambi üksikosade paigutus alusraamil.

Transformaator kinnitatakse kohale alusraami küljest välja ulatuva plekiriba N abil, mis painutatakse transformaatori ümber. Vibraatori jaoks kinnitatakse alusraami küljest välja ulatuva plekiriba S külge raadiolambi pesa. Patareid ühendatakse omavahel rööbiti ja paigutatakse alusraami peale. Klemmid patareide elektroodide külgelülitamiseks valmistatakse vetruvast pronksplekist. Äärmiste patareide negatiivse pooluse klemmid on ühendatud alusraamiga, positiivne klemm on sellest aga isoleeritud. Pistikupesad süüteosasse suunduvate toitejuhtmete lülitamiseks ja toitelüliti kinnitatakse alusraami küljest väljaulatuva plekiriba M külge.

Süüteosa monteeritakse gaaslahenduslambi L_2 käepidemesse (joon. 100). Süüteosasse kuuluvad väiksemad üksikosad kinnitatakse getinaksist raamistikule (1). Selle külge kinnitatakse ka gaaslahenduslambi hoidja (2) ja kaitseklaas (3). Raamistiku alla kinnitatakse punn (4). Ka lambihoidja ja punn valmistatakse getinaksist, selle puudumisel aga näiteks parafiiniga immutatud puidust. Punnist suunatakse läbi toitejuhtmed (5) ja fotoaparaadi sünkroonjuhe (6). Käepide mahutatakse joonestuspaberist nitroliimiga kokkuliimitud torusse (7). Selle seina sisse puuritakse parajasse kohta auk, mille kaudu saab jälgida huumlampi L_1. Reflektori (8) võib valmistada sobivas suuruses alumiiniumkulbist. Ilma heade tööriistadeta ja küllaldase vilumuseta oleks raske valmistada korralikku pistelülitit, mille abil ühendatakse süüteosa külge fotoaparaadi sünkroonkontakti K_2 suunduv sünkroonjuhe. Seepärast võib pistelüliti asemel teha 0,5 mm paksusest vetruvast plekist kaablikinga (joon. 100, a), mis joodetakse sünkroonjuhtme ühe soone otsa. Juhtme teise soone otsa joodetakse metallteravik.

Süüteosas sisalduvate põhiliste üksikosade andmed on järgmised:

gaaslahenduslamp L_2 — ksenoonlamp, tüüp ИФК-120,

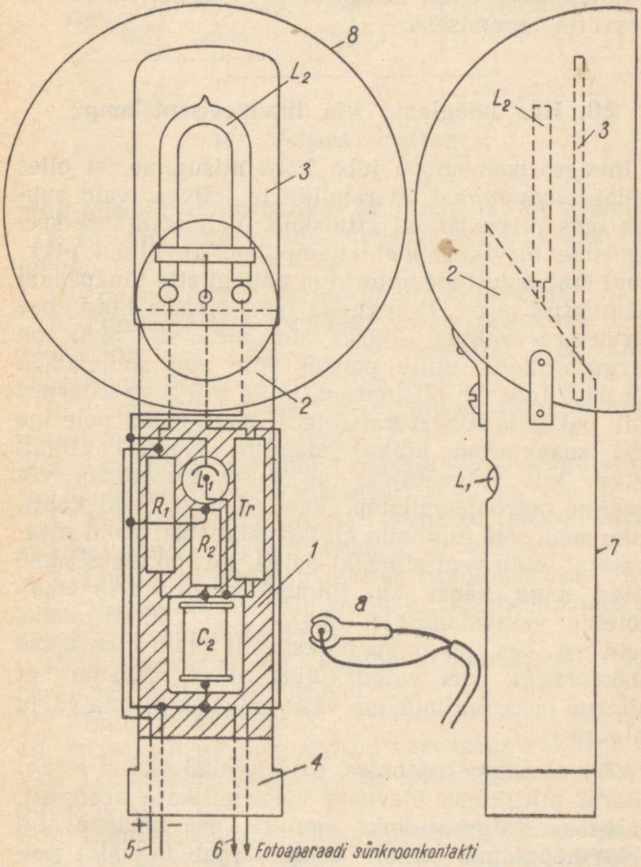
süütepool Tr — õhksüdamikuga, keerdude arv 20 ja 3000,

signaallamp L_1 — huumlamp, tüüp MH-8,

takisti R_1 — 3 MΩ, 0,25 W,

süütekondensaator C_2 — plokk-kondensaator 0,1 μF, 200 V.

Välklambi kasutamisel ühendatakse süüteosa sünkroonjuhtme abil fotoaparaadi sünkroonkontaktiga ja toitejuhtme ning selle küljes olevate pistikute Ps abil toiteosa pistikupesadega. Mõni aeg pärast



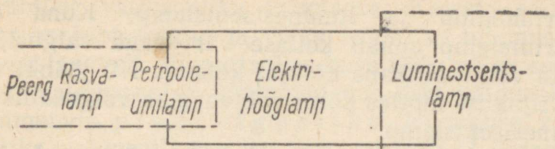
100. Välklambi süüteosa ja kaabliking (a) sünkroonjuhtme külgelülitamiseks.

toitelüliti K_1 sisselülitamist hakkab käepidemesse monteeritud huumlambike L_1 vilkuma. See näitab, et toitekondensaator on laetud ja välklamp on valmis ülesvõtte tegemiseks.

26. Kas hõõglamp või luminestsentslamp?

Inimese iseloom on juba kord niisugune, et olles midagi saavutanud, ei rahuldu ta sellega, vaid suunab oma pilgu jällegi ettepoole. Valgusallikate arenemistee tõrvikust elektrilampideni on olnud pikk. Isegi muinasjuttude autorid ei näinud ette tänapäeval saavutatud taset. Praegu on meil olemas igasuguse värvusega valgust kiirgavaid allikaid. Meil on kiirgusallikaid, mille paistel võib end soojendada või päevitada, ja niisugused, mille kiirguse sillerdus võib pakkuda ülevat naudingut. Kuid siiski pole me veel saavutanud kõike. Maailmas leidub küllalt paiku, kus valgustajaks on vilets rasvalamp või algeline petrooleumilamp. Veel enam on neid kohti, kuhu seni pole ulatunud elektrivalgustus. Kuid maailmas ei leidu veel ainustki paika, kus öö oleks sama valge nagu päev, kus inimene ei pruugiks enam mõtelda valgustamisele; kus valgus kõikjal otsiks meid ise üles, nii nagu päikesekiir otsib üles unise laiskvorstigi; kus valgusküllus oleks nii suur, et inimene hakkab ihaldama vastupidist ja otsima varju valguse eest.

Võib-olla annab joonisel 101 toodud skeem mõnel määral piltlikuma ülevaate valgusallikate arengust. Keskseks valgusallikaks osutub veel tänapäevalgi elektrihõõglamp. Ühelt poolt tõrjub ta välja petrooleumilampi, kuid samal ajal hakkab omakorda teda ennast välja tõrjuma luminestsentslamp. Viimane on juba leidnud tee tööstustesse ja asutustesse



101. Valgustite areng.

ning temaga valgustatakse ka tänavaid. Eluruumide valgustajana pole ta veel suutnud kuigi ulatuslikult levida.

Mis on siis luminestsentslambi puudusteks?

1. Luminestsentslampidega valgustusseadme maksumus on suur. Nii maksab 30-vatine lamp koos paispooliga praegusel ajal 55 rubla.

2. Luminestsentslampi saab uuesti süüdata alles pärast mõneaegset jahtumist.

3. Luminestsentslambi paispooli sumin väga vaikses kohas häirib ümbruskonda.

4. Vahelduvvooluvõrgust toitmisel, mõne luminestsentslambi valgus ülemäära virvendab.

5. Luminestsentslamp tekitab raadiohäireid.

6. Mitmes kohas pole sobiv luminestsentslampide praegune torutaoline kuju.

Kuid seevastu on luminestsentslampidel rida paremusi, millest olulisemad on:

1. Luminestsentslampe on võimalik valmistada nii, et nad kiirgavad soovitud värvusega valgust.

2. Luminestsentslambil on pikk iga — kuni 6000 tundi.

3. Luminestsentslampide valgusviljakus on suur.

Heitke kord pilk tabelile 12. Te leiate, et kõigist tänapäeval kasutusel olevatest elektrilampidest on kõige väiksem valgusviljakus vanimal lambil — hõõglambil. Suurima valgusviljakusega seevastu on

naatriumlamp ja luminestsentslamp. Kuna aga naatriumlamp annab kollase värvusega valgust, ei ole ta valgusallikana kõikjal kohane. Nii jääbki valgusviljakuse mõttes kõige sobivamaks valgusallikaks luminestsentslamp.

Arvestades luminestsentslambi mõningaid õige kaaluvaid paremusi, võrdleme teda praegu üldkasutatava hõõglambiga. Kui tavaline hõõglamp tekitab keskmiselt oma võimsuse iga vati kohta valgusvoo 15 luument, siis luminestsentslamp annab 45 luumenit vati kohta, seega kolm korda rohkem. Järelikult vastab 30-vatine luminestsentslamp 90-vatisele hõõglambile.

Arvutused näitavad, et minnes tavalistelt hõõglampidelt üle luminestsentslampidele, saaks meie maal säästa aastas nii palju elektrienergiat, kui palju suudaksid sama aja vältel toota umbes kolm Dneprogessi taolist hüdroelektrijaama.

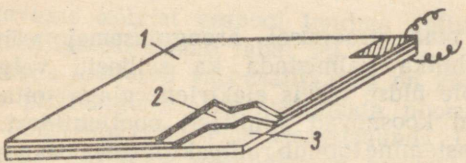
Niisugused arvutused on küll huvitavad, kuid tegelikku elu nad täiel määral ei peegelda, sest koos valgusallikate arenemisega kasvavad pidevalt ka töötajate nõudmised tugevama ja parema, päevavalgusega sarnaneva valgustuse järele. Seepärast paigaldatakse ka luminestsentslampe, vaatamata nende suuremale valgusviljakusele, ikkagi niisugusel hulgal, et valgustuseks tarbitava energia säästmise asemel see energiakogus jääb endiseks või koguni kasvab.

27. Pindvalgusti

Nagu eespool luminofooride käsitlemisel selgus, võivad mõned neist (nagu tsinksulfiid ja tsinksilikaat) helendada ning valgustada ka vahelduva elektrivälja mõjul. Kui ületada mõningad tehnoloogilised raskused, võiks järelikult seda nähtust kasutada

uuetüübilise valgusallika loomiseks. Katseid selles suunas on juba tehtud ja võiks öelda, et tulemused on lootustandvad. Plaaditaolise kuju tõttu võiks seda elektroluminestsentsil põhinevat uut liiki valgusallikat nimetada pindvalgustiks. Niisuguse valgusallika valgusviljakus on tema praegusel arengutasemel 6 kuni 8 lm/W. Võrrelgem seda esimese Edisoni hõõglambi valgusviljakusega, mis oli 2,1 lm/W.

Selle uut liiki valgusti ehitusest ettekujutuse saamiseks heidame pilgu joonisele 102. Pindvalgusti



102. Pindvalgusti: 1 — läbipaistev elektrit juhtiv kiht, 2 — luminofoorikiht, 3 — metallplaat.

koosneb kolmest kihist. Tema esiküljel, mis levitab valgust, on läbipaistev elektrit juhtiv kiht. Niisugused kihid võib kanda ka tavalisele klaasile. Valgusti varjatud tagakülje moodustab õhuke metallplaat. Nende kahe juhtiva kihi vahel on millimeetripaksune isoleeriv luminofoorikiht. Toiteallikas ühendatakse valgusti esi- ja tagakihi vahele.

Niihästi teoreetiline arvutus kui ka katsed tõendavad, et sellise valgusti valgusviljakus on võrdeline sageduse ja pingega.

Pindvalgustile võib ennustada suurt tulevikku. Seni tuntud kolmemõõtmeliste ehk ruumiliste valgustite kõrval on ta ainukeseks tõeliselt kahemõõtmeliseks — pinnakujuliseks valgustiks. Väikese heleduse

tõttu ei pimesta ta vaatajat. Valgus levib temalt igas suunas ühtlaselt. Oma omapärase ehituse tõttu tõotab pindvalgusti pakkuda arhitektuuris ja mujal väga laialdasi ning mitmekesiseid kasutamisvõimalusi. Seni on sel põhimõttel ehitatud valgusteid kasutatud valgusreklaamis, helendavate liiklusmärkide ja trepiastmete valmistamiseks ning mujal. Ameerika Ühendriikides, kus neid valgusteid toodetakse tööstuslikult, nimetatakse neid oma pinnakujulise välimuse tõttu panelestsentsvalgustiteks. Neid valmistatakse pingele 120, 220 või 600 volti. Pindvalgustite iga on väga pikk — kuni paarkümmend aastat.

Juba oma praegusel arengutasemel võimaldab tuumatehnika valmistada ka selliseid valgusteid, mida pole üldse tarvis elektrienergiaga toita. Need valgustid koosnevad põhiliselt pooljuhtidest. Pooljuhi ergastamine toimub radioaktiivsete isotoopidega. Niisugune võimalus pole meile uudiseks. Me kõnelesime sellest juba eespoolgi. Seniajani on sedalaadi valgusallikate — pooljuhtvalgustite arenemist takistanud radioaktiivsete ainete vähesus.

Ei ole tarvis eriti suurt mõttelendu, et kujutleda tuleviku asulaid hoopis ilma valgustiteta, kuid valgustatuna siiski meeldivamalt ja värvirikkamalt kui tänapäeval. Me tunneme paljusid luminofoore, mille helenduskestus ulatub tundidesse. Praegu on need veel väga kallid, neid on väga vähe ja nende helendus on nõrk. Enamik neist pole ka ilmastikukindlad. Tehnika ja keemia areng võib viia meid aga kord selleni, et pikaajaliselt helendavate luminofooridega kaetakse majade seinu ja võib-olla ka väljakuid ja kõnniteid. Päeva jooksul neelavad need luminofoorid päikesevalgust, öösel aga helendavad sellest tekkinud ergastuse mõjul. Ja tõepoolest, milleks on siis veel vaja mingeid erilisi valgusteid?

28. Joonlaud ennustab

Tutvunud kõigi ajakohaste kunstlikku valgust tekitavate valgusallikatega, võiksime nad jagada järgmistesse põhirühmadesse:

1) kuumvalgusallikad — küünal, elektrihõõglamp;

2) tahkete kehade elektroluminestsentsil põhinev pindvalgusti;

3) gaaslahenduse helendusel põhinevad külmvalgusallikad — gaaslahenduslambid;

4) segavalgustid.

Ülevaate kõigist eespool tundma õpitud elektrivalgusallikatest annab tabel 12.

Tabelis loetletud valgusallikatest on kõige nooremaks pindvalgusti. Ent vaatamata noorusele võib juba nüüd ette näha tema arengusuunda. Üheks lihtsamaks ennustamise meetodiks on, kui nii võib öelda, ennustamine joonlaua abil. Selleks on vaja kindlate vahemike tagant märkida millimeetripaberile üksikuid arengujärke iseloomustavad punktid ja need joonlaua abil ühendada. Edaspidist arenguteed näitab siis joonlaua abil millimeetripaberile tõmmatud kõverjoone pikendus. Heitke nüüd pilk joonisele 103. Sellest selgub, et

1) hõõglambi edasine areng on lakanud;

2) luminestsentslambi areng küll jätkub, kuid võrdlemisi aeglaselt ja tõenäoliselt ei saavuta ta isegi 1970. aastaks valgusviljakust 70 lm/W;

3) pindvalgusti valgusviljakus ulatub juba 1960. aastal ligemale 25 luumenile vati kohta ja ületab 1970. aastal luminestsentslambi piirväärtuse 60 lm/W; kuid sellega tema areng veel ei lakka, vaid jätkab oma pidevat ja järsku tõusu.

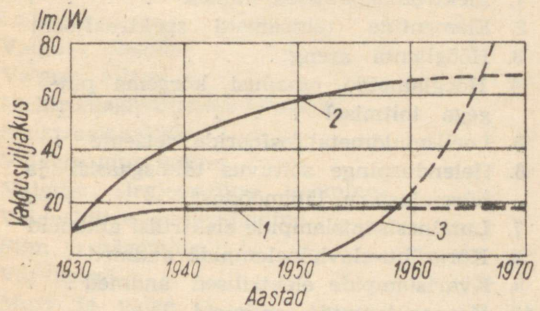
Nii ennustab joonlaud. Tegelikku arengut muidugi näitab elu ise. Meie hulgast jälgivad paljud

Tabel 12

Ülevaade elektrivalgusallikatest

Aluseks olev füüsikaline nähtus	Tehniline kujundus — valgusallika liik	Valgusvoog lm	Valgusviljakus lm/W	Heleduse värvus
1	2	3	4	5
Kõrgel temperatuuril tekkiv kiirgus	Hõõglamp	0,1 ... ... 100 000	10 ... 20	Kollakasvalge
	Leeklamp	5000 ... 100 000	15 ... 25	Valge
Gaaslahenduse helendus	Neoon- ja argoonlamp ning madalrõhuelavhõbelamp	100 ... 500	15 ... 20	Punane, sinine
	Naatriumlamp	3000 ... 6000	70	Kollane
	Kõrgrõhuelavhõbelamp	5000 ... 100 000	40 ... 50	Sini-valge
	Ksenoonlamp	2000 ... 100 000	25	Valge
Tahkete kehade elektroluminestsents	Pindvalgusti	10 ... 500	4 ... 8	Kõik värvused
Gaaslahenduse helendus ja tahkete kehade luminestsents	Luminestsentslamp	500 ... 5000	30 ... 60	Kõik värvused
	Luminofooriga kõrgrõhulambid	3000 ... 50 000	35 ... 50	Valge

1	2	3	4	5
Gaaslahenduse helendus ja kõrgel temperatuuril tekkiv kiirgus	Segalambid	4000 ... 8000	18 ... 22	Kollane ja valge



103. Elektrivalgusallikate areng: 1 — hõõglamp, 2 — luminestsentslamp, 3 — pindvalgusti.

kunstlike valgusallikate edasist arengut ilma sellele otseselt kaasa aitamata. Võib-olla aga annab käesoleva raamatu läbitöötamine mõnelegi tõuke selleks, et nad lülituvad teadlaste ja leiduritena võitlusse parema valgustuse loomise eesmärgil.

TABELID

Tabel	1.	Elektromagnetilised lained	17
„	2.	Elementide tähtsamaid spektraaljooni	19
”	3.	Hõõglambi areng	61
”	4.	Hõõglampide omadusi kõrgema pingega toitmisel	67
„	5.	Leelismuldmetallfosfooride retsepte . .	78
„	6.	Helenduspinge sõltuvus täidisgaasist ja hõrendustoru läbimõõdust	102
”	7.	Luminestsentslampide elektrilisi andmeid	116
”	8.	Kõrgrõhu-elavhõbelampide andmed . .	135
„	9.	Kvartslampide elektrilised andmed . .	140
”	10.	Ksenoonlampide andmeid	150
„	11.	Süütepoolide ja -kondensaatorite andmeid	151
”	12.	Ülevaade elektrivalgusallikatest . . .	162

SISUKORD

Saateks 3

I. Valgus

1. Valguse olemus 5
2. Valguse kiirus 11
3. Elektromagnetilistest lainetest 14
4. Spektraalanalüüs 18
5. Valguse murdumine 19
6. Valguse sirgjooneline levimine 24
7. Valguskiirte peegeldumine 27
8. Silm ja nägemine 32
9. Värvustest 36
10. Must ja valge 39
11. Valguse mõõtühikud 43

II. Elektrivalgustus

1. Tõrvikust gaasivalgustuseni 46
2. Leeklamp 52
3. Süsiniitlamp 55
4. Metallniitlamp 57
5. Ajakohane hõõglamp 58
6. Hõõglamp välkvalguse allikana 66
7. «Külm valgus» ja selle allikad 68
8. Fosfooride valmistamine 73
   Leelismuldmetallfosfoorid 75
   Tsinksulfiidfosfoorid 77
   Tsinksilikaatfosfoorid 80
   Muid fosfoore 81

9. Lihtsad katseabinõud 82
10. Seadmeid fotoluminestsentsi vaatlemiseks . . 83
11. Luminofooride kasutamine 86
12. Elektrivool gaasides 91
13. Täidisgaasi valik 102
14. Gaaslahenduslambid 103
15. Tutvumiskäik gaaslahenduslampide töökotta . 104
16. Luminestsentslamp 111
17. Luminestsentslampide lülitusi 116
18. Abiseadised 121
19. Luminestsentslampide paigaldamine 127
20. Elavhõbelamp 131
21. Kvartslamp ehk kõrgustikupäike 138
22. Naatriumlamp 144
23. Ksenoonlamp 145
24. Välklamp 147
25. Välklambi ehitamine 152
26. Kas hõõglamp või luminestsentslamp? . . 156
27. Pindvalgusti 158
28. Joonlaud ennustab 161

Вардья Даниэль Петрович

О СВЕТЕ И ОСВЕЩЕНИИ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja H. Korpmann
Kunstiline toimetaja I. Torn
Tehniline toimetaja L. Uuspõld
Korrektorid O. Sepp ja S. Aron

Ladumisele antud 4. III 1960. Trükkimisele antud 23. VI 1960. Paber 70×92, 1/32. Trükipoognaid 5,25 + 1 kleebis. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 6,18. Arvutuspoognaid 6,32. Trükiarv 8000. MB-05306. Tellimise nr. 2489. Hans Heidemanni nimeline trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19.

Hind 3.40

3—4

Rbl. 3.40

A
23362

3334481

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00333448 1