

Auhinnatöö

Löhmus, Verner.

Auditoorium
366 726

Sisseantud märgisõne all:

" 13.

E. V. Tartu Ülikool

-1. XI. 1933

Matemaatika - Loodusteaduskond:

Sisseantud postiga.

Kaunab 1. II. 33 templil.

M. Kõrve

1. det. 1933 g. esimese auhinna võõrkeelse
kannustatud.

Autor: stud. math. Verner Lõhmus.

Tartu ülikooli Sekretär

R. Luik

#927.



D 321997

Sisuõrd:

I Sissejuhatus.

1. Nähtuse kohta üldiselt.
2. Probleemi seadmine.
3. Seni arutatud fotoelektrilise siinse
värinuväljenduse kirjeldus ja kriitika.



II Metallikalaste valmistamine.

1. Üldiselt meetodite kohta.
2. Kalaste valmistamiseks kasutatud katode-
tootmiselise tehnika.

Elektromagneetilise kiirguse mõju

elektri takistuse peale.

III Ohukaste metallikalaste takistus.

1. Metallikalaste omadused.
2. Fotoelektrilise laine olemus.
3. Ohu Ohumise metallikalaste takistus.

IV Fotoelektrilise siinse tehnilise loomelise
siinse põhjendusi ja kriitika.

V Kõrvaltoime seadeldised.

VI Katod.

1. Ohumise Al ja Ag kalastega katod veesõnku
hõrondatav sõnufõnku.
2. Katod sõnku Ohu sõnuse metallikalastega.

VII Kokkuvõte.



Bibliotheca
Universitatis
Tartuensis

Sisukord:

I Sissejuhatus.

1. Nähtuse kohta üldiselt.
2. Probleemi seadmine.
3. Seni avastatud fotoelektrilise sisetoi me uurimustulemuste kirjeldus ja kriitika.-

II Metallkelmete valmistamine.

1. Üldiselt meetodite kohta.
2. Kelmete valmistamiseks kasutatud katood- tolmllemise anumad.
3. Katoodtolmllemise kontrollimine ja olenevus.
4. Väga õhukeste metallkelmete takistuse mõõtmine
5. Metallkelme paksuse määramise meetodid.

III Õhukeste metallkelmete takistus.

1. Metallkelmete onadused.
2. Fotoelektrilise toime olenevus.
3. Kõige õhemate metallkelmete takistus.

IV Fotoelektrilise sisetoi me tekkimise teoreetili- si põhjendusi ja kriitika.-

V Katsetamise seadeldised.-

VI Katsed.

1. Õhemate Al ja Ag kelmetega katsed vesiniku hõrendatud atmosfääris.
2. Katsed vabas õhus paksemate metallkelmetega.-

VII Kokkuvõte.-

Sissejuhatus.

Igasuguse lainepikkusega elektromagneedilise kiirguse mõjul materias vabade elektroonide tekkimist nimetatakse üldiselt fotoelektriliseks toimeks, mida esimesena märkas Hertz (1). Seda toimet põhjustavad valguse energiat absorbeerinud aatomitest ehk molekulidest vabanenud negatiivsed elektri elementaarkvantid (fotoelektrilised elektroonid).

Elektromagneedilise kiirguse piirkond, mis avaldab fotoelektrilist toimet on väga suur.

Seepärast on tarvitusele võetud fotoelektriliste toimete uurimisel kindel piirkondade alajaotus (2).

1) Pikkade lainete piirkond (ca. 0,1 cm. kuni

1) H. Hertz, Ann. d. Phys. u. Chem. 31. 983. 1887.

2) Wien-Harms, Handbuch der Experimental-physik B. 23. T. 2. P. Lenard u. A. Becquerel S. 1041. u. S. 1475.

30 km.) kuuluvad Hertzi leiutatud meetodi abil saadud elektromagneetilised lained. Selles piirkonnas on märgatud viimasel ajal fotoelektrilist toimet ainult vedelikkudes.

2) Keskmiste lainete piirkonda (ca 2000 kuni 90 μm) kuulub kogu elektromagneetiliste lainete spekter, mida tegelikult levitavad kõik soojust kiirgavad kehad.

3) Lühikeste lainete piirkonda (ca. 80-0,0005 μm) kuuluvad elektromagneetilised kõrgesageduskiired, mis on saadud katoodtorude abil või radioaktiivsetest ainetest.

Kogu lühikeste ja keskmiste lainete piirkonnast tuntakse fotoelektrilist toimet iseäranis ultravioletis, nähtavas valguses ja hilisemal ajal ka lähemalainelises ultra-punases.

Fotoelektriline toime jaotatakse pealispinna toimeks ja sisetoiimeks.

Fotoelektriline pealispinna-toime on nähtus nende fotoelektriliste elektroonide kohta, mis vabanenud aine pealispinna piirilt. Seda on

võrdlemisi palju uuritud ja leitud, et katsetamisel hääde elektrijuhtidega on ainult see osa fotoelektrilisest nähtusest peasjalikult tähelepanдав.

Fotoelektriline sisetoime on see osa fotoelektrilisest nähtusest, mis sünnib aine sees ja kus valgustamisel on tähelepanдав aine elektriliste omaduste muutumine (juhtivus ja dielektriline polarisatsioon). Sisetoimet on uuritud peasjalikult halbade elektrijuhtide (dielektrikud) juures - iseäranis vedelikkudes ja gaasides.

Hertzi (1) korraldatud esimese katse juures, mis avastas fotoelektrilise toime, oli ka mööduandev fotoelektriline sisetoime õhus.

Coblentz (2) leidis, et paljud kõwad ke-

1.) H.Hertz, l.c.

2.) Ref.L.Weber-Ann.d.Phys.16.839.1933. W.Coblentz'i järele. Sc. Pap. Bur. of Stand. nr.322. S.40.1919.

had (kristallilised pooljuhid), mis omavad pimedas väikese elektri-juhtivuse, näitavad valgustades isegi lähemalainelise ultrapunasega, suuremat juhtivust (Wismuthis ^{niti} kuni 1,4_μ).

Kuigi iga aine kristalliseerunud kujul omab teised omadused, näitab see siiski, et fotoelektriline sisetõime on võimalik ka lähemalainelises ultrapunases.

Schmidt (1) leidis, et fosfori elektri-juhtivus suurenes iseäranis ^{punase} valguse mõjul. Kuid see võis olla ka valguse sekundäärne nähe, sest fosfori juhtivus suureneb ka soojenedes.

Sama nähtuse leidsid Goldmann ja Kalandyk (2) ka šellaki ja väävli täiesti läbi-
paistvates kelmets valgustades ultravioletti kiirtega.

Selline elektri-juhtivuse suurenemine valgustamise mõjul oli tuntud seleeni juures (3)

1.) F. Schmidt Ann.d.Phys.44. 477. 1914.

2.) Ref.F.Schmidt l.c. lk.479.

3.) A.Goldmann u.S.Kalandyk, Ann.d. Phys.36. 589. 1911.

juba mitme aastakümne eest. Bidvell (1) leidis valguse mõjul takistuse vähenemise väävelhõbedas. -

Esimesed kindlaks tehtud juhud elektromagnetiliste lainete mõjust elektrijuhtivusele on leidnud vedelikkudes P. Curie (2) parafiini-õlis röntgeni kiirtega. Kõvades kihtides on uurinud Becker (3) šellaki, parafiini ja vilgukivi kihtide elektrijuhtivuse muutust valguse mõjul ja Joffé (4) on leidnud, et kvartsi elektrijuhtivus suureneb ultravioletti kiirguses.

Kõige uuemad uurimused, alates 1929. aastast, (5) näitavad fotoelektrilist sisetõimet nõrkades elektrolüütlahudes ka pikkade lainete piirkonnas

1) S. Bidwell. Phil. Mag 20.178.322.1885. -

2) P. Curie. Compt. rend. 134.420.1902. -

3) A. Becker, Ann. d. Phys. 12.124.1903. -

4) A. Joffé, Ann. d. Phys. 20. 964. 1906. -

5) H. Rieckhoff, Ann. d. Phys. 2.577. 1929,

H. Gaertner, Phys. Zft. 32.919. 1931.

B. G. Whitmore, Phys. Zft. 34. 649. 1933. -

(ca. 1 meetri pikkuste raadio ultralühilainetega)

Rieckhoff leidis, et elektrijuhtivus kasvab teatud piirini seda enam, mida lühem on mõjuv laine pikkus.†

Gaertner (l.c. lk.921.) leidis, et elektro-
lüütlahude juhtivus pikkade lainete kiirguses kõr-
gema sageduse lainete puhul ($\lambda = \text{ca.} 16 \text{ m.}$) võib
olla mitu korda, isegi kuni 500%, suurem kui mada-
lama sagedusega lainete mõjus.

Peab nimetatud katsete on uueal ajal uuri-
süsteematiselt)
tud ja leitud fotoelektrilist sisetõimet ~~süste-
maatiliselt~~ veel paljude teiste halbade elektri-
juhtide juures.

On leitud, et fotoelektrilist sisetõimet
võib märgata igas isolaatoris lühikeste lainete
piirkonnas (röntgeni kiired). On kindlaks määra-
tud, et nähtav- ja ultravioletvalgus on siis
mõjuv, kui valgustatud keha selles spektraal-
piirkonnas omab absorptsioon paela.-Gudden ja
Pohl (1) näitasid, et selline valguse mõju

1) B.Gudden u.R.Pohl Zft.f.Phys.3.123.1920. ja
Zft.f.Phys. 16.42.1923.-

kvartselavhõbeda lambiga saavutatud valguse piirkonnas on leitud kõikides kristallides, mille murdumisnäitaja läbipaistvus-piirkonnas on suurem kui 2.

Nagu loendatud autorite töödest näha on elektri takistuse muutust paljude halbade elektri-juhtide juures võrdlemisi laialdaselt uuritud ja leitud fotoelektrilist sisetõimet elektromagneetilisest kiirguse terve spektri ulatuses.

Töö teem võimaldab uurida elektromagneetilisest kiirguse terve spektri mõju takistusele iga-sugustes ainetes. Pääle kirjandusega tutvunemist leides, et fotoelektrilist sisetõimet halbade elektri-juhtide juures on uuritud juba kaunis põhjalikult, otsustasin oma katseid korraldada hääde elektri-juhtidega.

Probleemi seades lootsin leida ka pikalaine- lise elektromagneetilisest kiirguse mõju metall- kelmete takistusele ja seepärast otsustasin kat- seid korraldada ka raadiolainetega mitmesuguse temperatuuri juures mitmesuguste kelmetega.-

Metallide takistuse muutumine elektromagnetilise kiirguse mõjul on füüsikas üldse väga uus ja alles vähe uuritud eriala. Terves füüsika kirjanduses on ilmunud ainult üksikud uurimused kronoloogilises järjekorras Rogersilt (1), Bartlettilt (2) ja Majoranalt (3).-

Rogers on võinud kindlaks teha ainult väga väikese juhusliku takistuse muutuse efekti vismutis, pallaadiumis, vases, nikklis katoodotlemisel saadud kelmetena ning alumiiniumi ja kulla õhukestes plaadikestes valgustades neid intensiivsete röntgeni kiirtega, kuid ta ei leidnud kindlat takistuse muutust valguse mõjul. Sama artiklit (1) refereerib ka Gudden (4), ära tähendades, et Rogersi leitud võimalik takistuse

1) R.A.Rogers, Phys. Rev. 23. 114. 1924.

2) R.S. Bartlett, Phys. Rev. 26. S.247. 1925.

3) Q.Majorana, Phys. Zft. 33. 947. 1932.-

4) B.Gudden. Handbuch der Physik B.13.130. 1928.-

muutus uuritud metallides (arvatavasti toa temperatuuri juures) oli kindlasti vähem kui üks miljondik osa valgustatava kelme takistusest pimedas, seepärast ei ole seda nähtust varemalt tähele pandud.

Barlett (1) leidis esimesena fotoelektrilise sisetoiime kõige õhemates metallkelmetes madala temperatuuri juures. Tema poolt leitud fototakistuseffekt vismutis, pallaadiumis, vases, plaatinas ja telluuris suureneb temperatuuri vähenedes. Tema kasutas katoode tolmlemisel saadud kelmeid peale vananemist jahutades neid vedela õhu temperatuurini ja valgustades kvartselavhõbeda lambi valguses filtriga ehk ilma filtrita.-

Kõige suuremat takistuskahanemist näitas vismut -
 - 16.10⁻⁶
 pallaadium - 14.10⁻⁶
 vask - 1,6.10⁻⁶

Plaatina juures juba veel vähem; ja kulla ja

1) R. S. Barlett, l.c.

hõbeda juures takistuse muutust^{ele} aparaadid ei reageerinud. See toime ei tekkinud üldiselt mitte silmapilkselt, vaid kasvas aja jooksul küllastumiseni ja kelme takistus omandas pimedas ainult aeglaselt oma algväärtuse.- Effektiivse lainepikkuse leidis olevat värskete vismutist kelmete juures alla 300 μ . Kuid kelmete vananemisega efektiivne lainepikkus näis liikuvat pikemalainelise kiirgamise poole. Leitud toimele avaldas katoodtolmlemisel saadud vismutist kelme juures temperatuuri tõus tuntavalt vähendavat mõju. Temperatuuri tõusuga kuni-110° C juurde langes vismutis elektri juhtivuse kasv 3.10⁻⁶ osale algtakistusest pimedas. Temperatuuri tõusuga ja kasvava lainepikkusega kaob fotoelektriline sisetoine täielikult.

Harilikkude õhukeste plaadikestega, mis ei olnud valmistatud katoodtolmlemise meetodil, ei märkanud ta valguse toimel mingisugust muutust elektri juhtivuses. Vanandamise aste või meetod ei avaldanud mingit mõju kelme omadustele val-

guse toimet. Ainult vismut näitas erandit.

Vanemate vismuti kelnete juures valgustamise korral takistus kasvab nähtavasti ultrapunase valguse soojuslise mõju tagajärjel. Ainult vismut näitas ka üldise takistuse väärtuse suurenemist vanandamisel, kuna kõik teised katsetatud metallid näitasid aja jooksul märgatavat takistuse kahanemist. Bartlett (1) uuris hiljem ka takistuse temperatuuri koefitsiendi olenemist kelme vanadusest ja temperatuurist ja leidis, et Bi, Pd ja Te omavad negatiivse takistuse temperatuuri koefitsiendi ja näitas, et katoodtolmlemisel valmistatud kelnete vananemine oleneb temperatuurist, milleni viiakse kelme. Üldiselt temperatuuri koefitsiendid on katoodtolmlemisel saadud kelmetel vähemad kui harilikult samadel kompaksetel metallidel. Näiteks katoodtolmlemisel saadud vismuti kelme temperatuuri koefitsient langeb 0,0014-lt 0° C juures praktiliselt nullini vedelaõhu temperatuuri juures

1) Bartlett, Phil. Mag 5.848.1928

ehk võib olla isegi negatiivne (1). Harilikus olukorras on vismuti temperatuuri koeffitsient 0° ja 100° C. piirkonnas $\alpha = 0,0045$ (2).

Kolmas autor, kes uurinud fotoelektrilist sisetointet metallides on Quirino Majorana (3). Uurides elektroonide emissiooni mitmesugustest metallidest valguse mõjul avastas ta uue nähtuse. Katsetades võimalikult õhukeste pool-läbipaistvate metallplaatidega (Ag, Au, Pt, Sn, Al, Zn mille paksus oli 20 ja 100μ vahel (4)) leidis ta, et plaatide elektriline takistus suurenes, kui valgustada neid pulseerivate kiirtega. Ta võis kindlaks teha seda tõsiasja vastuvaidlematult, kuigi nõrga intensiivsusega. Majorana arvas päris kindlasti, et takistuse muutused vähemalt nii momentaalselt mitte üksnes võimaliku valguse termilise mõju tagajärgedega takistusele ei ole seletavad, milline nähtus annab metalli-

-
- 1) Q. Majorana l. c.
 - 2) Landolt-Börnstein, Phys. Chem. Tab. V. II. 1048. 1923.
 - 3) M. Q. Majorana l. c. 1932.
M. Q. Majorana Nature, 130. 241. 1932.
Ref. M. A. Cotton Majorana järele Compt. rend. 195. 1258. 1932.
 - 4) Ref. M. A. Cotton - Majorana järele Comt. rend. 195. 226. 1932.

des teatavasti samasuguse resultaadi.

Ta katsetas hõbedast, kullast, platinast, inglistinast, aluminiumist ja tsingist metallplaadikestega, millised kõik olid saavutatud läbipaistval klaasil ehk olid kinnitatud sellele. Tema ei katsetanud aga mitte katoode tolmlemise meetodil saadud ^{hõbedast} kihtetega, vaid keemiliselt klaasile sadestatud hõbedaga. Sündsaima ja mõjuvaima paksuse leidis olevat hõbeda juures sinise läbipaistvuse korral (kihi paksus mõnikümmend μ). Täiesti läbipaistmatud plaadikesed andsid liiga väikese efekti, kuna väga õhukesed plaadid olid vähem kõlblikud, sest nende elektriline takistus oli liiga muutlik. Majorana leidis erilise seadeldise abil nagu kirjeldatud tema artikklis (1) et pulseeriva valguse mõjul arvatavasti plaadikese takistus muutus, ja et valgusel on takistust suurendav mõju. Kuid selle mõõtmisseadeldise töötamiskirjelduses on ta jätnud ütlemata ühe väikese aga väga

1) Q. Majorana l. c. Phys. Zft.

tähtsa asjaolu, mille põhjal võiks veenduda iga artikli lugeja ka ise, et metalli valgustamisel kasvab tema elektriline takistus. Kompenseerides ahela takistuse muutust sama ahela osasse paralleelselt juhitud muutliku pikkusega elavhõbeda sambaga on Majorana jätnud nimetamata: kas siis kui elavhõbeda samba pikkus oli oma lühemas faasis, oli metallplaat valgustatud läbi diafragma, või oli sel momendil plaat pimeduses? Kui plaadi valgustamise momendile vastab kompenseeriva elavhõbeda samba suurema takistuse (pikem) faas, siis minu arusaamis/e järele võiks otsustada, et metallplaadi valgustamisel tema elektriline takistus vähenes nii nagu Bartlett(1) on seda juba kindlaks teinud. Ultraviolett valguse mõjul hõbedast plaadikese takistus suurenes (proovitud ^{valguse} intensiivhõbe juures) mõne saja-tuhandiku võrra oma algväärtusest. Tundlikkus ulatus ultra-punasest ultraviolettini. Asetades metallplaadikese jahutavasse voo-

1) R.S.Bartlett l.c.

lavasse vette ja muutes vee voolamise kiirust leidis ta, et κ kuni $1,6 \cdot 10^7$ (1) see takistuse muutus $\Delta R/R$ langes $\frac{4}{\epsilon}$ Etzrodt (2) kritiseerides Majorana uut leiutist arvab, et nähtus põhjeneb ainult ehk kindlasti suuremalt osalt soojuste kiirgamise tagajärjel tekkinud takistuse suurenemisele võrdselt aine temperatuuri koeffitsiendile. Samas artikklis refereerib Etzrodt, et aastate eest olevat katsetanud Prof. Dr. Senftleben röntgeni kiirte mõju takistusele häädes elektri juhtides ja ei olevat võinud kindlaks teha seesugust fotoelektrilist sisetointet. Veejahutuse lõpuliik-ku termilise nähtuse kaotamist Etzrodt ei usu, sest plaadile väga lähedal on täiesti vaikselt paigalseisev vesi, nii et plaadis võivad siiski tekkida väiksemad temperatuuri võnkumised.

1) Q. Majorana l. c. Compt. rend. 1932.

2) A. Etzrodt. Phys. Zft. 34. 338. 1933. -

Samas ajakirja numbris annab Majorana vastuse (1) Etzrodt'i arvustusele, püüdes kinnitada oma tõekspidamisi, kuid annab siiski järele üteldes, et tema leiutatud uus fotoelektriline toime ei ole veel absoluutselt kindlasti tõestatud ja ta usub siiski väiksesse nähtuse olemasolusse.

Keegi (2) refereerib uut Majorana leiutatud nähtust ajakirjas "Die Umschau", kuigi tal selle eriala täielik tundmine näib käivat üle jõu, sest pealkirja all "Ein neues photoelektrisches Phänomen" ei tea ta kindlasti ära tähendada, mida siis õieti uut on leitud. Tema refereerimise järele uus nähtus seisab sõnasõnalt selles, et: lastes valguskiirt paista väga õhukesele metallplaadile, mida mööda jookseb elektri vool, ~~siis~~ valguse intensiivsusega muutub metallplaadi elektriline takistus; juurde lisades, et mida õhem kelme, seda tugevam on mõju. Et metallplaadi takistus

1) Q. Majorana. Phys. Zft. 34. 340. 1933.

2) L. N. d. Umschau, 36. 820. 8. Okt. 1932.

muutub ultraviolett valguses, seda leidis Bartlett (1) ^{juba} ja enam kui seitse aastat varemalt.

Refereeritakse ka et Majorana arvates takistuse muutus metallplaatides oleneb otseselt valgusest, mitte aga soojuse kõikumustest. Sama arvasid ka Rogers ja Bartlett (2).

Tegelikult Majorana katsetega leitud uus nähtus, nagu ta ise ütleb, seisab takistuse suurenemises, kuna Bartlett leidis takistuse vähendamise valguse mõjul. -

Ka enne neid katseid on otsitud valguse mõju elektrijuhtivusele õhukestes metallkelmetes, kuid kirjanduses fotoelektriliste toimete uurimise alal tuntud prof. B.Gudden (3) ütleb, et metallides pole kunagi leitud tõelikku fotoelektrilist sisetõimet enne neid katseid, vaid et juhuslikud valguse mõju tähelpanekud metallides on olnud ikka sekundäärsed nähtused.

1) R.S.Bartlett l.c. Phys.Rev. Aug. 1925.

2) R.A.Rogers, l.c. R.S.Bartlett, l.c. Phys.Rev.

3) B.Gudden, Handbuch d.Physik, B.13. 130. 1928.

Metallkelmete valmistamine.

Eeltöid õhukeste metallkelmete valmistamiseks klaasile ehk kvartsalusele olid teinud Thomas Young (1807) ja M. Faraday (1857) (1).

Böttcher ja Martin leiutasid retseptid õhukeste kihtide valmistamiseks keemiliselt sadestamise teel klaas või kvarts plaadile. Grove avastas 1853. aastal meetodi keemiliselt puhtate ja ühepaksuste metallkelmete valmistamiseks katoodtollemise teel, mida kasutatakse pea kõikide hilisemate katsete juures (2).

Uuemal ajal on valmistusmeetodid sellega tuntavalt edenenud, et kasutades Joule'i soojust, läks korda suures vaakumis metalle otseslt aurutada alusplaadile ja lõpuks sai võimalikuks kelmete eraldamine aluselt.

1) M. Faraday, Phil Trans. 147.145.1857.

2) W. Betz, Ann. d. Phys. 18.590.1905.

P. Pogany, Phys. Z^{ft}. 15.685.1914. Ann. d. Phys. 49.
531. 1916.

Lauch ja Ruppert (1) 1926. aastal ja hiljem Rupp (2) asendasid klaas või kvartsalusplaadi vees kergesti lahustuva kivisoolaga. Vaakumis aurutamisel saadud õhuke metall kelme pääle alusplaadi sulamist tõsteti vabalt pluu abil lahustusvedelikust välja. Hiljem kasutati kivisoolast aluse asemele õhukest tselluloosatsetaat, ehk atsetüül tselluloosist kihialust - viimane on happes kergesti kõrvaldatav. Peale niisugusele alusele metallkelme valmistamist lahustati alus vastavas vedelikus. Aravoolava lahustusvedeliku ja samal ajal juurde voolava puhastusvedeliku liikumise abil puhastati kelme. Enne vedelikust aluse väljatõstmist valati puhastusvedeliku pinnale puhast rasvavaba eetrit, selleks et vähendada pindpinevust ja võimaldada eraldada kelmet tervelt.

1) K. Lauch u. W. Ruppert Phys. Zft. 27. 452. 1926.

2) E. Rupp. Ann. d. Phys. 85. 981. 1928. a.

Selle meetodi järele võiks valmistada tarvitatavaid, vabu, terveid, õhukesi kelmeid kuni 10 μ paksuseni. Vaba õhukese kelme saamine on mitmeti raskendatud ja nõuab palju praktilist harjutamist, sest mehaaniliselt on nad väga õrnad.

Viimasel ajal (1932) kasutas Schulze (1) sama meetodi järele valmistatud võrdlemisi paksu ($\sim 100 \mu$ metallkelmet, mida ta kõigi ettevaatuseabinõudega ^{silmaspildides} puhastas, kuivatas, kuumutas ja asetas piluga metallalusele. Saadud paksu kelme ta asetas katsetatavasse vaakumisse ja seadis katse optiliselt täpselt üles. Nüüd algas ta mõõtmisi ja järjest muutis iga katse järele kelme õhemaks, katoodtolmlemise abil [— mille kohta õiendab Müller,⁽²⁾ et see on tema mõtte ja patendi (1927. aastast) plageerimine], mida oli võimalik teha kuni 2 μ -ni sest katse sündis vaakumis. Kogu aeg tolmlenise tagajärjel kelme pind hoidus puhtana.

1) R. Schulze, Phys. Zft. 34. 29. 1933.

2) C. Müller, Phys. Zft. 34. 340. 1933. —

Kõikidest neist meetoditest leidsin kõige otstarbekohasemana valmistada metallkelmed ka- toodtolmlemise meetodil klaas alusele, sest fo- toelektrilist sisetoimet ei tohiks kelme alus mõjutada kuna sisetoime tekib peaasjalikult valgustatava aine sisemistes molekulides.

Tolmutamiseks konstrueerisin niisuguse anuma, et oleks võimalik pidevalt ~~igasuguse~~ paksusega elektrilist sisetoimet ~~igasuguse~~ paksusega kel- metes mõõta, nii et kõik võimalikud segamised ^{katse erinevuse} ja vead oleks kõrvaldatud. -

Nagu joonistest nr.1. ja nr.2. näha on 5mm. paksusest vasest valmistatud $\frac{1}{2}$ silindri sarnane anum, mille pealmine kaan on ära võetav uue kel- me tolmutamiseks puhta alusplaadi asetamiseks vastavasse hoidja~~sse~~ (a) ja teisest metallist katoodi vahetamiseks katooidhoidja (b) ^{küljest} millised mõlemad on kinnitatud kaane külge. Metall alus- plaadi hoidja (a) on varustatud aknaga (c) alus- plaadi tolmutamiseks ja kinnitatud kaane külge nii, et ta annab kruvi abil hääd elektrilist

kontakti kogu anuma ~~ksilindriga~~, milline kogu seadeldis töötas tolmlenis anoodina ja oli ühendatud vooluallika positiivse poolusega. Alusplaadi alumine äär (d) andis ka hääd kontakti *anoodiga* alumiiniumplekist plaadikese ja kruvi abil ~~anoodiga~~ ^{ta} kinnitult. Alusplaadi ülemise ääre kontakt (e) oli toodud läbi pealkmise kaane pikas klaastorus asuva plaatinelektroodi abil, milline oli suletud ülevalt vastava punase jootmisklaasi abil õhukindlalt. Alusplaat oli vastavate vilgukivist ja klaasist aluste ja pilude kaudu niivii- si tugevasti kinnitatud et tolmlenisel metalli tolmi ei annaks väliselt plaadi elektroodide vahel mingit ühendust ja et tolmutades metalli tolmi kataks juba varemalt alusplaadikese otste külge paksult vase katoodtolmlenisel valmistatud osa kontakti pinnast ja nende vahelise puhta tolmutatava pinna vastava pilu laiuselt. Kogu alusplaadihoidjat võis katta kapsliga (k) nii, et korraldades katoodi puhastamise mõttes pikema-

ajalise eeltolmutamise, tolmu ei pääseks tolmutatavale alusplaadile ja plaadi otste vaheliste elektrootide isolatsioon jäi endiseks. Peale eeltolmutamist oli võimalik väljastpoolt anuma seinale lähedalt kohast (f) mõjudes avada kapsli hoidja tugeva elektromagneediga ja kapsel langes anuma põhja vertikaalselt seisu, nii et kelme tolmutus aken oli üleni avatud. Klaastorust valmistatud katoodi hoidja (b) andis ennast liigutada telje t ümber nii, et katoodi plaati (p) mille pinna suurus oli $2 \times 4 \text{ cm}^2$, ja tagant kaetud klaaskattega, nii et tolmutus sünniks rohkem ühes sihis, võis peale tolmutamist väljastpoolt anuma nõu välispinna vastava koha (g) lähedalt elektromagneediga asetada poolvildakusse seisu nagu näha joonisel nr.2. nii et kiired, mida juhtisin läbi 3 mm paksuse kvartsklaasist akna (q) võisid valgustada, langedes risti alusplaadi pinnale, tervet kelmetolmutus-akent (c) ja pärast valgustuse mõju uurimist endisesse seisusse tagasi viia. Kruvi (r) abil oli võimalik valida

vastavat katoodplaadi kaugust tolmutatavast kelmest. Katood plaadiga (p) ühendatud liikuv kiududest siidiisolatsiooniga vask traat oli toodud läbi anuma kaane klaastorusse (i) joodetud elektroodi kaudu. Vilgukivist kaitserõngad (m_x, n_x, o) kaitsesid otseühenduse tekkimist tolmutamisel. Läbi tolmutus anuma olid viidud kaks vasest toru üks (h), mis oli ühendatud vaakumpumbaga ja teine (l), mille kaudu lasin kogu katsetamise aja jooksul anumasse voolata puhast kuiva vesinikku ja termomeeter, mis võimaldas mõõta temperatuuri anumal 100° C-ni. Kõik metallosad olid joodetud õhukindlalt hõbedaga ja klaas torud ja kogu anuma pealmine kaan olid õhukindlalt kinni sulatatud pitseerimisega. Tolmutamise ajaks oli võimalik magneedi abil väljast poolt mõjutades katta kvartsist valgustusakent ~~katte~~ seestpoolt vastava ^{katte} plaadikese (u) abil, mis andis ennast keerata rauatüki (s) abil ümber telje (t). reiseks katoodtolmutus anumaks kasutasin lihtsat lihvitud äärega vaakuum kupplit

lihvitud klaas alustaldrikul (1) millise asetasin alustaldrikule õhukindlalt Ramsay rasvaga. Kuppli pealt oli sisseviidud katoodi elektrood ja kraan mille kaudu võis kupplit täita gaasiga vesinikuga ehk õhuga. Alustaldreku alt oli viidud anoodi elektrood ja toru, mis ühendatud pumbaga. Selle tolmustusseadeldise abil valmistasin paksemad uuritavad metallkelmed ja metalliseerisin ka kelme alusplaatide paksud otsmised elektroodid, teise tolmustusanuma jaoks, mille abil uurisin rotoelektrilist sisetoimet õhemates metall-kelmetes.

Katoodtoimlemiseks lahendusvooluna kasutasin kahte vahelduvvoolu transformatorit: 2 x 250 v. täistee alaldaja lülituses ja 2 x 800 volti, kumbki kasutatud ühepoolse alaldajana. Saadud kolme alaldaja voolud lülisin järjestikku ja sain ilma plokkide ja drosselite silumata alalist voolu kuni 1.500 volti. Ühepoolsetes alaldajates kasutasin mitu alaldajat lampi paralleelselt ja ühel neist lampidest muutes reostaadi abil kütte pinget, oli

1) Nagu näidatud Wien-Harms, Handbuch d. Exp. Phys. B 23. T. 11 lk. 1133 joonis 28.

võimalik kompenseerida võrgu pinge kõikumisi, nii et lahendusvoolu sain vastavas tolmutusnõus hoida konstantsena kui oli saavutatud konstantne rõhk. Rõhu mõõtmiseks katoodtolmutusanumas valmistasin moodsaima Brunneri (1) pööratava kõrgevaakuumi manomeetri, mis võimaldas lugeda rõhku kasutatavas soodsaimas tolmutuspiirkonnas (0,1 kuni 1,0 mm.Hg) suurema täpsusega. See oli ka tingimata tarvilik, sest katoodtolmlemine oleneb väga suurel määral tolmlemisest valitsevast rõhust.

Brunneri manomeeter põhjeneb samuti nagu Mac Leodi manomeeter Boyle-Mariotte'i seadusele, kuid on palju lihtsama käsitusega, töötab ilma igasuguse abivaakumita ja näitab ilma arvestuseta otsekohe rõhku millimeetrites, kui skaala on vastavalt jaotatud. Skaala arvestamiseks mõõtsin enne mõõtkapillaari ja võrdluskapillaari mahu ühes mm. pikuse toru osa kohta elavhõbeda kaalumise abil, mis

1) Max Brunner, Helvetica Chemica Acta Vol. 13. 915. 1930.

olid võrdsed $0,6277 \text{ mm}^3/\text{mm}$. Samuti määrasin kindlaks kompressioonanuma mahu, mis oli 7383 mm^3 sinast saadik, kust elavhõbe lahutab võrdluskapillaari ja kompressioon-anuma sisemise ühenduse.

Asetades valemisse leiain võrrandi:

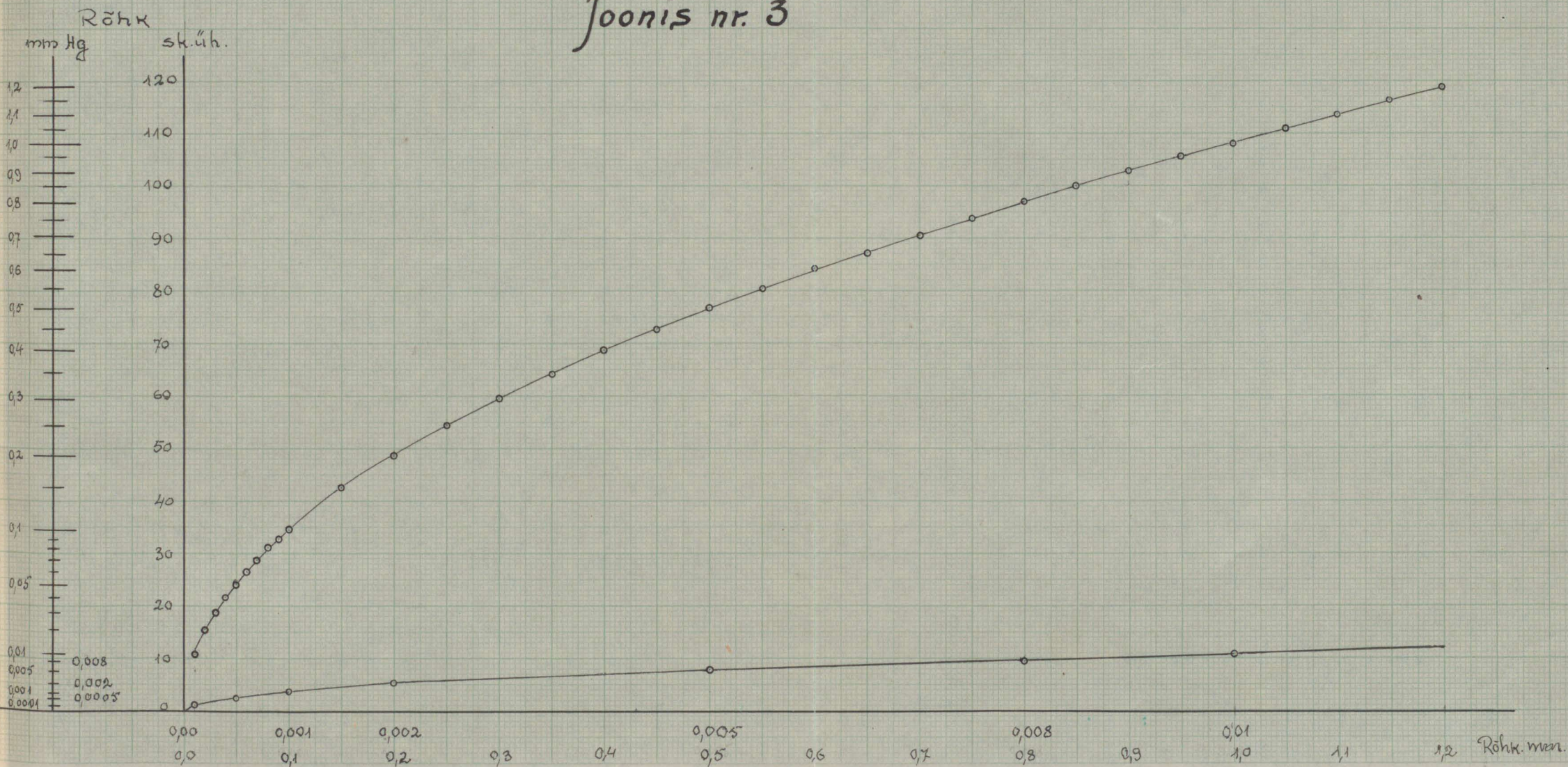
$$h = \frac{\sqrt{18720 p + 0,394 p^2} - 0,628 p}{1,255};$$

kusjuures h on mõõtkapillaaris tühjaks-jäänud toruosa pikkus millimeetrites ja p on mõõdetav rõhk millimeetrites, mis vastab elavhõbeda samba kõrgusele. Saadud võrrandi järele arvutasin üksikud rõhkudele vastavad punktid, mis kandsin tabelisse nr.1. ja joonistasin sellele vastava kõvera joonis nr.3. Rõhu mõõtmiseks tuleb seda Brunneri manomeetrit aeglaselt ja väga ettevaatlikult pöörata umbes 180° võõra vastu kellanäitaja sihti, nii et mõõtkapillaar seisaks vertikaalselt ja elavhõbe mõõtkapillaaris nullmärgi kohal. Nullmärk võrdluskapillaaril on sama kõrgel kui mõõtkapillaari sisemine ülemine ots. Tagavara-nõus peab olema mõõtmise korral elavhõbedat 2-3 mm. kõrgemal. Mõõtes kallutamine peab sündima kogu aeg ühesuguse kiirusega, muidu

Tabel nr. 1.

Rôhk mm. Hg	Skaala jaotused.	Rôhk mm. Hg	Skaala jaotused.
1,2	118,7	0,25	54,3
1,15	116,3	0,2	48,8
1,1	113,8	0,15	42,3
1,05	111,1	0,1	34,4
1,0	108,0	0,09	32,6
0,95	105,5	0,08	31,0
0,9	102,9	0,07	28,7
0,85	100,4	0,06	26,5
0,8	97,0	0,05	24,0
0,75	93,6	0,04	21,8
0,7	90,8	0,03	18,8
0,65	87,1	0,02	15,4
0,6	84,1	0,01	10,9
0,55	80,5	0,008	9,7
0,5	76,8	0,005	7,7
0,45	72,7	0,002	5,2
0,4	68,7	0,001	3,5
0,35	64,4	0,0005	2,4
0,3	59,5	0,0001	1,1

Joonis nr. 3



saame suure mõõtmiseveea. Mõõtes pääle mitme tunni-
lise konstantse rõhu püsimit sain kümne hariliku
mõõtmise äraloetud skaala ühikud järgmiselt:

70,9 71,6

71,8 70,6

71,4 70,8

70,7 71,6

71,3 71,4

sain keskmise mõõtmise $71,2 \pm 0,6$ sk.üh. mis vastab
joonise nr.3. järele $0,43 \pm 0,008$ mm.^{Hg} Seega oli
võimalik rõhku määrata sel teel 1% täpsusega sel-
les tarvitatavas piirkonnas.

Kui manomeetri kallutamine sündis üle liiga
aeglaselt, siis oli võimalik saada äralugedes sama
rõhku ~~68~~ 68 sk.üh., kui aga väga kiirelt kallutada, siis
saame hulga suurema rõhu isegi kuni ^{üle} 74 sk.üh.

Edaspidiste katsete juures kasutasin rõhu üksusena
kergemaks äralugemiseks võrdseid manomeetri skaala
ühikuid kuni 116. Pääle selle muutus mõõtkapillaari
toru paksemaks nii et graafikutes kandsin suuremad

rõhud vabalt valitud skaala järele - et võiks umbkaudugi otsustada edaspidise kõvera kuju üle.

Vaakuumi saavutamiseks katoodtolmelenisanumasse kasutasin elavhõbeda diffusioonpumpa (kolmekordne Gaede süsteem). Kuna see pump tarvitab eelvaakumi 10 kuni 20 mm Hg, siis kasutasin eelvaakuumi saavutamiseks Gaede kapselpumpa ja eelvaakuumi hoidmiseks pikemaks ajaks lülisin kapselpumba ja diffusioonpumba vahele suurema (üle 10 ltr.) klaasist tagavara nõu. Eelvaakuumi määramiseks kasutasin lihtsat vaakummeetrit kraaniga, mis ühtlasi eraldas tagavara vaakumi kapselpumbast. Konstantse vaakumi saavutamiseks venitasin (8 mm.) paksu termomeetri ~~kl~~ klaasist toru väga peeneks kapillaariks. Vastava kapillaari kaudu vesinikku lastes katoodtolmutus nõusse ja kogu aeg diffusioonpumba töötades valvates et eelvaakuum-manomeeter ei langeks all 6 mm. Hg saavutasin umbes poole tunni jooksul konstantse rõhumise $71,2 \pm 1,2$ skaala ühikut, mis vastab joonise nr. 3. järele $0,415$ kuni $0,445$ mm.s.o. $0,43 \pm 0,02$ mm.

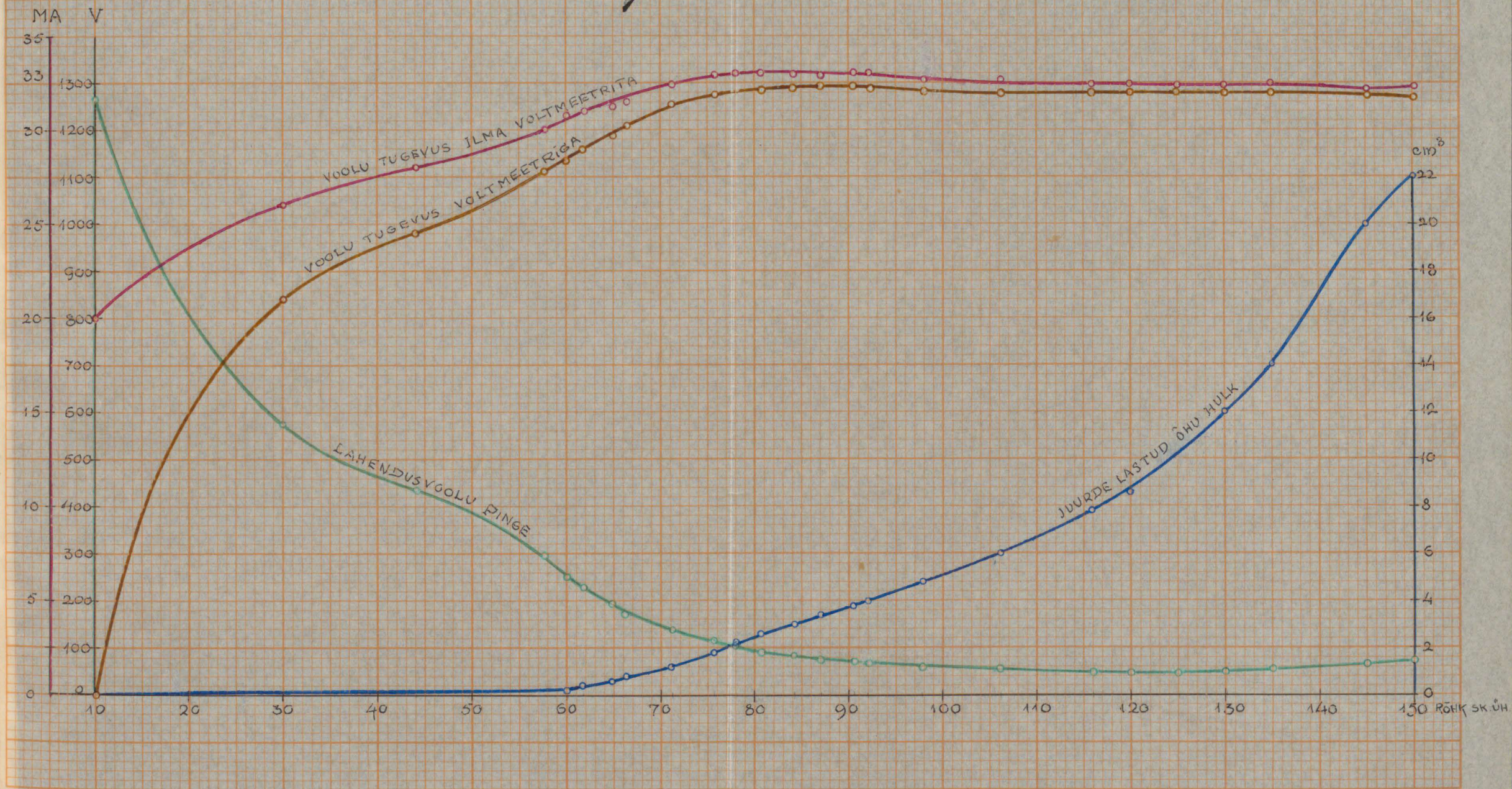
Vesiniku hoiuks kasutasin 50 liitrilist gasoneetrit, mille täitsin tehnilise vesinikuga balloonist. Vesinik voolas kuivatamiseks kogu aeg väikse rõhu all läbi pika klaasist U - toru, milles oli kontsentreeritud väävelhape, siis läbi jämeda toru, milles asus kloorkaltsium, edasi läbi ühe jämedama toru, mille seintel asus juba tarvitatud fosforpento~~s~~üüd ja viimaks läbi U-toru, mis täidetud värske kuiva fosforpento~~s~~üüdi pulbriga. Tolmutamise olenevuse uurimiseks panin pumbad tööle ja saavutasin umbes poole tunni jooksul suure klaaskuppli alla vaakumi, kus asusid elektrolüütvasest katood ja anood, mille diameeter oli 10 cm. nii et Brunneri manomeeter näitas 10 sk.üh. mis vastab 0,01 mm Hg samba rõhule. Lahendusvoolu seadsin 1300 voldile ja keerasin pumba kraanid kinni. Algasin vastu tolmutamist hõrendatud õhus. Jälgides aega, lahenduspinget ja voolutugevust ning rõhku, seadsin kokku tabeli nr.2. - kus mA_1 tähendab voolutugevust voltmeetriga ja mA_2 voolutugevust kui voltmeeter oli välja lülitatud. Voolu tugevus kahanes voltmeetri

Tabel nr.2.

Aeg.	Pinge voltides	Voolu mA ₁	tugevus mA ₂	Ohu hulk cm ³	Rõhk skaala ühikutes.
21.48	1265	0	20	-	10
22.00	575	21	26	-	30
.14	437	24,5	28	-	44
.19	299	27,8	30,0	-	57,7
.20	253	28,3	30,8	0,2	60,0
.21	230	29,0	31,0	0,4	61,7
.22	196	29,7	31,3	0,6	64,8
.22	173	30,2	31,5	0,8	66,2
.24	138	31,4	32,4	1,2	71,1
.25	115	31,9	32,9	1,8	75,6
.27	103	32,0	33,0	2,2	78,0
.28	92,0	32,1	33,0	2,6	80,6
.29	80,5	32,3	33,0	3,0	84,1
.30	77,1	32,3	32,9	3,4	87,0
.31	73,6	32,4	33,0	3,8	90,5
.38	69,0	32,2	33,0	4,0	92,0
.40	59,8	32,1	32,6	4,8	97,9
.41	57,5	32,0	32,6	5,8	106
23.45	48,3	32,0	32,5	7,8	116
.46	47,2	32,0	32,5	8,6	117 (120)

Aeg.	Pinge voltides	Voolu tugevus mA 1	tugevus mA 2	Ohu hulk cm	Rõhk skaala ühikutes.
23.49	46,0	32,0	32,4	10	118(125)
.51	50,6	32,0	32,4	12	119,7(130)
.52	57,5	32,0	32,5	14	120 (135)
.56	65,6	31,9	32,2	20	- (145)
.57	74,8	31,8	32,4	22	- (150)

Joonis nr. 4



sisselülides sellepärast, et lamp-alaldajate koor-
matus kasvas tuntavalt, kuna voltmeetriks kasutasin
H & B normaal voltmeetri mille 25.000 oomilisele
250 voldilise mähise sisetakistus oli järjestikku
ahelas umbes 1 megoomilise "Dralo Vid" takistusega,
nii et õige pinge ^{lugemiseks} ~~saavutamiseks~~ voltmeetri skaala
näitamine tuli korrutada konstandiga $c=11,5$. Esimese
paarikümne minuti jooksul langes rõhk kiiresti, kuid
sealt edasi lasin kahe kraani vahe abil järjest õhku
juurde $0,2 \text{ cm}^3$ viisi, nii et saaksin kiirema aja
jooksul vastava voolu olenevuse rõhust. Leitud tabe-
li andmed kandsin jonnisesse nr.4. kust võib kergesti
järgida pinge langust ja voolu tugevuse kasvu rõhu
vähenedes. Alates umbes 70 rõhu sk. üh. juurest jääb
vool enam-vähem konstantseks ja me saame ühtlase aja
üksuses võrdse tolmutus hulga.

Nagu tabelist näha on kuiva õhu rõhk pääle
116 sk.ühiku vabalt valitud ja arvud/klambritesse
kirjutatud, sest mõõtkapillaar ei olnud sealt peale
enam ühtlane. See on selleks nii tehtud, et näidata

milliselt vool muutub veel edasipidi. Kui rõhk kasvas üle 80 sk.üh. siis kadus fluoreszensvalgus ja tolmlamine ei toimunud enam nii stabiilselt ja ühtlaselt. Elektroodide kaugus oli umbes 2 cm.

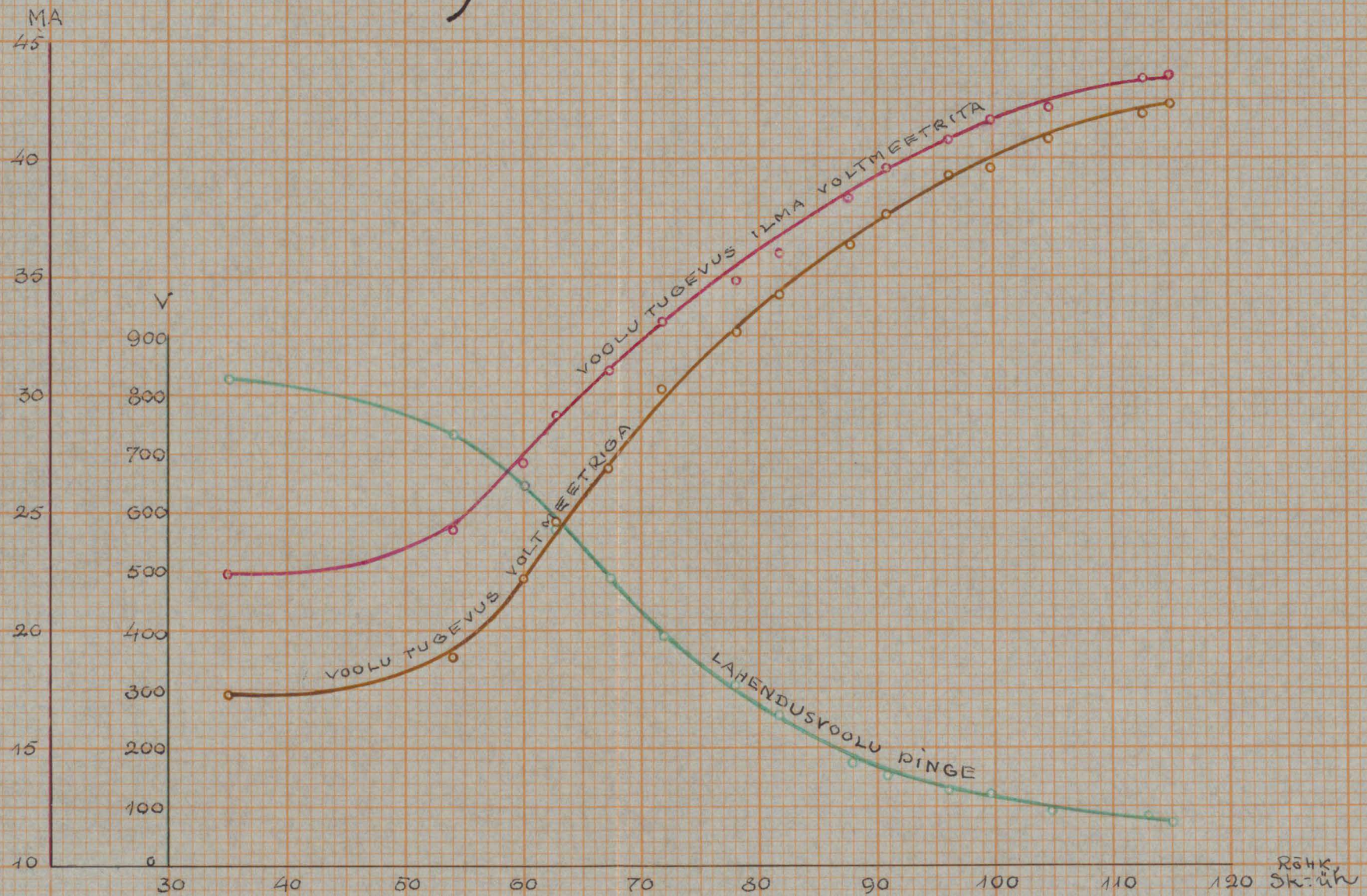
Samasuguse katse korraldasin ka vesiniku atmosfääris kui elektroodide kaugus oli 4 cm. Nagu näha tabeli nr.3. järele joonistatud graafikus joonis nr. 5. mis on joonistatud samade ühikutega, *võrdlemiseks samas dimensioonis, kui joonises nr 4* Näene, et elektroodide kaugenedes muutub lahendusvool alles ühtlaseks kui rõhk on kasvanud üle 110 sk.ühiku.

Siis korraldasin katseid vasest tolmutusanumas nagu eelpool kirjeldatud ja joonises nr.1. ja nr.2. kujutatud. Lastes töötada pumpasid umbes tund aega saavutasin konstantse rõhu 5,5 sk.ühikut, mis vastab 0,002 mm.Hg samba rõhule. Anumas oli vesiniku atmosfääris hõbedast katood. Katse tegin katoodi pealispinna puhastamise mõttes. Tolmlenise alates avasin jahutuskraani, mis laskis ümber anuma tinatorudest külma vett anuma jahutuseks läbi voolata, kuna vesiniku vool ei pääsenud anumast läbi vaid pumbad töötasid järjest ühtlaselt ilma vesiniku

Tabel nr. 3.

Aeg.	Pinge voltides	Voolu tugevus		Rõhk. sk. üh.
		MA ₁	MA ₂	
22,42	827	22,4	17,3	35,0
-.44	7 32	24,3	18,9	54,0
-.46	644	27,0	22,2	60,0
-.48	575	29,1	24,6	62,8
-.50	489	31,0	26,8	67,2
.,54	391	33,1	30,2	71,9
-.58	304	34,9	32,6	73,0
23.03	257	36,0	34,2	81,6
-.06	179	38,4	36,4	87,8
-.13	156	39,7	37,7	90,8
-.20	129	40,8	39,4	96,1
-.36	122	41,6	39,7	99,8
-.39	97,8	42,2	40,9	104,9
-.43	84,0	43,5	42,0	112,8
-.47	78,2	43,6	42,4	115,0

Joonis nr. 5



Rõhk Sk:üh

(juurde)

(mõjul vabanunud gaaside)

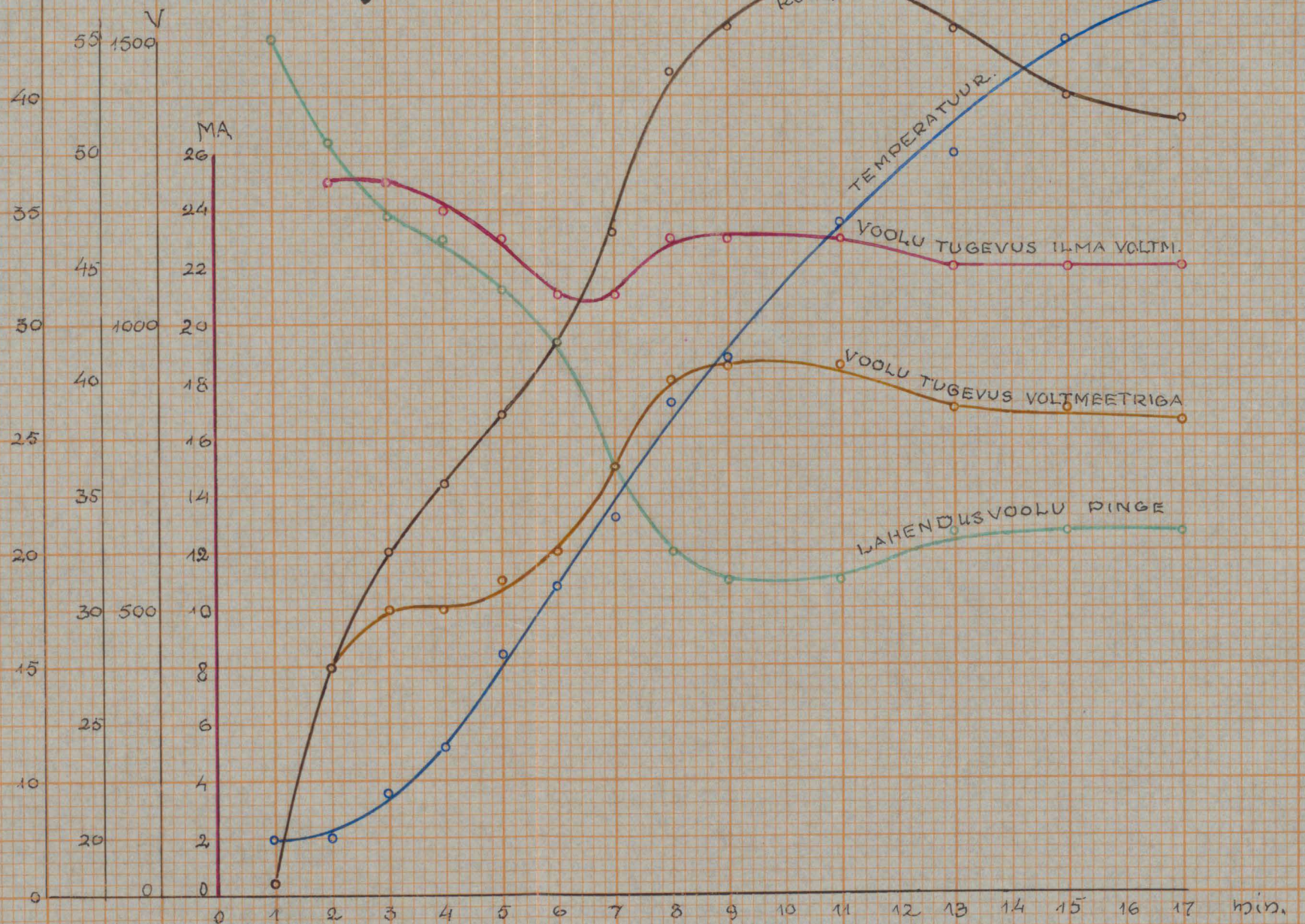
vooluta. Lahendusvool tõstis soojuse tõttu rõhu umbes kümne minuti jooksul maksimumini. Nähtavasti vabanes anumast seintelt suuremal hulgal okkludeerunud vesinikku. Seepärast ei saavutanud ma kunagi momentaalselt õiged lahenduspinged ja rõhud vaid see sündis ikka mõne minuti vältel kui vesiniku juurde-vool oli konstantne. Pääle tolnutamise katkestamist suurenes vaakuum anumast jälle kiiresti. Leitud andmed on kantud tabelisse nr.4. ja joonisesse nr.6.- Et siin tegemist oli okkludeerunud õhuga, kuid mitte nõu läbilaskvusega näitas järgmine katse. Kui anum oli täiesti eraldatud vesiniku voolust ja pumbast ja rõhk oli juba pikemat aega konstantne, siis lasin järsku väikse kvantumi vesinikku juurde, nii, et rõhk langes mitmekümne skaala ühiku võrra, kuid kuigi pump ei töötanud tõusis rõhk umbes viie minuti jooksul jälle peaaegu endise seisuni. Puhta ^{alusplaadi} isolatsioonil olenevust ~~alusplaa-~~ ~~di~~ uurimiseks korraldasin järgmise katse vasest tolnutus-anumas. Pumpasin anumasse vesiniku

Tabel nr. 4.

Aeg. min.	Rõhk sk.ühl	Pinge voltides	Voolu MA ₁	tugevus MA ₂	Temp. °C
0,00	5,5	0,0	0	0	20,0
1,00	5,5	1500	0	0	20,0
2,00	15,0	1320	25	8	20,0
3,00	20,0	1190	25	10	22,0
4,00	23,0	1150	24	10	24,0
5,00	26,0	1060	23	11	28,0
6,00	31,0	970	21	12	31,0
7,00	34,0	750	21	15	34,0
8,00	41,0	600	23	18	39,0
9,00	43,0	550	23	18,5	41,0
11,00	45,0	550	23	18,5	47,0
13,00	43,0	630	22	17,0	50,0
15,00	40,0	630	22	17,0	55,0
17,00	39,0	630	22	16,5	57,0
Pääle tolmutamise katkestamist.-					
18,00	13,0	-	-	-	54
19,00	12,0	-	-	-	52.

RÖHK.
SK. ÜH.
45 t°

Joonis nr. 6



hõrenduse nii, et manomeeter näitas ainult 11,6 sk. ühikut ja jahutuse tagajärjel oli temperatuur anumas langenud $10,3^{\circ}$ C-le, kuna toa temperatuur oli $23,5^{\circ}$ C. Keerates jahutuse ja pumba kraani kinni vaatlesin kahe tunni jooksul iga kolme minuti järele rõhku, temperatuuri ja kelme alusplaadi elektroodidega paralleelselt ühendatud normaalkondensaatori (500 cm-le mahule vastas 800 jaotust), mille maht muutis hoidsin elektromeetril kogu aeg samase pinge. ^{+80 sk.üh} Sel korral moodustas alusplaadi takistus kondensaatori kaduteguri, mille tasakaalustasin kadutegurile vastava mahu vähendamisega. Kui aja vahemikus $t_2 - t_1$ maht vähenes c_1 -lt c_2 -le, siis võime kondensaatori kaduteguriks moodustanud tundmata takistust arvutada olenemata konstantsest kondensaatori laadimispingest ja elektri juhede vahelisest ja elektromeetri mahtuvusest. Tundmata takistus

$$R = \frac{t_2 - t_1}{c_1 - c_2} \quad (1.)$$

Kui aeg on mõõdetud sekundites ja kondensaatori mahtuvus sentimeetrites, siis saame takistuse

1.) G. Puccia, Ann. d. Phys. 4. 252. 1930

elektrostaatilistes ühikutes. Korrutades saadud arvu $9 \cdot 10^{11}$ -ga saamegi takistuse oomides. Kuna kondensaatori algmaht oli 20 cm. ja ühe tunni jooksul langes kondensaatori maht lineaarselt 700-lt 632 skala jaotusele siis saame:

$$R = \frac{(500 - 20) \cdot 60 \cdot 60}{800 \cdot (700 - 632)} \cdot 9 \cdot 10^{11} = 2,6 \cdot 10^{13} \text{ } \Omega$$

sellest näeme, et kelme alusplaadi takistus jäi kogu aeg konstantseks $2,6 \cdot 10^{13}$ oomile.

Selle katse andmed on kantud tabelisse nr.5. ja joonisesse nr.7., kust näeme, et rõhk ja temperatuur lähenevad oma piirväärtusele ja et kondensaatori maht on vähenenud ühtlaselt, mis tõendab, et isolatsioon takistus on jäänud kogu aeg konstantseks vaatamata väikesele temperatuuri muutusele ja rõhu suurenemisele anumas okkludeerunud vesiniku vabanemise tagajärjel.

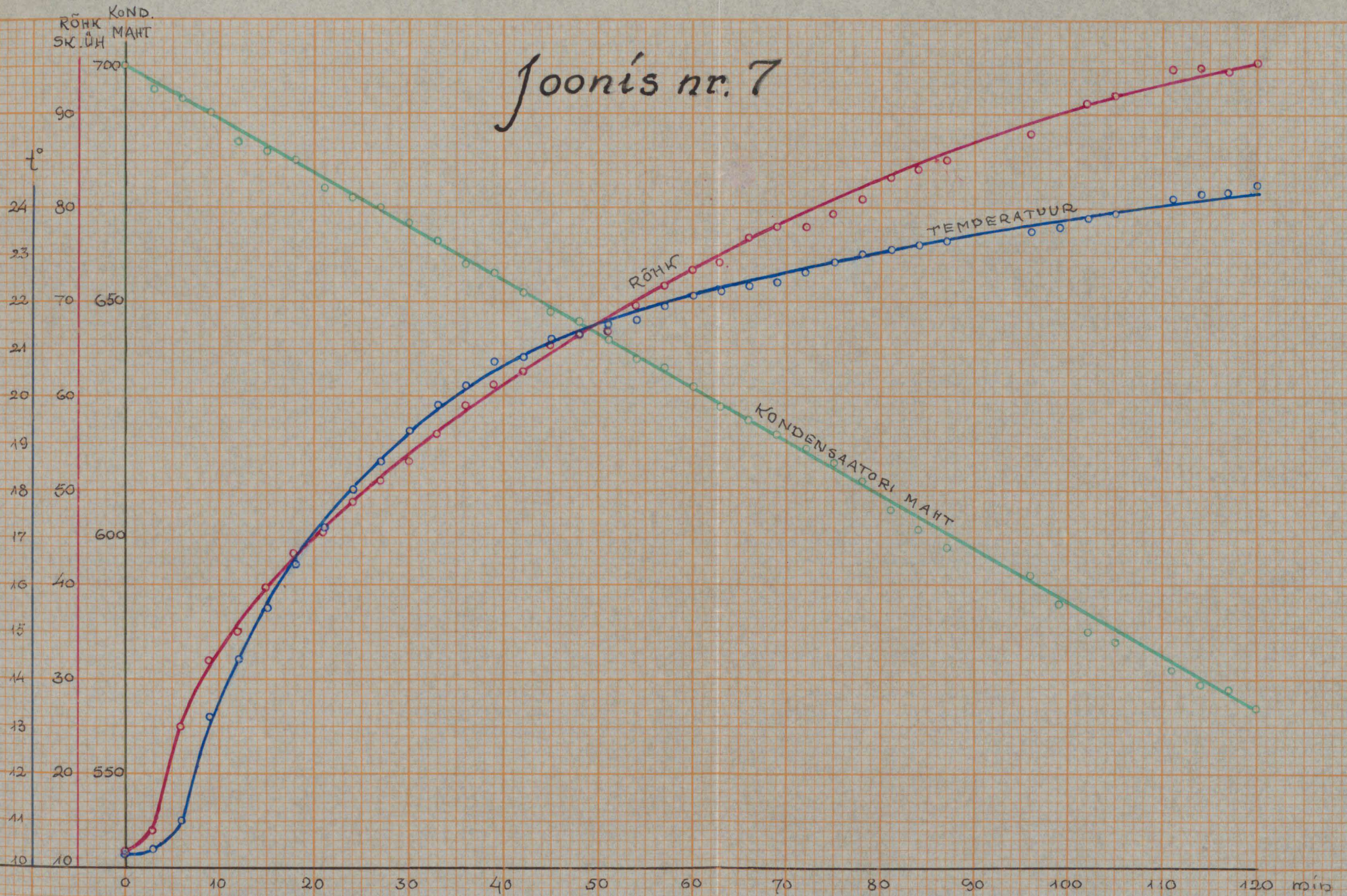
Suurte elektriliste takistuste mõõtmiseks tarvitatud meetodil kasutasin kahe niidiga Wulfi elektromeetrit, mis valmistatud Günther & Tegetmeyer'i firma poolt. See elektromeeter oli suurte takistuste mõõtmiseks eriti kohane, sest ta oli

Tabel nr. 5.

Aeg.	Rõhk. <i>sk. mh.</i>	Kond. maht. <i>sk. mh.</i>	temp. °C
23.40	11,6	700	10,3
.43	13,9	695	10,4
.46	24,9	693	11,0
.49	31,8	686	13,2
.52	34,9	684	14,4
.55	39,6	682	15,5
.58	43,1	680	16,4
24.01	45,5	674	17,2
.04	49,0	672	18,0
.07	50,9	670	18,6
.10	53,0	667	19,3
.13	55,9	663	19,8
.16	59,0	658	20,2
.19	61,0	656	20, 7 5
.22	62,4	652	20,8
.25	65,2	648	21,2
.28	66,4	646	21,3
.31	68,8	642	21,5
.34	69,5	638	21,6
.37	94,6	668	24,4
.40	93,7	664	24,5

Aeg.	Rõhk sk. üh.	Kond. maht. sk. üh.	temp. °C
24.37.	71,6	636	21,9
.40.	73,2	632	22,1
.43.	74,0	628	22,2
.46.	76,9	625	22,3
.49.	77,8	622	22,4
.52	78,0	619	22,6
.55	79,2	616	22,8
.58.	80,7	610.	23,0
01,01.	83,1	606	23,1
.04.	84,0	602	23,2
.07.	85,0	598.	23,3
.16.	87,8	592	23,5
.19.	90,1	586	23,6
.22.	91,0	580	23,8
.25.	92,0	578	23,9
.31.	94,9	572	24,2
.34.	95,0	569	24,3
.37.	94,6	568	24,4
.40.	95,7	564	24,5

Joonis nr. 7



Tabel nr. 6.

kiire, tundlik ja aperiöödiline. Kuna selle elektro-
-meetri (nr.5462.) skaalale vastav kõver, mis ka-
libreeritud firma poolt novembris 1927, ei olnud
enam täpselt õige, vaid tundlikus oli vähenenud,
nii et elektromeetri 80. skaala ühikule vastav pin-
ge oli 6 voldi võrra vähem, kui firma poolt kaasa
antud kõveras. 20 sk. üh. juures oli differentis
1 volt ja 160 sk. üh. korral üle 10 voldi. Selle
elektromeetri skaala uuesti kalibreerimiseks mõõt-
sin akkumulaatori patarei vastava pinge H & B nor-
maal-voltmeetri abil ja lugesin niidikeste kaugu-
se elektromeetri skaalal. Leitud suurused kandsin
tabelisse nr.6. ja joonisele nr.8., kust igale
skaala seisule võib lugeda vastav pinge vortides.

(tabelis nr 5)

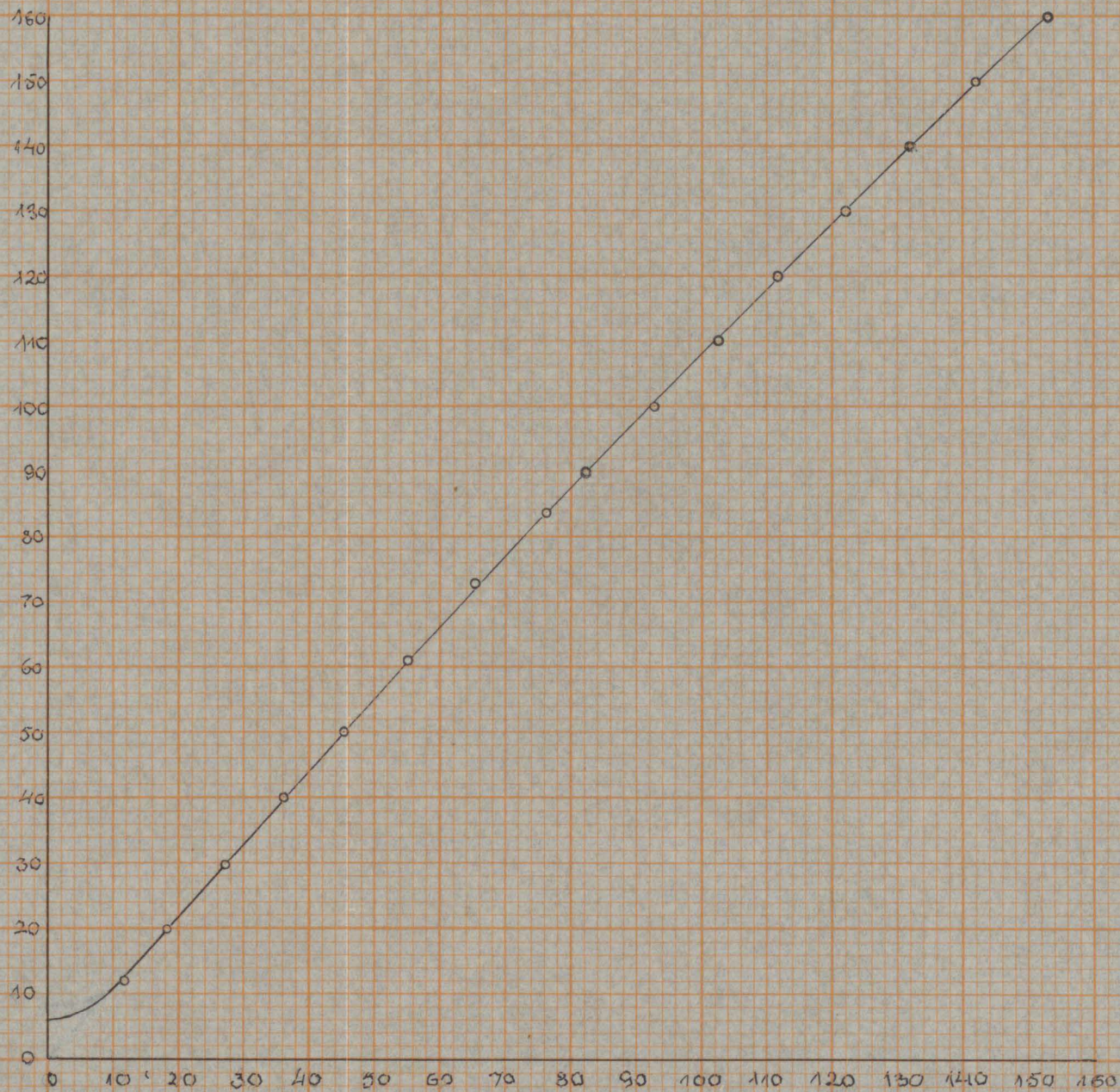
Kuna see katse oli korraldatud pääle pikaaja-
lise tolmutuse katoodi pinna puhastuseks, siis näi-
tab see, et kate [(k) joonises nr.1.] kaitses kelme-
alust küllalt hästi eeltolmutuse eest, sest sama
meetodi abil normaal õhu rõhumise ja toa tempera-
tuuri juures mõõdetud kelme alusplaadi takistus
oli enne eeltolmutamist $2,1 \cdot 10^{13}$ oomi. Seega

Tabel nr. 6.

Pinge voltides.	Elektromeetri seis.
12,0	12,0
20,0	18,0
30,0	27,0
40,0	36,0
50,0	45,0
61,0	55,0
73,0	65,0
79,5	72,5
83,5	76,5
90,0	82,5
100,0	92,5
110,5	103,0
121,0	112,5
129,0	121,5
139,5	131,5
150,0	142,0
160,0	153,0
166,0	159,0

Joonis nr. 8.

PINGE VOLTIDES



ELEKTROMETRI
SEIS
SR. tük.

isolatsioon oli isegi suurenenud, kuid see tuleb kirjutada kas mõõtmisvigade või puhta ja kuiva vesiniku atmosfääri arvele viimase katse juures pärast eeltolmutamist.

Nendes tarvitatud tolmlemis-anumates korraldatud katsetest katoodtolmlamise uurimiseks järel-
dan, et: 1) Tolmutamisel väga suure konstantse töötamis-vaakumi hoidmine pole kergesti saavutatav. 2) Läbi/voolav keemiliselt mitte-aktiivne gaas antud katoodi aine puhul võimaldab hoida konstantset vaakumi pikema aja jooksul. Vaakumi suurenemist pääle mitmetunnilist tolmlenist on võimalik kompens eerida pumba imemisvõime vähendamisega diffusioon-pumba abiventili kaudu vastaval hulgal õhku juure lastes. 3) Kohasem kergesti konstantsetena hoitav töötamis-vaakum ühtlaseks tolmutamiseks on peale 70 sk. ühikule vastav rõhk, kui elektrootide kaugus ei ole üle 2 cm. 4) Kui tolmutamine sünnib kindlas anumast konstantse elektrootide kauguse, kuju ja teatud katoodi aine korral, siis teatud kindlale rõhule vastab kindel voolu

tugevus ja lahendus-pinge antud vooluallika puhul. Seega vaakumi kriteeriumiks võib kasutada ka voltmeetrit ja milliampermeetrit, kui tolmutusanum on kinnine ja ei ole näha lahendusel tekkivat gaasi helenduse värvi ja kuju antud anumal, mille järele võib samuti otsustada rõhu suuruse üle tolmutusanumas, kui silm on sellega juba harjunud.

Kelmed valmistasin õhukestele mikroskoobi preparaate klaasist katteplaatidele, mille suurus oli $18 \times 18 \text{ mm}^2$, kaalusid peale puhastamist 90 kuni 100 mg. ja mida pu^hastasin Riede (1) õpetuse järele. Peale salpeeterhappega puhastamist ja destilleeritud veega loputamist keetsin alusplaatidele tund aega väävelhappe ja kaaliumbichromaadi segus portselaan tiiglis gaasi tulel. Peale jahtumist loputasin kelme alusplaatidele dest. vees ja hoidsin neid öö jooksul dest. vees. Järgmisel hommikul võtsin nad välja, pritsisin põhjalikult dest. vee

1) A. Riede, Zft. f. Phys. 28.186.1924.

joaga ja kuivatasin ning kuumutasin neid samas tiiglis 300 - 400° C juures, kusjuures asus tiigli peal kaunis lähedal klaasplaat, mis kaitses tolmu eest. Peale jahtumist asetasin nad puhtate klaas-kausikeste alla ja asetasin kõik ühte suuremasse klaasanumasse, mis pealt kaetud klaas kaanega ja milles asus purk fosforpentoksüüdiga, mis hoidis hoiuruumi kuivana. Sel meetodil puhastatud metallkelmete alusplaate puutusin ja tõstsin ainult puhtate pintsettidega ja metalliseerisin plaatide otsad hää elektrelise kontakti saavutamiseks elektroodidega paksu vase kihiga vastava katteraami all katoodtolmlemisel, nii et 1 cm. laiune riba jäi elektroodide vahel täiesti puhtaks. Hiljem kaalusin nad (kaal 100 - 140 mg.) ja kasutasin neid vastavas kirjeldatud tolmutusaparaadis katoodtolmlemisel metallkelme alustena, silmas pidades kõiki puhtuse hoidmise abinõusid.

Õigem oleks küll valmistada puhtatest metallidest kelmeid täielikus vaakumis gaasivabade me-

tallide aurutamise teel kõrge temperatuuri juures vastavates klaasist puhutud aparaatides, nagu tegi seda Lauch (1), kuid selle konstruktsiooni läbi viimine on palju keerulisem ja enam aega nõudev töö, sest kuumad osad katseruumis ei võimalda nii kergesti saavutada täielikku vaakumi; ja sellegi juures võime saavutada puhtust ainult teatud piirini (2). Seepärast valisin kelmete valmistamiseks katoodtolmlemise meetodi juba ette teades, et katoodtolmlemisel saavutatud metallkelmed ei ole gaasivabad, sest kuumutades neid vaakumis võib närgata nimetamisväärt gaasi eraldamist, kuna selle meetodi eeltingimiseks on gaasi juuresolek, kuigi väga vähesel määral, ~~kuna~~^{sest} täielikus vaakumis ei teki katoodtolmlemist. On kindlaks tehtud, et katoodtolmlemise juures viibivad gaasid avaldavad ka keenilist mõju metallkelmetele (3). Tuleb arvestada ka selle-

1) K. Lauch, Ann. d. Phys. 74. 57. 1924.

2) J. Langmuir, Phys. Rev. 2. 329. 1913.

3) L. R. Ingersoll and J. D. Hanawalt, Phys. Rev. 34. 972. 1929.

ga, et katoodtolmlemise ajal metalli osakesed puutu-
vad kokku ka teiste võõrainetega, mis on sattunud
tolmutusanumasse ja samal ajal võivad sadestuda ka
teised ained. Õhus valmistatud kelmel on omadus, et
ta vähem alal hoiab oma omadusi (1). Samuti võivad
muutusi tekitada metalli kelme pinnas igasugused tei-
-sed keemilised nähtused, kuid kui puuduvad reaktsi-
ooni/võimelised gaasid ja aurud, ja kui valitseb ta-
sakaal metalli kelmes absorbeerunud gaasi ja ümbruse
vahel, mida on aga kaunis raske saavutada, siis peaks
konstantseks jääma ka metallikelme elektrilised oma-
dused. Et liiga madala gaasirõhumise juures tekivad
ebapuhtused kergemini, siis eelistasin kõrgemat gaa-
sirõhku (umbes 0,5 mm.Hg.) nagu seda soovivad nit-
med autorid (2). Väga otstarbekohane on mõõtnisi toi-
-metada samas vaakumis, kus kelme valmistatud, kuid
võib ka õhus mõõta, sest ebapuhtuse hädaoht kelme
valmistamisel on palju suurem kui valmis preparaadil.

1) O. Stuhlmann jr. Phys. Rev. 13. 109. 1919.

2) Ref. Wien-Harms, Hb. d. Exp. phys. 1. c. S. Werner
järelle Diss. Upsala 1913.

Murmann (1) soovitab kittimiseks ja juhede tihenduseks tarvitada piceini, mis ei lase tekkida tolmutusanumas rasva- ega elavhõbedaaurusid. Igasuguste aurukujuliste ainete kõrvaldamiseks tolmutusanumast tuleb korraldada eeltolmutust, nii et kelme alusplaat on esialgu kaetud. Kelme valmistamine sünnib siis juba palju puhtamates tingimustes, kui vahetada tolmutusruumis leiduv gaas puhta kuiva gaasiga. (2). Riede (3) soovitab läbi anuma lasta voolata nõrga rõhu all kogu tolmutamise aja jooksul puhast kuiva vesinikku, mis võimaldab saada väga konstantseid kõrge läikega kelmeid, kuna vesinik puhastab veelgi tolmutusanumat, sest kõik teised ruumis asuvad metalloosid eraldavad mitmesuguseid gaase, mis võivad ühineda valamistatava metallkelmega (4). Voolav gaas kaitseb ka rasva- ja kitiaurude eest. Metallkelme oksüdeerimise kaitseks soovitatakse tarvitada puhtaimat^h vesinikku, lämmastikku või väärisgaase. Pealegi leiab Riede,

1) H. Murmann, Zft. f. Phys. 80. 161. 1933.

2) G. Rümelin, Phys. Zft. 13. 1222. 1912.-
A. Hippel, Ann. d. Phys. 80. 681. 1926.-

3) A. Riede, Zft. f. Phys. 48. 302. 1928.-

4) H. Greinacher, Verh. d. D. Phys. Ges. 15. 797. 1913.-

et voolavas vesinikus klaasalusele valmistatud kelme elektrijuhtivus on proportsionaalne kelme paksusega, nii et juhtivuse põhjal võib arvutada ka vastavat kelme paksust õige suure täpsusega, kui on kindlaks määratud antud aine pinna erijuhtivuse vahekord metallkelme paksusega. Pinna erijuhtivus on ühe ruutühiku juhtivus, kus pole tähtis ruutühiku suurus, sest poole suuremale laiuzele (L) vastab ka poole suurem pikkus (P), nii et juhtivus jääb ikkagi samaks (1)

$$\mathcal{H} = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{P} (\text{oomi}^{-1}).$$

See paksuse-määramise meetod vastavale tarvitatud ainele annab absoluutse täpsuse teistest mõõtmistingimustest relatiivselt kinni-pidades, sest igasugused muutused ja aine keemilised erinevused oleks siis arvestatud. Ta ei anna aga mitte õhukese kelme absoluutpaksuse, vaid massiivse materjaali paksuse. Pinna erijuhtivuse vahekorra kelme paksusega saame kindlaks teha, kui katoodtolmlemis-tingimised hoida kogu aeg samad ja lõpuks kelme paksust määrata juba paksema kelme kaalumise abil, kui puhas kelme^{-alus} oli

1) A. Riede, Ann.d.Phys. 45. 881. 1914.

" " Zft.f.Phys. 28. 177. 1924.-

kaalutud enne tolmutamist. Selle järele võib õhemate kelmete paksust arvestada sadestamise-aja järele, sest on kindlaks tehtud, et settunud metallihulk on proportsionaalne ajale (1), kui algperioodil lahene-misel tekkinud metallilist tolmlenemist ei lasta kohe alusplaadile, vaid alles teatud eeltolmlenemise-aja järele. See eeldab muidugi, et õhukestel metallkel-metel on enam-vähem samane normaalse aine erikaal. Se-da on katseliselt juba ammugi kindlaks tehtud mitme-suguste mõõtmismeetoditega hõbeda juures, et keemili-sel teel sadestatud ja katoodtolmlenemisel saadud kel-metel on normaalne erikaal (2).

Optilised kelme paksuse-määramise meetodid ei ole nii täpsed, sest optilised~~id~~ omadused olenevad küll metallkelme paksusest, kuid pääle selle olenevad veel vähematestki valmistamise eritingimustest (3). Pealegi läbipaistvus ei sõltu paksusest lineaarselt, oleneb läbivalgustava laine pikkusest, valguse ab-sorptsioonist, gaasi sisaldavusest ja isegi läbi-valgustamise sihist jne..

1) E. Blechschmidt, Ann. d. Phys. 81. 1006. 1926.-

2) E. Hagen u. H. Rubens, Ann. d. Phys. 8. 438. 1902.

3) H. Murmann, l. c. 1933.-

III Õhukeste metallkelmete takistus.

Iga katsetaja on leidnud isesugused optilised konstandid isegi puhtatest gaasivabadest metallidest täielikus vaakumis valmistatud õhukeste metallkelmete kohta. Arvatakse, et see on tulnud sellest, et kelmed pole saavutatud mitte täpselt ühesuguste meetodite järele. On küll võimalik kõikide meetodite järel saavutada puhtaid metallkelmeid, kuid need ei oma sama paksuse juures ikka absoluutselt samad omadused, sest termilise-, katoodtolmlemise- või keemilise meetodi abil saavutatud metallkelme pinnas ehitusosakeste korraldus võib olla erinev. Kuigi metallkelmed on valmistatud samas paksuses sama meetodi järele, võivad siiski esile tulla kontrollimatud individuaalsed tingimused saamisviisis, kuna nad on eraldi valmistatud, ei ole täpselt sarnased ja ei oma küllalt täpselt samad omadused (1). Selle arvamise tekkimine pannakse süüks tihti kindlaks määratud õhukeste metallikihtide vananemise nähtusele, mis ennast tunda annab iseäranis elektrijuhtivuse

1) H. Murmann, l.c. 1933.-

muutuses (1). Minu arvates on õhukeste metallkelme-
te juures leitud elektrijuhtivuse muutused tingitud
kelme aine auramisest, kelme struktuuri ja aine kee-
milise koosseisu muutusest aja jooksul. Et kehad la-
gunevad tolmuks ja auravad ära materjaalsed osakesed
ultravioletti valguse mõjul, seda märkasid üle nelja-
kümne aasta eest Lenard ja Wolf (2). Minul juhtus
isegi niisugune õnnetus, et katoodtolmlemisel paberi-
-le saadud täiesti metalliläikeline puhas vismuti
kiht, mida ei olnud võimalik ära pühkida, auras ära
normaalsetes tingimustes vabalt toas seistes ilma
erilise valgustamiseta. Minu ootamata üllatuseks oli
kiht kadunud kolme päeva jooksul ja temaga korralda-
tud katsed tulid lõpetada. Kiirendavalt mõjub me-
talli auramisele vaakumis olek. Näiteks alumiinium-
kelme, mis saavutatud puhtale klaasalusele, mille ot-
sad olid juba enne metalliseeritud paksema vase-
kihiga parema elektrilise kontakti saavutamiseks, juba
eelpool kirjeldatud vasest katoodtolmutus-anumas,
omas pääle 3x5 minutiliste tolmutusaegade juhtivuse
mis 5 min. jooksul andis mõõdukondensaatoril 96 sk.

1) G. Braunsfurth, Ann. d. Phys. 9.385. 1931.-

2) P. Lenard u. M. Wolf, Ann. d. Phys. u. Chem. 37.443.

ühikulise differentsi. Juhtivuse võrdleva mõõduna
tarvitan siin lihtsalt $\kappa = 96/5$ ($\frac{\text{sk. üh}}{\text{min}}$), kuna pääle
18 tunnilise seismise, mil tahtsin katset jätkata,
oli juhtivus ainult $\kappa = 5/5$, mis vastab puhta klaas-
alusplaadi isolatsioonile. Katoodtolnlemisel oli voo-
lutugevus 26 mA ja lahendustööpinge mõõtes elektroo-
-didel 335 volti, kusjuures vesiniku rõhk anumast
oli keskmiselt $70,8 \pm 0,5$ sk.üh. Brunneri manomeet-
ri järele. Samadel tingimustel valmistasin hõbedast
kelme, mis saavutatud 30 sekundilise tolmutamise
järele ja omas juhtivuse $\kappa = 9/3$. Poole tunnilise
seismise järele oli mõõtmisel tagajärg sama, kuid
kaks tundi hiljem oli jällegi isolatsiooni juhtivus.
Uuesti klaasile 15 min. jooksul tolmutatud hõbedast
kelme omas juhtivuse $\kappa = 27/3$ ja peale 12 tunnilist
seismist ainult $\kappa = 5/3$. Iseäranis kiiresti aurab me-
tallikiht valgustades, ^{Näiteks} 20 min. tolmutamise järele
saavutasin klaasalusele alumiiniumist kelme, mille
juhtivus oli $\kappa = 62/3$, peale 40 minutilist seismist
oli järele jäänud kelme, mille juhtivus oli $\kappa = 30/3$,
valgustades söekaarlambiga, millel kvartsist konden-
saatorläätsad, langes juhtivus $\kappa = 20/3$, kuid valgus-
tades kvartselavhõbeda lambiga, kadus metallkelme

silmapiilkselt ja juhtivusena sain $\chi = 3/3$.

Sellised aine auramise nähtused valguse mõjul lubasid esialgu oletada, et fotoelektriline pealispinna toime juures elektri kandjateks on valgustatud keha materjaalsest kaaluvad osakesed, kuid edaspidise Lenardi katsed (1) näitasid, et seesugune arusaamine nähtusest oli siiski vale, ja et fotoelektriline pealispinna-toime seisab ainult elektromagneetilise kiirguse mõjul materiasist lendunud vabade elektroofide tekkimises.

Teine põhjus, mis võib tekitada õhukese metallkelme elektrilise takistuse muutuse aja jooksul, on arvatavasti kelme struktuuri muutus. Metallikübened võivad olla muudavad oma asukohta ja poevad üksteise vahele. On leitud, et elektromagneetiline kiirgus kindlasti muudab metalli pealispinna elektrilisi omadusi. Näiteks pealispinna fotoelektriline tundlikkus oleneb ka pinna eelvalgustusest. Valgustades pinna väga intensiivse valgusega (2), lühilaineliste kiirtega (3) või intensiivsete α - kiirtega (4), on

- 1) P. Lenard. Ann. d. Phys. 2. 359. 1900. ja 1. 486. 1900. -
- 2) R. A. Millikan and G. Winchester, Phys. Rev. 29. 85. 1909. -
- 3) L. T. More, Phil. Mag. 13. 708. 1907. -
- 4) H. Dember, Verh. d. D. Phys. Ges. 13. 313. 1911. -

võimalik metalli pealispinda vabastada adhäseeruvatest kihtidest ja ikka tõuseb üldiselt fotoelektriline tundelikus. Tugevalt muudavad metalli pealispinna elektrilist seisukorda elektrilaengu lahendused hõrendatud gaasides ja potsentsiaali esinemine pealispinnal, mis on tingitud elektroonide arvu muutusest ja tekitab pealispinna laadimised ja pealispinnamuutused(1), mis oma korda muudavad metallkelme elektrilist takistust. Et võimaldada muudest elektrilistest mõjutustest segamata mõõtmist, peab katse sündima kindlalt deffineeritud elektriväljas ja metallkelme peab olema küllaldaselt kaitstud väliste elektrostaatiliste ja magneetiliste (Halleffekt—elektromotoorne jõud, mis tekib magnetvälja mõjul elektrivoolu juhis(2)) segamiste eest(3). Seepärast sündisidki mõõtmised väga õhukeste metallkelmetega paksu seintega vaskanumas, mis elektriliselt maandatud.-

Kolmas põhjus võib peituda minu arvates aine keemilise koosseisu muutustes, sest õhus seistes

võib metall oksüdeeruda ehk tema pinnale võivad ⁴³⁸

1) H. J. van der Bijl, Verh. d. D. Phys. Ges. 15, 330, 797, 1913
" " " " " Phys. Rev. 2. 1919. 1913.-

2) Ref. A. Riede, Zft. f. Phys. 28. 177. 1924.-

3) Ref. Wien-Harms, Hb. d. Exp-phys. B 23. T. 2. 1499. 1928.

sublimeeruda mitmesugused aurud, mis võivad põhjustada mitmesugustele keemilistele ja muudele protsessidele, mis oma-korda muudavad metallkelme elektrilisi omadusi. Võib muutuda ka metallkelme gaasisaldavus, kui kelmesse on diffundeerunud gaasi. Seesuguste pealispinna seisukorra muutustega tuleb kindlasti arvestada katsete juures, mis toimuvad gaasiga täidetud ruumis. Ka osalises vaakumis sünnivad väikesed muudatused (kuigi vähenad) juhtivatel pindadel pikema aja jooksul, kuid kõige täielikumas vaakumis tuleb arvestada juba kindlasti elektri juhtivuse konstantsiga aja suhtes. Mitte üksnes ümbrus, vaid ka elektrijuht ise peab olema täiesti gaasivaba (1). Võib olla on gaasisaldavus tingimata tarvilik fotoelektrilise sisetoi me tekkimiseks, sest metallikelme fotoelektrilise pealispinna-toime uurimisel leiti esialgu, et nähtuse üheks tingimuseks on metalli gaasisaldavus (2). Gaasimõjutust ei ole märgatud aga lähemalainelise ultraviolet*ti* piirkonnas, ja ikka enam lähemalainelisse piirkonda minnes, väheneb gaasi mõju ja puudub täielikult kõrgesage-

1) P. H. Dike, Phys. Rev. 32. 631. 1911. -

2) R. Pohl u. ^{P.}Pringsheim, Verh. d. D. Phys. Ges. 14. 546. 1912.

2) ~~Ref. Wien Harms, Hb. d. Exp. phys. n. 23. 1. 2. 113.~~
G. Wiedmann u. W. Hallwachs, Verh. d. D. Phys. Ges. 16. 107. 1914. 79

dus-kiirguses(1). Hiljem leiti(2), et ka puhtate gaasivabade metallide juures esineb fotoelektriline pealispinnatoime ja et metallipinna gaasisisaldavus võib olla mitmesuguste metallide juures erinev ja võimaldab nähtust märgata juba pikemalainelises piirkonnas. Pinna vananemisest ning absorbeerunud gaasi liigist, omadustest ja hulgast oleneb ka laine pikkus, milline annab valgustades maksimaalse fotoelektrilise pealispinnatoime(3). Katsed näitavad, et metalliga reaktsioonivõimelised gaasid muudavad fotoelektrilist pealispinnatoimet, kuna neutraalsete gaaside juuresolek ei avalda mingisugust mõju. Iseäranis suur fotoelektrilist tundelikkust tõstev mõju on vesinikul, kuna õhk, hapnik, sinihape ja süsihape (CO) vähendavad väga tuntavalt metallide fotoelektrilist pealispinnatoimet. Võrreldes kaalium-fotoraku tundlikkust täielikus vaakumis sellega mis ta omab teatud laine-pikkuse juures teatud suurusega gaasirõhumise korral, siis viimasel juhul võib tundelikkus olla üle 50 kor-

1)Ref.Wien-Harms, Hb.d.Exp-phys.B.23.T.2.1130.1928.

2)R.Surmann, Ann.d.Phys.67.43.1922.-
O.Rietschel, Ann.d.Phys.80.71.1926.-

3)R.Fleischer, Ann.d.Phys.82.75.243.1927.-

ra suurema. Bartlett (1) leidis, et okkludeerunud gaas põhjustab suure eritakistuse ja takistuse vähenemise katoodtolmlemisel valmistatud kelmete vananedes, mis on tingitud aine gaasisisaldavuse vähenemisest. - Fritsch (2) leidis, et vähemgi hulk juurelisatud kõrvalainest tõstab tunduvalt põhiaine elektrilist juhtivust. seda kinnitavad ka katsed hilisemast ajast, mille kohta Tubandt ja Reinhold (3) seletavad et lisandused teevad põhiaine kohedamaks ja seega edendavad ioonide tekkimist, suurendades aine elektrilist juhtivust. Seepärast ainult oletatakse, et fotoelektrilised nähtused tekivad metalli ja ümbritseva gaasi keemilise reaktsiooni tagajärjel elektromagneetilise kiirguse mõjul. Seni-ajani väga keeruliselt läbi-viidud katsed (4) selles küsimuses ei ole toonud aga kahjuks veel täit selgust.

Minu arvates metallikübenekeste vahel asuv gaas suurendab osalt ka seepärast õhukese metallikelme elektrilist juhtivust, et tekib elektrodide vahelise pinge ja ultravioletti valguse mõjul ioniseeritud

1) R.S.Bartlett. Phil.Mag.5.848.1928.-

2) C.Fritsch, Wied. Ann.60.313.1897.-

3) C.Tubandt u.H.Reinhold. Zft.f.Elektrochem.29.313.1923.

4) L.A.Welo, Phys.Rev.12.251.1918.

" " " Phil.Mag.45.593.1923.

F.G.Tucker, Phys.Rev.22.574.1923.-

gaas, mis omab võrdlemisi hää elektrilise juhtivuse;
- kuid kaunis kaheldav on ^{uute} vabade elektronide ^{juurde} tek-
kimine nii madala temperatuuri juures. Et ultravio-
lett valguse mõjul gaaside elektrijuhtivus suureneb
seda näitasid Hertz'i katsed (1) juba ligi poolsada
aastat tagasi, millised avastasidki esimesena foto-
elektrilise toime gaasides. Hertz märkas, et induk-
tori lähenemisel gaasi läbilöögivõime suurenes, kui
valgustada sädevahet kaarlambi abil saadud ultra-
violett kiirtega.

Metallkelme sisemine struktuur oleneb suurel
määral ka valmistamistingimustest. Sellepärast arva-
tavasti erinevad ka vanemate uurijate mitnesuguste
katsete tulemused (2). Kui näiteks kelme aluplaat
aurutamise juures on väga lähedal metalliauru eral-
dajale, siis omab sublimeerunud kiht eriti väikse-
kristallilise struktuuri. Metalliauru allika kauge-
nemisega kaldub tekkinud kelme ^kstruktuur ikka enam
lahtise-terakujuliseks, omab teised optilised oma-
dused ja elektriliselt suurema eritakistuse.

1) H. Hertz. l. c. juunis 1887. -

2) R. Schulze, Phys. Zft. 34. 36. 1933. -

Suuremalt osalt kõik autorid kasutasid küll õhukeste metallkelmete valmistamiseks katoodtolmlenise meetodit, kuid nad ei teadnud rõhku panna täpsele katoodi ja kelme alusplaadi kaugusele(1). Nii võiks valmistada pakse kelmeid, tolmutades alusplaati hästi kaugelt, väga lahtise-terakujulise struktuuriga ja mõjudes raadio laintega vaadata, kas tekib kelmes kohäreri mõju. Niisuguse katsega võiks otsustada selle üle, kas fotoelektriline sisetoime on vabade elektronide vool, või mingisugune teine sekundäärne nähtus, sest Guddeni (2) arvates võib tekkida kohäreri mõju ainult üksinda (puhta) elektronide juhtimise tagajärjel. - Oma katsete juures püüdsin asetada katoodi võimalikult alusplaadi lähedale (konstantne kaugus anumask umbes 2cm.) . Katsed elektri- voolu juhtivuste mõõtmisel pimedas näitasid, et jätkub väga väikesest temperatuuri muutusest iseäranis kõrgemas temperatuuris, et saada erinevaid juhtivusi. Bartlett(3) arvas, et katoodtolmlenisel valmistatud metallkelmete teradesarnane ja ebakorrapärane

1)R. Schulze, l. c. 1933. -

2)B. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen 143. 1928.

3)R. S. Bartlett, Phil. Mag. 5. 848. 1928. -

struktuur seletab eritakistuse olenemuse kelme pak-
susest ja vägaõhukeste kelmete takistuse suurenemise
vananedes. Kelme pinnas tekivad temperatuuri muutu-
des pingeseisukorrad, mis on tingitud metallkelme ja
alusklaasi erinevatest paisumiskoeffitsientidest.
Selle tagajärjel avanevad ehk sulgevad kelmes metal-
liosakeste vahelised vahed ja põhjustavad seepärast
väikesi ehk koguni neegatiivseid takistuse tempera-
tuuri koeffitsientide ja teisi omapärasusi. (1). Kõik
vanemad uurijad on leidnud, et katoodtolmlemisel saa-
-vutatud kelmete eritakistus tõuseb enne aeglaselt
kelme paksuse vähenedes, kuid teatud piirpaksuse
juures (10-20 μm) tõuseb metallkelme elektriline eri-
-takistus järsku (2). Suurem osa autoreid seletab se-
da asjaolu õhukeste metallkelmete terasarnase struk-
tuuriga, mille juures tekib suur ülemineku-takistus
ühelt kristallilt teisele - kuid selle põhjuseks oli
arvatavasti mõõtnisriistade ebatundlikkus, mida tões-
tab Perucca (1) näidates, et teatud paksusest peale te-
kib alles metallkelme elektriline juhtivus ja muu-
tub hüperboolselt ühtlaselt ilma järsku hüppeta.

1) Ref. E. Perucca, l.c. 1930.

2) Ref. L. Tisza, Naturwiss. 19.86.31.-B. Pogány,
A. Riede, R. S. Bartlett ja E. Perucca järele l.c.
1916-1930

Sama nähtuse leidsin ka oma katsete juures vask-
ses tolmutusanumas. Näiteks alumiinium ja hõbe ei
näitanud 5 kuni 15 sekundiliste esialgsete tolmla-
misaegadeni mingisugust juhtivust - alles 20 sekun-
dilise tolmutamisaja järele võis märgata elektrilist
juhtivust, kuid võib olla liiga õhukesed kelmed
haihtusid mõõtmisaja jooksul, kuna suuremate takis-
tuste mõõtmiseks kulus vähemalt 3 kuni 5 minutit.
Perucca usub oma mõõtmiste alusel, et nimetatud piir-
-paksust ja aeglast tõusu võib kooskõlastada Thom-
son'i teooriaga (1900) (1). Thomson põhjendas eba-
normaalset eritakistuse tõusu elektronide liikumi-
se takist^{ami}usega. Kui metallkelme paksus on väiksem
kui tarvilik elektronide vabaks liikumiseks, mis
takistab elektronide voolu transporteerimist ja
kelme omab suurema takistuse, kui seaduste järele
võiks oodata, sest pealispinnalt elektronid reflek-
teeritakse ja selle tagajärjel elektronide keskmis-
ne edasiliikumise kiirus väheneb. Et metallkelmed
teatud paksuseni omavad isolatsioonitakistuse, selle
kohta oletab Perucca, et metallkelmed, mille paksus

1) Ref. R. Schulze l.c. 1933. ja

L. Hamburger, Ann.d.Phys. 11.40.1931.

ulatub ainult väheste aatomite läbimõõdu summale, ei ole üldse elektriliselt juhtivad. Seega metallil on nagu tavaliselt küll metalliline pealispind, kuid see pind on isolaator, mis vastab ka teiste autorite poolt leitud andmetele (1). Metallkelmed on niikaua isolaatorid, kuni nende paksus ei ulatu üle kahekordse isolaatorina mõjuva pealispinna paksuse. See oletus paistab olevat küll väga hästi põhjendatud, kuid siiski tundub mulle liig julgena, mis sunniks paljuid põhinähtusi vaatlema teisest seisukohast.

IV Fotoelektrilise sisetoime tekkinise teoreetilisi põhjendusi.

Fotoelektriline sisetoime tekib peaaesjalikult valgustatud aine sisemistes molekulides, mille tagajärjel esinevad aines vabad elektroonid, mida võib liikuma panna elektrivälja mõjul. Selle tagajärjel tekib juhis lisavool, kuid ei ole veel absoluutselt kindlaks tehtud, kas ka metallide juures märgatava fotoelektrilise sisetoime algpõhjuseks on valguse energia kulul vabanenud fotoelektriliste elektroonide lisavool.- Sisetoime esile-kutsumiseks kulub

1) L. Houllevigue, Compt. rend. 148. 1320; 150. 1237. 1910.
A. Riede l.c. 1924.

tööd elektroonide eraldamiseks ainult keha sisenu-
ses asuvatest aatomitest, kuna pealispinna-toime
juures tuleb juure veel see töö, mis kulub elektroo-
nide eraldamiseks keha pinnalt. Sellele vastab ka
kogemus, et välimine fotoelektriline-toime tarvitab
üldiselt lühemaid laineid kui sisetoiime(1). Kui mõ-
ne aine kohta on kindlaks määratud fotoelektriline
pealispinnatoime kuni teatud lainepiirini, siis ei
ole see mingiks tõendusks, et ei ole olemas sise-
toimet veel pikemate lainete puhul. Seda on tõesta-
tud juba katsetega keedusoola kristallide juures(2),
kus tugeva sisetoiime valguse-piirkondades ei olnud
märgata mingisugust fotoelektrilist pealispinnatoi-
met. Flechsig(3) näitas, et valgustades tekib kris-
tallides vool otsekohe ilma ajavaheta, mis on kind-
lasti vähem kui 10^{-4} sek. , jääb konstantseks ja
valguse mõju kõrvaldades kaob momentaalselt. Seda
pole aga kindlaks tehtud veel seni-ajani hääde elek-
tri-juhtide kohta. Lenzi katsed näitavad(4), et

1) Ref. Wien-Harms, Hb. d. Exp-phys. B 23. T 2. 1349. 1928.
ja 1368, 1370 ja T. l. 724. 1928.

2) P. Lukirsky, N. Gudris, u. L. Kulikowa, Zft. f. Phys. 37.
308. 1926.

3) W. Flechsig, Zft. f. Phys. 33. 372. 1925.

4) H. Lenz, Ann. d. Phys. 82. 780. 1927.

kristallides (isolaatorites) väheneb fotoelektriline vool väga tuntuvalt langeva temperatuuriga kuni vedela vesiniku temperatuurini, kuna Bartletti katsed metallkelmetes näitavad vastupidist. Minu toimetatud katsed vedela-õhu temperatuuri juures (-185°C) näitasid et katoodtolmlemisel saadud kelmete takistus üldiselt suureneb, kuna harilikkude kompaktsete metallide takistus üldiselt väheneb temperatuuri langedes ja näiteks hõbeda juhtivus vedela vesiniku temperatuuri juures (-253°C) on ligikaudu 150 korda suurem kui toa temperatuuri juures. Hõbedast kelme ei näitanud mingisugust järsku muutust ($\frac{\Delta R}{R} < 10^{-4}$) valgustades raadiolainetega ($\lambda = 3 \text{ mtr.}$); ultraviolet kiirguses takistus tõusis aeglaselt (3 min. jooksul); kuid röntgeni kiirte mõjul takistus vähenes 1 min. jooksul ligi 9% võrra; kuid neid andmeid ei või võtta täie kindlusega, sest õhukeste kelmete takistus on üldse väga muutlik.

metallkelmete takistuse muutuse põhjuseks gaasilises atmosfääris on peamiselt gaasi (1) ja emitteeritud elektroonide koostöö. Kui suur osa siin mängib ioniseeritud gaas, on teadmata, sest vas-

1) l.c. Hertzi katsete kirjeldamisel.-

tavaid katseid ei ole korraldatud praeguse ajani.

Majorana leitud õhukeste kompaksete metall-
plaatide takistuse kasvamine valguse mõjul, mida ei
saa nimetadagi fotoelektriliseks toimeks, sest tema
poolt leitud "uus nähtus" laseb ennast seletada val-
guse termilise mõju momentaalse sekundäärnähtusena.
Sellele põhjendusele hääks tõenduseks on see, et me-
tallplaadi takistuse kasvule mõjus valgus ilma erili-
-se selektiivsusega ultrapunasest kuni ultravioletti-
ni, pealegi efekt kasvas märgatavalt valguse inten-
siivsusega ja siis kui plaadid kattis tahma(korruga (1),
sest selle tagajärjel absorbeeritud valguse soojuse
energia on suurem. Fotoelektrilise toime esilekutsu-
-miseks ei ole esijoones mõõduandev mõjuva valguse
intensiivsus, vaid valguse lainepikkus. Huvitav oleks
teada, kas Majorana katset (1) korrates katoodtolm-
lemisel saadud kelmetega saame ka pulseeriva valguse
mõjul metallkelme elektrijuhtivuse suurenemise?

Bartletti leitud elektrijuhtivuse suurenemist
valguse mõjul võiks seletada Swanni teradeteooria
abil(2). Katoodtolmlemisel saadud kelme struktuur

1) Q. Majorana, Phys. Zft. 33. 947. 1932.

2) W. F. Swann. Phil. Mag. 28. 487. 1914. -

on terasarnaste metallikübemekeste kogu, mis asuvad võrdlemisi lodevalt teineteise kõrval. Kui need kübemekesed soojenevad valguse termilise mõju tagajärjel, siis nad paisuvad ja vabade elektronide üleminekutakistus kahaneb. Ka Bartlett ise kolm aastat pääle oma katseid seletab (1), et: "Näib olevat kindel, et metallid valguse mõjul ei näita mingisugust muutust elektrilises juhtivuses, peale selle mida põhjustab absorbeerunud kiirguse soojuslik mõju."

Niikaua kuni ei ole tõestatud fotoelektriline sisetoime täielikus vaakumis polariseeritud homogeen- ses elektromagneetilises kiirguses vabade kompaktest metallidest õhukeste homogeensete kelmete kohta (mitte katoodtolmlemisel saadud) - usun, et kogu seni uuritud fotoelektriline sisetoime metallides on lihtsalt metallkelme struktuuri muutustest tingitud. Täiesti kindlaid vasturääkimata otsusi on praegu raske teha fotoelektrilise sisetoime tekkimise kohta metallides elektromagneetilises kiirguses. Tuleb leppida ainult oletustega, sest nähtus on seda võrdi uus, et kasutada on ainult üksikud katseresultaadid ja needki piirduvad ühe väikese murdosaga

1) Russell Sturgis Bartlett, Phil. Mag. 5.848.1928.

kogu elektromagneetilise kiirgamise spektrist.

V Katsetamise seadeldised.

Elektromagneetilise kiirguseallikatena kasutasin söe-kaarlampi, kvartselavhõbedalampi ja raadio ultralühilaine saatjat, mille kiired langesid ristikelme pinnale. Ei olnud mõtet kasutada monokromaatorit homogeense valguse saamiseks, sest kõige enne tulid määrata üldpiirkonnad, milles võib tekkida metallkelmetes fotoelektriline sisetõime.

Üldine lainepiirkond, mida väljasaatsid need kiirguse allikad on juba palju uuritud ja teada. Söekaarlambi toiteks kasutasin alalist voolu 130 volti 5 amp. ja tema üldine lainepiirkond on 0,3 kuni 3μ , kusjuures energia maksimum asub $0,7\mu$ juures (1) Kasutades kondensatoriks kvartsklaasist läätsasid andis ta osalt ka ultravioletti kiirgamist.

Kvartselavhõbeda lampi toitsin alalisvoolu võrgust 220 v. 2,5 amp. Tema üldine lainepiirkond ulatub 0,2 kuni $0,6\mu$. Nähtavas valguses annab peaaegu likult jooned $578\mu\mu$, $476\mu\mu$, ja $436\mu\mu$ ja ultravioletis

1) Ref. Wien-Harms, Hb. d. Exp.-phys. B. 23. T. 2. 1483.

peaasjalikuht 365 $\mu\mu$, 313 $\mu\mu$, 280 $\mu\mu$, ja 254 $\mu\mu$.-

Raadioultralühilaine saatjana kasutasin "Telefunken Tüüp R.S.55." saatelampi Kurz-Barkhauseni lülituses (1). Vooluallikana kasutasin transformaatorit, mille primäärmähise koormatus 220 voldi juures oli arvestatud 450 vatti. Sekundäärmähistest kasutas lamp kütteks 10 volti 2,8 amp. ja anood vooluks

1200 volti 45 mA. Teda oli võimalik võnkuma panna 2,4 kuni 3,4 meetrilisel lainel. Töölaineks kasutasin umbes 3 meetrilist lainet saate võimsusega kuni 5 vatti.-

Takistuse muutuse mõõtmiseks elektronagneedilise kiirguse mõjul kasutasin sama ^{potentsiomeeter} meetodi, mida kasutas Bartlett (2) oma katsete juures.-

H&B. peegelgalvanomeeter (mähis 10.000 Ω) omas suure tundlikkuse (1mm. hälve vastas 3 mtr. kaugusel asuval skaalal $2,726 \cdot 10^{-10}$ amp. $\pm 0,006$.)

Pingeks kasutasin akkumulaator patareid 2 kuni 160 volti.

1) Ehituskirjeldus L. Bergmann, Versuche mit hochfrequenten, ungedämpften elektrischen Schwingungen und kurzen elektrischen Wellen. 1932.

2) R. Bartlett l.c. 1925.-

taxistust katsed.

Tolmutades alumiiniumi vasest katoodtolmutusammnas, sain 10 min. tolmutamise järel kibi, mille taxistus oli: $9,9 \cdot 10^{12} \Omega$, kuna kelme oli alles väga õhuke ja palja silmaga märkamatu, siis tolmutasin veel 15 min. jaoks ja kelme taxistus langes $2,8 \cdot 10^{12} \Omega$ -le. Peale neljakümne minutit seismist oli kelmele suurem osa kadunud ja taxistus oli tõusnud $7,1 \cdot 10^{12} \Omega$ -le, seda kelmet valgustades kaardlambriga, kvartsklaasist läätsega, tõusis taxistus $8,9 \cdot 10^{12} \Omega$ -ni. Selle järel valgustasin sama kelmet kvartselavhõbede lambriga kiirguses ja kelme taxistus tõusis $2,4 \cdot 10^{13} \Omega$ -ni, mis näitas juba kelme alusplaadi isolatsioonile. Järelikult alumiiniumist kelme nähtavasti auras ära, ja ei võimaldanud üldse oma

taxistust mõõta elektromagneedi-
lises kiirguses. Teisel päeval,
mõõtes taxistust uuesti, leidsin,
et plaat oli jäänud iivakäsi isolat-
siooni tar jultivuse juurde, siis
kolmutades 15 min, 3ai kelme,
mille taxistus oli $5,4 \cdot 10^{12} \Omega$ -
peale 20 min. zeismist oli kelme
taxistus suurenenud $1,1 \cdot 10^{13} \Omega$ -le
ja 15 min. hiljem oli kelme täies-
ti kahtunud!

Et alumiinium taludes liiga
aeglaselt ja ei annud mõõdetä-
vat kihti, kuna kaevu kolmuta-
mine oli võimata, sest auru-
temperatuur tõusis ligi 60°C . ja
pitseim muutus pehmemaks, välisest
sinatormidega jahutusest laali-
mate.

Järgmisena vaatsin

Samas anummas tõhedaga. 15 min.
tolmutades sain kelme mille
takistus oli $1,6 \cdot 10^{12} \Omega$. Proovides
selle kelme püsivust, lasusin
teha paar tundi seista ja
müsti mõttes leidsin et kelme
oli jälle häitunud. Teisel
korral tolmutades sain 15 min.
jooksul kelme takistusega $1,2 \cdot 10^{12} \Omega$.
Tolmutasin veel 20. min ja
sain kelme takistusega $7,1 \cdot 10^{11} \Omega$.
Ka see kelme häitus plaadilt
3,5 tunni jooksul. Kuna
selles tolmutusanumas isegi tõbe-
dast kelmed ei jäänud püsima,
lõpetasin tolmutuskatsed selle
anumaga.

Färqnevad katsed toimetasin
teise tolmutusseadeldisega -
sinise klaaspupli all.

Nisumnti kelled valmistati
sin nii paksud, et nad alid
peaaegu läbipaistmatud ja
omasid nii suure taristuse
mumtlivuse - kindlasti üle
100% - ja ei võimaldanud see-
pärast mingisuguseid vaatlusi
teie elektromagneetiliste laine-
tega.

Järgmise kelle valmistasin
varest ja sain kelle, mille tar-
kistus oli 37670 Ω. Kelle oli
püsiv ja võimaldas täpselt vaat-
lust. Ultravioletti kiirguses kalenes
3 sekundi jooksul kelle taristus
6000 Ω võrra, s.o. 13%.

Teise vast-kelle taristus oli
enne katseid 52000 Ω. Ultra-
violetti kiirguses langes selle kelle
taristus sama aja jooksul 14000 Ω
võrra, ning jäi siis püsime.

muutumise protsent - sellega 16.%.
Nägem, umbes poole tunni jä-
rel takistus tõusis algseisule.
Platina kelmega klaasil kat-
setades selgus, et platina takis-
tuse muutumise protsent ult-
ra-violett kiirguses oli väga väike,
ning seepärast kaheldab. Näi-
teks 3 minutit kestnud katse
juures tõusis platina kelme
takistus 11,949 Ω -lt - 11,958 Ω -le,
seega muutus ainult 0,009 Ω
võrra. Sama kelme takistust
mõõtes 10 min. hiljem selgus,
et takistus oli veelgi suurenenud
ja oli 11,977 Ω . Nähtavasti oli
kõigi nende muutuste põhjuses
plaadi temperatuuri tõusmise-
~~st tekkinud paisumine.~~
Hõbeda kelmega tselluloid.

plaadil, sain ultravioletti kiirguses,
10 min. kestet ainult 1% suuruses.
Näiteks 1120000 oomilt - 1130000
oomile

Kõige viimati: teinutavain
katseid hõbede velmege klaa-
sil. Toa temperatuuris tõi
ultravioletti kiirte mõjul 6 min.
jooksul velme taksistus 2627700
oomilt - 2766700 oomile. 10 min.
hiljem oli taksistus veelgi tõi-
nud - 2894000 oomile ja näitas veel-
gi tõi suu tendentsi. Nüüd ~~arusa-~~^{jalgu}
sin nimetatud velmet - 185°C
temperatuurini, selle juures tõi-
s is velme taksistus kiiresti (1 min
jooksul) 7030000 oomile, kuhu
jõi püsima. Kolm minutit
ultravioletti kiirguses alles, tõi-
s is velme taksistus 7070000 oomile,
millele jõi jälle kindlasti

püsima

Ultravioletti kiirgust kat-
kestades langes takistus 20 min.
kestel 6 670 000 ohmidele.

Uurides röntgeni kiirte
mõju kelmel sama tempera-
tuuri juures, langes takistus
kiiresti (1 min. kestel) 6100 000 ohmidele
Pool tundi hiljem uuesti määra-
tes oli plaadi takistus jälle
tõusnud 6 850 000 ohmidele, kuhu
jäi püsima.

Ultralühilaineliste raadio
kiirte mõju ei läinud korra
tähele panna, nähtavasti
oli nende kiirte soojusline
mõju selleks liiga väike.

Kokkuvõtte.

Kokkuvõttes usun et mitte terade-sarnane ja ebakorrapärane kelmete struktuur ei põhjusta väga õhukeste kelmete takistuste suurenmist vananedes, vaid siin oli tegemist lihtsa kelme auramisega, mis sündis elektromagneetilises valguses palju kiiremat, kui pimeduses.

Arvan ka et ^{metallkelmetes} ei esine mingisugust fotoelektrilist efekti selles mõttes, nagu seda leidsid Bartlett ja Majorana oma avaldatud kirjutistes, vaid et seda on põhjusta-

itud pinget seisukorrad kelme
ja kelme aluse vahel. Paig-
tab et seinised nurjad on liht-
salt spekulatsioonid sellise efek-
ti võimalusega, sest juhusli-
kult karedale pabekile saadud
õhkest kelmet valgustades või
deformeerides võisid märgata
sama nähte ühesugust resul-
daati.

Kui keegi täpselt nähtuse
Aäiesti vabade õhkesti kelme-
te kohta, milliste valmistam-
ise meetodi Müller kinnitab
enese leintarind olevat enne
Schultze⁽¹⁾, ainult siis võisid
ama arvamisest muuta. Kah-
juks paljud kasutavad tol-
mutus-aperaat sellers kohan-
datud, et sellist katsit korral-
dada ja pealegi tundus aeg

(1.) R. Schultze l.c. 1933.

sellise murimuse loimetami-
suse liiga lühikesena.

Seda huvitavat ja palju
vaidlusi tekitanud nähtust jään
ma esimesel avarel val väima-
lusel edasi muride, kuna on
loota loota nähtuse väga mit-
mekesist kasutamist prakti-
selt.

366 726

i Auhlnn:100

Löhmus, Verner.
Elektromagneetilise
kiirguse mõju... 1933