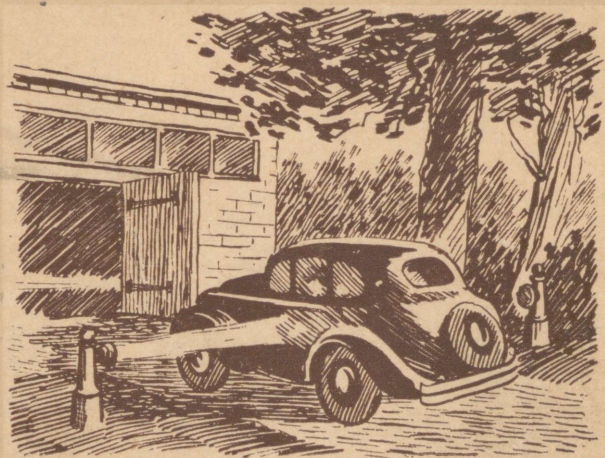


POPULAARTEADUSLIK SARI



V. A. MEZENTSEV

*Elektriline silm*

---

---

8116

V. A. MEZENTSEV

# ELEKTRILINE SILM

(FOTORAKUD JA NENDE RAKENDAMINE)



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1950 TARTU

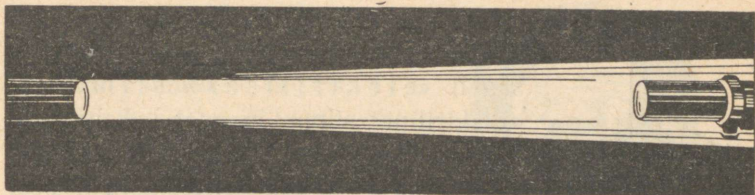
Originaali tiitel:

В. А. Мезенцев. Электрический глаз (фотоэлементы и их применение).  
Военное издательство министерства вооружённых сил Союза ССР.  
Москва, 1948.

Tõlkinud H. Kurg.

2





## Sissejuhatus.

Igaüks meist on käinud kinos. Veel üsna hiljuti, kaks-kümmend, kaks-kümmend viis aastat tagasi, nimetati kino «suureks tummaks». Kinoteatris näidati ainult elavaid pilte selgitavate pealkirjadega. Kuid siis hakkas «suur tumm» kõnelema: kinos hakkasid kostma kõige mitmekesisemad hääled — lahingumüra ja okste kahin, kõne ja laul.

Milline aparaat muutis tummkino heliliseks?

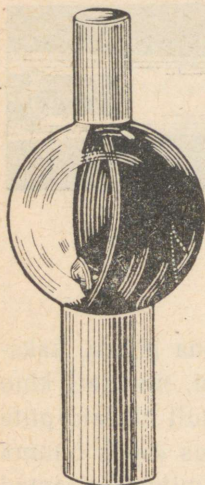
Vaadake joonist nr. 1. Te näete päris väikest ja pealt-näha väga lihtsat seadist. See on väike elektrimasin. Teda nimetatakse **f o t o r a k u k s**.

Alles selle seadise leiutamisega osutus võimalikuks muuta tummkino heliliseks. See seadis on heliparaadi üks põhilisi osi.

Fotorakku kasutatakse mitte üksnes kinos. Teda rakendatakse kaasaegses elus väga laialdaselt ja fotoraku kasutamise võimalused on lihtsalt piiramatud.

Kujutiste edasiandmine telegraafijuhtmete kaudu ja raadiolainete abil, keeruliste tööpinkide töö automaatne juhtimine, mitmesuguste masinate ja seadiste automaatne sisse- ja väljalülitamine, toodete kvaliteedi kontrollimine, täpsemad valguse mõõtmised — kõike seda, nagu palju muudki, teostatakse fotoraku abil.

Elektrivool tekib fotorakus valguse mõjul. See seadis



Joon. 1. Tänapäeva  
fotoraku väline kuju.

töötab ainult siis, kui tema peale langeb valgus. Seepärast nimetatakse fotorakku sageli «elektriliseks silmaks». «Elektriline silm» loendab eksimatult, praagib, väldib õnnetusjuhtumeid, peab täpselt valve- ja tuletõrjeteenistust. Veel enam: «elektriline silm» «näeb» ülihästi pimedas sadade meetrite kaugusele, selal kui inimene neil juhtumel ei seleta esemete piirjooni isegi kahe sammu kaugusel!

Kuidas on ehitatud see haruldane seadis — fotorakk, millisel viisil tekib temas elektrivool, millised «elektrilise silma» eri liigid on olemas, kus ja kuidas neid rakendatakse elus — sellest kõigest jutustatakse meie raamatus.

## I. Valguse tekitatud elekter.

### 1. Suure vene füüsiku katsed.

Möödunud sajandi lõpul, 1888. aastal, tegi Moskva ülikooli professor Aleksandr Grigorjevitš Stoletov (joon. 2) väga huvitavaid katseid. Ta vaatles elektrivoolu teket valguse mõjul!

Neid katseid tehti järgmiselt.

Kaks väheldast ketast — üleni metallist plaat ja peen metallvõrk — kinnitati püstloodis teineteise vastu. Kettad ühendati omavahel traadiga, mis omakorda oli järjestikku ühendatud elektripatareiga ja tundliku seadisega nõrkade elektrivoolude mõõtmiseks — galvanomeetriga (joon. 3).

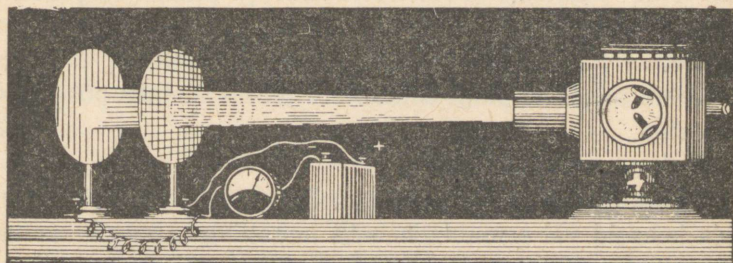
Sel teel saadi nõndanime-  
tatud elektri ahel, mis  
koosnes esimesest kettast,  
elektripatareist, galvano-  
meetrist, teisest kettast ja  
neid ühendavatest traati-  
dest. Et see ahel oli kat-  
kestatud — ketaste vahel  
oli õhuruum —, siis temas  
loomulikult elektrivoolu ei  
täheldatud, kuigi ahelasse  
oli lülitatud elektripatarei.  
Kuid imelik asi: niipea kui  
metallplaadile juhiti tugev  
kaarleegi valgus, märkis  
galvanomeeter otsekohe, et  
ahelas on elektrivool! Mil-  
les seisnes asi?



Joon. 2. A. G. Stoletov (sündinud  
1839. a., surnud 1896. a.)

Ilmnes, et valgus nagu kannaks elektrilaengud ühelt  
kettalt teisele — plaadilt võrgule.

Stoletov võttis oma katseteks väga mitmesugustest  
metallidest kettaid: alumiiniumist, vasest, tsingist, hõbe-  
dast, niklist; ja kõigil juhtudel ta täheldas, kuidas tema



Joon. 3. A. G. Stoletovi katse.

katseseadeldise ahelas tekkis kaarleegi valguse mõjul elektrivool... kui ainult valgustatav metallplaat oli ühendatud patarei negatiivse poolusega, võrk aga positiivse poolusega!

Kui aga patarei poolused asetatakse ümber, s. t. metallplaat ühendatakse positiivse ja võrk negatiivse poolusega, siis ei teki ahelas voolu, millisest metallist kettad ka poleks.

Ilmnes, et valgus on võimeline kandma plaadilt võrgule ainult negatiivseid elektrilaenguid.

«Kaarleegi kiired, sattudes negatiivselt laetud keha pinnale, viivad temalt laengu... positiivne laeng jääb kiirte poolt viimata,» nii märgib A. G. Stoletov üles järeldused oma esimestest katsetest.

Olles huvitatud sellest iseäralikust füüsikalisest nähtusest, teeb Stoletov järjest uusi katseid.

Ta teeb kindlaks, et valguse mõju ketastele on tegelikult silmapilkne: piisab valgustada plaati  $\frac{1}{150}$  sekundi vältel, kui galvanomeeter juba märgib tekkinud elektrivoolu!

Ta proovib valgustada kettaid valgusega mitmesugustest allikatest: elektrikaare, bensiinilambi ja päikese valgusega, ja jõuab järeldusele, et kõige paremini mõjuvad kaarleegi kiired.

Lõpuks teeb Stoletov veel huvitavama katse. Ta kõrvaldab oma seadeldisest elektripatarei ja püüab valgustada täiesti laadimata plaate.

Ka sel juhul tekib ahelas elektrivool!

Üleni metallist plaat osutub sealjuures laetuks positiivse elektriga.

Valgus tekitas elektri!

Valguskiirte hämmastav omadus positiivselt elektriseerida kehasid või eemaldada neilt negatiivne laeng — omadus, mida esmakordselt põhjalikult uuris suur vene teadlane A. G. Stoletov — nimetati fotoelektriliseks efek-

tiks ehk lühemalt fotoefektiks (ladina päritoluga sõna «efekt» tähendab «mõju», «toime» ja «fotos» tähendab kreeka keeles «valgus»).

See nähtus — valguse mõju keha elektrilaengutele — ongi tähelepanuväärse seadise — fotoraku aluseks. Sellest seadisest jutustatakse meie raamatus.

Milles on fotoelektrilise efekti põhjus? Mispärast ja kuidas tekib elektri ahelas vool valguskiire sattumisel metallplaadile?

Et kõike seda hästi mõista, on vaja meelde tuletada, mis toimub kehade elektriseerumisel.

## 2. Mis toimub kehade elektriseerumisel?

Te muidugi teate, et kõik meid ümbritsevad kehad koosnevad nähtamatutest pisiosadest — a a t o m i t e s t. Nende osakeste eri liikide arv pole suur. Kuid nad võivad üksteisega ühineda kõige mitmekesisemates kombinatsioonides, moodustades püsivaid grupe — m o l e k u l e. Sellega on ka seletatav, et vähestest aatomite eri liikidest on ehitatud meid ümbritsevate kehade erakordselt mitmekesine maailm.

Üksikute aatomite mõõtmed on äärmiselt väikesed — nad ei ületa paari sajamiljondikku sentimeetrit. Seepärast on selge, et igas aine tükis, millega meil tavaliselt on tegemist, on aineosakeste — aatomite ja molekulide — arv erakordselt suur. Nii näiteks on ühes grammis vees veemolekule

30 000 000 000 000 000 000 000.

See on — kolmkümmend tuhat miljardit korda miljard osakest!

Otsustage ise, kuivõrd väike on iga üksiku molekuli ja iga üksiku aatomi mass!

Vaatamata aatomite ja molekulide kaduv-väikestele mõõtmetele, teatakse neist nähtamatutest osakestest nüüd vägagi palju. Õpetlased leidsid, millega võrdub nende mass, s. t. nad suutsid ära kaaluda üksikud aatomid, uurisid üksikasjaliselt mitmesuguste aatomite ja molekulide paljusid omadusi. Ja viimase 50 aasta jooksul tegid füüsikud kindlaks, et aatomid on keeruliselt ehitatud maailmad.

Aatom on ehitatud järgmiselt. Aatomi keskel on positiivse elektrilaenguga tuum. Selle tuuma mõõtmed on umbes 100 000 korda väiksemad aatomi mõõtmetest. Laengu suurus ja aatomituuma mass on eri aatomitel erinev. Positiivselt laetud tuuma ümber tiirlevad negatiivselt laetud elektriosakesed — elektronid. Nad moodustavad nn. aatomi elektronkatte. Elektronid kujutavad endast omamoodi «negatiivse elektri aatomeid»: need aine väikseimad algosakesed kannavad enesega väikseimat negatiivset elektrilaengut. Kõikide elektronide laengud on ühesugused.

Erinev on ka elektronide arv eri aatomeil. Näiteks on vesiniku aatomis ainult üks elektron, heeliumi aatomis kaks elektroni, hapniku aatomis kaheksa elektroni jne.

Elektronide summaarne laeng on võrdne tuuma laenguga. Nii on mistahes aatom oma normaalses olekus elektriliselt neutraalne — vastasmärgilised laengud neutraliseerivad teineteise.

Me ei hakka selles raamatukeses rääkima aatomituuma ehitusest ja tungidest, mis seovad aatomituuma tema kattega. Sellest jutustatakse üksikasjaliselt teistes raamatutes. Et saada aru fotoelektrilise nähtuse olemusest, piisab meile neistki lühidaist andmeist aatomi kohta.

Ja nüüd, meenutanud, kuidas on ehitatud aatom, pole raske mõista sedagi, kuidas teostub kehade elektriseerumine.

Kehade elektriseerumisel toimub alati positiivsete ja negatiivsete laengute eraldumine. Kuidas võib see toimuda?

Nähtavasti on selleks tarvilik mingil viisil «ära võtta» üks või mitu elektroni ühe keha elektronkattest ja «üle kanda» need elektronid teise keha aatomite elektronkattesse.

Mis toimub sel juhul? Aatomid, millelt on «ära võetud» üks või mitu elektroni, pole enam neutraalsed! Nende tuuma positiivne laeng on suurem kui elektronkatte üldine negatiivne laeng. Järelikult on ka aatom tervikuna positiivselt laetud. Sellist pisiosakest nimetatakse p o s i t i i v s e k s i o o n i k s. Niisiis, kui positiivsete ionide arv on kehas küllaldaselt suur, on ka kogu keha tervikuna positiivselt laetud.

Ja vastupidi, üleliigsete, «võõraste» elektronidega aatomitel on negatiivne laeng. Neid nimetatakse n e g a t i i v s e t e k s i o o n i d e k s. Kui selliseid negatiivseid ioone on kehas palju, siis on ta tervikuna negatiivselt laetud.

«Eraldatud» elektronid võivad jääda kehas ka «vabasse» olekusse; sel juhul pole nad seotud mingisuguste kindlate aatomitega.

Järelikult, kehade elektriseerumine on sama, mis neutraalsete aatomite ühe osa muutumine laetud osakesteks — ionideks.

Selleks on muidugi tarvis teha tööd, sest elektrone, mis kuuluvad aatomi koosseisu, hoitakse seal elektriliste tungidega kinni. Et kiskuda välja aatomi elektronkattest kasvõi üksainus elektron, s. t., nagu öeldakse, ioniseerida see aatom, selleks on vaja ületada aatomit siduvaid elektrilisi tunge. Aga seda on võimalik teha ainult kulutades teatav hulk energiat, s. t. tööga. Seda tööd nimetatakse aatomi «i o n i s e e r i m i s e t ö ö k s». Seda võib teostada näiteks soojusenergia arvel, teiste sõnadega keha soojendamise teel kõrge temperatuurini. Aatomeid võib aga ioniseerida ka valgusenergia arvel.

Niisiis, mida oleme saanud teada? Esiteks seda, et kõi-

kide ainete aatomid ja ka molekulid koosnevad elektriliselt laetud osakestest. Ja teiseks, kui mingi keha saab elektrilaengu, siis tähendab see alati, et selle keha aatomid kas on kaotanud osa oma elektronidest või, vastupidi, omandanud teatava arvu liigseid elektrone. Need liigsed elektronid on kas ühinenud keha aatomitega, tekitades negatiivseid ioone, või jäänud kehas vabasse olekusse, ühinemata mingisuguste kindlate aatomitega.

Peab ütlema, et «vabu», ühinemata elektrone on alati olemas mõnedes ainetes ka täiesti ilma mingisuguse elektriseerimiseta. Selliste ainete hulka kuuluvad eriti kõik metallid. Mistahes metallitükis on alati olemas hulk elektrone, mis on oma tuumast lahti kistud üksikute aatomite vastastikuse toime tulemusena. Sellised «vabad» elektronid ei kuulu juba enam mõnele üksikule aatomile, vaid kogu metallitükile kui tervikule ja nad võivad vabalt «rännata» mööda kogu metallitükki. Sellega seletubki metallide hea elektrijuhtivus — sest elektrivool metallides ongi selliste «vabade» elektronide liikumine negatiivselt elektrodilt positiivse poole elektriliste tungide mõjul.

Haihtuda metallitükist, välja lennata ümbritsevasse ruumi «vabad» elektronid ei saa; seda takistavad tungid, mis toimivad tahkete kehade pindadel. Et välja kiskuda metallist vabu elektrone, tuleb samuti nagu aatomite ioniseerimiselgi sooritada teatavat tööd. Seda tööd nimetatakse väljumistööks. Väljumistöö suurus on väiksem üksiku aatomi «ioniseerimise tööst».

Nüüd, teades, milles seisneb kehade elektriseerumise olemus, te võite juba vaevata aru saada, mis nimelt toimub fotoelektrilise efekti puhul.

### 3. Fotoelektrilise efekti põhiseadused.

Tuletage meelde A. G. Stoletovi katseid. Niipea kui õpetlane valgustas negatiivselt laetud metallplaate valguskiirtega, tekkis ahelas elektrivool. Valgus oleks nagu «välja löönud» plaadilt negatiivse laengu ja kandnud selle üle võrgule.

Mida see võib tähendada? Ainult üht: et valguskiired on ilmselt võimelised metallist «välja lööma» ja ümbritsevasse ruumi heitma neid ülearuseid laetud elektriosakesi, millede tõttu keha osutubki elektriliselt laetuks.

Pole raske aru saada, nimelt millised osakesed lüüakse valgusega kehast välja. Need on negatiivselt laetud osakesed — elektronid.

Tähendab, selles ongi fotoelektrilise efekti olemus! Ta seisneb selles, et valguse mõjul pääsevad kehast välja elektronid! Teiste sõnadega: valgus on suuteline teostama seda väljumistööd, mis on vajalik «vabade» elektronide lendamiseks väljapoole ainet.

Ning ruumi väljalendavad elektronid — need polegi muud kui elektrivool!

Just sellepärast tekkiski Stoletovi seadeldise ahelas vool iga kord, kui patarei negatiivse poolusega ühendatud plaadile sattus valguskiir. Sel juhul tekkis seadeldise elektri-ahelas ühendus: õhuruumis või õhuta ruumis (Stoletov tegi katseid ka õhu väljapumpamisega) tekkis ketaste vahel vool.

See on fotoefekti olemus.

Millised on siis selle märkimisväärse nähtuse seadused?

Meenutagem kõigepealt seda, et fotoelektrilise voolu saamiseks on vajalik valgustada «sobivate» kiirtega mingisugust keha, kusjuures see ei tarvitse olla tahke keha, vaid võib olla ka vedel või gaasiline.

Kuid mida tähendavad «sobivad» kiired? Millised on kiired üldse? Arutlegem seda küsimust.

On teada, et näiteks päikese või elektrilambi valgus on liitvalgus. Tema koostisse kuulub mitut liiki nõndanime-  
tatud «lihtsaid» ehk ühevärvilisi kiiri. Meenutage näiteks vikerkaart: selles te näete just kõiki neid kiiri, mis moodustavad valge liitvalguse. Kõik need nähtavad kiired mõjuvad meie silmale erinevalt. Ühed neist loovad sinise, teised rohelise, kolmandad punase jne. värvuse aistingu. Segunedes kindlates vahekordades, annavadki need kiired valge valguse. Neid võib segada ka teistes vahekordades; siis näib valgus meile purpursena, indigovärvilisena jne.

Peale nende nähtavate valguskiirte on teada samuti palju nähtamatuid kiiri; need ei loo meie silmas valguseaistingut, kuid neid võib kindlaks teha nende muude toimete kaudu. Selliste kiirte hulka kuuluvad: ultraviolettkiired — need mõjuvad tugevalt fotoplaadile ja tekitavad naha «pruunistust»; infrapunased kiired, mida on palju päikese ja lampide kiirguses — need on soojuskiired, mis soojendavad kiirte teele sattunud esemeid; röntgenikiired, milledega arstid «valgustavad läbi» meie keha ja insenerid mitmesuguseid läbipaistmatuid materjale. Nähtamatute kiirte hulka kuuluvad ka r a a d i o l a i n e d.

Kõik need nähtavad ja nähtamatud kiired, kuigi nad üksteisest tugevasti erinevad, on ühe ning sama loomusega. Kõik nad on maailmaruumis tohutu kiirusega (300 000 kilomeetrit sekundis) levivad nõndanime-  
tatud elektromagnetilised lained (lähemalt valgusest vt. raamatut: I. M. Kušnir, «Aken nähtamatusse», Tallinn—Tartu, 1950).

Mitmesugused kiired erinevad üksteisest ainult lainepikkuse poolest. Nii näiteks on nähtavatel punastel

kiirtel lainepikkus umbes 6—7 sajatuhandikku ja sinistel umbes 4 sajatuhandikku sentimeetrit. Ultraviolettkiirte lainepikkus on veel väiksem. Infrapunased kiired vastavad lainetele pikkusega 8-st sajatuhandikust sentimeetrist umbes 1 sajandiku sentimeetrini. Raadiolainete pikkus ulatub aga paarist sentimeetrist mitme tuhande meetrini (vt. joon. 4).

Nagu te näete joonisest, pole olemas teravat üleminekut ühtedelt kiirtelt teistele. Nii näiteks ei erine kõige lühemad raadiolained ja kõige pikemad soojuskiired millegagi teine-



Joon. 4. Eri kiired erinevad üksteisest ainult lainepikkuse poolest.

teisest. Nad on üks ja seesama. Ja üldse võib öelda, et kõik kiired — nähtavad ja nähtamatud — moodustavad ühise pere.

Kuid millised kiired kutsuvad esile fotoelektrilise efekti?

Selgub, et iga aine suhtes on olemas kindel valguslaine pikkus, mis on fotoelektrilise efekti nn. «pikalaineliseks» piiriks. See tähendab, kui kiirte lainepikkus ületab selle piiri, siis nad ei kutsu esile mingit fotoelektrilist efekti, ei suuda välja rebida ühtegi elektroni. Te võite näiteks tsinkplaadile suunata ükskõik millise koguse kiirgusenergiat punaste või teiste nähtavate kiirte näol ja te ei saa ühtegi väljarebitud elektroni ehk, nagu teda veel nimetatakse, fotoelektroni. Vastupidi, piisab hoopis vähesest valgusekogusest ultraviolettkiirtena, et saada terve hulk selliseid elektrone. Just sellepärast tekitasid Stoletovi

katsetes fotoefekti kaarleegi kiired, mis sisaldavad rohkesti ultraviolettkiiri.

Enamikule metallidest — sellistele, nagu kuld, plaatina, nikkel, ning üldse enamikule ainetest — mõjuvad ainult ultraviolettkiired. Ainult sellistel metallidel, nagu kaalium, naatrium, tseesium ja mõned teised, esineb fotoelektriline efekt ka nähtava valgusega valgustamisel.

Kuid millest veel peale kiirguse lainepikkuse oleneb aine «väljalöödud» elektronide arv?

Kas oleneb see arv ka valguse heledusest, s. t. kehale langeva valgusenergia kogusest?

Jah, oleneb.

Ning see sõltuvus on täiesti kindel. Kui mingisugused valguskiired rebivad välja metallitükist elektrone, siis on selliste elektronide arv alati seda suurem, mida rohkem valgust langeb sellele tükile.

Sellest räägib fotoefekti põhiseadus: eraldunud elektronide arv on võrdeline pinnale langeva kiirguse tugevusega.

Paljud uurijad on kontrollinud seda seadust mitmel viisil. Ühed muutsid langeva valguse tugevust, muutmata laine pikkust, ja mõõtsid väljalendavate elektronide arvu teatava ajavahemiku, ütleme, ühe sekundi jooksul; teised andsid püsiva tugevusega valgust, kuid muutsid tema toime aega ja mõõtsid väljalendavate elektronide arvu mitmesuguste ajavahemikkude jooksul. Seejuures muudeti valguse tugevust ja valgustamise aega väga laias ulatuses. Näiteks muudeti valguse tugevust viiskümmend miljonit korda! Kuid kõigil juhtudel saadi üks ja sama tulemus: kindla lainepikkusega valguse puhul tuleb langeva kiirgusenergia iga ühiku kohta üks ja sama hulk väljalendavaid elektrone.

Juba neid fotoefekti seaduspärasusi oli esialgu väga raske seletada järgmistel põhjustel. Nagu me juba ütlesime, on valgus ruumis leviv elektromagnetiline lainetus. See oli juba XIX sajandil tõestatud terve rea ümberlõkamatute katsete varal.

Kuid oli väga raske sellelt seisukohalt seletada, miks fotoelektronide arv on sõltuv kehale langeva valguse hulgast, ja eriti, miks eri lainepikkusega valguskiired erinevalt mõjuvad mitmesugustele ainetele.

Vähe sellest. Veel suuremad mõistatused ja täiesti seletamatud vasturääkivused ilmusid füüsikute ette, kui nad hakkasid uurima küsimust fotoelektronide kiirusest, s. t. küsimust sellest energia tagavarast, mille omandab valguse mõjul iga väljunud elektron üksikult.

Siin tehti kõigepealt kindlaks järgmine hämmastav fakt. Kuigi väljunud elektronide arv oleneb valguse tugevusest, ei olene iga üksiku eraldunud elektroni energia valguse tugevusest, vaid ainult lainepikkusest. Kas me valgustame keha väga tugeva või äärmiselt nõrga valgusega, kehas väljunud elektronidel on üks ja sama kiirus, s. t. neil on üks ja sama energia.

Kuidas mõista seda fakti, kui me peame valgust laineks? Laine seisukohalt tähendab ju valguse tugevuse suurenenine, et on suurenenud energia, mille laine kannab antud kohas üle, s. t. on suurenenud valguslaine võngete ulatus (amplituud).

Mispärast omab siis laine poolt selles kohas väljakistav elektron sel juhul alati üht ja sama energiat, sõltumatult valguse tugevusest?

«See on samuti,» kirjutab selle puhul üks tuntud füüsik, «nagu osutuksid vastu kallast peksvad merelained, olles kahekordistanud oma kõrguse, võimeliseks laiali pillutama

ainult endisest rohkem rannakive, kuid poleks võimelised sundima iga kivikest meelsamini lahkuma oma kohalt ja heitma neid kaugemale kui esialgsed väikesed lained, mis ainult kergelt uhtsid neid kivikesi.»

Aga kui hakati uurima ainest väljalendavate elektronide energia sõltuvust ainele langeva valguse lainepikkusest, siis avastati veel üks valguse laineteooria seisukohalt täiesti seletamatu fakt: osutus, et lainepikkuse vähenemisega see energia, tähendab, ka elektronide kiirus, kasvab!

Kuidas võib seletada neid fotoefekti mõistatuslikke seaduspärasusi?

Vastuse annab nn. valguse kvantide-teooria.

Koos sellega selgitab ta väga lihtsalt ka küsimuse, mis lugejal on arvatavasti juba tekkinud — nimelt millisel viisil lööb valgus mitmesugustest kehast välja elektrone.

#### 4. Valgusega «pommitamine».

Mis on valgus?

Milline on ta loomus?

See küsimus on väga raske. Kaua aega oli ta teadlastele mõistatuseks.

XIX sajandil peeti valgust elektromagnetilisteks laineteks ja see oli kõik. Kuid terve rida valguse neeldumisega ja kiirgamisega seoses olevaid nähtusi, nende hulgas ka fotoefekt, sundis füüsikuid juba XX sajandi alg-aastail loobuma sellest vaatest valguse loomusele. Asi on selles, et neis nähtustes käitub valgus mitte lainena, vaid üksikute pisiosakeste vooluna.

Kuid teistel juhtudel näitab valgus oma lainetaolisi omadusi.

Mis sellest järeldub?

Järeldub, et meie kujutus valgusest kui ainult lainetest pole küllaldane: ta ei peegelda kõiki valguse omadusi.

Nüüd on kindlaks tehtud, et valguse loomus on tunduvalt keerulisem kui näiteks merelainete loomus või püssist väljalendavate haavlite jüga.

Valgus — see on tõesti elektromagnetilised lained, kuid valguse kiirgumine ja neeldumine ei toimu katkestamatult, pideva vooluna, vaid katkendlikult, annustena. Neid annuseid nimetatakse kvantideks.

Aine iga aatom võib neelata ainult valgusenergia kvantide täisarvu, s. t. üks, kaks jne. kvanti, kuid mitte kunagi poolt või, ütleme, poolteist kvanti.

Eri kvantide energiahulgad pole võrdsed. Kvandi energia oleneb lainepikkusest. Mida pikem on laine, seda väiksem on kvandi energia. Nii näiteks kannab punase kiirguse kvant vähem energiat kui sinise valguse kvant. Kuid nii ühtede kui ka teiste kvantide energia, nagu üldse igasuguse nähtava valguse kvantide energia, on äärmiselt väike.

Kvantide-teooria seletab väga lihtsalt fotoelektrilist efekti ja tema seaduspärasusi.

Tõepoolest, kui kvandi energia on küllaldaselt suur elektroni väljarebimiseks kehast, siis on selge, et mida rohkem kvante langeb kehale, seda enam elektrone rebitakse välja. Selge on ka fotoelektronide väljapääsu sõltuvus lainepikkusest. Sest mida väiksem on lainepikkus, seda suurem on selle valguse kvantide energia. Ja järelikult on seda tõenäolisem, et need kvandid rebivad välja elektrone.

Niisiis valgus nagu «pommitaks» mitmesuguseid kehasid! Selline aine pinna «pommitamine» mitmesuguse lainepikkusega valguse poolt meenutab (kuid ainult meenutab) laskmist jahipüssist. Tegelikult teab iga jahimees, et metslindude jaoks tarvitatakse kõige peenemaid haavleid —

«nepihaavleid». Partidele ja hanedele läheb jämedam haavel. Ja suurte metsloomade — metskitsede, metssigade ja karude jaoks vajatakse kas kuuli või väga jämedaid haavleid. Kui te lasete karu «nepihaavlitega», ei tule sellest midagi head — karu surma ei saa; iga haavliterake üksikult ei suuda tungida läbi tema paksu naha. Peenikesed haavlid, samuti kui väikesemõõtmelised kvandid (energia väikesed annused), ei saavuta sel juhul eesmärki. Kuid jätkub ühest, suurt energiatagavara kandvast kuu- list, et surmata karu.

Nii on lugu ka valgusega «pommitamisel». Kui iga üksiku kvandi energiast ei piisa vajaliku väljumistöö teostamiseks, fotoelektroni kehast väljarebimiseks, siis ei leia fotoefekt üldse aset, kui palju valgust kehale ka ei langeks. Seepärast ei esinegi fotoelektrilist efekti isegi tugeva valgusega valgustamisel, kui ainult selle valguse lainepikkus on nii suur, et vastava energia annus (kvant) on väiksem «väljumistööst». Kui aga kvant on küllaldaselt «energiline», et soodsatel tingimustel rebida kehast elektron, siis on selge, et mida rohkem kvante langeb kehale, seda enam rebitakse kehast elektrone, s. t. seda tugevam on fotoelektriline vool ruumis selle keha ümber.

Niisama lihtsalt seletuvad kvantidega ka teised fotoefekti seaduspärasused.

Tõepoolest, et teatav kindel aineosake saab neelata ainult terve kvandi, siis pole talle tähtis, kui palju kvante üldse langeb kehale. Igale osakesele on oluline muu, ja nimelt: tema poolt neelatava kvandi energia suurus. Igas aatomis toimuv protsess ei olene kvantide arvust, s. t. langevast üldisest energiast, vaid iga üksiku kvandi energiast. Aatomi poolt neelatud valgusenergia kvant suurendab elektroni energia tagavara. Sealjuures kulutatakse osa kvandi energiast elektroni väljarebimiseks kehast, ülejää-

nud energia aga antakse üle väljalennanud elektronile<sup>1</sup>. Arusaadavalt on see jääk seda suurem, mida suurem oli neeldunud kvandi energia, s. t. mida väiksem oli lainepikkus. Tähendab, mida suurem oli neeldunud kvandi energia, seda suuremad on see maksimaalne energia ja see kiirus, mida omab väljalennanud elektron.

Selline on fotoelektrilise efekti seletus.

A. G. Stoletovi poolt uuritud fotoefekti nimetatakse välimiseks normaalseks fotoefektiks. Siin esitatud lühike fotoefekti teooria ja seadused on kehtivad just välimise normaalse fotoefekti suhtes. Kuid peale selle nähtuse on avastatud ka teisi fotoelektrilisi efekte: 1) välimine selektiivne (valiv) fotoefekt ja 2) sisemine fotoefekt. Nende nähtuste rakendamisest jutustatakse järgmises peatükis ilma nende teooria esitamiseta.

Millisel viisil kasutatakse fotoefektinähtust neis seadistes — fotorakkudes —, milledest me rääkisime raamatu alguses? Kuidas on ehitatud need seadised?

Sellest jutustatakse järgmises peatükis.

## II. Fotorakkude ehitus.

### 1. Vaakuum-fotorakud ja gaastäite-fotorakud.

Niisiis, valgus, langedes mitmesugustele kehadele, on võimeline neist «välja lööma» elektrone, teiste sõnadega, on võimeline tekitama elektrivoolu ruumis. On tarvis ainult erisugustele kehadele vastava lainepikkusega kiiri.

Tekib ahvatlev mõte: kas poleks võimalik seda fotoelektrilist voolu mingil viisil kasutada?

---

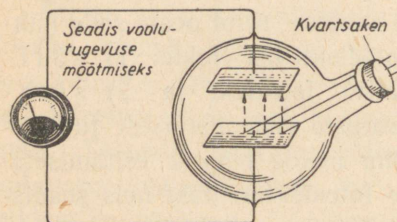
<sup>1</sup> See on teoreetiliselt tõestatud Einsteini poolt ja eksperimentaalselt akadeemik A. F. Joffe poolt, kellele üldse kuulub rida veenvaid katseid, mis tõestavad valguse kvandilist loomust.

On võimalik!

Selle voolu kasutamisel töötavadki tähelepanuväärsed füüsika-aparaadid — fotorakud.

Tegelikult ehitas esimese fotoraku Stoletov ise oma katsete juures fotoefekti uurimisel.

Vaadake joonist 5. Te näete siin väikest klaaskolbi. Õhk on sellest välja pumbatud. Selle kolvi sisemusse on joodetud kaks väikest, kahe metallplaadiga ühendatud traadikest. Nende traatide välimised otsad on ühendatud



Joon. 5. Lihtsaima fotoraku skeem.

jälgis positiivse elektrilaengu tekkimist laadimata plaadil, kui seda valgustati.

See seadis on ühtlasi ka esimene, lihtsaim fotorakk.

Kuni kiired ei mõju plaadile, pole ahelas voolu. Kuid tarvitseb vaid plaati valgustada, kui samal silmapilgul galvanomeetri osuti nihkub — ning plaadis ja traadikestes tekib elektronide vool. See vool kulgeb plaadilt, millele langeb valgus, õhuta ruumi kaudu kolvi sisemuses teisele plaadile ja sealt traati mööda läbi galvanomeetri uuesti esimesele plaadile, s. t. mööda kogu ahelat (elektron on negatiivselt laetud, aga voolu suunda tavatsetakse pidada ühtivaks positiivsete elektrilaengute liikumise suunaga; see pärast on elektrivoolu suund fotorakus vastupidine fotoelektronide liikumisele, s. t. — fotoraku plaatide vahel —

anoodilt katoodile, välisahelas aga katoodilt anoodile). Ja see vool on olemas, kuni kestab plaadi valgustamine.

Nii muutub siin metallplaadi poolt neelatud kiirte energia elektrivoolu energiaks.

Fotoraku negatiivset plaati, millele langevad valguskiired, nimetatakse k a t o o d i k s. Teist plaati nimetatakse a n o o d i k s.

Kuid selle fotoraku tundlikkus valguse suhtes on väga väike: katoodi valgustamisel tekib temas liiga nõrk elektrivool. Rakendada teda mingisuguseks praktiliseks otstarbeks veel ei saa.

Nüüdisaegsed fotorakud on ehitatud juba teisiti, kuid põhiolemuselt nad ei erine oma esiisast. Tuli ainult palju töötada selleks, et suurendada nende tundlikkust valguse suhtes ja teha nad sel kombel praktiliseks rakendamiseks kõlvulisteks (fotorakkude rakendamisest jutustatakse III peatükis).

Nüüd valmistatakse kõige mitmekesisemaid fotorakkude tüüpe. Seejuures erinevad fotorakud üksteisest mitte ainult oma ehituse poolt. Erisugused fotorakud «tunnevad» erinevalt mitmesuguseid valguskiiri. Ühtedes fotorakkudes tekib elektrivool ainult näiteks roheliste või kollaste kiirtega valgustamisel. Teised töötavad sel juhul, kui nendele langeb punane valgus (just neis fotorakkudes kasutatakse ära valiv, selektiivne fotoefekt). On olemas fotorakke, mis «tunnevad» ainult ultraviolettkiiri jne.

Peale selle jagunevad nüüdisaja fotorakud kahte suurde rühma: v a a k u u m - f o t o r a k u d ja g a a s t ä i t e - f o t o r a k u d.

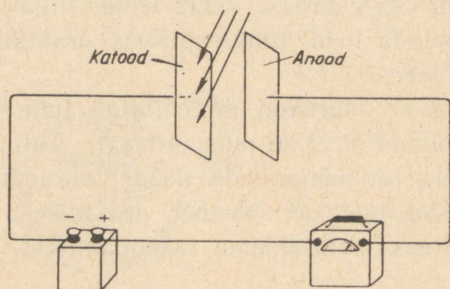
Vaakuumsed tähendab tühikulised (vaakuum — tühjus). Need on säärased fotorakud, millel õhk on klaaskolbidest võimalikult täielikult välja pumbatud.

Teisi — gaastäite-fotorakke — täidetakse mõne hõrenda-

tud gaasiga, mis ei mõju keemiliselt katoodile — ei riku teda. Harilikult kasutatakse seks otstarbeks argonit.

Kuidas võib tõsta fotoraku valgustundlikkust?

Esimene ja lihtsaim abinõu suurendada aparadi — nii vaakuumaparaadi kui ka gaastäite-aparaadi — tundlikkust valguse suhtes seisneb selles, et tema ahelasse lülitatakse elektromotoorse jõu allikas — mitmekümne-, vahel mitmesajavoldise pingega patarei. Selle patarei negatiivne pool



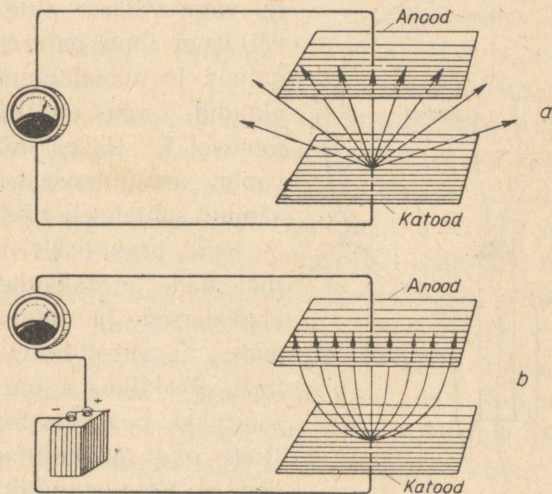
Joon. 6. Elektripatareiga fotoraku skeem.

lus ühendatakse, nagu on näidatud joonisel 6, fotoraku katoodiga ning positiivne poolus anoodiga. Muidugi ei kulge selgi juhul vool fotoraku kaudu pimedas, sest fotoraku plaadid on eraldatud õhuta ruumiga või isoleeriva gaasikihiga<sup>1</sup>. Kui aga valgustada fotoraku katoodi, siis saame sama valgustuse puhul patareiga mitu korda tugevama voolu kui patareita.

Vaadake joonist 7 ja te saate aru, miks fotoraku ahelasse lülitatud patarei tugevdab fotoelektrilist voolu. Joo-

<sup>1</sup> Praktikas, tänu sellele, et klaas, millest on valmistatud fotorakk, ja elektri sisseviimisjuhete vaheline isolatsioon pole ideaalsed isolaatorid, vaid juhivad pisut voolu, kulgeb ka pimedas läbi fotoraku nõrk vool; seda nimetatakse fotoraku pimevooluks. Üks tähtsamaid nõudeid fotoraku suhtes on, et tema pimevool oleks võimalikult väike.

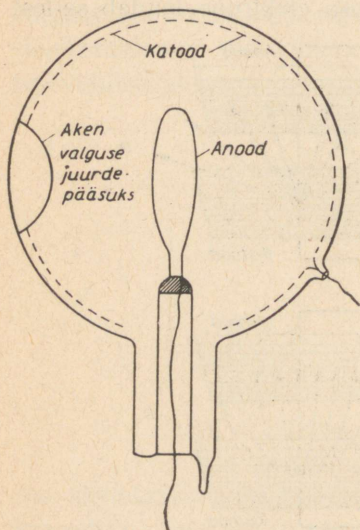
nisel 7a ei ole fotoraku ahelas patareid. Sel juhul lendavad elektronid valguse mõjul alumisest plaadist välja ja lendavad igale poole sirgjooneliselt laiali (joonisel on näidatud ainult ühest plaadi punktist väljalendavate elektronide teed). On selge, et mitte kõik elektronid ei satu ülemisele plaadile — anoodile; osa elektrone lendab sellest



Joon. 7. Joonis näitab, kuidas katoodist väljuvate elektronide sirged teed (a) kõverduvad fotoraku ahelasse lülitatud elektripatarei mõjul (b).

mööda. Kui aga fotoraku ahelas on patarei (joonis 7b), siis tõmbuvad negatiivselt laetud elektriosakesed — elektronid — positiivselt laetud anoodi külge. Elektronide tee kõverdub ja suurem osa neist satub anoodile. Patarei pinge suurenemisel kasvab see osa järjest. Lõppude lõpuks saavutatakse selline olukord, kus juba kõik valguse mõjul väljunud elektronid satuvad anoodile. Siis lakkab fotoelektrilise voolu edasine suurenemine: öeldakse, et on tekkinud küllastusvool.

Patarei pinge suurus, mille puhul fotoelektriline vool muutub küllastusvooluks, oleneb valgustundliku katoodi ja anoodi kujust ning asetusest. Näiteks, kui ehitada fotorakk nii, et anood ümbritseks katoodi igast küljest, siis satuvad ka patarei puudumisel kõik elektronid anoodile. Sel juhul



Joon. 8. Keskse anoodiga, kõige enam levinud fotoraku skeem.

saavutab vool küllastuse patarei väga väikese pinge puhul või isegi ilma patareita. Kui katood ja anood on lamedad plaadid, nagu on kujutatud joonisel 7, siis on küllastusvoolu saavutamiseks nõutav samuti suhteliselt nõrk pinge.

arvatud väike aken valguse juurdepääsuks. Väikese traatsõlme või plaadi kujuline anood on kinnitatud selle kolvi sisemussè. Selliseid fotorakke toodetakse käesoleval ajal meie tehastes. Säärase fotoraku välist kuju te nägite juba raamatu alguses joonisel 1.

Kuid praktiliselt on need mõlemad fotorakkude kujud ebakohased ja leiavad seepärast äärmiselt harva kasutamist. Praktikas valmistatakse fotorakke peaaegu alati selliselt, nagu on kujutatud joonisel 8. Valgustundlik kiht — katood — katab siin peaaegu kogu klaaskolvi pinda, välja

Niisugune fotorakkude kuju on parem selletõttu, et valgus kasutatakse neis väga hästi ära: ühelt katoodi kohalt peegelduvad kiired satuvad tingimata tema teisele kohale, siis kolmandale jne. Sel juhul neeldub ja kasutatakse ära peaaegu kogu valgus, mis on sattunud fotorakule.

Siiski on kerge näha, et fotoraku osade sellise paigutuse korral on tarvilik välispatarei. Kui ahelas poleks patareid, siis võiks ainult tähtsusetu osa valguse toimel väljarabitud elektrone sattuda väikesele traadile — anoodile. Et sundida siin kõiki elektrone sattuma anoodile, s. t. et saavutada küllastusvoolu, tuleb rakendada umbes 80—100-voldist pinget.

Fotoraku täitmine gaasiga tõstab samuti märgatavalt tema tundlikkust. Ühe ja sama valguse puhul me võime saada gaastäite-fotorakult mitu korda tugevamat voolu kui vaakuum-fotorakult. See on seletatav asjaoluga, et kiiresti katoodilt anoodile lendavad elektronid põrkavad teel kokku gaasi aatomitega ja ioniseerivad neid, s. t. löövad neist välja elektrone. Peale sellist kokkupõrget tekib ühe esialgse elektroni asemele kaks elektroni: üks esialgne ja üks uus, gaasi aatomist väljalöödud elektron. Nad mõlemad lendavad anoodi poole. Teel põrkavad nad uuesti kokku gaasi aatomitega ja samuti ioniseerivad need. Sel kombel saadakse kahe elektroni asemel juba neli. Need neli elektroni annavad uutel kokkupõrgetel kaheksa elektroni jne. Teiste sõnadega: anoodi suunas lendavate vabade elektronide arv kasvab väga kiiresti. On selge, et selline fotovoolu tugevnemine on seda tunduvam, mida kõrgem on välispatarei pinge.

Kuid väga kõrge pinge puhul hakkab gaas ise juhtima elektrivoolu; selle tulemusena kulgeb läbi fotoraku tugev vool ka ilma valgustamiseta, seepärast ei või pinget välispatareist suurendada piiramatult. Praktiliselt töötavad gaastäite-fotorakud 250—300-voldise pingega.

Siit muuseas järgneb, et gaastäite-fotorakkude fotovoolu tugevus pole täpselt võrdeline langeva valguse tugevusega.

Milliseid aineid kasutatakse valgustundliku plaadi — katoodi — valmistamiseks tänapäeva fotorakkudes?

Nagu juba öeldud, võib fotoelektrilist efekti täheldada kõikidel metallidel. Kuid enamik neist — niisugused, nagu vask, raud, plaatina, nikkel, volfram — on tundlik ainult nähtamatute, ultraviolettkiirte suhtes. Need metallid üldse ei erita elektrone nähtavate kiirte mõjul, et aga harilikud valgusallikad — päike ja elektrilambid — sisaldavad ultraviolettkiiri võrdlemisi vähesel määral, siis ilmselt ei kõlba kõik need metallid fotorakkude katoodide valmistamiseks. Ainult nn. leelismetallid — kaalium, naatrium ja eriti tseesium — on tundlikud nähtavate kiirte suhtes. Neid metalle kasutataksegi praktikas fotorakkude katoodide valmistamiseks.

Ei tule siiski arvata, et tänapäeva kõrge tundlikkusega fotoraku katood on lihtsalt plaat või mingi leelismetalli paks massiivne kiht. Sellise fotoraku valgustundlikkus oleks väga väike. Katsed on näidanud, et kui metallikihi, ütleme, hõbeda- või platinakihi, kanda ühe aatomi paksune leelismetalli kiht, siis sellise kihi tundlikkus on märksa suurem kui sama leelismetalli massiivsel kihil. Veel suuremaks osutub leelismetalli kihi tundlikkus siis, kui ta pole kantud otse teisele metallikihi, vaid asetseb selle leelismetalli mingi keemilise ühendi (näiteks tema ühendi hapnikuga) väga õhukesel kihil.

Niisiis koosnevad tänapäeva fotorakkude «liitkatoodid» kolmest kihist. All on mingi metallikord — kõige sagedamini on see fotoraku kolvi klaasile kantud õhuke hõbedakiht; sellele metallikihi on kantud ühe või teise leelismetalli ühendi hapnikuga (metallioksüüdi) väga õhuke kiht ja juba selle kihi peal asetseb puhta leelismetalli kiht. Sellist ehitust omab näiteks praktikas kõige laialdasemalt kasutusel olev hapnik-tseesiumfotoraku katood. Siin asetseb hõbeda peal tseesiumoksüüdikiht ja selle peal tseesiumikiht.

Sellised liitkatooidid erinevad ühes asjas oluliselt katooididest, mis on puhtast metallist. Puhtast metallist katooididel kasvab tundlikkus kogu aeg, kui neid valgustada ikka väheneva lainepikkusega kiirtega. Liitkatooididel on see teisiti. Nende valgustundlikkus on eriti suur ainult mingi ühe kindla lainepikkuse piirides. Tundlikkus väheneb nii lühemate kui ka pikemate lainete suunas.

Näiteks on hapnik-tseesiumfotorakk eriti tundlik punaste kiirte suhtes, milliseid on väga palju harilikkude valgusallikate kiirguses. Just sellepärast ta ongi saanud sellise laialdase praktilise rakenduse osaliseks.

Liitkatooidide omadus «valida» endale eriline «armastatud» kiirteala saigi «valiva», «selektiivse» fotoefekti nime.

Viimastel aastatel levivad ka laialdaselt fotorakud antimoni ja tseesiumi ühendist katooididega. Kõige tugevamini «tunnevad» need fotorakud sinirohelisi kiiri. Nende tundlikkus on niivõrd suur, et ühe ja sama heledusega valgusega valgustamisel annavad nad mitu korda tugevama voolu kui hapnik-tseesiumfotorakud. Nende fotorakkude välja töötamisel omavad suuri teeneid meie teadlased.

Antimon-tseesium- ja hapnik-tseesiumfotorakud — nii vaakuum-fotorakud kui ka gaastäite-fotorakud — on tänapäeva tehnikas kasutatavate fotorakkude põhitüübid. Neid kõiki toodetakse meie tehastes suurel hulgal.

## 2. Sekundaar-elektronitorud.

Kõik äsja kirjeldatud abinõud fotoraku tundlikkuse tõstmiseks pole sageli siiski praktilisteks otstarveteks küllaldata-  
sed. Liiga nõrk on veel fotorakkudes saadav elektrivool. Tõepoolest, kui näiteks asetada hea fotorakk meetri kaugusele sajavatise võimsusega elektrilambist, siis tekib temas

ainult umbes sajatuhandiku ampri tugevusega vool. Teiste sõnadega, see vool on umbes sada tuhat korda nõrgem voolust, mis läbib meie elektrilampi. Ning paljudel juhtudel on fotorakkudes saadud voolud veel sadu tuhandeid ja miljoneid kordi nõrgemad. Nende nõrkade voolude tugevdamiseks vajaliku suuruseni oli veel hiljuti ainult üks meetod. Fotorakus tekkiv elektrivool juhiti raadiolampidega võimendajasse. Seejuures saavutati miljonite ja kümnete miljonite kordne fotovoolu tugevnemine! Kahjuks olid sellised seadeldised väga keerulised ja sageli kapriissed.

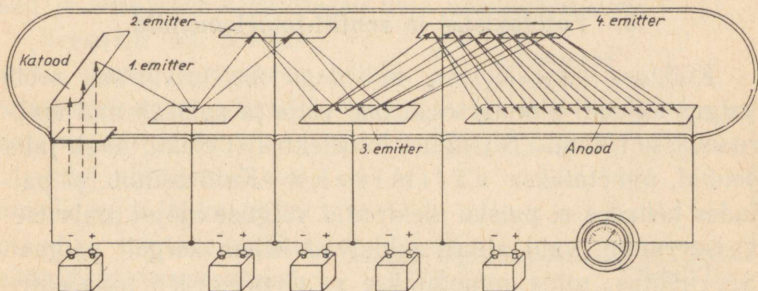
Kuid aastat viisteist tagasi leidis nõukogude teadlane L. A. Kubetski haruldaselt lihtsa ja teravmeelse meetodi nende raskuste vältimiseks. Ta saavutas fotovoolu tugevnemise kümnete tuhandete ja sadade tuhandete kordselt raadiolampide abita. Kubetski poolt ehitatud seadeldise nimetuseks on **sekundaar-elektronitoru** ja selle mõte seisneb alljärgnevas.

Juba ammu oli teada, et mingi keha «pommitamisel» küllalt kiirete elektronide vooluga võivad viimased selle keha pinnast välja rebida ümbritsevasse ruumi nn. **sekundaar-elektrone**.

Seda **sekundaarseks elektronide emissiooniks** (s. t. kiirguseks) nimetatud nähtust kasutataksegi sekundaar-elektronitorudes. Neis on üksteise järel asetatud hulk (11—13) plaate, mis on kaetud suurt sekundaarset elektronide emissiooni andvate ainetega (joon. 9). Iga sellise plaadipaari ehk, nagu neid nimetatakse, **sekundaarkatoodi** ehk **emitteri** vahele (samuti esimese emitteri ja katoodi vahele ühelt poolt ning viimase emitteri ja anoodi vahele teiselt poolt) on lülitatud umbes 100-voldise pingega patareid. Tänu sellele omandavad elektronid, mis lendavad katoodilt esimesele plaadile, esi-

meselt plaadilt teisele, teiselt kolmandale jne., teel väga suure kiiruse.

Kujutlege, et Kubetski toru katoodist väljus valguse mõjul üks elektron ja, sattudes esimesele plaadile, lõi sellest, tänu saavutatud kiirusele, välja kaks uut sekundaar-elektroni. Kuid need kaks elektroni lendavad teisele plaadile. Põrgates vastu seda löövad nad plaadist välja juba neli elektroni; kolmandast plaadist lüüakse välja 8 elektroni,



Joon. 9. L. A. Kubetski sekundaar-elektronitoru skeem.

neljandast 16, viiendast 32 jne. On kerge välja arvutada, et sel juhul on lõplik vool peale 11 plaati — emitterit — umbes 2000 korda tugevam katoodis valguse mõjul tekkinud algvoolust! Et aga faktiliselt püütakse saavutada, et iga elektron lööks emitterist välja mitte kaks, vaid rohkem elektroni, siis on fotovoolu võimalik tugevdada mitte kaks tuhat, vaid miljoneid kordi!

Selleks aga, et sundida kõiki katoodist või emitterist väljalendavaid elektrone sattuma järgmisele emitterile, asetatakse Kubetski toru, milles asetsevad anood, katood ja emitterid, elektromagneti välja piiridesse. Magnet kallutab liikuvaid elektrone ja juhib neid, kuhu vaja. Hiljem aga töötati välja uued sekundaar-elektronitorude konstruktsioonid; neis saab läbi ka magnetiteta.

Sekundaar-elektronitorude täiustamisel on palju töötanud nõukogude füüsik professor Timofejev.

Käesoleval ajal on meil juba palju nende haruldaste seadiste mitmesuguseid tüüpe. Neid kasutatakse praktikas ikka enam ja enam.

1948. aastal tunnistati Kubetski tööd Stalini preemia väärilisteks.

### 3. Fototakistid ja ventiil-fotoelemendid.

Kõikides fotorakkudes, milledega me tutvusime, rebib valgus katoodi pinnast elektrone välja ja paiskab nad ümbritsevasse ruumi. Niisugust fotoelektrilist efekti, nagu juba öeldud, nimetatakse v ä l i m i s e k s. Kuid osutub, et paljudes kehaes ei paisku elektronid valguse mõjul ümbritsevasse ruumi, vaid ainult nihkuvad kehas kergelt paigast. See nähtus, mida nimetatakse s i s e m i s e k s fotoelektriliseks efektiks, avastati esmakordselt umbes 70 aastat tagasi.

Pandi tähele, et mõnede ainete takistus elektrivoolu läbimisele nende valgustamisel tugevasti väheneb. Esialgu täheldati seda elemendil s e l e e n i l. Tavalistes tingimustes juhib seleen elektrivoolu väga halvasti. Tema elektritakistus on umbes 70 miljardit korda suurem kui hea juhi, näiteks vase oma. Kui lülitada patarei ahelasse seleenplaat, nagu on näidatud joonisel 10, siis, seni kui valgus ei mõju seleenile, on vool ahelas seleeni suure takistuse tõttu väga nõrk. Niipea kui me aga valgustame seleenplaati, väheneb tema takistus järsult; patarei sama pinge juures suureneb vool ahelas tugevasti. Mida tugevam on seleenplaadile mõjuv valgus, seda väiksem on seleeni takistus ja seda tugevam on vool ahelas.

Selline aine takistuse muutus valguse mõjul ongi sele-

tatav sisemise fotoefektiga. Joonisel 10 te näete olulises osas seadist, kus, nagu varemgi kirjeldatud fotorakkudes, voolu tugevus reguleeritakse seadisele langeva valguse tugevusega. Selliseid seadiseid nimetatakse fototakistiteks.

Viimasel ajal on peale seleen-fototakistite ilmunud teiste valgustundlikkude ainetele fototakistiteid. Praktiliselt aga on kõik need seadised fotorakkudest vähem kohased ja seepärast kasutatakse neid võrdlemisi vähe.

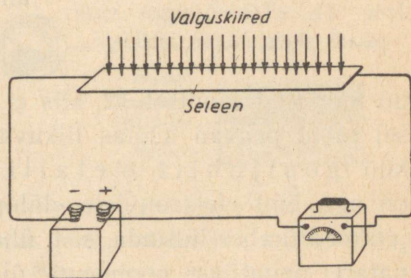
Seevastu on olemas teisi, samuti sisemisele fotoelektrilisele efektile rajatud fotorakke.

Juba võrdlemisi ammu oli teada, et kui vaskplaadile tekitada (õhu käes kõrge temperatuurini soojendamisel) elektripooljuhi (väga halvasti elektrivoolu juhtiva aine) — vase alahapendi (vase ja hapniku ühendi) kiht, siis omandab selline plaat hämmastava omaduse: ta laseb elektrivoolu läbi ühes suunas ega lase teda läbi teises suunas!

Hiljem aga sai teatavaks, et samasugune omadus on ka paljudel teistel metallidel, milledele on kantud pooljuhikiht, näiteks seleenikihiga kaetud raudplaatidel ja teistel.

Kõikidel neil juhtudel tekib metalli ja pooljuhi vahelisel piiril eriline nn. «ventiil-» ehk «tõkkekiht», mida elektronid saavad vabalt läbida ainult ühes suunas, nimelt metallilt pooljuhi suunas. Vastassuunas — pooljuhilt metalli poole — ei saa elektronid seda kihti läbida.

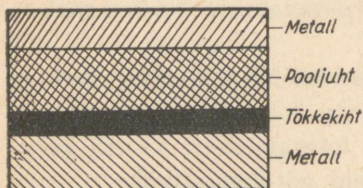
Sellise ühepoolse juhtivusega plaadi skemaatiline läbi-



Joon. 10. Fototakisti skeem.

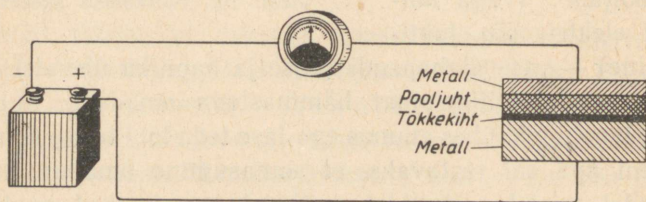
lõige on antud joonisel 11. Tuleb silmas pidada, et mõõtmed sel joonisel üldse ei vasta tegelikkusele; tõkkekihi paksumus on tõeliselt väga väike — alla ühe sajatuhandiku sentimeetri; pooljuhikiht on tegelikult samuti väga õhuke. Pooljuhikihi asetatud ülemine metallplaat on selleks, et hõlpus oleks lülitada plaati ühesse või teisesse elektri-

ahelasse. Kui selline plaat lülitatakse patareisse sääraselt, nagu on näidatud joonisel 12, siis ei lähe vool temast läbi, sest sel juhul peavad ahelas liikuvad elektronid läbima tõkkekihi pooljuhilt metalli suunas. Selles suunas on aga kiht elektronidele «läbipääsmatu». Vastupidi, kui juhtmed ümber lülitada, s. t. ühendada alumine metallplaat patarei negatiivse poolusega, ülemine aga positiivse poolu-



Joon. 11. «Tõkkekihiga» vaskplaadi skemaatiline läbilõige.

sega (joon. 13), siis läbib ahelat küllaltki tugev vool. Nüüd tungivad elektronid läbi kihi metallilt pooljuhi suunas; selles suunas on tõkkekiht elektronidele «läbipaistev» (tuletame veel kord meelde, et voolu suunaks peetakse ahelas seda suunda, milles liiguvad positiivsed



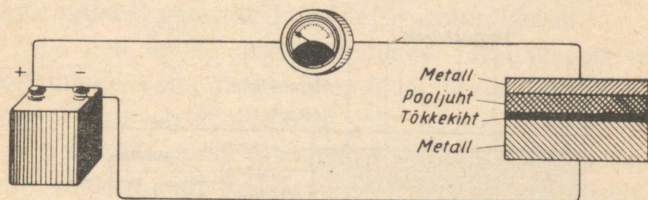
Joon. 12. Antud juhul pole ahelas voolu; «tõkkekiht» ei lase elektrone läbi.

sega (joon. 13), siis läbib ahelat küllaltki tugev vool. Nüüd tungivad elektronid läbi kihi metallilt pooljuhi suunas; selles suunas on tõkkekiht elektronidele «läbipaistev» (tuletame veel kord meelde, et voolu suunaks peetakse ahelas seda suunda, milles liiguvad positiivsed

laengud, s. t. suunda patarei positiivselt pooluselt tema negatiivse pooluse poole, kuigi faktiliselt elektrivool metallides on negatiivsete osakeste — elektronide — liikumine; see toimub vastassuunas.

Sellelaoliste liitplaatide omadust — juhtida voolu ainult ühes suunas ja «tõkestada» seda vastassuunas — kasutatakse tehnikas juba ammu vahelduvvoolu muutmiseks alalisvooluks.

Aastat kakskümmend tagasi avastati aga sellistel plaatidel veel üks uus ja hämmastav omadus. Osutus, et kui



Joon. 13. Antud juhul on ahelas vool; «tõkkekiht» laseb elektrone läbi.

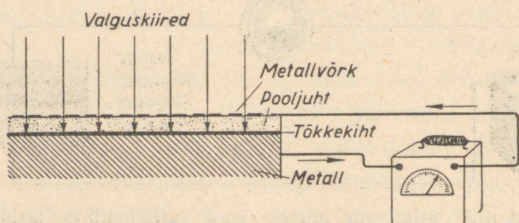
see plaat ühendatakse voolu mõõteseadisega ja valgustatakse teda nii, et valguskiired mõjuksid tema «tõkkekihile», siis tekib ahelas elektrivool, kuigi temas pole ühtki vooluallikat! Täheleb, see plaat on fotorakk, milles, jällegi valgusenergia arvel, tekib elektrivool. Ja see vool on seda tugevam, mida tugevamini on valgustatud fotorakk, mida antud juhul nimetatakse fotoelemendiks<sup>1</sup>.

Sellelaolisi fotoelemente hakati nimetama ventiil-fotoelementideks (sellepärast, et nad lasevad voolu läbi ainult ühes suunas) ehk tõkkekiht-fotoelemen-

<sup>1</sup> Niisugust fotorakku, kus elektrivool tekib otseselt valguse mõjul, nimetatakse fotoelemendiks (näit. galvaani elemendid, termoelemendid). — Vast. toim.

tideks. Tavaliselt on voolu suund neis vastupidine suunale, milles vool kulgeks plaadi kaudu välisallikast (vt. joon. 14).

Nagu võib näha sellest joonisest, on ventiil-fotoelemendi ehitus väga lihtne. Paksule metallplaadile kantakse väga õhuke läbipaistev pooljuhikiht ja kontaktiks asetatakse peale metallvõrk või kaetakse pooljuht õhukese metallkelmega. On selge, et pooljuht ja ülemine metallikiht peavad olema küllaldaselt õhukesed, et valgus suudaks neist läbi tungida tõkkekihini.



Joon. 14. Ventiil-fotoelemendi ehituse skeem.

Esimesteks tõkkekihiga fotoelementideks olid nn. k u p r o k s - fotoelemendid. Need on vask-alahapendi kihiga vaskplaadid («Cuprum» tähendab «vask»). Sellised fotoelemendid on tundlikud nähtavate kiirte ja neile lainepikkuselt lähedaste infrapunaste ehk soojuskiirte vastu.

Väga kiiresti levisid laialdaselt ka s e l e e n - ventiil-fotoelemendid. Nende tundlikkus on iga värvi kiirte vastu väga suur.

Üldiselt on kuproks- ja seleen-ventiilfotoelementide tundlikkus valge valguse vastu umbes niisama suur kui parematel välimise fotoelektrilise efektiga fotorakkudel.

Ventiil-fotoelementides toimivate nähtuste olemuse selgitamine on põhiliselt nõukogude füüsikute teene. Selle

küsimuse lahendamisel töötasid akadeemik A. F. Joffe koolkonna füüsikud Leningradis ja rühm Ukraina Teaduste Akadeemia füüsikuid Kiievis. Nende tööde tulemusena valmistasid nõukogude teadlased Isamaasõja eel täiesti uued ventiil-fotoelemendid — väävel-hõbe- ja väävel-tallium-ventiil-fotoelemendid. Nende seadiste tundlikkus ületab valge valgusega valgustamisel kümnekordselt kõikide varem tuntud fotoelementide tundlikkuse!

Loomulikult on ventiil-fotoelemente palju mugavam käsitada kui välimise fotoefektiga fotorakke. Nad ei nõua mingisuguseid patareisid ega teisi vooluallikaid.

Kuid neil on ka omad puudused. Näiteks on selliseid fotoelemente väga raske ühendada elektrontoru-võimendajatega. Neis on praktiliselt võimatu tugevdada valgustamisel tekkivaid nõrku fotoelektrilisi voole. Sellepärast võib ventiil-fotoelemente kasutada seal, kus on suhteliselt tugev valgusallikas (neid kasutatakse näiteks sensitomeetris — seadises, mille abil fotografeerimisel määratakse valgustugevust, järelikult ka valgustusaega). Sel juhul pole tarvis fotoelektrilist voolu tugevdada. Seal aga, kus on tarvis tugevdada nõrka alg-fotovoolu, on otstarbekohasem kasutada välimise fotoefektiga fotorakke või sekundaar-elektrontorusid.

Niisugused on fotorakkude eri tüübid. Neid tähelepanuväärseid seadiseid toodetakse käesoleval ajal eritehastes massiliselt.

Sõjajärgse stalinliku viisaastaku plaani järgi valmistatakse 1950. aastal Nõukogude Liidus mitmeid sadu tuhandeid erisuguseid fotorakke. Need lähevad meie vabrikutesse ja tehastesse, teadusliku uurimise instituutidesse, kinoteatrisse, sideasutistesse. Neid kasutatakse kõige mitmesugusimateks otstarveteks.

Fotorakk on ustav ja mõnikord asendamatu inimese

abiline. Mitte põhjusega nimetatakse teda mõnikord «elektriliseks silmaks».

Kus ja kuidas need haruldased silmad abistavad inimest, sellest jutustatakse üksikasjaliselt järgmises peatükis.

### III. «Elektrilised silmad» töötavad.

#### 1. Rääkiv kinolint.

Fotoraku erakordselt mitmekesisest kasutamisest tänapäeva tehnikas on kõige massilisem tema rakendamine helikinos.

Ükski helikinoaparaat ei saa töötada fotorakuta. Sõja-järgse viisaastakuplaani kohaselt hakkab aga meie maal 1950. aastal töötama umbes 50 000 kinoseadeldist. Enamikul nendest on kaks aparati: tähendab, umbes 100 000 fotorakku hakkab päevast-päeva teenindama väga massilist ja tähtsat kunstiliiki — kino.

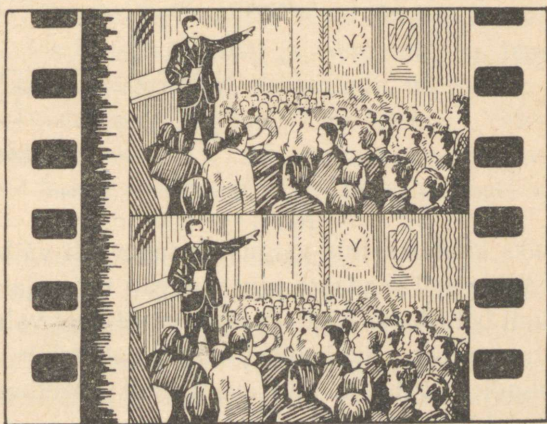
Kolmkümmend aastat tagasi tundus paljudele, et pole lootust muuta kino «heliliseks». Paljudki katsed saada kinos korralikku heli nurjusid. Kuid siis võeti kinos tarvitusele «elektrilised silmad» ja «suur tumm» hakkas kõnelema — hakkas kõnelema valjult, selgelt, täpselt.

Kuidas töötavad siis kinos fotorakud?

Vaadake jooniseid 15 ja 16. Mõlemad joonised kujutavad helikinolindi lõike. Neil te näete kahe eri kinostseeni ülesvõtteid. Neist ülesvõttest vasakul kulgeb nn. «heli-riba». See koosneb reast põikkriipsudest. Joonisel 15 on need kriipsud ühepikkused, kuid erineva läbipaistvusega. Joonisel 16 on vastupidi kõik kriipsud mustad, kuid nad on eri pikkusega. Sellistel heliribadel ongi üles kirjutatud kõik filmi helid — sõnad, tänavamüra, muusika, laul.



Joon. 15. Kinolindi lõik; vasakul näeme «heliriba».



Joon. 16. Kinolindi lõik; siin on heli üles kirjutatud teisiti.

Mõlemad heli kinolindile üleskirjutamise meetodid on välja töötatud meie nõukogude teadlaste P. G. Tageri, A. F. Šorini ja V. D. Ohhotnikovi poolt.

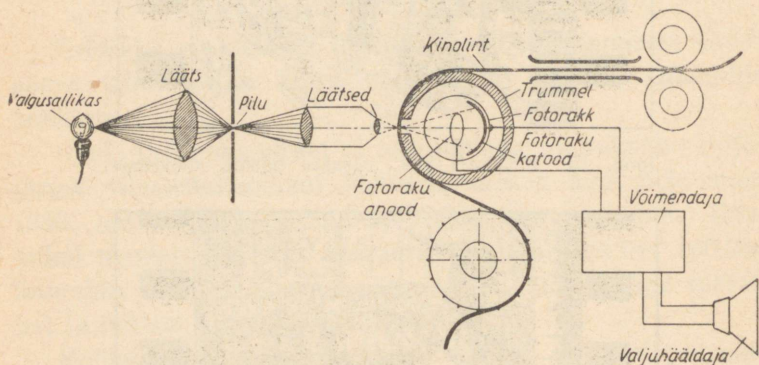
Selles raamatus me ei hakka rääkima, kuidas kinolindile

jäädvustatakse helisid (sellest on üksikasjaliselt jutustatud V. D. Ohhotnikovi teoses «Tardunud helide maailmas», Tallinn—Tartu, 1950). Ka ei võta fotorakk heli kinolindile kirjutamise protsessist osa.

Seevastu on fotorakk heli taastekitamisel hädatarvilik.

Vaadake joonist 17 ja te saate kergesti aru, kuidas kinos filmi näitamisel fotoraku abil taastekitatakse heli.

Püsiva tugevusega lambivalgus koondatakse kumerläät-



Joon. 17. Kinos heli taastekitamise skeem.

sega kitsaks kimbuks, mis valgustab tugevasti väikest pilu. Teiste läätsede abil saadakse pilu tugevalt vähendatud kujutis kinolindi heliribale. Lint libiseb trumlil, kus valgustatud koha vastas on ava. Sel kombel kulgeb valguskiir läbi pilu, läbi kinolindi heliriba ja läbi ava trumli sisemusse. Siin langeb kiirtekimp fotorakule.

Heliribale langeb püsiva tugevusega valgus, kuid lindi läbinud ja fotorakule mõjuv valgus pole enam püsiv. Vastupidi, erinevail aegadel on fotorakule langeva valguse tugevus suurem või väiksem, olenevalt sellest, kas kiirtekimp läbis heliriba tumedama või heledama koha. Nagu heliribal üleskirjutatud heli on märgitud ühesuguse tumedu-

sega, kuid erineva pikkusega joonekestena, täpselt samuti on kiirtekimbu valguse tugevus suurem lühema joonekese läbimisel ja väiksem, kui ta teel seisab pikk jooneke. Nii siis vastavad fotorakule mõjuva kiirtekimbu valguse tugevuse muutused selle kiirtekimbu valguse tugevuse muutustele, mis mõjus lindile heli üleskirjutamisel. Fotorakus tekkinud vool vastab aga, nagu te teate, selle kiirtekimbu valguse tugevusele. Seepärast muutub vool fotoraku ahe- las lindi liikumisel trumlil kogu aja.

See pulseeriv vool tugevdatakse ja suunatakse ekraani taha või kõrvale asetatud valjuhääldajasse. Siin läbib vool traatpoolid, mis on asetatud magneti harudele. Magneti ees on elastne metallplaat — m e m b r a a n. Magnet muutub kord tugevamaks, kord nõrgemaks — olenevalt fotorakust tuleva voolu tugevusest. Kord tõmbab ta membraani enese ligi, kord laseb ta lahti ja võimaldab tal tema enese elastsuse mõjul sirgestuda, eemalduda magnetist. Teiste sõnadega: membraan hakkab v õ n k u m a. Membraani võnked tekitavad õhus l a i n e i d, mida me tajumegi hää- lena (hääle loomuse kohta vt. B. N. Suslovi teost «Hää- l ja kuulmine», Tallinn—Tartu, 1950).

Nii töötavad fotorakud helikinos.

Tegelikult pole helikino seadeldised muidugi nii lihtsad, nagu võib näida joonise järgi. Heli taastekitamise prakti- kas tuleb ületada hulk mitmesuguseid raskusi ja tänapäeva helikino tehnilised seadeldised on väga keerulised.

## 2. Ülesvõte on antud edasi traadi kaudu.

Paljudes meie kodumaa linnades — Moskvas, Leningra- dis, Kiievis, Sverdlovskis ja mujal — te võite telegraafikon- toris näha kuulutust «fototelegrammide» vastuvõtu kohta.

Mis telegrammid need on?

Te võite siia tuua oma käega kirjutatud dokumendi, joonise, joonistuse või päevapildi ja need antakse telegraafi teel teise linna edasi. Mõne minuti pärast saadakse seal selle dokumendi või joonise täpne fototelegraafiline koopia.

Käesoleval ajal kasutatakse fototelegraafi laialdaselt.

Sageli võib näha ajalehtedes fototelegraafiliselt edasi-antud ülesvõtteid. Näiteks ilmub kusagil Uuralis tehtud ülesvõtte samal päeval meie keskajalehtedes. Ülesvõtte all seisab harilikult: «Ülesvõtte on edasi antud fototelegraafiliselt».

Esimesel pilgul tundub uskumatuna võimalus traadi kaudu kujutist edasi anda. Kuid fototelegrafeerimise saladust pole sugugi raske mõista. See põhineb samal fotoraku võimel muuta valgussignaale elektrisignaalideks.

Kujutlege, et te vaatlete pimedas toas taskulambi valgusel mingit suurt pilti. Elektrilamp valgustab ainult väikest pildi osa. Et näha tervet pilti, juhite te lambi kiirt järk-järgult ühelt pildi osalt teisele, kuni kogu pilt on nähtud.

Umbes niisama toimitakse kujutise edasiandmisel telegraafi teel. Üleandmiseks vastuvõetud joonis, dokument või ülesvõtte kinnitatakse trumlile, mis aeglaselt pöörleb ja samaaegselt piki oma telge vindile keeratava mutri taoliselt edasi nihkub. Samale trumlile juhitakse peen kiirtekimp, mis valgustab joonisel või ülesvõttel väga väikest, umbes  $0,2 \times 0,2$  ruutmillimeetri suurust laiku. On arusaadav, et trumli liikumisel see helendav punkt nihkub paberil, kujutades sellel kruvijoone, mis katab kogu edasiantava joonise või dokumendi pinna. Sel kombel «kompab» valguskiir samasuguselt kui meie taskulambi kiirgi läbi kogu joonise pinna.

Paberi pinnalt peegelduv valgus satub fotorakule. On

selge, et fotorakule mõjuva valguse kogus sõltub sellest, millisele kujutise kohale satub teda kompav kiir. Kui kiir liigub valgel paberil, langeb fotoelemendile märksa rohkem peegeldunud valgust kui silmapilgul, mil kiir satub joonise või pildi tumedale kohale. Nagu me teame, on fotoraku ahelas vool seda tugevam, mida heledam on fotorakule mõjuv valgus. Seepärast, silmapilkudel, mil «kompav» kiir läbib edasiantava kujutise heledaid kohti, on vool fotoraku ahelas tugevam kui kiire sattumisel tumedamatele kohtadele.

Iga kujutis on üksteise kõrval asetatud heledate ja tumedate punktide kogum. Nagu me näeme, muudab meie edasiandev seadeldis need punktid tugevamate ja nõrgemate elektrisignaali reaks, mis järgnevad üksteisele. Neid signaale me võime edasi anda traadi teel või raadiolainete abil mistahes kaugusele, kohta, kus on olemas vastuvõtjaam.

Siin kerkib meie ette vastupidine ülesanne. Üksteisele järgnevad eri tugevusega signaalid tuleb muuta kujutiseks, s. t. muuta nad kindla korra järgi üksteise kõrval asetsevateks heledamate ja tumedamate punktide kogumiks. Selleks on tarvis kõigepealt muuta elektrisignaalid, s. t. mitmesuguse tugevusega voolud, valgussignaalideks — tugevamateks ja nõrgemateks valgussähvatusteks.

Kuidas seda tehakse?

Selleks lastakse võimendaja läbinud muutlik elektrivool läbi erilise seadise, nn. valguse modulaatori. See seadis asetatakse püsiva tugevusega kiirtekimbu teele. Olenevalt modulaatorit läbiva elektrivoolu tugevusest, muutub selle seadise läbipaistvus. Seetõttu on ka modulaatori läbinud kiirtekimbu tugevus muutlik — ta on kord tugevam, kord nõrgem, sõltuvalt modulaatorit läbiva elektrivoolu tugevusest.

Et muuta nüüd see erineva tugevusega valgussignaali kogum kujutiseks, suunatakse «pilgutav» valguskiirte kimp fotopaberile, mis on kinnitatud samasugusele trumlile nagu saatejaamas. See trummel pöörleb ja ühtlasi nihkub samuti piki oma telge. Seetõttu joonestab langev valguskiir paberile kruvijoone. Sellise joonega kattub pikkamööda kogu fotopaberi pind. Et aga langeva kiire heledus kogu aja muutub, siis tekib pärast ilmutamist joone asemel paberile heledate ja tumedate punktide rida, mis täpselt vastavad punktidele originaalil.

Tähendab, selleks et saada vastuvõtjaamas selle originaali koopiat, tuleb ainult hoolitseda, et mõlema — saatja ja vastuvõtja — trumli liikumine toimuks rangelt kooskõlastatult. Seda teostatakse eriliste, nn. «sünkroniseerivate» seadiste abil.

Nii teostatakse «elektrilise silma» abil liikumatute kujutiste edasiandmist kaugusse.

Nii hea kui fototelegraaf ka on, kõlbab ta siiski ainult liikumatute, «surnud» kujutiste — ülesvõtete, jooniste, käsikirjade jne. — edasiandmiseks. Kas ei saaks samal viisil teostada ka «elavate», liikuvate kujutiste edasiandmist? Kas poleks võimalik mistahes kaugusse edasi anda rääkiva kõnemehe või esineva näitleja otsest kujutist, ilma näitleja või kõnemehe eelneva pildistamiseta?

On võimalik. Sellist elavate kujutiste edasiandmist kaugusse nimetatakse **t e l e v i s i o o n i k s**.

Televisiooni printsiip on sama, mis fototelegraafilgi. Edasiantava objekti kujutis tuleb jagada väga suurearvuliseks heledate ja tumedate punktide kogumiks, s. t. muuta ta üksteisele järgnevate eri tugevusega valgussignaali reaks. Fotorakk muudab need valgussignaalid elektrisignaalideks, mida raadiolainete abil või juhtmete kaudu võib edasi anda vajalikku kohta. Seal muudetakse elektrisig-

naalid valgussignaaliideks ja viimastest «koostatakse» kujutis.

On aga selge, et tehniliselt on televisiooni ülesanne hoopis keerulisem kui fototelegraafi ülesanne. Elavad inimesed pole mitte ülesvõtted, mida saab asetada fototelegraafi keerlevale trumlile. Tuleb leida mingisugused teised abinõud kogu kujutatava vaatepildi kiirega «läbikompamiseks». Peale selle tuleb seda «läbikompamis»-protsessi teostada väga kiiresti. Liikuvate esemete kujutiste edasiandmiseks peab valguskiir libisema üle kogu kujutise väga lühikese ajaga — mitte kauem kui  $\frac{1}{24}$  sekundi vältel. Ja selle lühikese ajaga peab kiir jagama kujutise paljudeks tuhandeteks üksikuteks punktsignaaliideks.

Tehnika sai aga nende raskustega üsna edukalt hakkama. Juba nüüd annavad meie jaamad pidevalt televisioon-ülekandeid ja meie tööstus laseb välja t e l e v i i s o r e i d — aparate, mis võimaldavad vahetult näha ekraanil elavaid pilte: näidendite katkendeid, esinevaid näitlejaid jne.

Stalinlikus viisaastakuplaanis on ette nähtud toota neid tähelepanuväärseid seadiseid tunduval hulgal.

Kui kino nimetati kunagi «suureks tummaks», siis raadiot võis veel hiljaaegu nimetada «suureks pimedaks». Nüüd aga andis fotorakk «suurele tummale» võime kõnelda ja «suurele pimedale» võime näha.

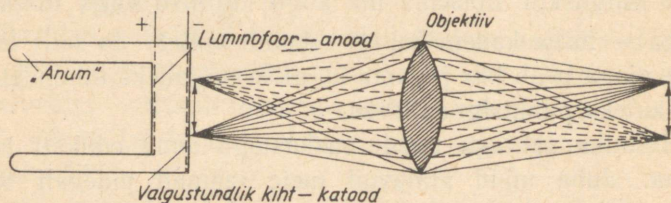
Selle seadise abil me kuuleme kinos ja näeme raadio teel.

### 3. «Elektriline silm» näeb pimedas.

Inimese silm tajub valgusena kiirgust ainult lainepikkusega  $\frac{4}{100\ 000}$  ja  $\frac{8}{100\ 000}$  sentimeetri vahel. Kõik muud lained — pikemad ja lühemad — ei tekita valguseaistingut. Nende suhtes pole meie silm tundlik, ja seepärast, kui tuge-

vasti me ka keha nende kiirtega ei valgustaks, ta jääb tumedaks, nähtamatuks. Kuid, nagu juba öeldud, mõned fotoraku tüübid «tunnevad» mitte ainult nähtavaid, vaid ka nähtamatuid kiiri, näiteks infrapunaseid.

Tekib ahvatlev mõte: kas poleks niisuguste fotorakkude abil võimalik ehitada seadis, mis võimaldaks näha ainult infrapunaste, s. t. meie silmale nähtamatute kiirtega valgustatud esemeid? On arusaadav, millist tähtsust omaksid sellised seadised esmajoones sõjatehnikas. Prožektoritel



Joon. 18. Pimedas näha võimaldava seadise skeem.

(helgiheitjatel), mida kasutatakse öösiti vaenlase jälgimiseks, on üks tõsine puudus: nad demaskeerivad selle, kes neid kasutab, reedavad vaenlasele tema asukoha. Kuivõrd otstarbekohasem oleks, kui me saaksime nähtamatutes kiirtes jälgida kõiki esemeid samuti kui nähtavateski kiirtes!

Pole raske katta prožektor klaasiga, mis üldse ei lase läbi nähtavaid kiiri, kuid laseb hästi läbi nähtamatuid kiiri. Seesuguseid klaase on olemas, ja ka infrapunaseid kiiri on prožektori valguses väga palju. Kuid millisel viisil muuta selliste kiirtega valgustatud eseme nähtamatu kujutis meie silmale nähtavaks?

Joonis 18 kujutab väga lihtsustatult, skemaatiliselt tähelepanuväärset seadist, mis lahendab ülesande ja võimaldab «näha pimedas». Te näete, et see seadis kujutab enesest lihtsalt kahe lameda põhjaga «anumat». Õhk on

sellest «anumast» välja pumbatud. Eesmise põhja siseküljele on kantud õhuke kiht ainet, mis «tunneb» ainult infrapunaseid kiiri. See on meie seadise — fotoraku katood: sellest seadisest paiskuvad infrapunaste kiirte mõjul välja elektronid.

Tagumise põhja siseküljel on õhuke kord erilist ainet — luminofoori, millel on omadus helenduda ererohelise valgusega, kui temale satuvad suure kiirusega lendavad elektronid. See kiht etendab meie fotorakus anoodi osa: ta võtab katoodist väljapääsenud elektronid vastu.

Nagu tavaliselt, ühendatakse valgustundlik kiht — katood — patarei negatiivse poolusega ja anood positiivse poolusega. Kuid erinevalt tavalisest fotorakust, kus katoodi ja anoodi vaheline pinge on mõnikümmend või kaks-kolmsada volti, on siin kasutatud mitmete tuhandete ja isegi kümnete tuhandete voltideni küündivat pinget, nii et elektronid lendavad anoodi suunas suure kiirusega.

«Anuma» ette asetatakse objektiiv, mis on hariliku fotoaparaadi või binokli objektiivivi sarnane. See objektiiv tekitab välise põhja valgustundlikule pinnale meie poolt vaadeldavate esemete kujutise. Et me aga valgustasime antud eset ainult nähtamatute, infrapunaste kiirtega, siis on selge, et see kujutis katoodil on ka nähtamatu — palja silmaga me teda ei näe. Kuid ta on olemas ja ühest või teisest katoodi kohast väljunud elektronide arv on seda suurem, mida tugevamini on see koht valgustatud infrapunaste kiirtega. Kujutise «heledates» (infrapunaste kiirte suhtes) kohtades on anoodi poole lendavate elektronide vool tugevam kui «tumedates» kohtades. Sattudes luminofoorikihile, kutsuvad need elektronid esile selle helenduse, mis loomulikult on seda tugevam, mida rohkem elektrone satub kihi antud kohale.

Niisiis helendavad need luminofoorikihi kohad, mis aset-

sevad infrapunaste kiirtega tugevasti valgustatud katoodikohtade vastas, tugevasti, need kohad aga, mis asetsevad kujutise «tumedamate» kohtade vastas, helendavad nõrgemini. Teiste sõnadega, seadise eesmisel põhjal infrapunaste kiirtega loodud nähtamatu kujutis muutub nähtavaks tema tagumisel põhjal!

Selliseid seadiseid kasutatakse mitte ainult sõjatehnikas, vaid ka rahuaegses elus.

Miks kasutatakse «ööbinoklites» infrapunaseid kiiri? Kas ei võiks kasutada ka teisi nähtamatuid kiiri, ütleme, ultraviolettkiiri?

Võib küll. On võimalik valmistada seadis, mille abil te hakkate nägema ka ultraviolettkiirtes. Kuid selline «binokkel» on palju halvem — tema abil te näete hästi ainult teile päris lähedasi esemeid; kaugemaid esemeid pole näha! Ja see on seletatav sellega, et õhk, eriti aga tolm ja udu, neelavad ultraviolettkiiri suurel määral. Infrapunastele kiirtele on aga, vastupidi, tolm ja udu läbipaistvad.

#### 4. Fotorelee.

Harjumatu, hämmastavat pilti pakuvad meile mõned meie eesrindlike tehaste tsehhid. Me näeme siin «ahelat» — pikka rida kõige keerulisemaid töomasinaid, mis teostavad «ise» ühtede või teiste toodete töötlemist. Vajalikul silmapilgul lülitub masin sisse, teostab teatava kindla operatsiooni, vahetab tööriista, töötab uuesti, jääb seisma, annab toote üle järgmisele töomasinale ning alustab ise uue tootega jne. Aga inimesed? Inimesi peaaegu polegi näha. Nad seadsid üles selle «tarkade masinate» — automaatide ahela ja ise ainult jälgivad nende tööd.

Kuidas töötavad säärased masinad-automaadid?

Iga automaat saab vajalikul silmapilgul mõnelt «tund-

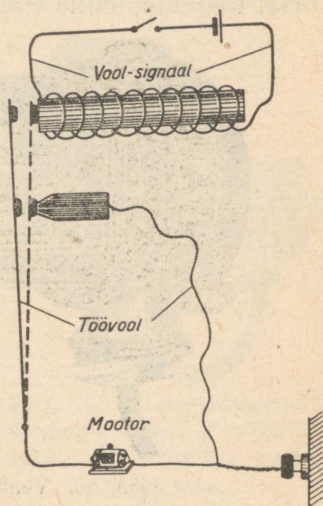
valt» seadmelt signaali ja lülitab selle signaali järgi ühe või teise «teostava» organi sisse. Enamasti on nii signaal kui ka teostamisvahend elektriline.

Üks lihtne näide. Töötab iseliikuv treipink: kui suport treiteraga jõuab teatava kohani, vajutab ta nupule, lülitab seega voolu ja annab «signaali». Selle «signaali» peale peatub automaatselt, inimese kaasabit, üks mootor või hakkab tööle teine jne. Harilikult on sellise «signaali» elektrivool väga nõrk, «teostav» vool võib aga olla isegi väga tugev.

Seadiseid või konstruktsioone, mis, saades «signaali» nõrga voolu, lülitavad sisse või välja võimsad «teostavad» voolud, nimetatakse relee deks.

Relee on iga automaat-tööpingi või -masina tähtsamaks koostusosaks. Joonisel 19 on kujutatud ühe kõige lihtsama releetüübi ehitus. Nõrk vool — signaal läbib elektromagneti mähise, seejuures tõmbub ankur magneti külge ja suleb töövoolu ahela — mootor hakkab töötama.

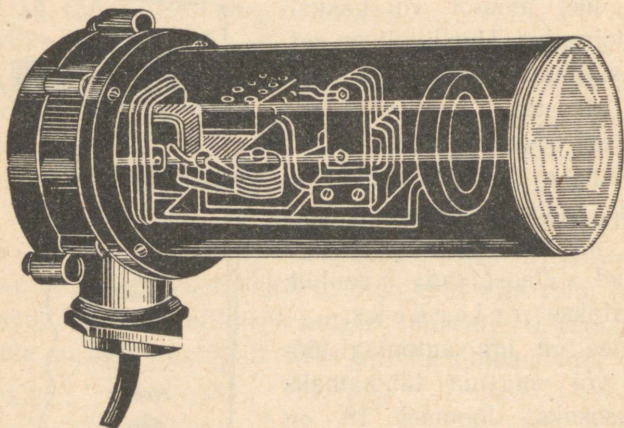
Eespooltoodud näites automaat-tööpingi kohta sulges tööpingi suport signaali ahela puhtmehhaaniliselt nupule vajutades. Kuid väga sageli osutub kohasemaks, et üht või teist masinat liikumapanev vool-signaal tekiks foto-raku abil, millele vajalikul silmapilgul hakkab mõjuma valgus. Neid seadeldisi on hakatud nimetama foto-relee deks. Pole raske aru saada, et selliseid releesid



Joon. 19. Elektromagnetilise relee ehituse skeem.

võib sisse lülitada kahel viisil: nad võivad sisse lülitada «teostava» voolu siis, kui fotoelektriline vool tekib, või siis, kui see vool kaob. Teiste sõnadega, relee hakkab «töötama» valguse sattumisel fotorakule või fotoraku valgustamise lõppemisel.

Nõukogude insener V. S. Vihman konstrueeris automaat-treipingi, mille treitera juhitakse fotorelee abil. Sel-



Joon. 20. Ventiil-fotoelemendiga fotorelee.

line treipink on võimeline teostama detailide keerulist töötlemist inimese osavõtuta. Selleks on vaid vaja asetada treipinki detaili toortükk ja kinnitada treipingi fotoraku ette valmis detaili joonis. Joonisele suunatud kiirtekimp peegeldub paberilt ja satub fotorakule. Fotorelee lülitab sisse mootori ja automaat-treipink hakkab töötama. Olenevalt joonise pinnast muutub nagu fototelegraferimiselgi peegelduva ja fotorakule langeva valguse tugevus. Koos sellega muutub ka löiketera liikumine. Sel viisil liigub treipingi löiketera täpselt joonise järgi.

Üks fotorelee tüüp on näidatud joonisel 20. Selle relee

kaksikkumer lääts kogub valguse väikesele seleen-ventiil-fotoelemendile; fotoelemendis tekkiv vool juhitakse elektromagnetilisele releele, mis on sarnane joonisel 19 kujutatuga ja mis ühendab või katkestab tugeva, «teostava» voolu ahela.

Fotoreleed võivad töötada vahelduv- ja alalisvooluga.

Viimaseil aastail on nõukogude teadlased loonud mitu täiuslikku, kõrge tundlikkusega fotoreleetüüpi.

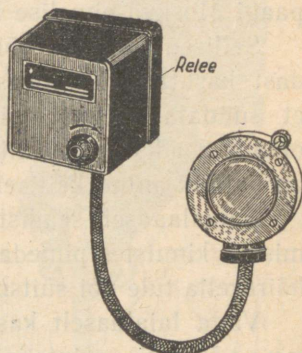
Leidur S. Klementjev on töötanud välja väga väikese-mõõdulised, endatehtud lihtsate fotoreleede konstruktsioonid; need on eriti kohased kasutamiseks mitmesugustes automaatseadeldistes.

Fotoreleede rakendamine on erakordselt mitmekesine. Me toome ainult mõned kõige lihtsamad näited.

Igas suurlinnas on väga suur tähtsus tänavavalgustuse õigeaegsel sisse- ja väljalülitamisel.

Iga liigne tuhandete lampide põlemise minut tähendab suure hulga elektrienergia otstarbetut raiskamist. Teisest küljest aga raskendab liiga hiline tänavavalgustuse sisselülitamine liiklemist ja põhjustab sageli liiklusõnnetusi.

Käesoleval ajal on ehitatud tänavavalgustuse sisse- ja väljalülitamist automaatselt reguleerivad seadised. Joonisel 21 te näete tänavavalgustust sisselülitava releega ühendatud fotoelementi. Kui päevavalguse tugevus tänavatel langeb teatavast kindlast piirist allapoole, muutub vool fotoelemendis niivõrd nõrgaks, et seadeldis lülitab sisse tänavavalgustuse.



Joon. 21. Tänavavalgustuse õigeaegse sisse- ja väljalülitamise järele valvava seadise väline kuju.

laternate elektripirnid. Hommikul, kui päevavalguse tugevus muutub küllaldaseks normaalse nähtavuse jaoks tänavatel, kasvab voolu tugevus «elektrilises silmas» uuesti ja latern lülitub välja.

Fotoreleed võivad samuti eduga sisse ja välja lülitada majakate ja tulepaakide tuld. Nõukogude insenerid Štšokin ja Sinitsõn ehitasid näiteks sellise automaat-elektritulepaagi Moskva-nimelise kanali jaoks.

Sellised seadised võivad leida ja on juba leidnud laialdast kasutamist mitmesugustes ettevõtetes. Selle asemel et süüdata valgust «silma järgi», on hoopis ökonoomsem omada seadist, mis lülitab valguse sisse momendil, mil see on vajalik antud käitisele.

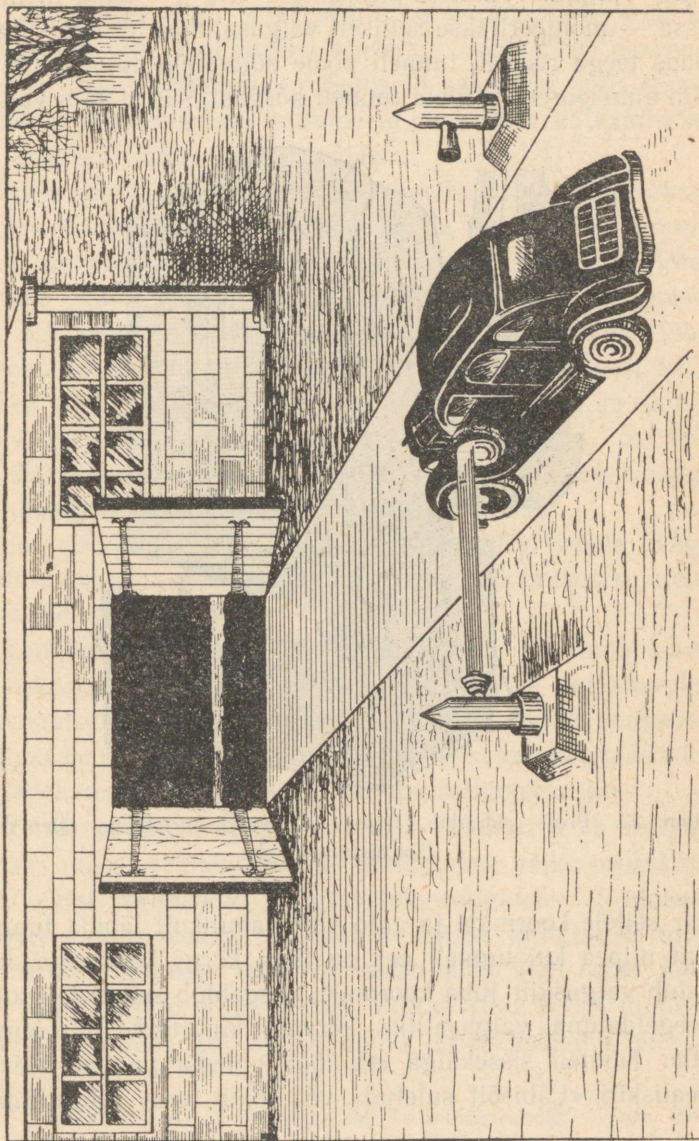
Samalaadset seadist võib kasutada kahjutulede vältimiseks kinnistes pimedates ruumides. Siin annab fotorelee häirekella tule või suitsu tekkimisel ruumis.

Väga laialdaselt kasutatakse automaatikas nn. «valgustõkke» printsiipi. Seda teostatakse nii nähtavate kui ka nähtamatute kiirtega ning järgmisel viisil. Fotoelemendile juhitakse mingisuguselt laternalt kiirtekimp ja ühendatakse see «elektriline silm» releega. Relee on ehitatud nii, et ta «valvab», s. t. lülitab sisse ühe või teise mehhanismi momendil, kui mingi kõrvaline keha läbib kiirtekimbu.

Joonisel 22 te näete sel printsiibil ehitatud seadistuste automaatselt avamiseks ja sulgemiseks. Auto läheneb garaaži uksele. Niipea kui ta läbib esimese välise valguskiire, lülitub töösse elektrimootorike ja ukсед avanevad. Garaaži sees läbib auto teise valgustõkke ja ukсед sulguvad.

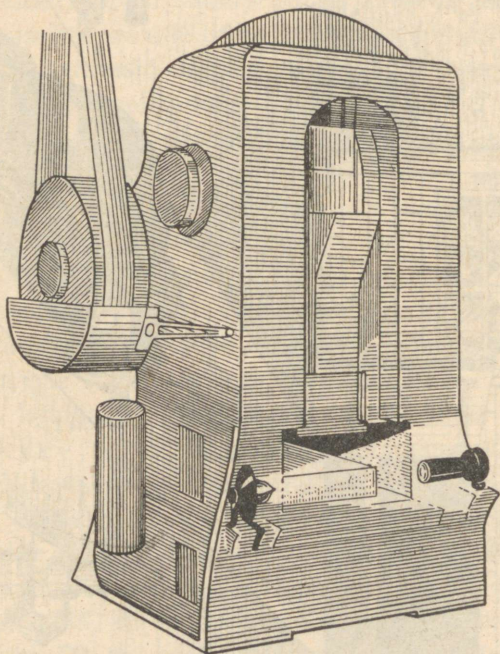
«Elektriline uksehoidja» tegutseb täpselt ja tõrkumatult.

Mägiteedel, kus on tunneleid, juhtub sageli, et suure koormaga veoauto ei saa vabalt läbida tunnelit, sest koorma kõrgus võib ületada tunneli mõõtmed. Neil juhtudel tekib autodel sageli avarii. «Elektriline silm» võib seda aga vae-



Joon. 22. Niipea kui auto läbib fotorakule langeva valguskiire, avanevad garaaži uksed.

vata vältida. Tunneli sissekäigu ette — tema ülemisse ossa — monteeritakse selliselt valgusallikas, et kiir kulgeks õhus teega rööbiti, tunneli poole sõitvatele autodele vastu. Kui autokoorem ei ületa tunneli kõrgust, siis ei satu valgus-



Joon. 23. Press pidurdub, niipea kui valguskiirtekimpu läbib mingi läbipaistmatu keha.

kiir sellele koormale ja auto võib rahulikult läbida tunneli. Ent niipea kui tunneli ees on liiga kõrge koormaga auto, satub valguskiir juba koormale, peegeldub sellelt ja langeb peegeldatuna valgusallika kõrvale kinnitatud fotoelemendile. Tunneli sissekäigu ees lööb põlema punane hoiatav pealiskiri «Läbisõit suletud» või kõlab terav häiresignaal.

Valgustõket võib sisse seada ka nähtamatute, näiteks ultraviolet- või infrapunaste kiirtega. Selle tõkke paremuks on tema nähtamatus. Selliseid seadiseid võib eduga kasutada mitmesuguste ruumide ja maa-alade valvamiseks.

Järgnevalt veel olulisem näide.

Juba enne Isamaasõda toodeti meil selliseid ohutusseadeldisi kiirpressidele. Joonisel 23 te näete sellist pressi. Vasakule poole on asetatud valgusti, mille kiir satub fotoreleele. Kuni valgus mõjub fotoelemendile, töötab press. Kui aga mõni läbipaistmatu keha löikab valguskiire läbi, näiteks kui tööline ei jõudnud õigeaegselt võtta eest kätt, katkeb vool fotoelemendis, rele hakkab töötama ja samal ajal lülitub sisse pidur. Press ei saa alla langeda. Sel teel välditakse õnnetusjuhtumeid pressi ootamatul ja enneaegsel käikulaskmisel või pressi «korduslöögi» puhul.

Fotoreleega ohutusseadeldisi võib üles seada väga mitmesugustele masinatele: valtsidele, löikamismasinatele, stantsidele jne.

Raudteetranspordil võib «valgustõket» kasutada kõige mitmekesisemateks operatsioonideks: rongide peatamiseks, automaatselt signaliseerimiseks raudteevagunite koosseisu lahtipääsemisel teel, signaliseerimiseks raudtee-ülesõidu-kohtadel, rongide liikumiskiiruse kontrollimiseks jne.

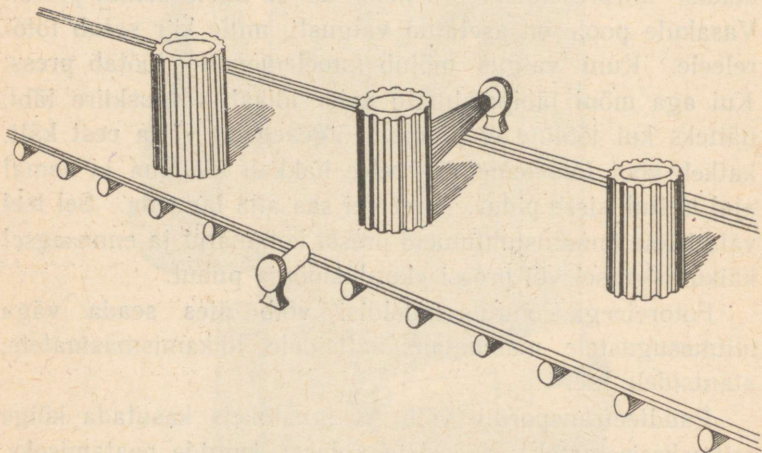
Ronge peatavat fotoelektronilist semafori võib ehitada näiteks nii, et semaforipostile kinnitatakse väike prožektor, mis heidab valguskiiri mööduvatele rongidele. Seejuures langeb valgus veduril teatavale kohale kinnitatud fotorakule<sup>1</sup>. Fotorakus tekib fotoelektronide vool, mis, läbides võimendajaid, automaatselt lülitab sisse rongi pidurid. Järelikult, niipea kui on süüdatud prožektorilamp, ei saa

---

<sup>1</sup> Kasutatavad on nii fotorakud kui ka fotoelemendid. — Vast. toim.

rong prožektorist mööduda, sellele vaatamata, kas veduri-juht märkas sellist iseäralikku «suletud semafori» või mitte.

Eriti väärtuslikuks osutub selline seadeldis, kui fotoelektronilise semafori prožektor heidab nähtamatuid — infrapunaseid — kiiri. Vastavalt sellele peab vedurile kinnitatud fotorakk reageerima ainult neile nähtamatutele kiir-



Joon. 24. Konveierile kinnitatud fotorakk toodete loendamiseks.

tele. Sel juhul töötab fotoelektroniline semafor igasuguse ilmaga hästi, näiteks paksu udugagi, sest infrapunased kiired tungivad vabalt läbi udu.

Donetsi Industriaalinstituudi kaevandus-elektrotehnika laboratoorium konstrueeris fotorelee abil töötava «automaatse rööpaseadja». Selline «rööpaseadja» võib kaevanduses edukalt asendada inimest. Lähenedes pöörangule tõstab elektriveduri juht käe ja läbib hetkeks üht või teist fotorelee valguskiirt. Pöörang suunatakse vajalikule teele.

Samalaadseid seadeldisi kasutatakse mitmesuguste esemete automaatselt loendamiseks, näiteks konveieril liikuvate toodete loendamiseks (joon. 24). Iga kord, kui mõni läbipaistmatu keha läbib kiirtekimbu, langeb järsku voolu tugevus fotorakus. Pole raske valmistada seadeldist, mis niisugusel voolutugevuse langemisel pööraks automaatselt loendaja ratast ühe jaotuse võrra, s. t. loendaks mööduvaid esemeid.

Säärased seadeldised on võimelised kõige kiiremini ja vigadeta loendama — näiteks tuhat ja enam detaili minutis!

Fotoreleesid võib kergesti kasutada mitmesuguste detailide sorteerimiseks värvuse või kuju järgi. Sel juhul konstrueeritakse selline seadeldis, milles peegelduv valgus teatavat kindlat teed mööda liikuvalt detaililt satub fotorakule. Olenevalt selle valguse tugevusest lülitab fotorelee sisse mehhanismi, mis suunab toote ühele või teisele poole.

Fotorakud on suutelised praakima mitmesuguseid tooteid täpsusega, milliseks inimene pole võimeline. Nii võivad nad märgata detailidel pisimaid pragusid, milliseid inimsilm tähele panna ei suuda.

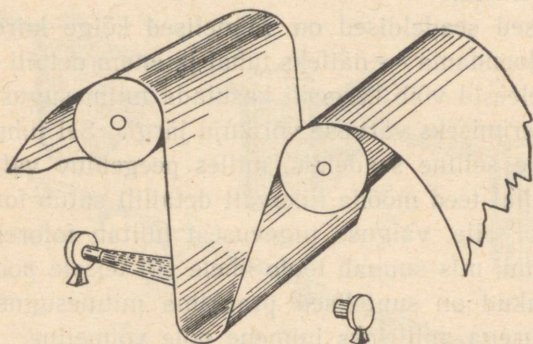
Joonisel 25 on näidatud, kuidas «elektrilise silma» abil kontrollitakse paberilindi vigastamatust. Paberimasin või trükimasin peatub lindi juhusliku katkemise momendil.

Äärmiselt väärtuslikku kontrollteenistust võivad fotorakud pidada mitmesuguste värvide valmistamisel. «Elektrilised silmad» on ju tundlikud iga peenima värvitooni suhtes. On tehtud kindlaks, et fotorakud eristavad vähemalt miljonit värvivarjundit!

Tööstuses võib laialdaselt kasutada fotoreleega seadeldisi mitmesuguste vedelikkude ja puistainete rõhtnivoo automaatseks kontrollimiseks. Selliste seadeldiste töö printsiip on väga lihtne. Kujutlege, et mingisuguse kinnise paagi või tõrre ülemisse ossa on kinnitatud valgusti ja selle

vastu fotorelee. Niikaua kui paak on tühi, langeb valguskiir fotoreleele ja selle tõttu põleb signaallamp. Niipea aga, kui paak täidetakse üle selle nivoo, kuhu on monteeritud fotorelee valgusti, reageerib fotorelee ja signaallamp kustub.

Kontroll-lambi asemel võib üles seada elektrikella. On võimalik teha ka nii, et valgus- või heli-signaliseerimise asemel hakkavad automaatselt töötama pumbad või kon-



Joon. 25. «Elektriline silm» kontrollib paberilindi vigastamatust.

veierid, mis annavad vedelikku või puistainet mõnesse reservuaari.

Selliseid seadeldisi võib kasutada väga mitmesuguste tööde juures, näiteks teravilja, jahu, nafta, kivisöe ja maagi laadimisel.

Fotorakkude rakendamise näiteid võib tuua väga palju. Nii toovad fotorakud väga suurt kasu keeruliste keemiliste ja tehnoloogiliste protsesside käigu juhtimisel ning automaatsel kontrollimisel.

Toome ainult ühe sellise näite. Me teame, kui hoolas ning tähelepanelik peab olema katlakütja või masinist arikul või tehase katlaruumis, et õigesti reguleerida kütuse põlemist küttekoldes, et õigeaegselt suurendada või vähen-

dada õhu ja põletise lisamist. Fotorakk võimaldab teostada sellist kontrolli automaatselt. Risti läbi suitsukorstna suunatakse kiirtekimp, mis mõjub releega ühendatud fotorakule. Igasugune suitsu tiheduse ja värvuse muutus muudab ta läbipaistvust ning järelikult ka voolu tugevust fotorakus. Seadist on võimalik reguleerida nii, et ta automaatselt lülitab sisse põlemist küttekoldes reguleeriva seadise, kui suitsu tihedus ja värvus kalduvad normist kas ühele või teisele poole kõrvale.

Selline «automaatkütja» võimaldab kokku hoida palju tuhandeid tonne kütust.

Samal või sarnasel kombel võib reguleerida ka teiste keemiliste protsesside kulgu.

Mitmekesised on ka fotorelee kasutamise võimalused sõjanduses. Ka siin on «elektrilised silmad» võimelised tegema erakordseid asju. Mõned näited selle kohta.

Ajakirjanduses märgiti, et Teise Maailmasõja päevil tegutsesid fotorakud edukalt paljudel laevadel... luurajatena. Selleks kasutati kõrge tundlikkusega fotorakke, vastuvõtlikke ainult soojus-, s. t. infrapunastele kiirtele. Sellised seadised «püüdsid» igasuguse ilmaga — uduga, öösiti — kauge maa tagant soojuskiirgust, mis tuli vaenlase laevade soojenenud korstnatelt, ja võimaldasid seega teha õigeaegselt kindlaks vaenlase lähedalolu.

Rea maade sõjaeriteadlased tegid ettepanekuid fotoelektroniliste torpeedode valmistamiseks. Selliste torpeedode eesosa kinnitatud fotorakk suunab torpeedo eriliste pöörde- roolide abil otse tugeva valguskiirtekimbu poole. Ajakirjanduses märgiti, et fotoelektronilist torpeedot võib kasutada õistes lahingutes niihästi igasuguste maapealsete objektide kui ka lennukite vastu. Kirjutati, et tarvitseb ainult projektori kiirega «kinni püüda» vaenlase lennuk ja saata samal ajal piki kiirt fotorakuga varustatud torpeedo, mis

kindlasti tabab eesmärki. Selleks oli vaja ainult hoida lennuk prožektorikiirides. Täpselt samuti lendab lennukilt allaheidetud fotoelektriline torpeedo näiteks laevale asetatud prožektorseadme valguse suunas.

Mõlemas viimases näites fotorakk tõesti nagu näeks eesmärki.

Ajakirjanduses märgiti samuti, et ka «valgustõke» võib leida laialdast kasutamist infrapunaste kiirte abil, millest me rääkisime eespool. Peale signaalseadiste ühendatakse siin fotorakkudega sageli ka igasugused tabamisvahendid, näiteks miin, mis lõhkeb silmapilgul, kui mingi keha — tank, auto või inimene — läbib nähtamatut valguskiirt.

Paljude muude fotorelee sõjaliste rakenduste hulgas pakub huvi tema kasutamine lasketiiril.

Kui märklauda keskohta kinnitatakse lühikesse torru paigutatud fotorakk, siis võib sellist märklauda tulistada valgusega! Valgusega tulistava püssi ehitus pole keeruline. Sellise püssi rauas on väike nõguspeegel ja väike elektrilamp punktikujulise hõõgniidiga; seejuures peegeldatakse lambivalgust peeglina nii, et püssirauast väljub peen paralleelne valguskiir. Elektrivoolu allikaks võivad olla harilikud taskulambi kuivpatareid, mis on kinnitatud kuhugi püssipära külge.

Elektrilambi sisselülitamist lühikeseks sekundi murdosaks teostatakse «valguspüssi» päästikule vajutamisega.

Tähendab, kui laskur sihtis täpselt, siis satub «tulistamisel» lühike valguskiir fotorakule ja fotorelee hakkab tööle. Pole raske korraldada, et seejuures märklaua süttiks lamp või heliseks kell.

Et siin ei ole võimalust esitada rohkem näiteid fotorakkude kasutamisest meie elus, ütleme ainult, et neid võib kasulikult ja edukalt rakendada igas tehnikaharus. Automaatne kaalumine, mitmesuguste kehade liikumiskiiruse

mõõtmise, toodete kvaliteedi ja suuruse kontrollimine, automaatne surve, temperatuuri, niiskuse ja kontsentratsiooni kontrollimine ning reguleerimine keemia-, metallurgia-, tekstiili-, toiduainete-, mäe- ja metallitöötlemistööstuses ja teistes tööstusharudes — kõik see pole kaugeltki täielik tähelepanuväärse seadise — fotoraku poolt teostatavate tööde nimekiri!

Fotorakkude kõrge tundlikkus ja nõrkade elektrivoolude mõõtmise tänapäeva meetodite ning seadiste täiuslikkus lubavad kasutada neid seadiseid ka valgusenergia mõõtmisel. Nii on näiteks võimalik fotorakkude abil kiiresti ja täpselt mõõta kaugetelt, vaevalt nähtavatelt või inimsilmaga üldse mitte nähtavatelt planeetidelt tulevat valgust.

Tänapäeval töötab teaduslikes laboratooriumides palju optilisi seadiseid, mis mõõdavad valguse tugevust fotorakkudes tekkiva elektrivoolu tugevuse põhjal. Need seadised võimaldavad teadlastel täpselt ja sügavalt tungida meid ümbritseva maailma füüsikaliste nähtuste olemusse, see on omakorda aga tehnika edaspidise arenemise pandiks ja aluseks.

## 5. Valgustelefon ja «rääkivad» kirjatähed.

Juba palju sajandeid tagasi kasutas inimene valgust mitmesuguste teadete edasiandmisel kauge maa taha. Nii hoiatasid zaporožlased ümbruskonna asulate elanikke heledate tulelõketega vaenlase sõjaretkede eest. Hiljem ehitati kõrgeid torne, kust anti kaugusse edasi leppelisi valgussignaale; seejuures tähendasid mitmesugused eri märgid mitmesuguseid eri sõnu ja lauseid. Sel teel oli võimalik lihtne kõnelus. Oli ka palju teisi katseid valguse kasutamiseks kaugkõnelemise eesmärgil. Kuid täiuslik valgustelefon ehitati alles peale «elektriliste silmade» leiutamist. Valgustelefon on ehitatud järgmiselt.

Te räägite saatejaama mikrofonis ees. Mikrofon on ühendatud alalisvoolu allikaga. Membraani võngete läbi tekib temas pulseeriv vool. Vooluvõnked vastavad täpselt helivõngetele. See vool tugevneb ja satub kaarlambile. Lambis tekkiv vahelduva heledusega valgus peegeldatakse nõguspeegli ja saadetakse paralleelkiirte kimbuna vastuvõtijaama. Valgustugevuse võnked vastavad helilaine võngetele.

Vastuvõtijaamas võetakse valgus samal kombel vastu nõguspeegli (selle kuju ühtib erilise kõveraga — parabooliga); valgus peegeldub sellest peeglist ja langeb fotorakule. Fotorakk on ühendatud elektripatari ja mikrofoniga. Muutliku tugevusega langeva valguse tõttu tekib fotorakus pulseeriv vool. See vool mõjub mikrofonis membraanile ja inimene kuuleb teie poolt saatejaamas öeldud sõnu.

Sellisel kõneldakse valguse abil suurte vahemaade tagant.

Veel huvitavam on fotoraku kasutamine «lugemismasinates» pimedatele. See masin on ehitatud sellisel, et raamatu «lugemisel» tähed «räägivad» — iga täht tekitab eri heli!

Kuidas see toimub?

Masinast juhitakse avatud raamatu reale neli peent valguskiirtekimpu. Neid juhitakse piki rida sellisel, et nad kataksid kõiki tähti reakõrguselt. Raamatust peegelduv valgus satub fotorakule. Tekkivaid voolusid võimendatakse ja juhitakse mikrofonile. Et aga ükski neljast kiirtekimbust, läbides mitmesuguseid tähti, ei kohta oma teel musti täheosi üheaegselt teistega, siis on selge, et eri tähtede läbimisel kostavad mikrofonist toonilt ja kestuselt erinevad helid (pidage mees, et valgus peegeldub raamatu valgetelt ja mustadelt osadelt erinevalt).

Heli iseloomu järgi tunneb pime üksikuid tähti.

«Lugemismasina» abil võib «lugeda» harilikku raamatutrukki!

Selliste masinate esimesed täiuslikud tüübid löid vene leidurid Tjurin ja B. Rozing juba XX sajandi algul.

Hiljem, aastail 1929—1933, töötas professor I. A. Sokoljanski Harkovi Eksperimentaalse Meditsiini Instituudis välja veel huvitavama «lugemismasina» konstruktsiooni pimedatele kurtummadele; selles tajub lugeja loetava raamatu tähti kompamise teel. Selle masina põhiliseks osaks on samuti «elektriline silm».

### Lõppsõna.

Te tutvusite haruldaste seadistega — fotorakkudega. Need pisiseadised on tõesti inimese suurepärased abilised. Nad loendavad ja praagivad, valvavad ja avavad ukse, lülitavad sisse ja välja valgust, väldivad katastroofe ja õnnetusjuhtumeid, annavad kauge maa taha edasi kujutisi ning taastekitavad heli kinos.

Möödunud sajandi lõpul vene õpetlase laboratooriumis loodud fotorakk on hiilgavamaid vene ja maailma teaduse saavutusi.

Selle seadise leiutamine räägib meile veel kord teaduse suurest tähtsusest inimühiskonna arenemises, teooria ja praktika lahutamatumusest, inimhõimuse piiramatust võimalustest loodusjõudude tundmaõppimisel ja nende rakendamisel inimese teenistusse.

Fotoraku kasutamise võimalused meie elus on loendamatud!

Ning võib julgesti öelda, et on üsna lähedal aeg, kus fotorakk muudab sõnulseletamatult meie elu — asendab inimest paljudel rasketel ja ohtlikudel töödel, kümnekordistab

töäjõudlust, toob iga töötaja korterisse igapäevase «elava», rääkiva ajalehe ning muutub ise uute haruldaste lugevate, rääkivate ja töötavate seadiste, aparaatide ning masinate leiutamise aluseks!

Nõukogude teadlase L. A. Kubetski poolt leiutatud uued, täiuslikumad fotoefektinähtusi kasutavad seadised — sekundaar-elektronitorud — annavad kõik alused oodata seda lähedast tulevikku.

Selline on «elektriliste silmade» tulevik meil, sotsialistlikus riigis. Sest on sügav erinevus fotorakkude kasutamises meil, Nõukogude Liidus, ja kapitalistlikes maades. Nii näiteks kasutatakse käesoleval ajal Ameerikas fotorakke peaaesjalikult sõjalisteks otstarveteks ja kasumite saamiseks. Viimast liiki rakendamiste hulka kuulub näiteks järgmine: kaupluse vaateaken on pime. Ent niipea kui sellest möödub inimene, süttivad vaateaknal elektrilambid ja valgustavad heledalt väljapandud kaupu. Suures aus on kapitalistlikes riikides ka rikkaille igasuguseid elumugavusi loovad fotorakkudega seadised.

Teistsuguste silmadega vaatavad fotorakule Nõukogude valitsus, nõukogude teadlased ja leiutajad. Nad näevad selles seadises ammutamatuid võimalusi nõukogude inimeste töö kergendamiseks, parandamiseks ja täiesti ohutuks muutmiseks.

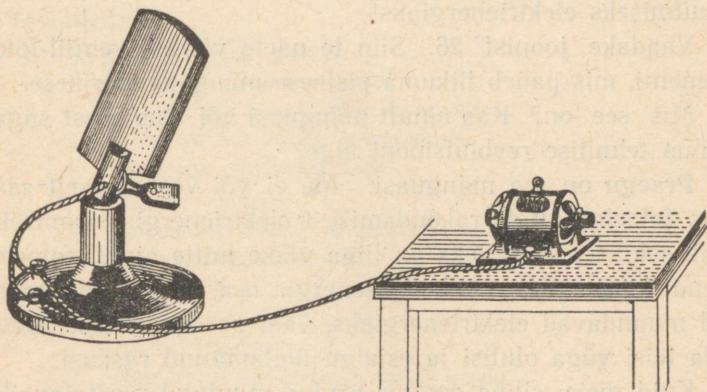
Sotsialistlikus riigis on fotorakkude «tegevuse» iseloom teravalt erinev. Siin teostavad nad suurt tänuväärset tööd — töötava inimese tähelepaneliku ja terase abilise tööd. Just seepärast kasutatakse nõukogude teaduses ja tehnikas iga aastaga ikka enam ja enam tähelepanuväärseid füüsikaseadiseid — fotorakke.

Ikka laiemalt rakendatakse meie maal fotorakke igasugustes ohutusseadeldistes, nõukogude inimese tööd kergendavates seadeldistes. Meil töötab see seadis ka maa all.

Nii läidavad fotorakud Donbassi söekaevandustes värava-vahtide ülesannet — nad avavad ja sulevad rõhtsates kaevanduskäikudes tihedalt sulguvaid uksi, kui sõidavad läbi elektrivedurid kivisöega.

Lõpuks tahaksime ära märkida veel ühe asjaolu.

Fotoelement — see on väike elektrimasin. Ta muudab temale langeva valgusenergia otse elektrivooluenergiaks.



Joon. 26. Väike ventiil-fotoelement käivitab pisikese mootori.

Kas ei või seetõttu loota, et tulevikus meil õnnestub saada otseselt päikesevalgusest seda elektrienergiat, mida vajame oma tehastes ja vabrikutes, põllumajanduses ja igapäevases elus?

Päikeselt pideva vooluna meie planeedile langev kiirgusenergia on peamine ning tegelikult ainuke energia-allikas, mida kasutavad inimene ning kõik elav maa peal. Kuid me ei oska veel kasutada seda energiat otseselt. Me kasutame teda kaudselt ja pillavalt, paljude muundumiste kaudu.

Puude või söe põletamisel küttekolletes me kasutame varem taimede poolt varutud päikeseenergiat. Puud, süsi,

nafta — need on omamoodi päikeseenergia-akumulaatorid, «päikesekonservid».

Kui langev vesi paneb liikuma meie hüdroelektrijaamade turbiinid, siis kasutame tegelikult ka siin päikesekiirte energiat, sest nende kiirte mõjul tõusis vesi üles pilvedesse (s. t. aurus); langedes alla maa peale ta täiendab vee-«tagavara» jõgedes.

Fotoelemendid avavad meile otsese tee päikeseenergia muutmiseks elektrienergiaks!

Vaadake joonist 26. Siin te näete väikest ventiil-fotoelementi, mis paneb liikuma pisikese mängumootorikese.

Mis see on? Kas ainult mänguasi või tõepoolest sügavaima tehnilise revolutsiooni alge?

Praegu on see mänguasi. Me ei või veel tõsiselt rääkida fotoelementide rakendamisest elektrienergia saamiseks päikesekiirtest. Selleks on liiga väike mitte ainult fotoelementi kasutegur, s. t. kiirgusenergia osa, mida fotoelemendid muundavad elektrienergiaks, vaid on olemas veel terve rida teisi väga olulisi ja esialgu ületamatuid raskusi.

Kuid meie silme ees on teadus muutnud teostatavaks selliseid asju, mis veel päris hiljuti tundusid võimatutena! Miks ei võiks me ka siin mõelda, et mis on võimatu täna, muutub võimalikuks homme. Ja kes teab — võib-olla on juba selle raamatu lugejate hulgas inimene, kes lähemas tulevikus ehitab esimese võimsa fotoelektrilise päikese-masina!



## SISUKORD.

	Lk.
Sissejuhatus . . . . .	3
I. Valguse tekitatud elekter . . . . .	4
1. Suure vene füüsiku katsed . . . . .	4
2. Mis toimub kehade elektriseerumisel? . . . . .	7
3. Fotoelektrilise efekti põhiseadused . . . . .	11
4. Valgusega «pommitamine» . . . . .	16
II. Fotorakkude ehitus . . . . .	19
1. Vaakuum-fotorakud ja gaastäite-fotorakud . . . . .	19
2. Sekundaar-elektronitorud . . . . .	27
3. Fototakistid ja ventiil-fotoelemendid . . . . .	30
III. «Elektrilised silmad» töötavad . . . . .	36
1. Rääkiv kinolint . . . . .	36
2. Ülesvõte on antud edasi traadi kaudu . . . . .	39
3. «Elektriline silm» näeb pimedas . . . . .	43
4. Fotorelee . . . . .	46
5. Valgustelefon ja «rääkivad» kirjatähed . . . . .	59
Lõppsõna . . . . .	61

*Vastutav toimetaja H. Marran.  
Keeleline toimetaja Ü. Rattur.  
Tehniline toimetaja I. Rammi.*

Ladumisele antud 27. II 1950.  
Trükkimisele antud 25. V 1950.  
Trükiarv 3000. Paber 56×79,  
 $\frac{1}{16}$ . Trükipoognaid 4,125. Formaadi  
60×92 kohaldatud trükipoognaid 3,3.  
Arvutuspoognaid 3,06. MB-03340. Trükikoda  
„Noor-Eesti“, Tartu, Kastani 38.  
Tellimise nr. 418.

На эстонском языке.  
В. А. Мезенцев. Электриче-  
ский глаз.

*Hind rbl. 1,25*



A-16558

Rbl. 1.25

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00497861 7