

Kõige suurem mõju avaldab valguse kiirguse muutumine
 valguse kiirguse muutumise tõttu. Kõige suurem mõju
 avaldab valguse kiirguse muutumine valguse kiirguse
 muutumise tõttu. Kõige suurem mõju avaldab valguse
 kiirguse muutumine valguse kiirguse muutumise tõttu.
 Kõige suurem mõju avaldab valguse kiirguse muutumine
 valguse kiirguse muutumise tõttu. Kõige suurem mõju
 avaldab valguse kiirguse muutumine valguse kiirguse
 muutumise tõttu. Kõige suurem mõju avaldab valguse
 kiirguse muutumine valguse kiirguse muutumise tõttu.

Et T. U. Kõige suurem mõju avaldab valguse kiirguse
 muutumine valguse kiirguse muutumise tõttu. Kõige
 suurem mõju avaldab valguse kiirguse muutumine
 valguse kiirguse muutumise tõttu. Kõige suurem mõju
 avaldab valguse kiirguse muutumine valguse kiirguse
 muutumise tõttu. Kõige suurem mõju avaldab valguse
 kiirguse muutumine valguse kiirguse muutumise tõttu.
 Kõige suurem mõju avaldab valguse kiirguse muutumine
 valguse kiirguse muutumise tõttu. Kõige suurem mõju
 avaldab valguse kiirguse muutumine valguse kiirguse
 muutumise tõttu. Kõige suurem mõju avaldab valguse
 kiirguse muutumine valguse kiirguse muutumise tõttu.

**LIHTSA ELEKTROMIKROFOTOMEETRI KONSTRUKTSIOONI
VÕIMALUSI.**

CONSTRUCTING A SIMPLE ELECTROPHOTOMETER.

A. Kipper.

Paljude probleemide lahendamine astronoomias ja füüsikas on
 seotud valgustugevuse mõõtmise võimalusega ja tihti on oluline,
 et see toimuks võimalikult täpsalt ja objektiivselt. Vanimate valgus-
 mõõtmisriistade ehk nn. fotomeetrite põhimõte seisib kahe, ühe
 mõõdetava ja teise standard-valgusallika võrdlemises, või jälle mõõ-

detava valguse nõrgendamises vahele asetatava neutraalse kiilu abil kuni nähtavuse kustumiseni. Mõlematel juhtudel on otsustajaks vaatleja silm. Hilisemal ajal täienes valgusmõõtmismeetod fotoplaadi tarvituselevõtuga ning mõõtmise toimus mitte otseselt valgusallikalt tuleva valgusega, vaid fotoplaadil esilekutsutud tumenemise mõõtmisega. Sellega saavutatakse suurem täpsus, sest fotoplaadi mõõtmine on palju mugavam, kui näiteks külmadel talveöödel piksilma juures töötamine. Kuid siin on jällegi otsuse andjaks inimese silm kõikide oma subjektiivsete vigadega. Lisaks kõigele on kirjeldatud viisil fotomeetrimine väga aeganõudev ning mõõtmiste ümber-
töötamine raskepärane. Eeltoodu põhjal on selge, et suurima täpsuse saavutamiseks püütakse inimese silma asendada mingi objektiivsena mõõtmisriistaga ning on konstrueeritud fotomeetreid, kus valgust mõõdetakse fotoelektrilisel teel kas otse valgusallikalt või fotoplaadilt. Viimasel juhul registreerib riist ise mõõtmistulemuse kõvera kujul paberile ning andmete ümber-
töötajal on tarvis ainult mõõt-
sirkliga mõõta kõvera ordinaate.

Et T. Ü. tähetornil puudus kirjeldatud objektiivne fotomeeter, tarvidus selle järele aga on suur, siis kaaluti selle muretsemise võimalusi. Välismaalt tellimisel oleks esinenud ülepääsetamatuid rahalisi raskusi, sellega jäi järele võimalus riist ehitada kodumaal. Järgnevas on toodud aparadi konstruktsiooni kaalutlusi, kusjuures on esmajärgus silmas peetud, et riista hind ei ületaks meie ülikooli instituutide eelarvete kandejõudu (mitte üle 600 kr.).

Fotomeeter, plaadil oleva tähekujutise või spektri mõõtmiseks, koosneb järgnevatest osadest:

1) Võimalikult konstantse valgustugevusega lamp, näit. elektripirn, mille valgus läbib plaadi ja seetõttu nõrgeneb vastavalt plaadi tumedusele sellest kohast.

2) Optiline seadeldis, valguse juhtimiseks fotorakule.

3) Fotorakk, mis muudab temale langeva valguse elektriliseks energiaks.

4) Fotovoolu mõõtmisriist (kas elektro- või galvanomeeter), tarbe korral voolutugevdaja.

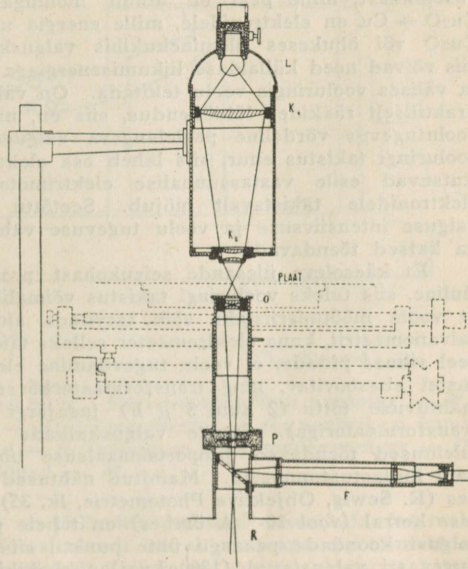
5) Plaadihoidja ja registreerimislinde hoidja. Spektri mõõtmise korral peavad need osad pidevalt nihutatud olema nii, et plaati läbib mõõdetav valgusvihk liiguks üle plaadi. Sellejuures peab registreeritav lint samuti teatava ülekande mooduli kordselt eelmisega sünkroonselt liikuma.

6) Plaadi- ja registreerimislinde hoidjaid liikuma panev mehhanism (kas elektrimootor või kellavärk).

Vaatleme neid punkte üksikult.

1) Tavalised müügil olevad taskulambid ja autolambid annavad küllaldaselt konstantset valgust, kui voolu võimsus ei muutu. Käesoleva ülesande seisukohast on nõutav, et ta täpsalt konstantne oleks ainult spektri registreerimise vältel, ülimalt 5 minuti kestel, kuna väiksemad muutused pikema aja kestel ei ole nii ohtlikud. Konstantset voolu võib saada küllalt suure mahutusega akumulaatorist, pealegi on veel võimalus voolu tugevust ja pinget alati kontrollida.

2) Lambilt tulev valgus tuleb juhtida läbi fotoplaadi, kusjuures valgustugevus oleks küllalt suur, et kutsuda esile fotorakus mõõdetavat efekti. Selleks tuleb lambi ette asetada kondensor ja nimelt nii, et valgus oleks plaadil koondunud hästi väikesele pinnale. Enne aga kui juhtida valguskimp edasi fotorakule, peame kimbust eraldama need kiired, mis läbivad plaati ebasoovital kohal, näit. mõõdetava tähe ümber; peame valguskimbu teele asetama ette kas ümmarguse või pilukujulise diafragma, mis oleks küllalt väike, et sellest pääseks läbi ainult see valgus, mis läbib mõõdetavat plaadiosa. Diafragma võib asetada lambi ja plaadi vahel, kusjuures vastava objektiviiga, harilikult mikroskoobi objektiviiga, see on projekteeritav plaadile. (Elektromikrophotometer Rosenbergi järgi Z. f. Instr. 45, lk. 318). Niisugusel korral tuleb arvestada suure valgushulga kaotusega, mille tõttu lamp peab olema küllalt suur. Teine võimalus on diafragma või pilu asetamine otse plaadi taha (Mikrophotometer Moll). Siinjuures aga tuleb silmas pidada, et diafragma oleks küllaldaselt väike või pilu kitsas, sest mõõtmisel väikeste spektrite või tähtede mõõtmisel mõõdetava plaadiosa läbimõõt ei ületa 0,1 mm. Nii väikeste pilude valgustamine on võimalik, kuid raske. Kolmas võimalus on optilise süsteemi abil projektida plaat suurendatult pilule, mis siis ei tarvitse olla väga väike ning mille valmistamine on märksa kergem. Viimane tee on nähtavasti kõige kohasem teostamiseks ning juuresolev joonis nr. 3 kujutab sellekohast konstruktsiooni. Siin on *L* lamp, *K1* esimene kondensor, *K2* teine kondensor, mis muudab plaadile langeva valguskimbu tõmbiks, millega saavutatakse valguse tugevuse kokkuhoid, nagu joonisel esitatud kiirtekäigust näha. *O* on objektivi, mis projektib plaadi *PI* kümnekordselt suurendatuna pilule *P*. Et mõõdetava eseme seadmine täpsalt pilu kohta silma järgi on väga raske ja samuti on tarvilik mõõtmise ajal jälgida mõõdetavat plaati, siis on pilu läbinud kiirete teele asetatud ette 45° nurgiga klaasplaat, mis väikese murdosa kiiri juhhib kõrvale pikksilma *F*, milles paistab siis pilu ja selle läbi mõõdetav plaadi osa. Läbi klaasplaadi minevad kiired aga suunduvad fotorakule *R*.



3. joon. Fotomeetri optiline seadeldis valguse juhtimiseks fotoelemendile.

3) Fotorakk on viimastel aastatel eriliselt leidnud kasutamist tehnikas, eriti aga helifilmis, pilditelegraafis, raadiokino, mitmesuguste releede juures jne., nii et selle arendamine on jõudnud väga kaugemale ja neid valmistatakse küllaldaselt hea kvaliteediga massiliselt. Fotorakud jagunevad oma iseloomu poolest kahte rühma: nn. seesmise valguseefektiga fotorakud, mille puhul neile langeva valguse tõttu muutub elektriline takistus, ja välise valguseefektiga fotorakud, mille valguse tema intensiivsusele võrdelise elektromotoorse jõu tekitab. Esimesse rühma kuuluvad seleen- ja talliumfotorakud, kuna teises rühmas esinevad vakuum- ja gaasiga täidetud fotorakud Elster ja Geiteli järgi ja nn. tõkkekihi fotorakud Schottky järgi.

Käesoleva ülesande jaoks seleen- ja tallium-fotorakud vaevalt tulevad arvesse, sest nad omavad suurt inertsi (reaktsioon ei järgne kohe valguse peale

langedes) ning nendel tuleb ilmsiks väga kontrastselt nn. väsimusnähtus, s. o. tundlikkus oleneb valgustugevusest ja valgusajast Lõpuks on seleen- ja talliumfotorakud tundlikud temperatuuri ja niiskuse muutmisele. Hoopis konstantsemad ja seega ka käesoleva ülesande jaoks kohasemad on vaakuum- ja gaasfotorakud, kus katoodi, harilikult leelismetallist, valgustatakse mõõdetava valgusega. Valguse kvantid peksavad metallpinnast elektrone lahti, mida piütakse kinni positiivselt laetud anoodiga. Tekkinud fotovool on proportsionaalne pealelangeva valgusega. Fotovool on gaasiga täidetud (argoon, neon, heelium) elementidel suurem ning kasvab eelpeelge kasvuga, saavutades vaakuumfotolelementidel küllastuse 100—200 voldi ümber, kuna gaasfotolelementide fotovool võib piiramatult suureneada. Praktiliselt ei või aga helenduse piirist üle minna, sest et siis teised kõrvalmõjud fotovoolu täiesti katavad. Praktiliselt on kaaliumelektroodiga fotorakkude fotovool 0,5—5 μ A/Lm., tseesium-hõbekatoodiga aga 20—60 μ A/Lm.

Meie fotomeetri juures läbi plaadi tulev valgus on, arvestades autolampide keskmist valgust ning valguse kasutust kondensorite kaudu, umbes 0,1 Lm, millest järgneksid voolud 10⁻⁸ Amp. piirides. Niisugused voolud on mõõdetavad küllalt täpsa galvanomeetriaga või elektromeetriaga. Hoopis suuremaid fotovoole kuni 400 μ A/Lm võib saavutada tõkkekihi fotoelementiga, mida meie edaspidi nimetame lihtsalt fotoelementiks, kuna gaas- ja vaakuumfotorakke fotorakkudeks kutsume. Tõkkekihi fotoelement koosneb harilikult vasepinnast, mille peal on ainult mõningate μ pakuselt Cu_2O kiht. Siht $\text{Cu}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}$ on elektronidele, mille energia umbes 0,2 e. volti, tõkestatud. Kui Cu_2O või õhukeses üleminekukihis valguskvandid elektrone lahti peksavad, siis võivad need küllaldase liikumisenergiaga varustatult tõkkekihist läbi minna ja välises vooluringis voolu tekitada. On välise vooluringi takistus väga väike, praktiliselt rääkides lühiühendus, siis on, nagu see ka loomulikuna paistab, voolutugevus võrdeline pealelangeva valguse intensiivsusega. On aga välisvooluringi takistus suur, siis läheb osa elektrone sihis $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$ tagasi ning kutsuvad esile vastassuunalise elektrimootorse jõu, mis uuesti tekkivatele elektronidele takistavalt mõjub. Seetõttu on oodata, et proportsionaalsus valguse intensiivsuse ja voolu tugevuse vahel kaduma läheb, nii nagu seda ka katsed tõendavad.

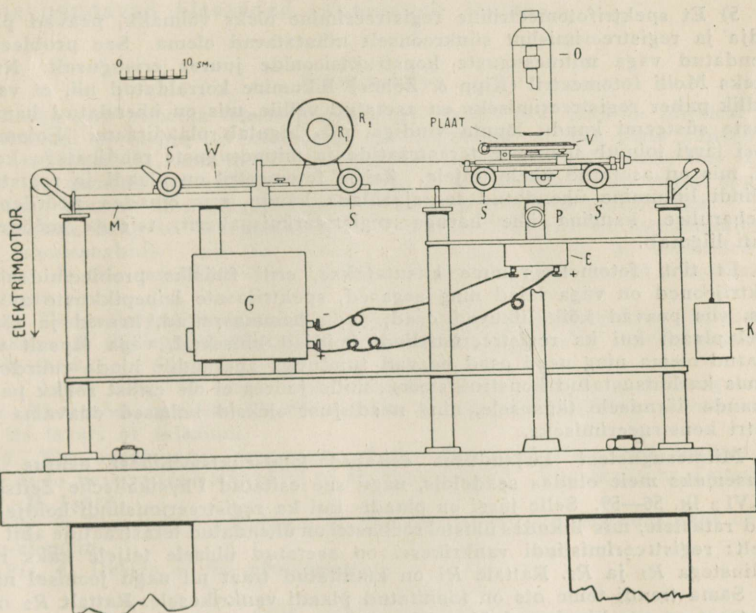
Et käesoleva ülesande seisukohast proportsionaalsuse omadus on väga oluline, siis tuleks vooluringi takistus võimalikult väikesena hoida; siit järgneb, et voolu mõõtmisriistaks võib tarvitada ainult väikeses seesmise takistusega galvanomeetrit, kuna elektromeeter selleks täiesti kõlbmatu on. Peale selle tuleb veel silmas pidada, et voolu tugevdamine elektrontorude abil on samadel põhjustel ebasoovitav, ning transformaatorikõvendus ei anna fotoelementi suure mahtuvuse tõttu (2 kuni 3 μ F) tagajärgi (suur kondensaator paralleelselt transformaatoriga). Suurte valgushulkade puhul ei ole, nagu seda katsed tulemused tõendavad, proportsionaalsuse tingimus täidetud, ilmutades teatavaid küllastustunnuseid. Mainitud nähtused ilmuvad umbes 10 000 Luxi piirides (R. Sewig, Objektive Photometrie, lk. 35). Teiselt poolt väga nõrga valgustuse korral (vool 10⁻⁸ A ümber) on tähele pandud teatavat inertsi. Kui aga valgust koondada peaaegu ühte punkti, siis on inerts ka märksa väiksem. Tugevasti valgustatud (1000 Luxi) tõkkekihi fotoelementide juures on tähele pandud ka ajalist hüstereesi, mis avaldub selles, et kestvalt tugeva valgusega valgustatud fotoelementi puhul fotovool mõningate päevade kestel asümptootiliselt stationsaarsele tugevusele läheneb. Umbes 30 min. puhkuse korral (täielik pimedus) aga toimub täielik regeneratsioon, nii et suurest valgusest esilekutsutud häired kestva iseloomuga ei ole.

Teoreetiliselt peaks tõkkekihi fotoelementi fotovool olenema temperatuurist, sest et sellest teatavasti oleneb tõkkekihi omadus (katseliselt teada), samuti võivad tekkida ka termovoolud. Arvestades aga seniseid katselisi tulemusi, võib 1% mõõtmistäpsusel temperatuuri mõjust loobuda. Suurema täpsuse korral peab aga seda arvestama või vähemalt mõõtmise kestel 1% piirides konstantsena hoidma. Kui aga temperatuuri häired tõepoolest segavalt mõjuvad, tuleks vooluringi juurde monteerida temperatuuri kompensatsioonseadeldis, mida näiteks võib saavutada paralleelselt juurdelülitatud samasuguse fotoelementiga.

Seejuures valgustatakse viimast valgusega, mis tuleb otse lambilt ilma plaati läbimata. Nii saavutatakse peale temperatuuri ka lambi valguse kõikumise kompensatsioon.

Arvestades eeltoodud fakte on tõkkekivi fotoelement kohasem käesolevaks ülesandeks, andes suurimat fotovoolu ning kaldudes kõrvale proportsionaalsuse tingimustest alles liiga suurte või väikeste valgustugevuste puhul ning suurte temperatuurikõikumiste korral.

4) Fotovoolu mõõtmisriistadena tulevad esmajoones arvesse elektromeeter või galvanomeeter. Esimene neist koos paralleelselt lülitatud suure takistusega (10^{-9} Amp. voolude puhul 10^{-8} oomi) võimaldavad mõõta küllaldase



4. joon. Fotomeetri ehitusskeem. Registreerimislinde vankrike — W ; plaadi vankrike — V ; fotoelement — E ; galvanomeeter — G ; vankrikesi kandvad kuullaagritega varustatud rattad — S ; lambipesa ühes kondensoriga — O ; rööpad — M .

täpsusega väga väikesi voole ning on selletõttu kohased rakendada fotovoolu mõõtmiseks fotorakkude juurde. Fotoelemendi korral peab aga elektromeetrist loobuma, sest et niisugusel korral vooluringi lõpmata suure takistuse korral proportsionaalsus valgushulga ja fotovoolu juures kaduma läheb. Ja et eelpooltoodud kaalutluste põhjal oleme jäänud tõkkekivi fotoelemendi juurde, siis tuleb käesoleva ülesande jaoks arvesse ainult galvanomeeter.

Arvestades, et nn. seleentõkkekivi fotoelement annab voolu 400μ A/Lm ja et fotomeetri, lambi valgustugevus on ilma vaheleasetatud neeluva plaadita $0,1$ Lm piirides, on mõõdetavad fotovoolud 10^{-5} A piirides. Sääraseid voole võib mõõta isegi juba pretsiisse milliampermeetriga, mis on märksa odavam kui elektromeeter või täppis galvanomeeter. Väga mitmesugustest galvanomeetri tüüpidest käesoleva ülesande seisukohast tulevad arvesse esmajoones pöörleva pooliga galvanomeetrid. Mainitud mõõtmisriistad on suure tundlikkuse kõrval peaaegu täiesti olenematud välisest elektri- ja magnetivälja mõjutustest ning temperatuuri kõikumistest, mida näiteks liikuva magnetiga galvanomeetrite kohta öelda ei saa. Väga kohased fotovoolu mõõtmiseks on ka „Saitengalvano-

meter“ Edelmanni järgi ja „Schleifengalvanometer“ Daubner'i ja Zeissi järgi, sest et nad pea igasuguste välistakistuste korral aperioodiliselt võnguvad, mille tõttu kohastamiskiirus (Einstellzeit) üle 0,2 sekundi ei ulatu. Eriti soodus selles suhtes on just „Schleifengalvanometer“, kus tundlikkusel 10^{-8} Amp seesmine takistus on ainult 6 oomi. Saitengalvanomeetri suurema tundlikkuse ja kiirema kohastamiskiiruse arvel on aga tema seesmine takistus märksa suurem, igatahes rohkem kui 100 oomi. Raskuseks viimase kahe väga kohase galvanomeetri tüübi juures on aga nende võrdlemisi kõrge hind, ulatudes lihtsamatel tüüpidel 500 kroonini. Ja just majanduslikest kaalutlusist lähtudes tuleb peatuma jääda odavamatele, pöörleva pooliga galvanomeetritele või isegi milliampermeetritele.

5) Et spektrifotomeetriline registreerimine oleks võimalik, peavad plaadihoidja ja registreerimislint sünkroonselt nihutatavad olema. See probleem on lahendatud väga mitmesuguste konstruktsioonide juures erisuguselt. Nii on näiteks Molli fotomeetril (Kipp & Zöhne) liikumine korraldatud nii, et valgustundlik paber registreerimiseks on asetatud völliile, mis on ühendatud hammasrataste süsteemi kaudu lõputa vindiga, mis liigutab plaadiraami. Fotomeetril Goosi järgi toimub ülekande terastraatide ja mitmesuguste raadiustega ketaste abil, mis on asetatud ühele teljele. Zeissi fotomeetril on plaadi ja registreerimislinde liikumine ühendatud terasjoonlaua kaudu, mis omades pöördepunkti kaheharulise kangina ühe haruga registreerimispaperit, teisega mõõdetavat plaati liigutab.

Et tihti fotometrogramme kasutatakse, eriti füüsika probleemides, kus spektrijooned on väga laiad ning segased, spektrijoonete lainepikkuste mõõtmiseks, siis peavad kõik liikuvad osad, nagu hammasrattad, kruvid ja rööpad, millel plaadi kui ka registreerimislinde hoidjad libisevad, väga täpsalt väljatöötatud olema ning need osad lisavad tunduvalt aparaadile hinda juurde. On olemas ka lihtsustatud konstruktsioone, mille juures ei ole erilist rõhku pandud ülekande äärmisele täpsusele, ning need just oleksid kohased odavama fotomeetri konstrueerimiseks.

Mitmesugustest kirjanduses esitatud konstruktsioonidest osutus kõige kohasemaks meie oludes seadeldis, nagu see esitatud *Physikalische Zeitschrift* XXXVI: lk. 56—59. Selle järgi on plaadi- kui ka registreerimislinde-hoidja asetatud ratastele, mis liikudes ühistel rööbastel on ühendatud terastraatide abil järgmiselt: registreerimislinde vankrikesel on asetatud ühele teljele kaks ratast raadiustega R_1 ja R_2 . Rattale R_1 on kinnitatud traat nii nagu joonisel näidatud. Sama traadi teine ots on kinnitatud plaadi vankrikele. Rattalt R_2 minev terastraat on aga kinnitatud ühe rööpa külge. Peale selle on registreerimislinde vankrilt juhitud kolmas traat üle ploki elektrimootori või kellamehhanismi külge, kuna plaadi vankrikeselt minev traat kannab tasakaalustamisraskust K . Kogu süsteem peab nii korraldatud olema, et kõik traadid läheksid ühel joonel ja läbiks vankrikest raskuskeskmeid võimalikult lähedalt. Nüüd on selge, et tõmmates registreerimislinde vankrikest joonisel näidatud suunas, hakkab ka liikuma plaadi vankrike, kuid vahekorras $R : R$ ($R_2 - 1/2$) aeglasemalt, millega saavutatakse teatav ülekande suurendamine või vähendamine. Et ülekande oleks täppis, peavad rööpad ning vankrikest kandvad rattakesed olema täpsad. Süsteemi liikuvuse kergendamiseks tuleks viimased varustada kuullaagratega. Plaadihoidja peab ehitatud olema nii, et vastavate kruvide abil oleks võimalik nihutada fotomeetri lambi kiirte kimpu igasse plaadi ossa ning peale selle veel korrigeerida umbes 10° piirides positsioonnurka. Seda võib saavutada nn. „Kreuzschlitten“-konstruktsiooniga. Lähemalt üksikasjalise konstruktsiooni peensusi selgub joonisel.

6) Fotomeetrit liikumapanevaks mehhanismiks võiks kasutada väikest elektrimootorit teatava arvu ülekanderatastega. Riistaga julgemaks töötamiseks on tähtis, et registreerimiskelgu teatavale äärseisule jõudes mootorisse minev vool automaatselt katkeks.

Kogu aparaat tuleb asetada stabiilsele alusele, et suured põrused ja värinad eriti galvanomeetri töötamist ei häiriks.

Arvestades firmade kataloogihindu, peenmehaanikute töötasu ning materjali, kujuneks riista hind umbes järgmiseks:

Galvanomeeter ühes fotoelementidega . . .	Kr. 200
Mehaaniline osa, nagu rõõpad, vankrid jne. . .	„ 300
Optiline süsteem	„ 100

Kokku Kr. 600

Niisuguse hinnaga oleks võimalus saada riist, mis loodetavasti temale pandavad ülesanded rahuldavalt täidaks.

S u m m a r y.

Large and punctual electrophotometers, which are used in physical and astronomical problems for measuring the darkening of the plate caused by light are expensive, and most institutes are unable to get them. But if we waive the demand for extreme punctuality, it is possible to construct apparatus much cheaper through the following simplifications of construction.

1. The lamp of the photometer should be fed with an accumulator of great condensability, and the intensity of current should be controlled all the time. In this case there is no vibration of the lamp light in the compensation apparatus.

2. The enlarged image on the plate should be projected on the fissure by means of the optical apparatus; it does not need to be worked out very exactly then.

3. Light must be registered with the photo-element and the galvanometer. The most suitable for this is Dr. B. Lange's Multiflex galvanometer, with its layers of selenium.

4. The synchronous movement of the measured slide and registration-paper is to be arranged according to H. Kulenkampff. *Physikalische Zeitschrift* Nr. 2. 36 Jahrg.

Fig. 3. The optical apparatus of the photometer for throwing light on the photo-element.

Fig. 4. Design of the photometer.

