



TARTU RIIKLIK ÜLİKOOI

Eksperimentaalfüüsika  
kateeder

APARATUUR RAJA TÄLAGUPRODUK-  
TIDE KONTSENTRATSIOONIDE,  
AUTOMAATSEKS REGISTREERI-  
MISEKS ATMOSFÄÄRI ÕHUS

Diplomitöö

Töö teostaja: Agu Laisk,  
füüsikaosak. V kursuse  
üliõpilane.

Juhendaja: Olev Saks,  
TRÜ Eksperimentaal-  
füüsika kateedri  
n.-teaduslik töötaja.

Tartu 1961

# S i s u k o r d

lk

## Eessõna

I. Sissejuhatus . . . . .	3
II. Õhus leiduvad radioaktiivsed ained, nende päritolu ja õhus esinemise viisid . . . . .	9
III. Lühiülevaade õhu radioaktiivsuse mõõtmise meetoditest . . . . .	17
§ 1. Laetud keha aktiveerimine . . . . .	18
§ 2. Radioaktiivsete gaaside absorptsiooni meetod . . . . .	19
§ 3. Ionisatsioonikambri meetod . . . . .	21
§ 4. Fotoemulsiooni dünaamilise aktiveerimise meetod . . . . .	23
§ 5. Filtratsioonimeetod . . . . .	24
IV. Mõõtmismetoodika teoreetilised alused. . . . .	30
V. Esimesed mõõtmistulemused . . . . .	48
VI. Mõõtmisprotsessi automatiseerimine . . . . .	56
§ 1. Automaatse registraatori tööpõhimõte ja üldine laheterskeem . . . . .	57
§ 2. Probleemidest, mis kerkivad seoses kummivooliku kasutamisega õhujuhmena . . . . .	61
§ 3. Õhu ruumkiiruse stabilisaator . . . . .	63
§ 4. Filtrisõlm . . . . .	66
§ 5. Alfa-osakeste loendaja ja kõrgepingeline allikas . . . . .	71
§ 6. Mõõtepiirkondade ümberlülija, täiendav ümberlugeja ja võimsusaste . . . . .	75

§ 7. Mäluseadeldis. Modelleeriv elektron- skeem. . . . .	78
§ 8. Programmseadeldis. . . . .	81
§ 9 . Automaatse registraatori töötükkel ja üldine skeem . . . . .	85
VII. Filtri efektiivsuse määramine . . . . .	93
Kokkuvõte . . . . .	98
Kirjandus . . . . .	100

## E e s s õ n a

Inimkond on astumas tuumaenergia laialdase kasutamise eposhi. See aga toob enesega kaasa atmosfääri järjest suurema saastumise radioaktiivsete ainetega. Viimastel aastakümnetel on kiiresti arenenud uus teadusharu - tuuma meteoroloogia - mis uurib radioaktiivseid aineid atmosfääris ja protsesse, mis on nendega seotud.

Et Eesti NSV-s ei ole nimetatud teadusharuga tegeldud, on käesolev töö mõeldud esimeseks väikeseks panuseks atmosfääri radioaktiivsuse uurimise alal. Peab märkima, et valitud teema - töötada välja meetodika ja aparatuur atmosfääri loodusliku radioaktiivsuse partsiaalkontsentratsioonide observatoorseteks mõõtmisteks - kasvas diplomitöö raamidest välja, ning paljud küsimused on seetõttu veel lõplikult lahendamata.

Kasutame siinkohal meeldivat võimalust, et avaldada tänu diplomitöö juhendajale sm.O.Saksale, kes oli abiks töös ette tulevate takistuste ületamisel; TRÜ Õppetöökoja juhatajale sm. J.Muugale ja mehhaanikule sm. R.Pastakule, kes andsid väärtuslikke

konstruktsioonilisi näpunäiteid ning hoolikalt valmistasid aparatuuri; TRÜ Arvutuskeskuse töötajatele sm. I.Kullile ja sm. R.Tombergile, kes aitasid teostada töö arvutusliku osa.

Avaldan tänu ka oma abikaasale abi eest, mida ta osutas töö vormistamisel.

## I. S i s s e j u h a t u s

Viis aastat pärast seda, kui Bequerel avastas radioaktiivsuse nähtuse, leiti radioaktiivseid elemente ka atmosfääri õhus. Elster ja Geitel panid tähele, et vasktraat, millele on antud maa suhtes 2000 V negatiivne potentsiaal, osutus pärast umbes kahetunnilist välisõhus eksponeerimist radioaktiivseks. See avastus viis kiiresti reale töödele, milles tõestati, et traadi radioaktiivsus on põhjustatud radooni, torooni ja nende laguneproduktide poolt. Edaspidi uurimised sel alal jätkusid ja käesolevaks ajaks on atmosfääris peale looduslike radioaktiivsete ridade kõikide elementide identifitseeritud veel 13 radioaktiivset elementi, mis tekivad kosmilise kiirguse toimel [ 23 ].

Eriti hoogsaks muutus õhu radioaktiivsuse uurimine pärast uraanimaagi kaevandamisele asumist - seoses bioloogilise kaitse probleemidega.

Kaasajal on tähelepanu keskpunkti tõusnud loodusliku fooni bioloogilise mõju probleem. Tingituna mõningates ehitusmaterjalides / teatud betoonisordid / sisalduvast uraanist on radooni ja torooni kontsentratsioon hoonetes märgatavalt kõrgem kui välisõhus. Siinkohal kerkib esile ka emanatsioonidest ja nende laguneproduktidest põhjustatud doosi mõõtmise probleem.

Ronkem on selles osas ära tehtud Rootsis [25].

NSV Liidus algas atmosfääri radioaktiivsuse uurimine varsti pärast revolutsiooni. Mõõdeti sademete radioaktiivsust [20, 16]. Esimesed emanatsiooni kontsentratsiooni mõõtmised tehti 1927.a. [19]. 30-ndatel aastatel uurimised jätkusid. Avaldati rida artikleid õhu ja sademete radioaktiivsuse kohta.

Sõjajärgsel perioodil on atmosfääri radioaktiivsuse alal edukalt töötatud Leedu NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia ja Geograafia Instituudi juures Styra juhtimisel.

Eesti territooriumil kuni käesoleva ajani õhu radioaktiivsust mõõdetud ei ole. See lünk tuleb kiiresti täita, sest õhu radioaktiivsuse tundmine on juba praegu väga vajalik ja tulevikus selle tähtsus suureneb veelgi.

Nagu juba märgitud, on viimasel ajal tõusnud päevakorda biokliimaatilised probleemid seoses atmosfääri loomuliku radioaktiivsusega. Nende küsimuste lahendamiseks tuleb rutata, sest looduslik foon võib varsti jääda kunstlikult atmosfääri viidud radioaktiivsuse varju. Loodusliku fooni bioloogilist mõju on aga tarvis teada, selleks et hiljem oleks võimalik seda eraldada kunstliku radioaktiivsuse bioloogilisest mõjust.

Ei ole teada ka radioaktiivsuse tase meie uutes, põlevkivi tuha baasil valmistatud ehitusmaterjalidest majades. See tuleks määrata kindlaks ja vajaduse korral planeerida niisugustesse majadesse eriventilatsioon.

Paljud perekonnad elavad meil veel keldrikorteries. Keldriruumides on aga emanatsiooni kontsentratsioon 10 kuni 100 korda kõrgem kui välisõhus [3,7]. Tuleks tarvitusele võtta abinõud keldrites asuvate korterite ja tööruumide õhu puhastamiseks. Seejuures ei tohi lüüa käega, kui rad. aine kontsentratsioon osutub näit. 5 või 10 korda madalamaks maksimaalselt lubatavast kontsentratsioonist / MLK / , sest MLK on ajajooksul näidanud pideva languse tendentsi.

Atmosfääri kunstliku radioaktiivsuse tundmine biokliimaatilisest seisukohast ei vaja komentaare.

Radioaktiivsed meetodid võimaldavad kergesti uurida ka paljusid meteoroloogilisi protsesse, mida teiste meetoditega ei ole üldse võimalik uurida või siis on võimalik suurte raskustega. Näiteks lubavad rad. meetodid uurida rida geofüüsikalisi protsesse, nagu atmosfääri turbulentset difusiooni, mikro- ja makromöötelist, kohalikku ja üldist atmosfääri

tsirkulatsiooni.  $C^{14}$  uurimine võib anda ettekujutuse troposfääri ja stratosfääri vahelise õhuvahetuse ajalisest mastaabist, samuti õhuvahetusest põhja- ja lõunapoolkerade vahel.

Pilvede ja sademete radioaktiivsuse kaudu võib saada ettekujutuse vihmatilgade "vanusest" - s.t. nende sündimise ja kasvu ajast kuni vihmatilgaks muutmiseni.

Tuumaplahvatustel tekkinud radioaktiivse tolmu pilve trajektoori uurimine lubab täpsustada atmosfääri üldise tsirkulatsiooni probleeme. Radioaktiivne tolm atmosfääris on otseselt seotud atmosfääri läbi- paistvusega - seega aktinomeetria probleemidega.

Tihedat seost tuleb otsida atmosfääri radioaktiivsuse ja atmosfääri elektri ning aerosooli probleemide vahel. Viimatinimetatud probleemidega on Tartus tegeldud juba aastaid. Seda rohkem on põhjust alustada siin tööd ka atmosfääri radioaktiivsuse alal.

Kuna atmosfääri radioaktiivsuse kandjaks on aerosooli osakesed, siis peaks seos kondensatsioonituumade kontsentratsiooni ja radioaktiivsuse vahel olema väga tihe. Samuti oleks loomulik seost otsida ka ionisatsiooni, elektrivälja tugevuse, summaarse juhtivuse ja õhu radioaktiivsuse vahel. Sel alal teostatud

töödest [23] võib leida aga ainult ähmase sõltuvuse, mis vajab kindlasti täpsustamist.

Kõigi eespoolnimetatud probleemide lahendamiseks on tarvilik kõigepealt välja töötada metoodika ja aparatuur atmosfääri õhu loomuliku radioaktiivsuse mõõtmiseks. Muidugi on sel alal juba väga palju ära tentud, kuid kõigil kasutatud riistadel on puudusi, mis teevad nende abil saadud tulemused ebatäpseks, suhteliseks või koguni täiesti kvalitatiiivseks. Täpsemate aparatuuridega mõõtmised on aga väga tülikad ja vaevanõudvad. See raskendab nende kasutamist observatoorseitel vaatlustel.

Vähe on tähelepanu pööratud emanatsioonide laguproduktide partsiaalkontsentratsioonide määramisele - kontsentratsioonide määramisele eraldi, laguproduktide kaupa. See annaks vastuse küsimusele radioaktiivse tasakaalu olukorrast atmosfääris ja selle sõltuvusest meteoroloogilistest tingimustest.

Kaasajal on levinumaks õhu radioaktiivsuse mõõtmise meetodiks filtratsioonimeetod. Meie arvates ei saa filtratsioonimeetodil täpselt mõõta atmosfääri õhu koguradioaktiivsust ilma üksikute isotoopide kontsentratsioone välja arvutamata. Ninnata muidugi on võimalik ja teatud täpsusega on isegi võimalik suhtelisi

mõõtmisi teostada. Nii töötabki enamik õhu radioaktiivsuse pideva registreerimise riistu. Laguproduktide partsiaalkontsentratsioonide kindlaksmääramine aga võimaldab filtratsioonimeetodil määrata ka emanatsioonikontsentratsiooni /kui eeldada rad. tasakaalu esimese laguproduktiga/ ja lahendada küsimuse, kas emanatsiooni adsorbeeruvad aerosooli osakestele või mitte.

Suurt tähtsust omab observatoorsete vaatluste automatiseerimine. See säästab tunduvalt teaduslike töötajate aega ning võimaldab mõõtmisi edukalt teostada ka kvalifitseerimata personalil. Õhu radioaktiivsuse mõõtmine on üks niisuguseid töid, mis vajaks pidevalt vastava ettevalmistusega töötaja juuresolekut.

Käesolevas töös ongi esitatud Rn ja Tn laguproduktide partsiaalkontsentratsioonide automaatseks registreerimiseks ettenähtud täisautomaadi konstruktsioon.

## II Õhus leiduvad radioaktiivsed ained, nende päritolu ja õhus esinemise viisid

Atmosfääri radioaktiivsus on põhjustatud paljustest komponentidest ja on oma päritolult võrdlemisi keeruline. Radioaktiivsed ained võivad tungida atmosfääri kosmilisest ruumist meteoriitide ja mikrometeoriidide koostises. Paljud radioaktiivsed ained tekivad atmosfääris endas nii primaarse kui ka sekundaarse kosmilise kiirguse toimetel.

Tuumaplahvatuste tulemusena satub atmosfääri ühelt poolt U ja Pu aatomeid ning nende lagunemise toimetel tekivad võimsad neutronite vood plahvatuse kohas suurtes kogustes kunstlikke radioaktiivseid isotoope. Vesinikupommide katsetamine viib atmosfääri rikastumisele tritiumiga.

Suurim osa atmosfääri alumiste kihtide radioaktiivsusest on pärit maapinnast. Radioaktiivsed ained võivad maapinnast sattuda atmosfääri järgmiselt:

- 1/ gaasiliste emanatsioonide väljumisel maapinnast,
- 2/ koos tolmuga vulkaanide pursete ajal, 3/ koos tuule poolt õhkupaisatava tolmuga, milles alati, olgugi vähesel määral leidub radioaktiivseid aineid, 4/ veeprits-

metega veepindade lainetamisel ja 5/ inimkonna tegevuse tulemusena kütuste põletamisel, aatomienergia kasutamisel jne.

Juba käesoleva sajandi alguses pandi tähele, et keldriruumides [3,7] ja eriti pinnaseõhus [4,5,6] on Rn sisaldus mitu suurusjärku kõrgem kui välisõhus. Siit tentigi järeldus, et Rn, Tn ja An ning nende laguneproduktid satuvad õhku emanatsioonide ekshalatsiooniteel maapinnast.

Käesoleval ajal on olemas rida töid, milles on mõõdetud Rn sisaldust pinnaseõhus. Mõõtmised on enamikul juhtudel teostatud 1,5 m sügavusel.

Tabel 1.

Andmed Rn kontsentratsiooni kohta pinnaseõhus

Nr.	Autor	$10^{-14} \text{Cu/cm}^3$
1	Sanderson	24
2	Gockel	7 - 28
3	Olujic	1,2
4	Keller	1,0
5	Bender	26,0
6	Israël - Köhler	280 - 2255

Andmed on tsiteeritud monograafia [23] järgi. Tulemused nr. 6 on saadud anomaalsetes geoloogilistes tingimustes.

Usaldatavaid andmeid Rn keskmise kontsentratsiooni kohta pinnaseõhus ei ole teada.

Rn ekshalatsiooni kiirust on samuti mõõdetud mitmetes töödes. Keskmised tulemused on esitatud tabelis 2. [23]

Tabel 2

Rn ekshalatsiooni kiirus

Nr.	Aasta, koht	Ekshalatsiooni kiirus $10^{-18}$ Cu/cm <sup>2</sup> sek
1	1912 Dublin	73,0
2	1915 ManiXla	20,5
3	1933 I - VI	23
4	1933-1934 Innsbruck	50
5	1933	54
	1934	25
6	1935 Pavlovsk	13,3
7	X 1956 - V 1957	6

Nagu tabelist näha on, erinevad isegi keskmised tulemused erinevatel autoritel tunduvalt; see on eelkõige tingitud mõõtmiste erinevast ajast ja kohast.

Sattunud õhku, kanduvad emanatsioonid konvektsioonvoolude ja difusiooni tõttu atmosfääri kõrgematesse kihtidesse ning nende kontsentratsioon maapinna lähedal atmosfääris on tunduvalt väiksem kui pinnaseõhus.

Näiteks on kirjanduses [9] toodud kokkuvõtlikud andmed emanatsioonide kontsentratsioonide kohta õhus mitmesuguse pinnase kohal.

Atmosfääri õhk mandri kohal	$1,2 \cdot 10^{-16} \text{Cu/cm}^3$
Atmosfääri õhk ookeani kohal kalda lähedal . . . . .	$1 \cdot 10^{-17} \text{Cu/cm}^3$
Atmosfääri õhk ookeani kohal kaldast kaugel . . . . .	$1 \cdot 10^{-18} \text{Cu/cm}^3$
Torooni sisaldus õhus mandri kohal	$7 \cdot 10^{-17} \text{Cu/cm}^3$

Radooni kontsentratsioon väheneb järsult liikumisel mandrilt ookeani kohale. Kui arvestada Rn päritolu atmosfääris, siis on tema kontsentratsiooni selline kõik täiesti selge. Aktinooni kohta andmeid ei ole, sest tema kontsentratsioon on lühikesest poolestusperioodist tingituna  $T = 3,92 \text{ sek/}$  kaduvväike.

Emanatsioonide ja nende laguproduktide kõrval on atmosfääris avastatud ka radioaktiivsetes ridades neile eelnevaid liikmeid. Paksukihilise fotoemulsiooni dunaamilise aktiveerumise meetodil saadud radiogrammide läbitöötamine on näidanud, et atmosfääri õhus võib leida uraani, toriumi ja aktiiniumi rea kõiki liikmeid

[23]. Neptuunumi rea kohta ei ole midagi öeldud.

Rida radioaktiivseid isotoope sünnib atmosfääris endas kosmilise kiirguse toimel. Tähtsamad neist on  $C^{14}$ ,  $H^3$ ,  $Be^7$ .

Viimastel aastatel seoses aatomienergia kasuta-

misega tööstuses ja eriti aatomi- ja vesinikurelva katsetuste tulemusena satub atmosfääri suurel hulgal kunstlikke radioaktiivseid aineid. Kõigepealt lähteainete mittetäieliku lõhestumise tõttu ei võta plahvatusel reaktsioonist osa enamik  $\text{Pu}^{239}$  või  $\text{U}^{235}$ , mis paisatakse laiali atmosfääri.  $\text{U}^{235}$  või  $\text{Pu}^{239}$  lõhestumise produktid on küllalt hästi läbi uuritud. Enamik neist on  $\beta$ -aktiivsed isotoobid alates  ${}_{30}\text{Zn}^{72}$  kuni  ${}_{63}\text{Eu}^{158}$ . Atmosfääris on kõige ohtlikumad pikaajalised isotoobid poolestusperioodiga mõnestkümnest päevast kuni mõnekümne aastani, nagu  $\text{Sr}^{89}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Y}^{91}$ ,  $\text{Zr}^{95}$ ,  $\text{Nb}^{95}$ ,  $\text{Te}^{99}$ ,  $\text{Rn}^{103}$ ,  $\text{Rn}^{106}$ ,  $\text{Te}^{129}$ ,  $\text{J}^{131}$ ,  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Ba}^{140}$ ,  $\text{Ce}^{141}$ ,  $\text{Ce}^{144}$ ,  $\text{Pr}^{143}$ ,  $\text{Nd}^{147}$ ,  $\text{Pm}^{147}$  j.p.t.

Peab veel kord märkima, et kunstliku päritoluga radioaktiivsuse uurimine atmosfääris pakub kolossaalset huvi. Kahjuks on selliseid töid veel vähe.

Radioaktiivsete ainete õhus esinemise vorme uurisid esimesena põhjalikult Chamie' /1929/ ja Harrington /1931/. Seejuures uuriti just Rn ja tema laguneproduktide olekut õhus ja mitmesugustes gaaside segudes. Kasutades tsentrifuugimise, ultramikroskoopia ning radiograafia meetodeid näitas Harrington, et Rn laguneproduktid moodustavad gaasilises keskkonnas aatomite kogumikke - agregate. Agregaatide moodustumisele aitab tunduvalt kaasa veeauru juuresolek. Kuivast

õhust ei õnnestunud üldse Rn laguprodukte välja tsentrifuugida, kuna niiskest õhust õnnestus see kergesti. Harrington arvas, et agregaatide moodustumiseks on tarvilik polaarsete molekulide juuresolu. Tõestuseks uuris ta agregaatide moodustumist Rn ja mitmesuguste polaarsete ja mittepolaarsete gaasiliste ainete segudes. Katsed kinnitasid oletust.

Sooritatud katsete põhjal tegi Harrington järelduse, et radooni segus õhu või mõne muu gaasilise ainega Rn laguproduktid moodustuvad aatomite agregate. Aerosooli osakesed kujutavad endast radioaktiivseid aatomeid või nende gruppe, mis on ümbritsetud polaarsete molekulidega. Ümber agregaadi tekib elektriväli, mis soodustab tema edasist kasvu, kuid tavaliselt enne, kui agregaat kasvab üsna suurte mõõtmeteni  $10 - 100\mu$ , ta kas adsorbeerub või laguneb mõne tema koosseisu kuuluva rad. aatomi lagunemise tõttu. Agregaatide tekimisele aitab kaasa ka radioaktiivse kiirguse poolt tekitatud ionisatsioon gaasis.

Wilkenning näitas [8], et umbes 90 % õhu looduslikust radioaktiivsusest langeb osakestele diameetriga  $d < 0,5\mu$ . Tabelis 3 on kokku võetud Wilkenningi uurimuse tulemused.

Tabel 3.

Seos osakeste mõõdete ja nendega seotud radioaktiivsuse vahel

Osakeste diameeter ( $\mu$ )	Radioaktiivsus /%
0,005	5
0,005 - 0,015	25
0,015 - 0,025	50
0,025 - 0,035	10
0,035	10

On näha, et looduslik radioaktiivsus on seotud võrdlemisi kitsa aerosooli spektriga ja et Rn laguproduktid on selektiivsed aerosooli mõõdete suhtes. Uurimist vajab veel selle selektiivsuse sõltuvus radioaktiivsest isotoobist.

Üldiselt on teatavaks võetud, et emanatsioonid ei moodusta agregate ega adsorbeeru aerosooli osakestele. On aga siiski tekkinud kahtlusi, kas vähemalt väike osa radoonist ei adsorbeeru aerosooli osakestele. Selles osas tehtud tööd kord kinnitavad oletust kord lükkavad ümber. Täit selgust siin ei ole.

Kokkuvõttes võib öelda [22], et on tehtud kindlaks rad. ainete gaasilises keskkonnas eksisteerimise mitmesugused vormid. Si ole kahtlust agregaatide ole-

masolus, mis koosnevad ainult rad. aine aatomitest ja samuti rad. aine aatomitest, mis on ümbritsetud polaarsete molekulitega. On olemas ka agregaadid, mis koosnevad mitteradioaktiivsest ainest, millele on adsorbeerunud radioaktiivse aine aatomid.

### III Lühinälvavaade õhu radioaktiivsuse mõõtmise meetoditest.

Õhu radioaktiivsuse mõõtmise ülesanne on oma olemuselt lähedane üldisele nõrkade aktiivsuste mõõtmise füüsikalisele ülesandele. Spetsiifika on siin selles, et nõrk aktiivsus asub seguna või kolloidaalsete osakestena suures õhuruumalas. Seetõttu on pärast õhuproovi võtmist tavaliselt vajalik seda rikastada.

Ülesanne jaguneb seega neljaks: 1/proovi võtmine, 2/ proovi rikastamine, 3/ kogutud proovi kvantitatiivsete karakteristikute määramine, 4/ radioaktiivsete ainete kontsentratsiooni väljaarvutamine. Proovi võtmine ja selle rikastamine toimuvad sageli korraga, nii et neid ei saagi üksteisest eraldada.

Kaasajal leiavad kasutamist järgmised õhu radioaktiivsuse mõõtmise meetodid.

1. Laetud kehade aktiveerimine õhus.
2. Radioaktiivsete gaaside adsorbeerimise meetod söes või muudes ainetes.
3. Radooni õhust väljaveeldamise meetod.
4. Ionisatsioonikambri meetod.
5. Fotoemulsiooni dünaamilise aktiveerimise meetod.
6. Filtratsioonimeetod.

Peale eelnimetatute on veel rida sademete radioaktiivsuse määramise meetodeid, kuid neil me ei peatu.

### § 1. Laetud kehade aktiveerimine.

Maagu on tõestatud paljude uurimustega, kujutavad Hn ja Tn laguproduktid endast positiivselt laetud agregate. Sellel põhinedes töötasid Elster ja Geitel väija meetodi õhu radioaktiivsuse suhteliseks mõõtmiseks [23].

Vask- või alumiiniumtraat pikkusega 10 - 60 m ja diameetriga 0,3 - 0,5 mm riputati horisontaalses asendis isolaatoritele. Traadile anti negatiivne potentsiaal 2000 kuni 2500 volti ja eksponeeriti 2- 3 tunni jooksul. Hiljem mõõdeti traadi radioaktiivsust. Kui traadile anti positiivne potentsiaal, oli temale kogunenud radioaktiivse aine hulk ~30 korda väiksem. Tehti kindlaks, et traadile kogunenud radioaktiivsus on võrdeline traadi pikkusega, ei sõltu metallist ja peaaegu ei sõltu traadi diameetrist. Kogutud radioaktiivse aine hulk sõltub veel traadi potentsiaalst, tuulest ja radioaktiivsete aerosooli osakeste liikuvusest.

Kuna me ei tea radioaktiivsust kandvate ioonide liikuvuste spektrit ja kaategurit, mis on tingitud kerge ioonide rekombinatsioonist ning liitumisest raskete ioonidega, samuti kuna väga raske on arvestada tuule ja

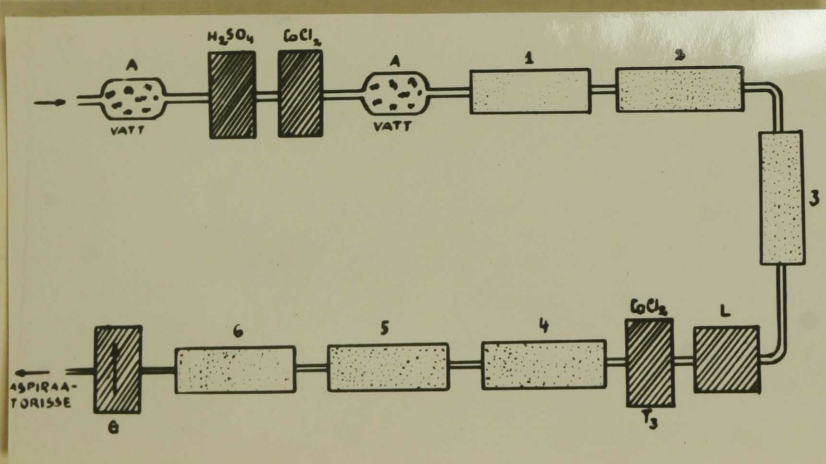
teiste meteoroloogiliste tingimuste mõju, siis võib öelda, et laetud keha aktiveerimise meetod annab vaid väga lühikaudseid suhtelisi tulemusi.

## § 2. Radioaktiivsete gaaside absorptsiooni meetod.

Sajandi alguses Rutherford avastas kookospähkli koore söe omaduse suure intensiivsusega absorbeerida radooni. Peaaegu samal ajal määrati kindlaks ka radooni neeldumise koefitsient mitmesugustes vedelikes. Siit said alguse nn. absoluutsed emanatsiooni kontsentratsiooni määramise meetodid.

Näiteks üks täiuslikumaid on V.Kosmathi [23] meetod.

~~Kosmathi~~ Kosmathi meetod. Kosmathi aparatuuri põhimõtteline skeem on joonisel 1.



Uuritav õhk puhastatakse tolmust vati A abil.

Edasi läbib õhk vaavelhappe ja  $\text{CaCl}_2$  lahused, kus vabaneb veeaurust ja lõpuks läbi teise vatikahi satub kolme järjestikku asetatud ja kookossõega täidetud küvetti. Küvettide pikkus on nii valitud, et kolmandasse küvetti radooni praktiliselt ei jõua.

Kolmanda küveti järele on õhu teele paigutatud anum raadiumisoola standardlahusega. Siin rikastub õhk uuesti juba tuntud koguse Rn-ga ja peale kuivatamist  $\text{CaCl}_2$  lahuses läbib jällegi kolm eelmistega analoogset kookossõega täidetud küvetti. Viimaste abil saab normaallahuses tekkinud Rn kinni püüda ja võrrelda seda atmosfääri õhust kolme esimese küveti<sup>s</sup> absorbeerunud Rn hulgaga.<sup>t</sup>

Nagu näitasid mõõtmised, neeldus esimeses küvetis 70 % kogu Rn-st. ülejäänud kogus neeldus teises küvetis. Küvettide diameeter oli 1,5 cm, pikkus 30 cm. Kahe tunni jooksul läbis seadeldist 84 liitrit õhku.

Reale aspiratsioonil lõppu kuumutati sütt 20 minuti jooksul helepunase hõõgumiseni ja siis tõmmati vabanevad radoon eelnevalt evakueeritud ionisatsioonikambrisse.

Meetod annab kõikide paranduste arvestamiseks võrdlemisi täpseid tulemusi, kuid tema puuduseks on kohmakus, absorpentide töötlemise raskus ja see et ta on piiratud ainult  $\text{Em}$ -ga. Kuna tavaliselt teostatakse absorbeeritud

Em mõõtmist ionisatsioonikambri, siis liituvad adsorptsioonimeetodi puudustele veel ionisatsioonikambri meetodi puudused.

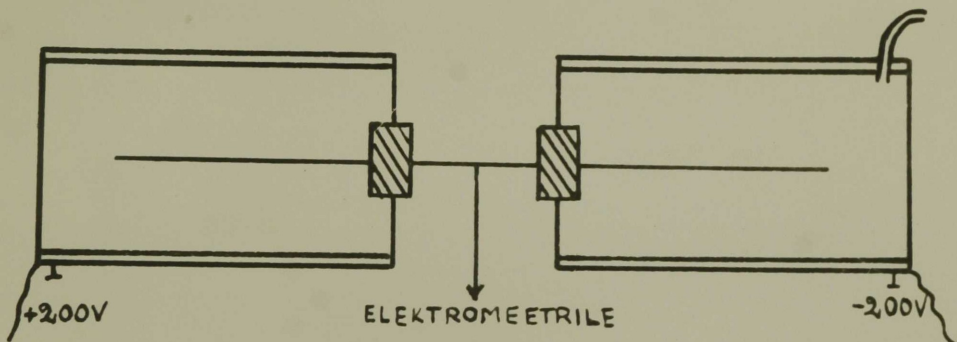
Absorptsioonimeetodi testud modifikatsiooni kujutab endast radooni õhust väljaveeldamise meetod. Selle meetodi puhul on süsi asendatud nõuga, mis on jahutatud allapoole radooni veeldumise temperatuuri. Kuna radooni kontsentratsioon on ainult mõni aatom kuupsentimeetris, siis mingisugusest veeldumisest siin tegelikult juttu olla ei saa, vaid tegemist on omapärase radooni aatomite adsorptsiooni protsessiga nõu jahedatele seintele. Adsorptsiooni koefitsiendiks on saadud 0,33.

### § 3. Ionisatsioonikambri meetod.

meetodi idee seisneb õhus leiduvate radioaktiivsete ainete  $\alpha$ -kiirguse poolt tekitatud ionisatsioonvoolu mõõtmiseks. Kuna viimane langeb suurusjärgult kokku ionisatsioonvooluga, mis on tingitud kosmilisest kiirgusest, kiirgusest maapinnalt ja ionisatsioonikambri seinte ning elektrootide materjali  $\alpha$ -kiirgusest, siis tuleb õhu radioaktiivsuse poolt tekitatud ionisatsioonvoolu foonist eraldamiseks kasutada erivõtteid.

Üheks lihtsamaks fooni määramise meetodiks on

kambri täitmine mitteradioaktiivse "surnud" õhuga. Nii-  
suguses kambris on ionisatsioon tingitud ainult eespool-  
nimetatud segavatest põhjustest. meetodi täiustuseks on  
fooni pidev kompenseerimine uuritava õhuga täidetud ioni-  
satsioonikambrile teise analoogse, kuid vastupidiselt  
pingestatud ja "surnud" õhuga täidetud ionisatsiooni-  
kambriga paralleelselt lülitamise abil /joonis 2/.



Joonis 2

Ionisatsioonvoolu võib kambris mõõta kohe pärast  
kambriga õhuga täitmist või pärast kolme tunni möödumist,  
siis kui kambris on saanud radioaktiivne tasakaal.  
Viimane meetod võimaldab küll määrata Rn kontsentratsiooni  
õhus, kuid sel juhul on rikutud tegelik vanekora, mis Rn  
rea liikmete partsiaalkontsentratsioonide vahel on  
atmosfääri õhus. Parimaid tulemusi annab mõlemate meeto-  
dite korraga rakendamine.

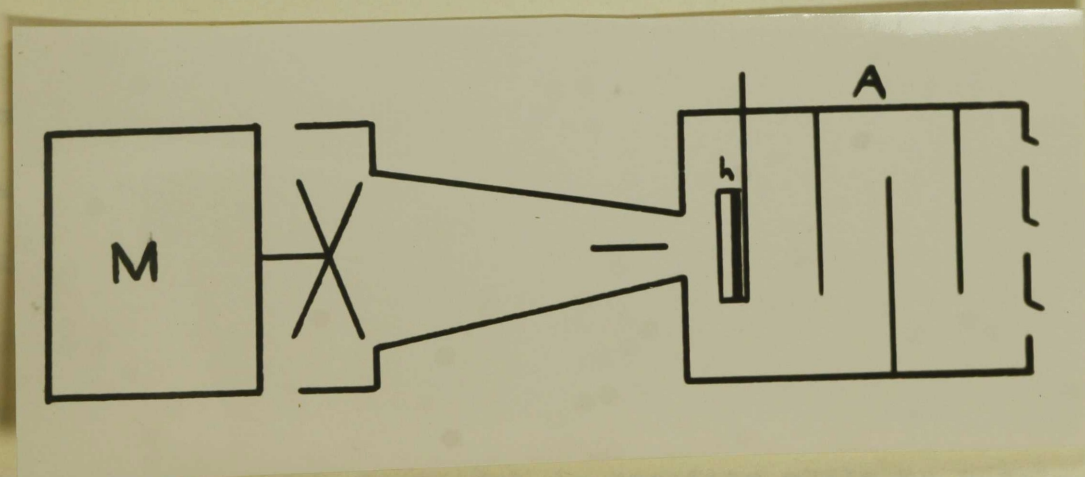
Meetodi eeliseks on kõige suurem "absoluutsus": nimelt õhu radioaktiivsusele lähenetakse vahetult, ilma kunstlike vahestaadiumiteta. Meetodi puuduseks on kohmakus. Nõrgad ionisatsioonivoolud nõuavad pikki mõõtmisaegu ja suuremõõtmelisi ionisatsioonikambreid. Suurimaks ja esialgu ületamatuks vigade allikaks on emanatsioonide laguproduktide osaline sadestumine kambri seintele, mistõttu nende ionisatsiooniefekt väheneb vähemalt poole võrra.

Impulss-ionisatsioonikambri kasutamist  $\alpha$  -spektrite uurimiseks kirjeldatakse artiklis [24].

#### 9 4. Fotoemulsiooni dünaamilise aktiveerimise meetod.

Č. Garbaliuskas [11] töötas välja järgmise meetodi õhu radioaktiivsuse mõõtmiseks, mida ta nimetas dünaamilise aktiveerimise meetodiks.

Pimedasse kambrisse /joon.3/ asetatakse paksuemulsi-



ooniline fotoplaat. Nisti vastu emulsiooni suunatakse uuritava õhu juga. Nii aktiveeritakse plaati umbes 20 -60 minuti jooksul. Emulsioonile kogunevad radioaktiivsed ained õhust. Pärast aktiveerimise lõpetamist hoitakse plaati 3-4 päeva ilmutamata. Selle aja jooksul toimub plaadi fotoekspositsioon lagunevate radioaktiivsete aatomite toimel. Pärast ilmutamist on plaadil selgesti näha  $\alpha$ -osa-keste jäljed. Jälgede pikkuse järgi võib identifiitseerida radioaktiivseid aineid, jälgede arvu järgi aga võib hinnata nende kontsentratsiooni.

Meetod on mugav radioaktiivsetes ridades emanatsiooni- nidele eelnevate  $\alpha$  - aktiivsete ainete avastamiseks atmosfääris. Meetodi puuduseks on see, et teda saab kasu- tada ainult  $\alpha$  - aktiivsete ainete puhul ja kontsentrat- sioone saab ainult ligikaudselt hinnata.

#### § 5. Filtratsioonimeetod.

Kuna ka käesolev töö on pühendatud filtratsioonimeetodile, siis käsitleme seda siin põhjalikumalt.

Viimasel ajal on atmosfääri radioaktiivsuse mõõtmise meetoditest kõige suurema populaarsuse omandanud filtrat- sioonimeetod. Filtratsioonimeetodil on teiste eespool kirjeldatud meetoditega võrreldes rida eeliseid. Kõige- pealt filtratsioonimeetod võimaldab väikesele pinnale koguda radioaktiivsed ained väga suurest /praktiliselt kuitahes - suurest ruumalast ja seetõttu mõõta ka äärmiselt

väikesi radioaktiivsete ainete kontsentratsioone. Filtratsioonimeetod on kiire ja mugav. Ta võimaldab mõõtmisi täielikult automatiseerida. Filtratsioonimeetodil töötab enamik teadaolevaid õhu radioaktiivsuse registreerimise automaate

Käesolevas töös esitatud automaat õhu loodusliku radioaktiivsuse isotoopse koosseisu määramiseks töötab samuti sel põhimõttel.

Nagu juba eespool nimetatud, moodustavad emanatsioonide laguneproktide aatomid agregate. Tabelist 3 teises peatükis võib näha, et looduslik radioaktiivsus on seotud aerosooli osakestega mõõdetega 0,015-0,025  $\mu$ . Filtratsioonimeetodi puhul pumpatakse uuritav õhk labi filtri, mis suuremal või vähemal määral püüab kinni õhus sisalduvad osakesed, nende hulgas ka radioaktiivseid aatomeid kandvad osakesed.

Siin tekib otsekohe kaks küsimust. Esiteks. Kui suur osa emanatsioonide laguneproktide aatomitest moodustavad agregate? Teiseks. kui suur protsent õhus olevatest radioaktiivsetest osakestest jääb filtrile, s.t. kui suur on filtri efektiivsus?

Esimese küsimuse kohta me kahjuks spetsiaalsest uurimust ei ole leidnud, kuid kõik mõõtmised on teostatud eeldusel, et aerosooli osakestega on seotud kogu looduslik radioaktiivsus, välja arvatud emanatsioonid.

Teine küsimus on filtratsioonimeetodi suurimaks väärtuseks ja siin võib leida filtri efektiivsuse väärtusi 10-st kuni 100 protsendini. Kuna filtri efektiivsus sõltub kasutatavast filtritüübist, õhuvoolu ruumkiirusest läbi filtri pinnakiirusest, aerosooli mõõdetest jne., siis on selge, et üldist vastust siin olla ei saagi. Käesolevas töös kasutatud filtrite efektiivsus on määratud katseliselt ja selle kohta on töö lõpus eripeatükk.

Õhus leiduvad tahked või vedelad osakesed neelduvad filtris järgmiste protsesside tulemusena: a/ kui osakesed on küllalt suured, siis nad lihtsalt ei manu läbi filtri pooride; b/ osake, liikudes filtri poorides, võib Browni liikumise tõttu sattuda kokkupuutesse mõne filtri kiuga ja adsorbeeruda sellele; c/ inertsi tõttu võivad raskemad osakesed väljuda õhujoast, kui selle tee on kõver või kui selles on turbulentsed keerised; kui õhujoast väljund osakesed kohtavad filtri-kiudusid, nad adsorbeeruvad; d/ osakesed võivad filtri kiududele sattuda elektriliste tungide toimel.

Filtri efektiivsus  $\eta$  väljendub järgmiselt

$$\eta = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad /1/$$

kus  $n_0$  ja  $n$  on osakeste arvud õhu ruumalaühikus vastavalt enne ja pärast filtri läbimist. Efektiivsus võib sõltuda väga mitmesugustest teguritest: aerosooli füüsikalistest omadustest /osakeste kujust, suurusest,

füüsikal<sup>k</sup>isest seisundist/, osakeste kontsentratsioonist, õhuvoolu ruumkiirusest filtri pinnaühiku kohta, õhu niisk<sup>s</sup>usest, osakeste keemilisest päritolust, nende laengust ja lõpuks muidugi filtri enese füüsikalistest ja keemilistest karakteristikutest.

Nagu näitab H. Enton [28], osakesed diameetriga  $d \geq 5\mu$  filtreeruvad kergesti välja inertsil toimel või siis lihtsalt ei mahu läbi filtri pooride. Osakesed diameetriga alla  $0,1\mu$  adsorbeeruvad kiiresti Browni liikumise tõttu. Vahepealsete mõõdetega osakeste suhtes on filtrite efektiivsus kõige väiksem.

Filtri efektiivsus üldiselt väheneb õhu ruumkiiruse suurenemisega. Väga suurte kiirustel tekivad turbulentsil tõttu efektid, mis aeglustavad efektiivsuse langust või võivad põhjustada isegi vähest efektiivsuse kasvu. Sellel põhimõttel on ehitatud isegi eritööbiline filter [28]. Peenest avast suunatakse õhujuga suure kiirusega risti vastu filterpaberit. Õhuvool murdub  $90^\circ$  nurga all, osakesed aga liiguvad inertsil tõttu vastu paberi pinda ja sadestuvad sellele. Väidetakse, et niisugune filter on 35 korda efektiivsem kui sama filterpaber lihtsal õhu läbipumpamisel.

Suuremat efektiivsust omavad filtrid, mis on valmistatud peentest kiududest. Mida peenemad on kiud, seda suurem on filtri efektiivsus. Kõige sagedamini kasutatakse filterpaberit, vatti, spetsiaalseid keemilisi

tuhavabu filtreid, asbesttselluloospabereid ja -kartonge, samuti ka filtreid kunstkiududest. Väga laialt kasu-

tatakse õhu radioaktiivsuse mõõtmiseks Petrjanovi  $\phi\Pi$   
 $\phi\Pi A$  ja  $\phi\Pi\Pi$  tüüpi filtreid.

Paberfiltritel on võrdlemisi väike efektiivsus ja suur dünaamiline takistus õhuvoolule. Asbesttselluloosfiltrid, kunstkiududest filtrid ja Petrjanovi filtrid omavad efektiivsust 99,9% õhuvoolu kiiruse puhul 1-2 l/min läbi filtri pinna 1 cm<sup>2</sup> ja osakeste puhul läbimõõduga  $d \geq 1 \mu$  [12]. Õhuvoolu ruumkiiruse suurenedes filtri efektiivsus langeb märgatavalt.

Omaette rühma moodustavad elektrostaatilised filtrid. Nende filtrite töö põhimõte ei ole veel täiesti selge ja selle kohta on olemas mitu teooriat /vt.nait.[10]

Elektrofiltritel on rida eeliseid membraanfiltritega võrreldes

- 1/ elektrofiltritel puudub märkimisväärne dünaamiline takistus;
- 2/ elektrofiltrid omavad võrdlemisi suurt efektiivsust /keskmiselt  $75 \pm 20 \%$ ;
- 3/ efektiivsus sõltub vahe aerosooli disperssusest diapasaonis 0,01 - 100  $\mu$  ;
- 4/ elektrofilter võimaldab maksimaalselt lühendada aspiratsioonigaega;
- 5/ puudub  $\alpha$  - ja pehme  $\beta$  - kiirguse neeldumine

filtris aines, sest elektrofiltriga kogutakse proovid tavaliselt poleeritud metallalusele.

NSV Liidus toodetakse elektrofiltrit ЭФ - 2, mille kohta võib andmeid leida kirjandusest [12].

Filtrile kogutud proovi aktiivsust võib mõõta mitmel viisil. Näiteks võib filter asetseda otsloenda- ja akna ette ja lugeda  $\beta$  - või -proportsionaalses režiimis - ka  $\alpha$  - kiirgust. Kuna filtris eneses võib mõningatel juhtudel neelduda suur osa uuritavast kiirgusest, tunastatakse filtrid sageli ja mõõdetakse tunast valmistatud preparaadi aktiivsust. Mõnikord eraldatakse uuritav element filtrilt isegi keemilisel teel. Viimasel ajal on tunti mõõdetud filtrite aktiivsust stsintillatsioonloendajatega. Ka kaesolevas töös kasutatakse seda moodust. Muide, üsna häid tagajärgi annab ka filtri asetamine ionisatsioonikambrisse.

Monograafias [23] on toodud filtermeetodi kohta rida puudusi. Filtrite suure dünaamilise takistuse tõttu on õhuvoolu kiirus väike /10 - 12 l/min/ ja aspiratsioon venib pikale. Filtrite efektiivsus sõltub tunduvalt õhuvoolu kiirusest ning aerosooli mõõdetest ja võib vaevalt ulatuda 10 %-ni. Filtri aktiivsuse mõõtmise täpsus on väike radioaktiivse kiirguse neeldumise tõttu filtris eneses.

Nimetatud seisukohad on liiga pessimistlikud. Kaesolevas töös ei osutunud need raskused sugugi mitte ületamatuteks.

#### IV. Mõõtmismetoodika teoreetilised alused.

Esimeses peatükis oli juttu  $R_n$  ja  $T_n$  laguproduktide partsiaalkontsentratsioonide määramise tähtsusest. Siinkohal vaatleme küsimust, miks filtratsioonimeetodil, ilma partsiaalkontsentratsiooni välja arvutamata, ei ole võimalik täpselt määrata õhu summaarset radioaktiivsust.

Suurema tundlikkuse saamiseks tuleb läbi filtri pumbata küllalt palju õhku /15 - 20 m<sup>3</sup>/. Filtri mõistlike mõõdete juures /diameeter kuni 10 cm/ ja mitte liiga suure õhuvoolu tiheduse korral /kuni 10  $\frac{1}{\text{min cm}^2}$  / venib aspiratsiooni aeg küllalt pikaks /kuni 1 tund/. Nii pika aspiratsiooni puhul tuleb ingimata arvestada parandust radioaktiivse lagunemise kohta filtril aspiratsiooni ajal. Kui oleks tegu ainult ühe isotoobiga, mis sedestub filtrile, oleks olukord lihtne. Aatomite arvu filtril kirjeldaks järgmine võrrand

$$N_0 = V \eta C_1 \frac{1 - e^{-\lambda_1 t_0}}{\lambda_1} \quad /2/$$

kus  $C_1$  - õhus leiduva rad. isotoobi kontsentratsioon /aatomit/liitris /;  $V$  - õhuvoolu ruumkiirus / $\frac{1}{\text{min}}$  /;  $\eta$  - filtri efektiivsus;  $\lambda_1$  - radioaktiivse isotoobi lagunemiskonstant / $\frac{1}{\text{min}}$  / ja  $t_0$  - aspiratsiooni aeg /min/. Siit on kerge, teades radioaktiivsete aatomite arvu filtril  $N_0$  määrata nende kontsentratsioon õhus  $C_1$ . Tegelikult

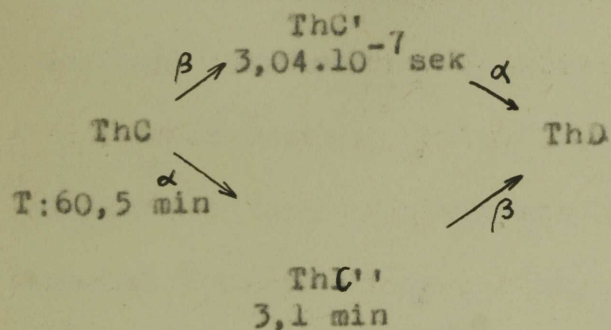
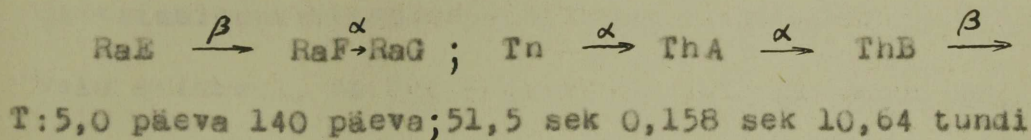
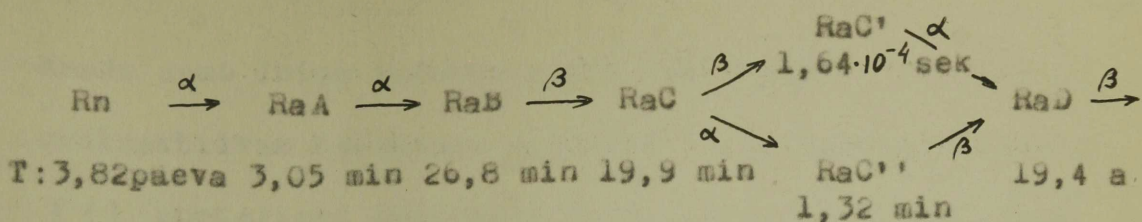
ei ole aga asi nii. Filtrile sadestuvad pidevalt radooni ja torooni kõik laguneproduktid ja valem /2/ kaotab kehtivuse.

Filtri aktiivsuse mõõtmine vältab teatud aja. Mida väiksem on filtri aktiivsus, seda pikem on aeg, mis kulub nõutava täpsusega mõõtmistulemuse saamiseks. Selle aja jooksul filtri aktiivsus aga muutub radioaktiivse lagunemise tõttu. Ühe isotoobi olemasolu korral filtril võib seda arvestada. Mõõtes näiteks ajavahemiku  $t_1 \div t_2$  jooksul lagunemiste arvu filtril  $N_{t_1}^{t_2}$  / $t_1$  ja  $t_2$  on mõlemad arvatud aspiratsioonil lõpulehetkest/, võime kirjutada

$$N_{t_1}^{t_2} = N_0 (e^{-\lambda_1 t_1} - e^{-\lambda_1 t_2}) \quad /3/$$

Siit on võimalik leida radioaktiivsete aatomite arvu filtril aspiratsioonil lõpulehetkel  $N_0$ . Kui aga filtril on kõik laguneproduktid, kaotab ka valem /3/ kehtivuse ja suurust  $N_0$  ei ole võimalik leida.

Võib tekkida mõte, et kui ootame niikaua, kuni kõik filtril leiduvad radioaktiivsed aatomid on lagunenud, saame ikkagi leida rad. aatomite koguarvu filtril. See oleks praktiliselt võimalik ja kestaks umbes 4 - 5 tundi. Kuid osutub, et ka see ei aita. Radooni ja torooni ridade lagunemisskeemid on järgmised



Siit näeme, et kui mõeldame  $\alpha$ -lagunemisi, annaksid RaA /ThA/ aatomid meile 2 impulssi, kui mõeldaksime  $\beta$ -lagunemisi, annaksid RaB /ThB/ aatomid 2 impulssi. Kuna me aga laguproduktide aatomite arvude suhet filtril ei tea, ei saa me otsustada, kui suur protsent aatomitest andis 2  $\alpha$ -lagunemist /või vastavalt 2  $\beta$ -lagunemist/.

Kui oletada radioaktiivse tasakaalu olukorda atmosfääris, st kui oletada, et kõikide üksteisele järgnevate laguproduktide kontsentratsioonid väljendatuna ühikutes  $\frac{\text{lagunemist}}{\text{min.liitris}}$  on võrdsed, siis on meil tegelikult ainult üks tundmatu kontsentratsioon. Sellise olukorra jaoks on võimalik leida radioaktiivset lagunemist kirjeldavad valemid ning mõõtmistulemuse  $N_{t_2}^{t_1}$

kaudu saab leida tasakaalulist kontsentratsiooni õhus. radioaktiivse tasakaalu olemasolu õhus on aga kahtlane [1]. Sünteesid mõõtmised filtratsioonimeetodil ilma partsiaalkontsentratsioonide välja arvutamata on täpsed vaid eeldusel, et laguproduktide kontsentratsioonide suhe erinevate mõõtmiste ajal ei ole erinev. Ka see on küllaltki meelevaldane eeldus.

Kokkuvõttes võib öelda, et filtratsioonimeetodilt õhu loodusliku radioaktiivsuse mõõtmisel maksimaalse võimaliku täpsuse väljapigistamiseks on vajalik leida  $R_n$  ja  $T_n$  laguproduktide partsiaalkontsentratsioonid. Kui eeldada esimese laguprodukti tasakaalu emanatsiooniga /mis on tõenäoline tema lühikese eluea tõttu/, siis oleme määranud ka emanatsiooni kontsentratsiooni õhus. Seega on see ka ainus võimalus õhu koguradioaktiivsuse leidmiseks filtratsioonimeetodil.

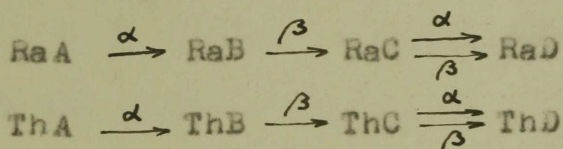
Käesoleva töö autor soovitab õhu loodusliku radioaktiivsuse partsiaalkontsentratsioonide määramiseks järgmist meetodit.

Ainukesed  $\alpha$  - aktiivsed ained atmosfääri õhus on emanatsioonid koos laguproduktidega /radioaktiivsetes ridades neile celnevad liikmed ei tule arvesse väikese kontsentratsiooni tõttu/. Allapoole meetodi tundlikkust jaab ka aktinoon koos laguproduktidega. Ulesannet lihtsustab veel asjaolu, et raadiumi rea liikmed alates

RaD-st on nii pika poolestusperioodiga, et neid võib lugeda mitteradioaktiivseteks. Seega, kui kasutame  $\alpha$ -lagunemiste loendamise meetodit, võime olla piisava täpsusega kindlad, et registreerime ainult RaA, RaC, RaC', ThA, ThC ja ThC' aatomite lagunemisi.

Saab teha veel ühe lihtsustuse. Mõlema rea C' - liige on nii lühikese elueaga  $T \approx 10^{-4}$  sek/, et laguneb praktiliselt kohe pärast moodustumist. Seega võib C' - liikme  $\alpha$  - lagunemised lugeda formaalselt C - liikme lagunemisteks - s.t., et loeme RaC ja ThC korraga nii  $\alpha$  - kui ka  $\beta$  - aktiivseteks.

Niisiis, looduslikud radioaktiivsed read filtril võime lugeda järgmisteks



Emanatsioonid üldiselt filtrile ei jää. Seame endale ülesandeks määrata RaA, RaB, RaC, ThA, ThB ja ThC kontsentratsioonid õhus. Seda on võimalik teha, analüüsisides filtri aktiivsuse või lagunemiste arvu muutuse kõverat. Viimane kõver on otstarbekam, sest lagunemiste arv on otseselt mõõdetav ja kergemini registreeritav suurus.

Kuna meil on teada, missuguste /ja ainult missuguste/ radioaktiivsete ainete lagunemise tulemusena

oleme saanud eksperimentaalse impulsside arvu muutuse kõvera, võime selle kõvera jaoks leida ka analüütilise esituse. Analüütilises esituses jäävad tundmatuks üksikute isotoopide kontsentratsioonid. nende leidmiseks peame analüütilisse esitusse asetama mõned eksperimentaalsed punktid. Kuue tundmatu kontsentratsiooni leidmiseks piisab kuuest eksperimentaalselt määratud punktist. Niisugune võte viib välja kuue võrrandi süsteemile, mille lahendiks ongi otsitavad radioaktiivsete ainete kontsentratsioonid õhus.

Võtame kasutusele järgmised tähistused:

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$  - vastavalt RaA, RaB, RaC, ThA, ThB, ThC kontsentratsioonid õhus / $\frac{\text{aatomit}}{\text{liitris}}$ /;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$  - vastavalt RaA, RaB, RaC, ThA, ThB ja ThC lagunemiskonstandid / $\frac{1}{\text{min}}$ /;

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$  - vastavalt RaA, RaB, RaC, ThA, ThB ja ThC aatomite arvud filtril ajahetkel  $t$  ;

$V$  - õhuvoolu ruumkiirus / $\frac{1}{\text{min}}$ /;

$\eta$  - filtri efektiivsus.

Aspiratsiooni ajal kirjeldavad filtril olevate rad. ainete aatomite arvu muutumist järgmised diferentsiaalvõrrandid

$$\frac{dN_1}{dt} = V\eta C_1 - \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = V\eta C_2 - \lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1$$

/4/

$$\frac{dN_3}{dt} = V\eta C_3 - \lambda_3 N_3 + \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_4}{dt} = V\eta C_4 - \lambda_4 N_4$$

/4/

$$\frac{dN_5}{dt} = V\eta C_5 - \lambda_5 N_5 + \lambda_4 N_4$$

$$\frac{dN_6}{dt} = V\eta C_6 - \lambda_6 N_6 + \lambda_5 N_5$$

ehk üldiselt

$$\frac{dN_i}{dt} = V\eta C_i - \lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1}$$

/5/

Siin liige  $V\eta C_i$  kirjeldab ajaühikus õhust juurde-  
tulevate  $i$ -nda elemendi aatomite arvu,  $-\lambda_i N_i$  - selle  
aatomite arvu kahenemist rad. lagunemise toime ja  
 $\lambda_{i-1} N_{i-1}$  -  $i$ -nda elemendi aatomite arvu kasvu  $i-1$   
elemendi radioaktiivse lagunemise tõttu. Radioaktiivsete  
ridade esimesi elemente kirjeldavates võrrandites viimast  
liiget ei ole.

Võrrandite lahenditeks on

$$\lambda_1 N_1 = V\eta C_1 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

$$\lambda_2 N_2 = V\eta \left[ C_1 \left( 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \right) + C_2 (1 - e^{-\lambda_2 t}) \right]$$

$$\lambda_3 N_3 = V\eta \left\{ C_1 \left[ 1 - \frac{\lambda_2 \lambda_3 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_1 \lambda_3 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} - \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right] + C_2 \left( 1 - \frac{\lambda_3 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_2 - \lambda_3} \right) + C_3 (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right\}$$

$$\lambda_4 N_4 = V\eta C_4 (1 - e^{-\lambda_4 t})$$

$$\lambda_5 N_5 = V\eta \left[ C_4 \left( 1 - \frac{\lambda_5 e^{-\lambda_4 t}}{\lambda_5 - \lambda_4} - \frac{\lambda_4 e^{-\lambda_5 t}}{\lambda_4 - \lambda_5} \right) + (1 - e^{-\lambda_5 t}) C_5 \right]$$

$$\lambda_6 N_6 = V \eta \left\{ C_4 \left[ 1 - \frac{\lambda_5 \lambda_6 e^{-\lambda_4 t}}{(\lambda_5 - \lambda_4)(\lambda_6 - \lambda_4)} - \frac{\lambda_4 \lambda_6 e^{-\lambda_5 t}}{(\lambda_4 - \lambda_5)(\lambda_6 - \lambda_5)} - \frac{\lambda_4 \lambda_5 e^{-\lambda_6 t}}{(\lambda_4 - \lambda_6)(\lambda_5 - \lambda_6)} \right] + C_5 \left( 1 - \frac{\lambda_6 e^{-\lambda_5 t}}{\lambda_6 - \lambda_5} - \frac{\lambda_5 e^{-\lambda_6 t}}{\lambda_5 - \lambda_6} \right) + C_6 (1 - e^{-\lambda_6 t}) \right\} \quad /6/$$

Arvestades ThA lühikest eluiga  $T_4 = 0,158$  sek/  
ja vastavalt suurt lagunemiskonstanti  $\lambda_4 = 263 \frac{1}{\text{min}}$ ,  
võime kolme viimast võrrandit lihtsustada.

Kui aeg  $t > 1$  sek, on hästi kehtivad järgmised  
võrrandid

$$\lambda_4 N_4 \approx V \eta C_4$$

$$\lambda_5 N_5 = V \eta (C_4 + C_5) (1 - e^{-\lambda_5 t})$$

$$N_6 = V \eta \left[ (C_4 + C_5) \left( 1 - \frac{\lambda_6 e^{-\lambda_5 t}}{\lambda_6 - \lambda_5} - \frac{\lambda_5 e^{-\lambda_6 t}}{\lambda_5 - \lambda_6} \right) + C_6 (1 - e^{-\lambda_6 t}) \right] \quad /6'/$$

võrrandid kirjeldavad laguneproductide aatomite arvu  
 $N_1 \dots N_6$  filtril aja  $t$  möödumisel aspiratsiooni algu-  
sest. Kui aspiratsiooni kestvus on  $t_0$  minutit, siis  
aatomite arvud filtril aspiratsiooni lõpupetkel  $N_{10} \dots$   
 $N_{60}$  väljenduvad nendesamade võrranditega, kusjuures  
 $t = t_0$ .

Paneme tähele, et võrrandite vasakud pooled

$\lambda_i N_i = Q_i$  kujutavad tegelikult vastavate laguneproductide  
partsiaalaktiivsusi. Meid huvitab  $\alpha$  - lagunemiste

arv filtril mingis ajavahemikus  $t_1 \div t_2$  aspiratsiooni algusest arvates. Alfa - aktiivsed liikmed on RaA, RaC, ThA ja ThC. Seega filtri kogu  $\alpha$  - aktiivsus

$$Q_\alpha = \lambda_1 N_1 + \lambda_3 N_3 + \lambda_4 N_4 + \lambda_6 N_6 \quad /7/$$

ehk

$$Q_\alpha = v\eta \left\{ \left( 1 - e^{-\lambda_1 t} \right) C_1 + \left[ 1 - \frac{\lambda_2 \lambda_3 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_1 \lambda_3 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} - \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right] C_1 + \left( 1 - \frac{\lambda_3 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_2 - \lambda_3} \right) C_2 + \left( 1 - e^{-\lambda_3 t} \right) C_3 + C_4 + \left( 1 - \frac{\lambda_6 e^{-\lambda_5 t}}{\lambda_6 - \lambda_5} - \frac{\lambda_5 e^{-\lambda_6 t}}{\lambda_5 - \lambda_6} \right) (C_4 + C_5) + \left. + \left( 1 - e^{-\lambda_6 t} \right) C_6 \right\} \quad /7'/$$

Alfa - lagunemiste arv ajavahemikus  $t_1 \div t_2$

$$N_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} Q_\alpha dt \quad /8/$$

Arvestame, et  $\int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_i t} dt = \frac{1}{\lambda_i} (e^{-\lambda_i t_1} - e^{-\lambda_i t_2})$ .

avaldis tuleb pikk ja seda üldkujul väljakirjutada ei ole mõtet.

Radioktiivse lagunemise protsess filtril jätkub ka pärast aspiratsiooni lõppu. Aspiratsiooni lõpuhetkeks on filtril vastavalt  $N_{10} \dots N_{60}$  RaA ... RaC aatomit /vt. võrrandid 6, 6' /. Nende arvu edaspidist muutumist kirjeldavad diferentsiaalvõrrandid

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_4}{dt} = -\lambda_4 N_4$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_5}{dt} = -\lambda_5 N_5 + \lambda_4 N_4$$

/9/

$$\frac{dN_3}{dt} = -\lambda_3 N_3 + \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_6}{dt} = -\lambda_6 N_6 + \lambda_5 N_5$$

ehk üldiselt

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1}$$

/10/

Radioaktiivsete ridade esimestel elementidel võrrandites liiget  $\lambda_{i-1} N_{i-1}$  ei ole.

Arvestades algtingimusi leiame lahendid

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_{20} e^{-\lambda_2 t} + N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$N_3 = N_{30} e^{-\lambda_3 t} + N_{20} \frac{\lambda_2}{\lambda_3 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}) +$$

/10/

$$+ N_{10} \lambda_1 \lambda_2 \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right]$$

$$N_4 = N_{40} e^{-\lambda_4 t}$$

$$N_5 = N_{50} e^{-\lambda_5 t} + N_{40} \frac{\lambda_4}{\lambda_5 - \lambda_4} (e^{-\lambda_4 t} - e^{-\lambda_5 t})$$

$$N_6 = N_{60} e^{-\lambda_6 t} + N_{50} \frac{\lambda_5}{\lambda_6 - \lambda_5} (e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_6 t}) +$$

$$+ N_{40} \lambda_4 \lambda_5 \left[ \frac{e^{-\lambda_4 t}}{(\lambda_6 - \lambda_4)(\lambda_5 - \lambda_4)} + \frac{e^{-\lambda_5 t}}{(\lambda_6 - \lambda_5)(\lambda_4 - \lambda_5)} + \frac{e^{-\lambda_6 t}}{(\lambda_4 - \lambda_6)(\lambda_5 - \lambda_6)} \right]$$

Tuleb silmas pidada, et siin aeg  $t$  on loetud alates aspiratsiooni lõpuketkest.

Kasutame jällegi ära seda, et  $\lambda_4 \gg 1$ .

$$\text{Siis } N_{40} = \frac{V\eta C_4}{\lambda_4} \approx 0$$

Kolm viimast võrrandit lihtsustuvad.

$$N_4 = 0$$

$$N_5 = N_{50} e^{-\lambda_5 t} \quad /10'/$$

$$N_6 = N_{60} e^{-\lambda_6 t} + N_{50} \frac{\lambda_5}{\lambda_6 - \lambda_5} (e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_6 t})$$

Filtri summaarne  $\alpha$  - aktiivsus avaldub endiselt

$$Q_\alpha = \lambda_1 N_1 + \lambda_3 N_3 + \lambda_4 N_4 + \lambda_6 N_6 \quad /11/$$

$$\begin{aligned} Q_\alpha = & N_{10} \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + N_{30} \lambda_3 e^{-\lambda_3 t} + N_{20} \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}) + \\ & + N_{10} \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right] + \\ & + N_{60} \lambda_6 e^{-\lambda_6 t} + N_{50} \frac{\lambda_5 \lambda_6}{\lambda_6 - \lambda_5} (e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_6 t}) \quad /11'/ \end{aligned}$$

Alfa - lagunemiste arv filtril ajavahemikus  $t_1 \div t_2$

pärast aspiratsiooni lõppu

$$N_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} Q_\alpha dt \quad /8/$$

Ainult et siin  $t_1$  ja  $t_2$  on loetud aspiratsiooni lõpuhetkest alates.

Kuna meil konkreetset juhul on tegemist  $R_n$  ja  $T_n$  laguneproduktidega, võime lagunemiskonstantide arvulised väärtused asendada. Järgmised andmed on võetud kirjandusest [14, 26].

RaA: $T_1 = 3,05$ min;	$\lambda_1 = 2,272 \cdot 10^{-1}$	$\frac{1}{\text{min}}$
RaB: $T_2 = 26,8$ min;	$\lambda_2 = 2,586 \cdot 10^{-2}$	"-
RaC: $T_3 = 19,9$ min	$\lambda_3 = 3,483 \cdot 10^{-2}$	"-
ThA: $T_4 = 0,158$ sek = = 0,00263 min;	$\lambda_4 = 263$	"-
ThB: $T_5 = 10,64$ tundi = = 638,4 min;	$\lambda_5 = 1,086 \cdot 10^{-3}$	"-
ThC: $T_6 = 60,5$ min;	$\lambda_6 = 1,146 \cdot 10^{-2}$	"-

Neid väärtusi kasutades saame järgmised üldised võrrandid.

Alfa - lagunemiste arv filtril aspiratsiooni ajal ajavahemikus  $t_1 \div t_2$  /mis on loetud aspiratsiooni algusest/

$$\begin{aligned}
 N_{t_1}^{t_2} = & V\eta \left\{ C_1 \left[ 2(t_2 - t_1) + 4,504 \left( e^{-\lambda_1 t_1} - e^{-\lambda_1 t_2} \right) - \right. \right. \\
 & 169,5 \left( e^{-\lambda_2 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2} \right) + 97,73 \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) \left. \right] + \\
 & + C_2 \left[ \left( t_2 - t_1 \right) - 150,2 \left( e^{-\lambda_2 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2} \right) + 82,77 \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) \right] + \\
 & + C_3 \left[ \left( t_2 - t_1 \right) - 28,71 \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) \right] + \\
 & + C_4 \left[ 2(t_2 - t_1) - 1017 \left( e^{-\lambda_5 t_1} - e^{-\lambda_5 t_2} \right) + 9,136 \left( e^{-\lambda_6 t_1} - e^{-\lambda_6 t_2} \right) \right] \\
 & + C_5 \left[ \left( t_2 - t_1 \right) - 1017 \left( e^{-\lambda_5 t_1} - e^{-\lambda_5 t_2} \right) + 9,136 \left( e^{-\lambda_6 t_1} - e^{-\lambda_6 t_2} \right) \right] \\
 & + C_6 \left[ \left( t_2 - t_1 \right) - 87,26 \left( e^{-\lambda_6 t_1} - e^{-\lambda_6 t_2} \right) \right] \left. \right\} \quad /12/
 \end{aligned}$$

Aatomite arvud filtril aspiratsiooni lõpuhetkel  $t_0$

$$N_{10} = V \eta \ 4,402 \left( 1 - e^{-\lambda_1 t_0} \right) C_1$$

$$N_{20} = V \eta \ 38,67 \left[ \left( 1 + 0,1285 e^{-\lambda_1 t_0} - 1,129 e^{-\lambda_2 t_0} \right) C_1 + \left( 1 - e^{-\lambda_2 t_0} \right) C_2 \right]$$

$$N_{30} = V \eta \ 28,71 \left[ C_1 \left( 1 - 0,02326 e^{-\lambda_1 t_0} - 4,382 e^{-\lambda_2 t_0} + 3,404 e^{-\lambda_3 t_0} \right) + \left( 1 - 3,883 e^{-\lambda_2 t_0} + 2,883 e^{-\lambda_3 t_0} \right) C_2 + \left( 1 - e^{-\lambda_3 t_0} \right) C_3 \right]$$

$$N_{40} = V \eta \ 0,00380 C_4 \approx 0$$

$$N_{50} = V \eta \ 920,8 \left( 1 - e^{-\lambda_5 t_0} \right) \left( C_4 + C_5 \right)$$

$$N_{60} = V \eta \ 87,26 \left[ \left( 1 - 1,105 e^{-\lambda_5 t_0} + 0,1047 e^{-\lambda_6 t_0} \right) \left( C_4 + C_5 \right) + \left( 1 - e^{-\lambda_6 t_0} \right) C_6 \right] \quad /13/$$

Alfa - lagunemiste arv filtril ajavahemikus  $t_1 \div t_2$  pärast aspiratsiooni lõppu  $t_1$  ja  $t_2$  on loetud aspiratsiooni lõpuhetkest alates/..

$$\begin{aligned} N_{t_1}^{t_2} = & N_{10} \left[ 1,023 \left( e^{-\lambda_1 t_1} - e^{-\lambda_1 t_2} \right) + 4,382 \left( e^{-\lambda_2 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2} \right) - \right. \\ & \left. - 3,404 \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) \right] + N_{20} \left[ 3,883 \left( e^{-\lambda_2 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2} \right) - \right. \\ & \left. - 2,883 \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) \right] + N_{30} \left( e^{-\lambda_3 t_1} - e^{-\lambda_3 t_2} \right) + \\ & N_{50} \left[ 1,105 \left( e^{-\lambda_5 t_1} - e^{-\lambda_5 t_2} \right) - 0,1047 \left( e^{-\lambda_6 t_1} - e^{-\lambda_6 t_2} \right) \right] + \\ & + N_{60} \left( e^{-\lambda_6 t_1} - e^{-\lambda_6 t_2} \right) \quad /14/ \end{aligned}$$

Kui valemis /14/  $N_{10} \dots N_{60}$  elimineerida /13/ abil,

olemegi  $\alpha$  - lagunemiste arvu mistahes ajavahemikus pärast aspiratsiooni lõppu avaldanud laguneproductide kontsentratsioonide  $C_1 \dots C_6$  kaudu.

Fundamatute  $C_1 \dots C_6$  leidmiseks tuleb eksperimentaalselt määrata  $\alpha$  - lagunemiste arv kuues ükskõik missuguses ajavahemikus kas aspiratsiooni ajal või pärast aspiratsiooni lõppu. Põhimõtteliselt on ajavahemike valik vaba, kuid mõõtmise täpsuse huvides on kasulik silmas pidada järgmisi asjaolusid.

Radioaktiivsete lagunemiste arv on statistiline suurus. Selle mõõtmise täpsus suureneb loetud lagunemiste arvu suurenemisega. Seetõttu on otstarbekohane ära kasutada kõik lagunemised. See tähendab, et tuleb ära kasutada kogu impulsside arvu kõver kuni aktiivsuse praktiliselt nulliks muutumiseni. Selleks läheb aega umbes 6 tundi.

Lühiealiste isotoopide /RaA, ThA/ kontsentratsiooni määramine saab võimalikuks ainult siis, kui loeme lagunemisi ka aspiratsiooni ajal. Sel ajal nende partsiaalaktiivsus filtril püsib konstantsena. Pärast aspiratsiooni lõppu lühiealiste isotoopide aatomite arv kahaneb kiiresti ja näit. RaA aatomite lagunemiste arv on nii väike, et kaob lagunemiste koguarvu statistilistesse fluktuatsioonidesse. ThA aga lakkab olemast kohe pärast aspiratsiooni lõppu.

Pikaealiste isotoopide /ThB/ täpsemaks määramiseks on kasulik oodata, kuni lühiealised isotoobid on ära lagunened.

Üldiselt küsimus mõõtmise ajavahemike kõige otstarbekohasemast jaotusest on väga komplitseeritud. See sõltub kindlasti radioaktiivsete aatomite koguarvust filtril, partsiaalkontsentratsioonide jaotusest õhus, aspiratsioonil ajast jne. Käesoleva töö raames ei õnnestunud kõige otstarbekamat jaotust kindlaks määrata ja ajavahemikud on valitud nii, et tüüpilise partsiaalkontsentratsioonide jaotuse korral õhus langeks kõigisse ajavahemikesse enam - vähem võrdsel hulgal  $\alpha$  - lagunemisi.

Aspiratsioonil kestvuse valikul tuleb arvestada seda, et lühema aspiratsioonil puhul on lühiealiste isotoopide määramise täpsus suurem. Pika aspiratsioonil puhul  $t_0 > 10$  min/ tekib lühikese poolestusperioodiga isotoopide /RaA/ dünaamiline tasakaal ja nende hulk filtril ei kasva enam. Pikaealiste isotoopide hulk aga kasvab veel kaua ja n.ö. matab lühiealised isotoobid enda alla. Sel juhul aga suureneb pikaealiste isotoopide määramise täpsus.

Tuleb arvestada ka mõõtmise võimalikku kestvust. Kui ööpäevas tahetakse teostada 4 mõõtmist, ei tohi tsükli pikkus ületada kuut tundi.

Nimetatud kolme tingimuse vahel tuleb leida kompromiss. Käesolevas töös on aspiratsiooni kestvuseks valitud 45 min.

Joonisel 4 /lk. 47 / on esitatud seeria  $\alpha$ -impulsside arvu kasvu kõveraid. On näha, et kui ajavahemikud valida järgmiselt:

- 1/ 0 + 36 min,
- 2/ 36 + 56 min,
- 3/ 56 + 81 min,
- 4/ 81 + 122 min,
- 5/ 122 + 345 min,

siis on  $\alpha$ -lagunemiste arvud kõigis viies ajavanemikus umbes võrdsed. ThA määramiseks on valitud kuues ajavahemik 0 + 11 min. Kui Th A on üldise meetodi tundlikkuse piires, siis sel ajal peaks ta olema märgatav.

Kui valime nimetatud ajavahemikud ja elimineerime võrrandi /14/ võrrandite /13/ abil  $N_{10} \dots N_{60}$ , saame järgmise võrrandisüsteemi /eksponentfunktsioonide väärtused on võetud tabelitest [21] /.

$$N_{0}^{11} = V\eta (7,01C_1 + 0,16C_2 + 1,86C_3 + 11,0C_4 + 0,0C_5 + 0,66C_6)$$

$$N_{0}^{36} = V\eta (34,64C_1 + 4,16C_2 + 15,48C_3 + 36,14C_4 + 0,14C_5 + 6,50C_6)$$

$$N_{36}^{56} = V\eta (19,96C_1 + 7,76C_2 + 14,03C_3 + 9,22C_4 + 0,22C_5 + 7,52C_6)$$

$$N_{56}^{81} = V\eta (11,45C_1 + 11,03C_2 + 9,00C_3 + 0,48C_4 + 0,48C_5 + 7,74C_6)$$

$$N_{81}^{122} = V\eta \left( 13,24C_1 + 12,40C_2 + 4,93C_3 + 1,13C_4 + 1,13C_5 + 8,72C_6 \right)$$

$$N_{122}^{345} = V\eta \left( 10,56C_1 + 9,57C_2 + 1,55C_3 + 8,23C_4 + 8,23C_5 + 13,43C_6 \right)$$

Siin on ühtne ajamastaap. Nulliks on loetud aspiratsiooni alguse moment. Kolmas võrrand  $N_{36}^{56}$  on leitud kahe võrrandi summana, millest esimene,  $- N_{36}^{45}$  - on arvatud /12/ järgi ja teine  $- N_{45}^{56}$  - on arvatud /14/ järgi [ arvestades muidugi aja nullpunkti nihet /  $N_{45}^{56} \rightarrow N_0^{11}$  / ] .

Otstarbekohane on määrata kontsentratsioone mitte

ühikuteks  $\frac{\text{aatomit}}{\text{liitris}}$ , vaid ühikutes  $\frac{\text{lagunemist}}{\text{min.liitris}}$ .

See annab otsekohe ülevaate radioaktiivse tasakaalu olu-

korrast õhus. Kui tähistame kontsentratsioone  $q_i$

$\left[ \frac{\text{lagunemist}}{\text{min. l}} \right]$ , siis

$$c_i = \frac{q_i}{\lambda_i} \quad i = 1 \dots 6$$

Asendades need võrranditesse /15/ ja arvestades  $\lambda_i$  -de

arvulisi väärtusi, saame süsteemi  $q_i$ -de määramiseks.

$$N_0^{11} = V\eta \left( 30,86q_1 + 6,19q_2 + 53,40q_3 + 0,042 q_4 + 0,0q_5 + 57,6q_6 \right)$$

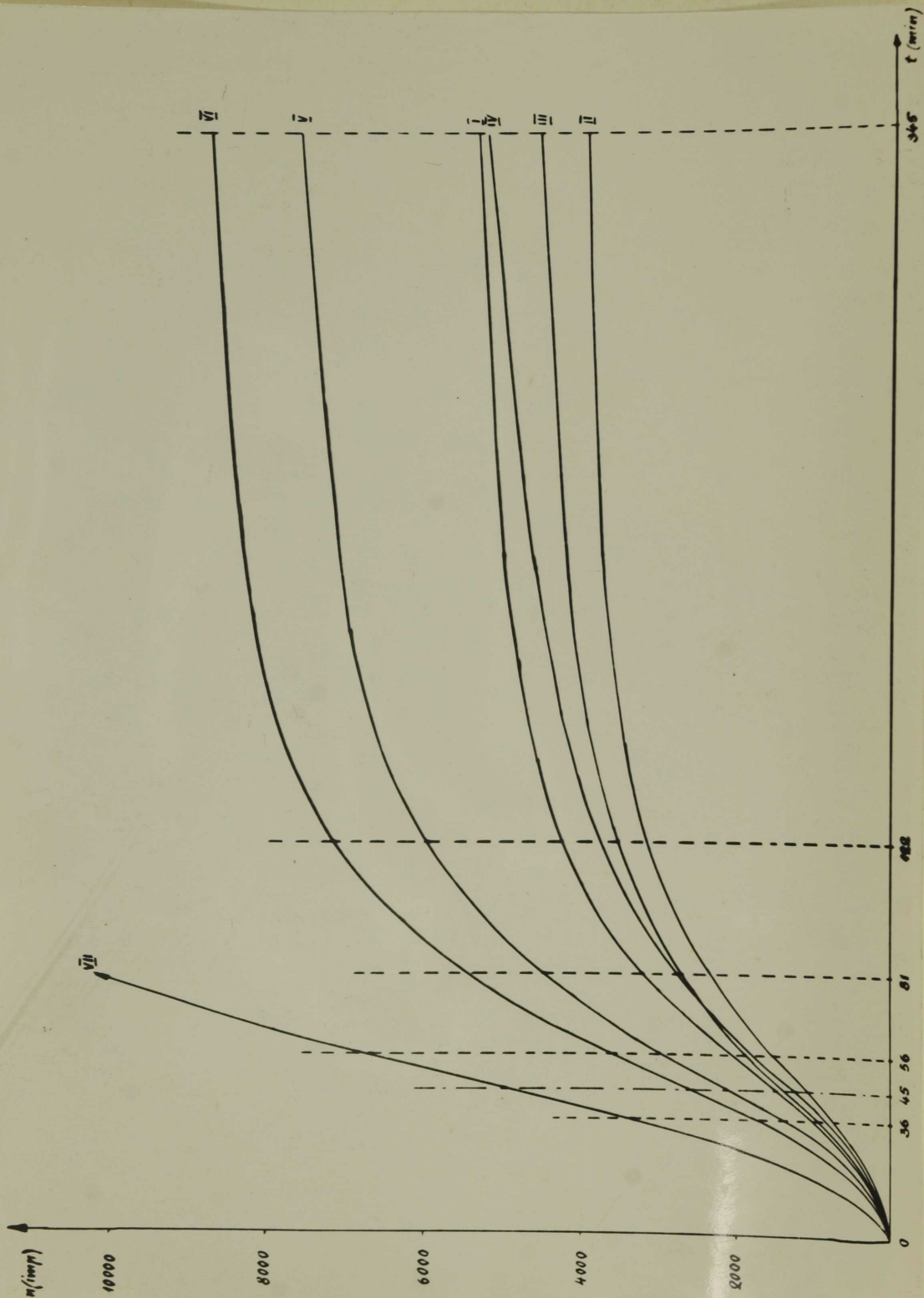
$$N_0^{36} = V\eta \left( 152,5q_1 + 160,9q_2 + 444,4q_3 + 0,137q_4 + 128,9q_5 + 567,2q_6 \right)$$

$$N_{36}^{56} = V\eta \left( 87,86q_1 + 300,1q_2 + 402,8q_3 + 0,035q_4 + 202,6q_5 + 656,2q_6 \right) \quad (16)$$

$$N_{50}^{81} = V\eta \left( 50,40q_1 + 426,5q_2 + 258,4q_3 + 0,002q_4 + 442,0q_5 + 675,4q_6 \right)$$

$$N_{81}^{122} = V\eta \left( 58,28q_1 + 479,5q_2 + 141,5q_3 + 0,004q_4 + 1041q_5 + 760,9q_6 \right)$$

$$N_{122}^{345} = V\eta \left( 464,8q_1 + 370,1q_2 + 44,5q_3 + 0,031q_4 + 7578q_5 + 1172q_6 \right)$$



V. E. s i m e s e d m õ õ t m i s t u l e m u s e d.

Mõõtmisprotsessi teoreetiliste aluste ning aparatuuri töö kontrolliks on ajavahemikus 7.III 6l. kuni 21.III 6l. registreeritud seitse  $\alpha$ -lagunemiste arvu kõverat /joonis 4 / ning püütud neid analüüsida võrrandsüsteemi /16/ abil. Tüüpilise näitena vaatleme kõvera VI /joonis 4/ interpretatsiooni.

Arvestades loendaja fooni /  $f = 1,3 \frac{\text{imp}}{\text{min}}$  / saame kõveralt VI järgmised vabaliikmete väärtused.

$$N_{0}^{11} = 207$$

$$N_{0}^{36} = 1683$$

$$N_{36}^{56} = 1844$$

/17/

$$N_{56}^{81} = 1788$$

$$N_{81}^{122} = 1707$$

$$N_{122}^{345} = 1280$$

Need arvud ei ole võrdsed  $\alpha$ -lagunemiste arvudega filtril vastavates ajavahemikes, sest arvestatud ei ole loendaja efektiivsust ja  $\alpha$ -osakeste neeldumist filtri aines, kuid kuna meid huvitavad esialgu mitte partsiaal-kontsentratsioonide absoluutsed, vaid suhtelised vää-

tused, loeme edaspidiste arvutuste kaigus kehtivaks

$$\sqrt{\eta \varepsilon \alpha} = 1$$

kus  $V$ -õhuvoolu ruumkiirus,

$\eta$  - filtri efektiivsus,

$\varepsilon$  - loendaja efektiivsus,

$\alpha$  - tegur, mis arvestab  $\alpha$  -osakeste neeldumist filtris.

Kirjanduse [12] andmel ei too  $\alpha$  -osakeste filtris neeldumise mitteametamine sisse eriti suurt viga /alla 10%.

Lahendanud süsteemi /16/ koos vabaliikmetega /17/  
saame partsiaalkontsentratsioonide  $q_i$  väärtusteks

$$q_1 = - 5,438$$

$$q_2 = 0,5202$$

$$q_3 = 1,262$$

/18/

$$q_4 = 3988$$

$$q_5 = -0,2139$$

$$q_6 = 2,373$$

Rõhutame veel kord, et arvud /18/ on vaid võrreldes partsiaalkontsentratsioonidega  $q_1$ . Kuid sellest piisab, et veenduda tulemuse täielikus mõttetuses. Esiteks ei ole võimalik negatiivsete kontsentratsioonide olemasolu ja teiseks füüsikalisest seisukonast lähtudes peaks  $q_4 \approx 0$ . Nimelt aspiratsiooni esimestel minutitel, mil  $T h A$  on filtril juba dünaamilises tasakaalus, teisi laguprodukte ei ole aga veel märga-

tavalt kogunenud, on filtri  $\alpha$  - aktiivsus praktiliselt null.

Et aga lahendid /18/ on kontrollitud, siis võib neist teha niisuguse järelduse: kui  $\alpha$  -lagunemiste arvu kõver koosneb ainult meie poolt arvestatud eksponenti-dest ja läbib punkte /17/ , siis on see võimalik ainult partsiaalkontsentratsioonide jaotuse /18/ puhul. Oletada veel mõningate  $\alpha$  -aktiivsete ainete olemasolu õhus meie mõõtmistäpsuse piiridesse ulatuvates kontsentratsiooni-oonides on võimatu. Pealegi on ülejäänud  $\alpha$  -aktiivsed ained pika poolestus\_ perioodiga ning nende avastamine oleks kerge. Väga raske on oletada ka aparatuuri konstantide /filtri ja loendaja efektiivsuste/ muutumist mõõtmisperi-oodi vältel. Paistab, et jäävad üle ainult järgmised põh-justused: 1/ radioaktiivsete ainete filtrile sadestumise kiirus aspiratsiooni ajal muutub tingituna kas aparatuuri mõnede omaduste muutumisest aspiratsiooni aja vältel või /mis on tõenäosem/ radioaktiivsete ainete kontsentratsioo- nide küllalt suurtest fluktuatsioonidest; 2/ mõningate lahendite / $q_4, q_6$ / tundlikkus vabaliikmete muutuste suhtes on nii suur, et lagunemiste arvu statistilised /või partsiaalkontsentratsioonide ruumilised/ fluktuatsioonid põhjustavad tuhandetesse protsentidesse ulatuvaid lahendite kõikumisi. Probleeme põhjalikult uuritud ei ole.

antudes füüsikalisest eeldusest, et  $q_4 \approx 0$ ,

on püütud mõõtaistulemusi interpreteerida ka T h A-d mitte arvestades. Sel juhul saame viie võrrandi süsteemi

$$N_{0}^{36} = V\eta(152,5 q_1 + 160,9q_2 + 444,4q_3 + 128,9q_5 + 567,2q_6)$$

$$N_{30}^{56} = V\eta(87,86q_1 + 300,1q_2 + 402,8q_3 + 202,6q_5 + 656,2q_6)$$

$$N_{56}^{81} = V\eta(50,40q_1 + 426,5q_2 + 258,4q_3 + 442,0q_5 + 675,4q_6) \quad /19/$$

$$N_{81}^{122} = V\eta(58,28q_1 + 479,5q_2 + 141,5q_3 + 1041q_5 + 760,9q_6)$$

$$N_{122}^{345} = V\eta(46,48q_1 + 370,1q_2 + 44,50q_3 + 7578q_5 + 1172q_6)$$

Vabaliikmeid /17/ arvestades /ilma  $N_{0}^{11}$  -ta/ saame järgmised lahendid.

$$q_1 = 1,711$$

$$q_2 = 2,402$$

$$q_3 = 2,024$$

/20/

$$q_5 = -0,0073$$

$$q_6 = 0,2364$$

Siin paistab esialgu kõik korras olevat, sest  $q_5 \approx 0$  ja selle negatiivsus on kindlasti vea piires. Lähemal vaatlusel aga selgub, et ka kontsentratsioonid /20/ ei saa olla õiged.

Radioaktiivse tasakaalu olemasolu korral atmosfääris peaks  $q_1 = q_2 = q_3$  ja  $q_5 = q_6$ . Kui radioaktiivne tasa-

kaal on rikunud /mis on väga tõenäone/ , siis peaks  $q_1 > q_2 > q_3$  ja  $q_5 > q_6$  . Vastupidine olukord on väga vähe tõenäone. Lahendites /20/ aga  $q_2 > q_1$  ja  $q_6 > q_5$  . Samuti saame rea kõverate /I,II,III,IV,VII / analüüsi tulemusena negatiivsed kontsentratsioonid  $q_6$  . Tegemist on nähtavasti süstemaatilise veaga.

Kahjuks ei õnnestunud ajapuuduse tõttu teostada rohkem katseid, et leida ebatõenäosete ja võimatute lahendite esinemise põhjusi. Jõusse jäävad kaks eespool mainitud oletust. Et aga probleem on põhimõtteliselt lahenduv, seda tõestab näiteks meie mentluspraktika aruanne [18] .

Omaette probleemi moodustab mõõtmiste täpsus. Nii kaua, kui ei ole õnnestunud saavutada mõistlikke lahendeid, ei ole kuidugi mõtet rääkida mingitest mõõtmistest ja nende täpsusest, kuid kuna mõõtmistäpsuse probleem haarab ka võrrandisüsteemi lahendite tundlikkuse küsimust, on seda siin siiski otstarbekohane vaadelda.

Jätame esialgu vaatluse alt välja süstemaatilised vead,  $\alpha$  - lagunemiste arvu statistilised fluktuatsioonid, vead impulsside arvu registreerimisel, võrrandisüsteemi lahendamisel ja lahendite registreerimisel ning vaatleme ainult järgmist probleemi.

Olgu meil võrrandisüsteem viiest võrrandist

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{15}x_5 = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{25}x_5 = b_2$$

/21/

.....

.....

$$a_{51}x_1 + a_{52}x_2 + \dots + a_{55}x_5 = b_5$$

Vabaliikmežd  $b_i$  on määratud eksperimentaalselt teatud täpsusega  $d b_i$ .

Kui suured võivad olla lahendite  $x_i$  kõikumised?

Vastuse leidmiseks tuleb  $x_i$  avaldada determinantide kaudu.

Tahistame

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{51} & a_{52} & \dots & a_{55} \end{vmatrix} \quad \text{-süsteemi determinant}$$

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \dots & a_{15} \\ b_2 & a_{22} & \dots & a_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_5 & a_{52} & \dots & a_{55} \end{vmatrix} \quad \text{jne.}$$

Uurime ainult lahendi  $x_1$  käitumist, teiste lahendite tundlikkuse võib leida analoogia põhjal.

$$x_1 = \frac{\Delta_i}{\Delta} = \frac{1}{\Delta} ( b_1 A_{11} + b_2 A_{21} + \dots + b_5 A_{51} )$$

Siin  $A_{11}, A_{21} \dots A_{1k}$  - indeksitele  $i$  ja  $k$  vastavad alamdeterminandid. Edasi leiame lahendi täisdiferentsiaali  $dx_1$ .

$$dx_1 = \frac{\partial x_1}{\partial b_1} db_1 + \frac{\partial x_1}{\partial b_2} db_2 + \dots + \frac{\partial x_1}{\partial b_5} db_5$$

Arvestades, et

$$\frac{dx_k}{db_i} = \frac{1}{\Delta} A_{ik}$$

saame

$$dx_1 = \frac{1}{\Delta} (A_{11} db_1 + A_{21} db_2 + \dots + A_{51} db_5)$$

Suhteline tundlikkus

$$\delta_1 = \frac{dx_1}{x_1} = \frac{A_{11} db_1 + A_{21} db_2 + \dots + A_{51} db_5}{A_{11} b_1 + A_{21} b_2 + \dots + A_{51} b_5} \quad /22/$$

Seos /22/ võimaldab leida, missuguse vabaliikme suhtes on antud lahend kõige tundlikum. Kui meid aga huvitab lahendi vea ülemmäär, siis tuleb arvestada, et  $A_{ik}$  on märgiga suurused.

$$(\delta_1)_{\max} = \frac{|A_{11} db_1| + |A_{21} db_2| + \dots + |A_{51} db_5|}{A_{11} b_1 + A_{21} b_2 + \dots + A_{51} b_5}$$

ja analoogselt

/23/

$$(\delta_2)_{\max} = \frac{|A_{12} db_1| + |A_{22} db_2| + \dots + |A_{52} db_5|}{A_{12} b_1 + A_{22} b_2 + \dots + A_{52} b_5}$$

$$\dots \dots \dots$$
$$(\delta_5)_{\max} = \frac{|A_{15} db_1| + |A_{25} db_2| + \dots + |A_{55} db_5|}{A_{15} b_1 + A_{25} b_2 + \dots + A_{55} b_5}$$

Seoste /23/ abil on võimalik hinnata süsteemi lahendite  
vea ülemmäära, kui on teada vabaliikmete vea ülemmäär.

Süsteemi /19/ alamdeterminante  $A_{ik}$  ei ole õnnes-  
tunud leida.

## VI. Mõõtmisprotsessi automatiseerimine.

Mõõtmiste lihtsus ja seega ka automatiseerimise võimalus on filtratsioonimeetodi üks suuri eeliseid teiste meetoditega võrreldes. Viimasel ajal, seoses atmosfääri radioaktiivsuse observatoorsete vaatluste laienemisega ja eriti seoses õhu radioaktiivsuse pideva kontrolli vajadusega tuumaenergiat kasutatavates asutustes, on suurt tähelepanu pööratud pidevalt registreerivate automaatsete õhu radioaktiivsuse mõõtmise aparaatide loomisele. Enamikul juhtudel [2, 10, 17, 28] kasutatakse filtratsioonimeetodit membraan - või elektrostaatiliste filtritega ja ainult üksikutel juhtudel [17] leiavad kasutamist ka suured ionisatsioonikambriid. Kuna paljud riistad ei ole ette nähtud mitte õhu radioaktiivsuse mõõtmiseks, vaid ainult kontrolliks, siis neis täpsusele erilist rõhku ei panda. Näiteks kirjeldab Buchner [2] põhjalikult tervet rida automaatseadeldisi õhu radioaktiivsuse mõõtmiseks, kuid samas selgub, et ei ole teada kiirguse neeldumine filtris ega isegi filtri efektiivsus  $\eta$ .

Kõigis kirjeldatud seadeldistes on kasutatud pidevalt liikuvat filtrit.

Huvitavat automaatse registreerimise meetodit

kirjeldatakse koguteoses [12] . Pidevalt imetakse õhku läbi filtri, mille kehal asub loendaja. Filter ei liigu. Teatud aja möödudes saabub dünaamiline tasakaal filtril. Tasakaalulise aktiivsuse muutuse järgi saab otsustada õhu radioaktiivsuse muutuste üle.

Käesolevas töös on välja töötatud automaatseadeldis õhu loodusliku radioaktiivsuse partsiaalkontsentratsioonide automaatseks registreerimiseks.

y l. Automaatse registraatori töö põhimõtte ja üldine lahterskeem.

Mõõtmisprotsessi kvantitatiivsed alused olid esitatud IV peatükis. Mõõtmistsükli ajaline kulg on järgmine.

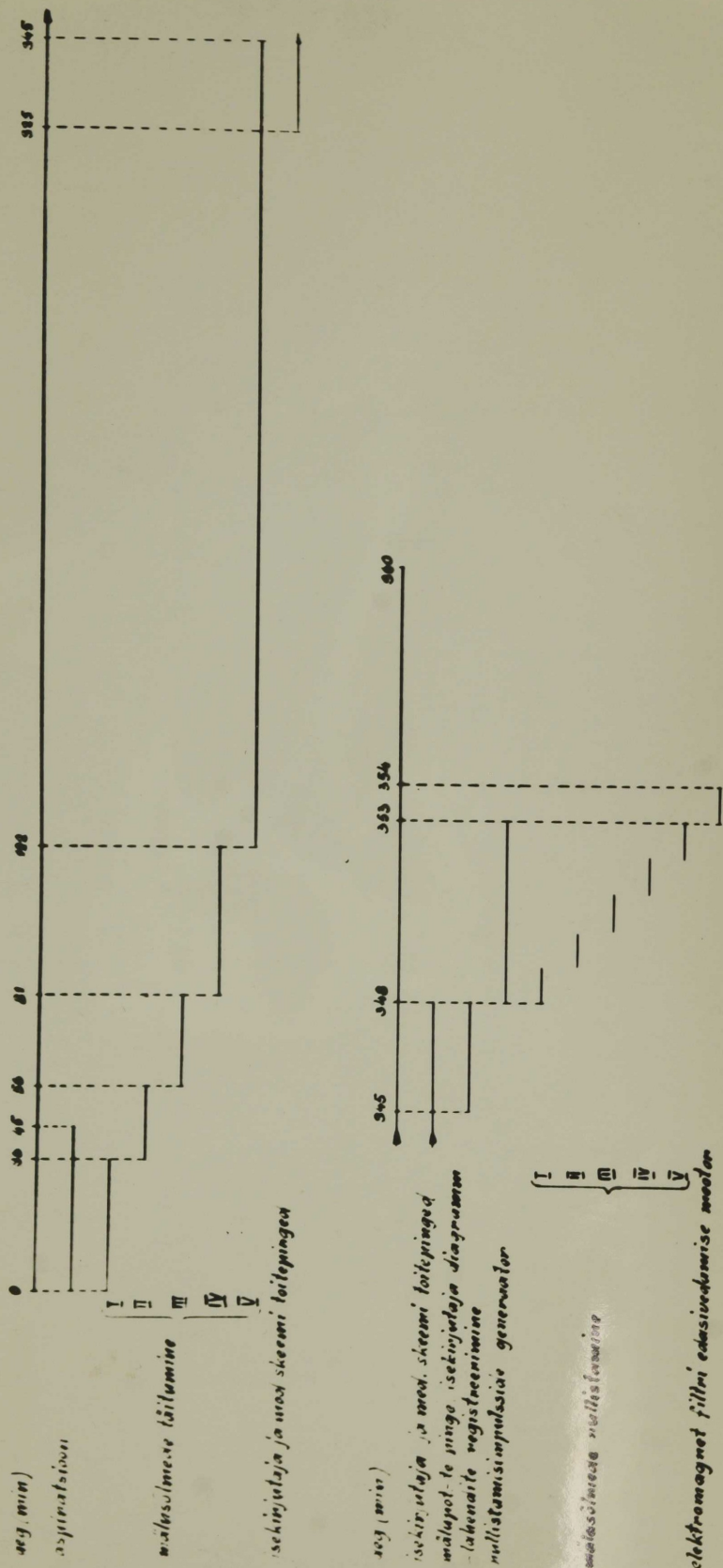
Tsükkel algab õhu imemisega läbi filtri. Samaaegselt lülitatakse sisse ka aspiratsiooniva kohal asuv

$\alpha$ -osakeste loendaja. Kuni 36-nda minutini juhitakse loendaja impulsid mälusõlme, mis peab meeles impulsside arvu  $N_0^{36}$  ja muudab selle elektriliseks suuruseks - pingeks. 36-nda minuti lõpus lülitatakse loendaja väljund ümber teise analoogsesse mälusõlme, mis registreerib impulsside arvu kuni 56-nda minutini -  $N_{36}^{56}$ . 45-ndal minutil lülitatakse välja aspiratsioon. Analoo-

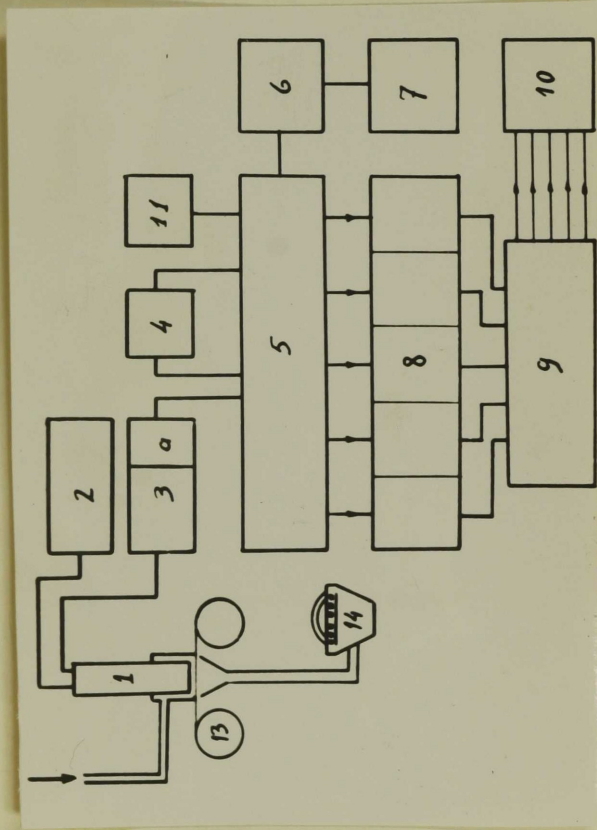
sel viisil salvestatakse ja muudetakse pingeks ka suurused  $N_{56}^{81}$ ,  $N_{81}^{122}$  ja  $N_{122}^{345}$ . Pärast viimase suuruse  $N_{122}^{345}$  leidmist, s.t. pärast 345-ndat minutit juhitakse mälusõlmede väljundid /mis esitavad impulsside arve pingeks ümberkodeeritult/ elektronskeemi, mis modelleerib võrrandsüsteemi /19/. Modelleeriva elektronskeemi väljundpinged, s.t. otsitavad kontsentratsioonid  $q_1$  pingelises esituses kirjutatakse üles 6-kanalilise isekirjutava elektronpotentsiomeetriga. Edasi viiakse mälusõlmed nullseisu ja tõmmatakse aspiratsiooniva ette puhas filtriosa. Tsükli kogupikkus on 360 minutit. Joonisel 5 (kõrval leheküljel) on mõõtmistsükli üksikasjalisem graafiline esitus, kus on arvestatud ka aega elektronlampide soojenemiseks ja jäetud lõppu väike ajavaru tsükli juhtiva "kella" õigeks seadmiseks.

Kogu seadme lahterskeem on esitatud joonisel 6.

$\alpha$  - osakeste loendaja 1 on asetatud otse aspiratsiooniva kohale 3 - 4 mm kõrgusele filtrist. 2 on loendaja pingeliiklik. Loendaja väljundimpulsid juhitakse mõõtepiirkondade ümberlülitusse<sup>3</sup>, mille abil on võimalik mõõtepiirkonda muuta astmeliselt kuni 64 korda. Iga aste muudab mõõtepiirkonda kaks korda. 3 a on talendav kahendloendaja, mis on vajalik suurte radioaktiivse aine kontsentratsioonide mõõtmiseks /näit. keldrites/. Kahendloendajast juhitakse väljundimpulsid kommutaatorisse 5.



Joonis 5



JONNIS 6

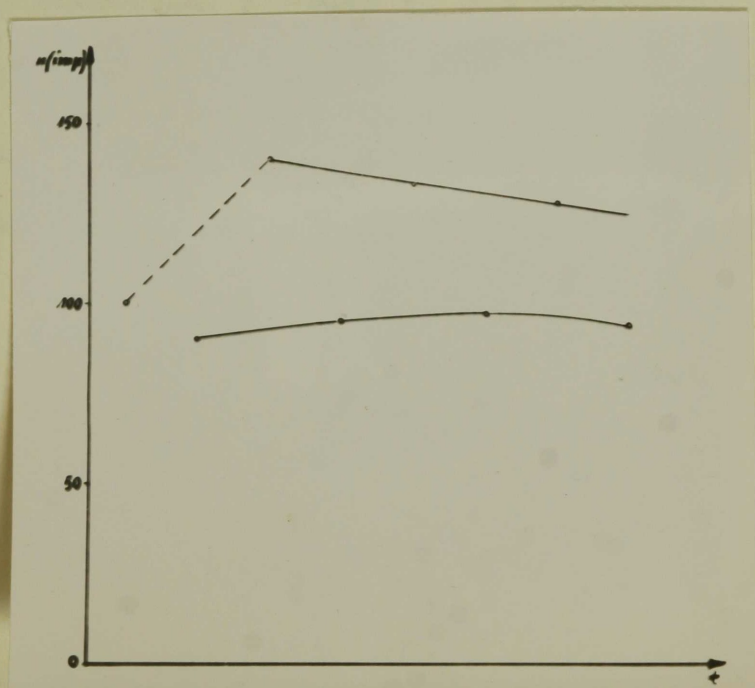
Võimsusaste 4 on vajalik mälupotentsiomeetrite /mälusõlmedeks on kasutatud potentsiomeetreid/ kaivitamiseks. Kommutaator 5 kommuteerib võimsusastet vastavalt kas kahendloendaja väljundisse /mõõtmise ajal/ või mälupotentsiomeetrite nullistamise impulsside generaatori 11 väljundisse /mälupotentsiomeetrite nullistamise ajal/. Samuti ühendab kommutaator 5 võimsusastme väljundit järjekorras kõigi mälupotentsiomeetrite 8 impulssmootorite külge. Mälupotentsiomeetrite väljundpinge klemmid on ühenduses modeleeriva skeemi 9 sisenditega. Modeleeriva skeemi väljundpinged kirjutatakse üles isekirjutaja 10 abil. Kommutaatori 5 ülesandeks on veel anda vajalikud toitepinged kõigile skeemi osadele ning samuti juhtida filtri edasivedamise mootori 13 ning aspiraatorina kasutatava tolmuimeja 14 tööd. Kommutaatorit ennast juhib ajaline programm-seadeldis 6 koos minutiimpulsside generaatoriga 7.

Järgnevalt vaatleme üksikasjaliselt kõiki automaadi sõlmi.

§ 2. Probleemidest, mis kerkivad seoses kummivooliku kasutamisega õhujuhtmena.

Seadeldis on esialgu ette nähtud töötamiseks tubastes tingimustes. Mõõdetav õhk juhitakse filtrile

kummivooliku kaudu. vooliku diameeter on 18 mm. Kuna õhuvoolu ruumkiirus mõõtmistel on keskmiselt  $350 \frac{l}{min}$ , siis on õhuvoo tihedus torus küllaltki suur -  $138 \frac{l}{min.cm^2}$ . Tekkis küsimus, kui suur protsent radioaktiivsust kandvatest osakestest adsorbeerub vooliku siseseintele. Vastuse leidmiseks teostati katse. Sellest samast ruumist, kus aparaat asus, imeti õhku filtrile kord vooliku kaudu, kord otse, ilma voolikuta. Katse läbiviimist raskendas asjaolu, et radioaktiivsus ruumis ei olnud püsiv. Seetõttu tuli katsed korrata mitu korda järjest ja üles joonistada õhu radioaktiivsuse kõik ruumis, mõõdetuna voolikuga ja ilma selleta. Katse tulemused on esitatud joonisel 7.



Ülemine kõver kujutab õhu radioaktiivsust ruumis /suhtelistes ühikutes/ mõõdetuna ilma voolikuta. Alumine kõver on saadud õhu imemisel läbi 3 m pikkuse vooliku. Nagu näeme, jääb umbes 25 % radioaktiivsetest osakekestest vooliku siseseintele. Katse on teostatud keldriruumis, kus õhu radioaktiivsus on umbes 50 korda kõrgem kui välisõhus. Analooget katset välisõhus tehtud ei ole. on teostatud ainult kaks mõõtmist, üks voolikuga, teine ilma. Kahe mõõtmise vaheline ajavahemik oli 15 min. ilma voolikuta saadi 15 % kõrgem tulemus kui voolikuga.

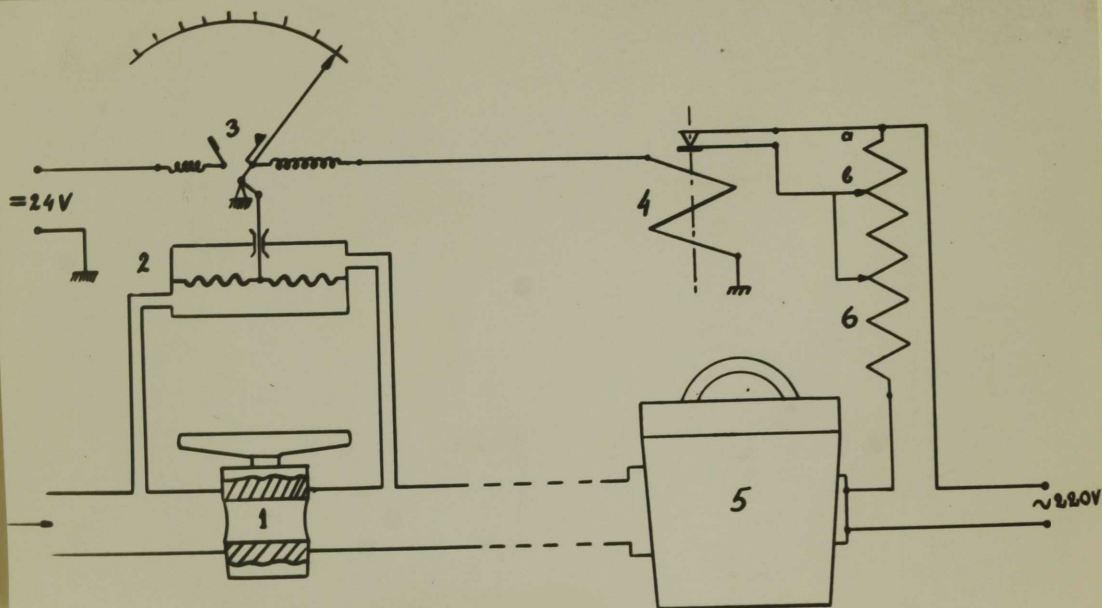
Seega on selge, et osa radioaktiivsusest adsorbeerub vooliku seintele. Võib arvata, et vooliku mõju sõltub tugevasti tema diameetrist ja väheneb vooliku läbimõõdu suurenemisega. Kahjuks ei ole õnnestunud teostada katseid mitmesuguste vooliku läbimõõdudega. Tõstuslikult toodetakse aparatuuri [17] milles kasutatakse 100 m pikkusi 40 mm läbimõõduga painduvaid metallitorusid.

### 9 3. Õ h u r u u m k i i r u s e s t a b i l i s a a t o r .

Enne filtrini jõudmist läbib õhuvool veel originaalse konstruktsiooniga ruumkiiruse stabilisaatori.

Reguleeritava avaga kraanil 1 / joon.8/ tekkivat rõhulangut mõõdab diferentsiaalne manomeeter 2. Manomeeter on varustatud kontaktipaariga 3, mis sulgub,

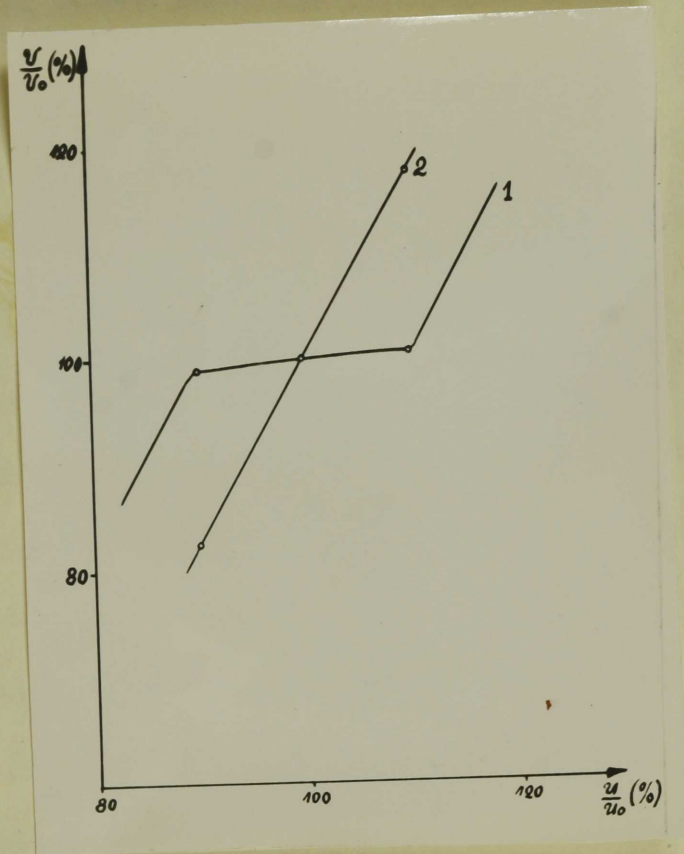
kui rõhulang kraanil ületab 28 mm veesammast.



Joonis 8

Nüüd avanevad relee 4 kontaktid ja lülitavad tolmuimeja 5 vooluringi järjestikku osa a-b reostaadist 6. Mootori võimsus väheneb ja õhu ruumkiirus samuti. Kontaktmano-

meetri kontaktide avanemisel rele 4 kontaktid sulguvad ja lühistavad takistuse a-b mootori vooluringis. Õhu ruumkiirus suureneb jälle. Nii kõigub õhu ruumkiiruse hetkväärtus pidevalt, kuid keskvaartus osutub stabiliseerituks võrgupinge kõikumiste suhtes. Joonisel 9 on esitatud õhu ruumkiiruse keskvaartuse sõltuvus võrgupingest stabilisaatori kasutamisel /kõver 1/.

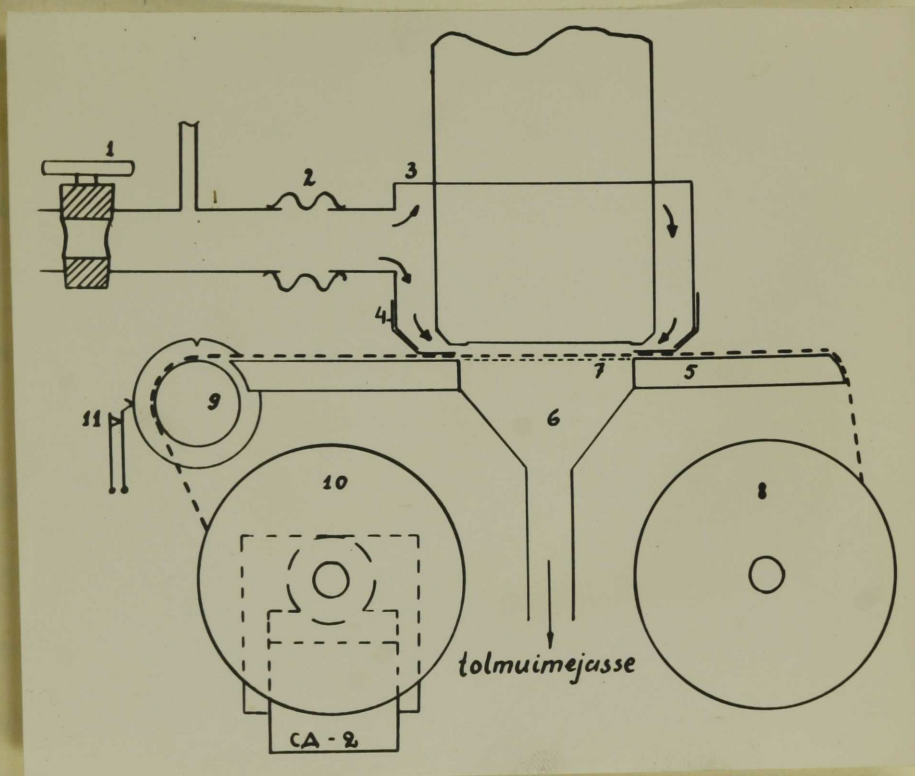


Võrgupinge kõikumisel 20% ulatuses muutub õhu ruumkiiruse keskvaartus alla kahe protsendi. Võrdluseks on joonisel 9 esitatud kõver 2, mis kujutab õhu ruumkiiruse sõltuvust võrgupingest ilma stabilisaatorita.

#### § 4. F i l t r i s õ l m.

Järgmine sõlm õhuvoolu teel on filter. Tingimus, et  $\alpha$ -lagunemisi filtril peab olema võimalik lugeda ka aspiratsiooni ajal, nõuab loendaja asetamist otse aspiratsiooniava kohale, 3 - 4 mm kaugusele filtrist.  $\alpha$ -osakeste loendajana on kasutatud fotoelektronkordistajaga stsintillatsioonloendajat tüüp П - 349-2 . Sõlme konstruktsioon on esitatud joonisel 10.

Stabilisaatorist 1 väljunud õhk juhitakse goffeeritud kummivooliku 2 kaudu stsintillatsioonloendajat ümbritsevasse metallsilindrisse 3. silinari alumine osa on kooniline ja sellele on asetatud veel juhtrõngas 4. Juht-  
rõnga alumine külg on töödeldud peegelsiledaks. Filtrilint laiusega 10 cm /joonisel tähistatud jämeda kriipsoonega/ toetub tasaparalleelsele metallplaadile 5, milles on 70 mm läbimõõduga aspiratsiooniava koos koonilise torujätkuga 6. Aspiratsiooniava ette asetatud peebesilmaline metallvõrk 7 toetab filtrit altpoolt. Kui juhtrõnga siledak-  
lihvitud alumine pind suruda tihedelt vastu filtrit, on ühenda-  
küllalt hermeetiline toaõhu sissepääsemise suhtes. Filtri-



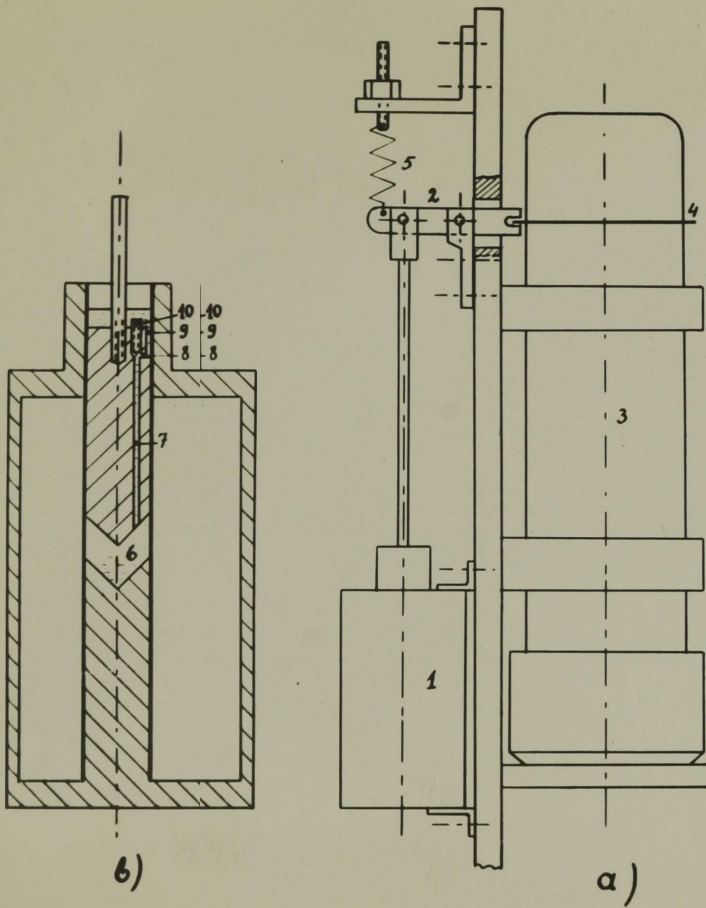
Joonis 10

lindi edasi nihutamiseks tarvitseb vaid mõne mm võrra tösta loendajat koos juhtrõngaga. Juhtrõnga ülesanne on juhtida õhuvool aspiratsioonilava kohale ja katta see osa filtrist, mille all ei ole aspiratsioonilava. /Ilma juhtrõngata neeldus nimetatud filtri osas ca 20 % õhu koguradioaktiivsusest ja läks seega mõõtmisele kaduma/.

Toru jätk 6 juhib õhu 20 mm kummivooliku kaudu kahte paralleelselt ühendatud gaasilugejasse. Gaasilugejate paralleelselt ühendamine on vajalik õhu suure ruumkiiruse  $/350 \frac{1}{\text{min}}/$  tõttu. Gaasilugejad on vajalikud ainult aparatuuri reguleerimise ja katsetamise perioodil. Hiljem, kui standardseid tingimused on välja kujunenud, võib nendest loobuda ja usaldada ruumkiiruse stabilisaatorit.

Aspiraatorina on kasutatud tolmuimejat „Уранец“ mis asub õhutrakti lõpus, gaasilugejate järel.

Jooniselt 10 saame ülevaate ka filtri edasivedamise mehhanismist. Filtrilint on keritud poolile 8. Sealt liigub ta juhtliistude vahel aspiratsiooniva eest läbi üle mõõdurulli 9 vedavale poolile 10. Kogu mõõtmistsükli vältel on juhtrõngas vastu filtrit surutud ja filter ei liigu. Puhta filtriosa aspiratsiooniva ette liikumine toimub tsükli lõpus. Sel ajal tõuseb loendaja koos juhtrõngaga automaatselt 7 - 8 mm võrra, vedav pool pöörleb elektrimootori  $\text{CA} - 2$  jõul ja filtrilint liigub aspiratsiooniva eest mööda üle mõõdurulli 9 poolile 10. Hõõrdumise mõjul pöörleb kaasa ka mõõdurull. Kui viimane on teinud täispöörde, avaneb kontaktipaar 11 ja lülitab elektrimootori välja. Mõõdurulli ümbermõõt on valitud niisugune, et üks täisring kindlustaks uue puhta kaadri aspiratsiooniva ette jõudmise.



Nagu nägime, on filtri edasilüügamiseks vaja tösta stsintillatsioonloendajat. Jeda teeb elektromagnetiline mehhanism /joonisel 11 a/.

Elektromagnet 1 on varde kaudu ühendatud kangil 2 vasaku õlaga. Kangil parem õlg moodustab kahvli, mis haarab stsintillatsioonloendaja 3 külge kinnitatud metallrõngast 4. magneti ankru sissetõmbumisel tõuseb kangil parem õlg ja sellega koos ka stsintillatsioonloendaja 8 mm võrra. Vedru 5 tõmbe mõjul liigub magneti ankur algasendisse tagasi, stsintillatsioonloendaja langeb alla ning tema alumises osas olev juhtrõngas liubub tihedalt vastu filtrit.

Suuri nõudeid esitatakse elektromagnetile 1. Kõigepealt peab ta arendama küllalt suurt tungi võrdlemisi pika käigu /kuni 10 mm/ ulatuses, et ületada vedru 5 pinget ja tösta rasket stsintillatsioonloendajat. Stsintillatsioonloendaja on väga tundlik raputuste suhtes. Seega lisaks tugevale jõule ja pikale käigule peab magneti tõmme olema veel sujuv. Joonis 11 b kujutab elektromagnetit, mis rahuldab kõiki neid nõudeid.

Mähis koosneb 5600 keerust 0,41 mm läbimõõduga vasektraadist ja omab takistust 90 oomi. Elektromagnet on arvestatud 110 v tööpingele ja 1 min tööajale. Amperkeerude arv tuleks 6850. Sellest piisab kuni 4 kg tõmbejõuks 10 mm kauguselt. Tõmbekarakteristiku ühtlustamiseks on kasutatud koonilist stoppi. Sujuv tõmme saavutatakse õli-

amortisatsioonil abil. Õhupilu 6 /joon.11 b/ on täidetud õliga. Pikikanal 7 koos ristkanali 8 ja väljalõikuga 9 ühendavad õhupilu ankrupealse ruumiga. Ankrutõmbumisel väljub õli õhupilust nimetatud kanaleid mööda ankrupealsesse ruumi. Kanali takistust ja seega ankru liikumise kiirust saab reguleerida kruvi 10 abil. Kui ankur vedru mõjul tõuseb, liigub õli sama teed mööda tagasi.

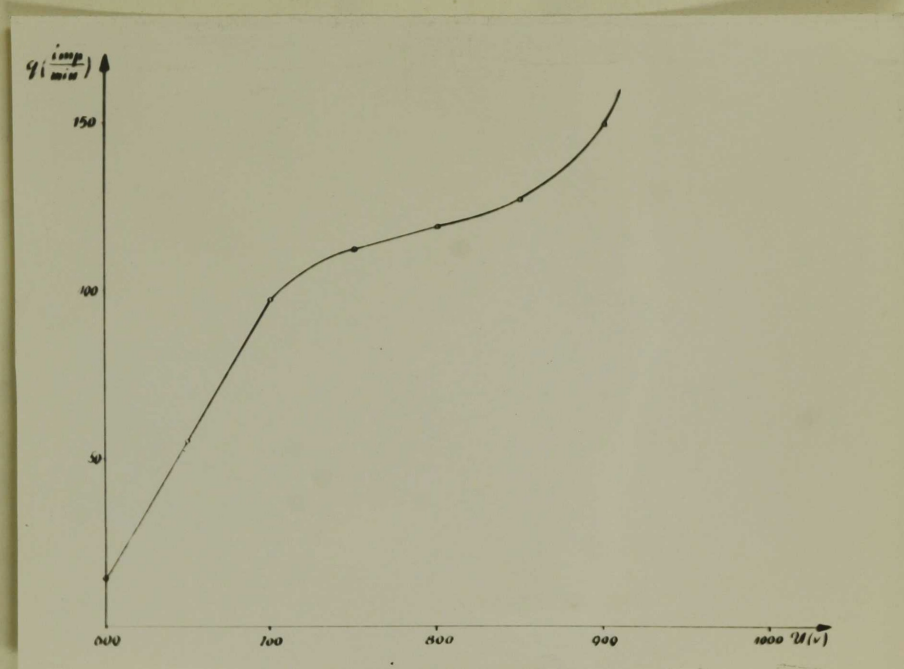
Elektromagnet on konstrueeritud töötamiseks vertikaalasendis.

## § 5. Alfa-osakeste loendaja ja kõrgepingeallikas.

Fotoelektronkordistajaga stsintillatsioonloendaja П -349-2 koosneb õhukesest stsintilleerivast ekraanist /ZnS/ , koonilisest valgusejuhist, fotokordistajast ФЭУ -19 M ja ühest võimendusastmest koos katoodjärgijaga /6H 3П/. Skeem on standardne. Loendaja akna pindala on  $38,4 \text{ cm}^2$ . Valguse varjamiseks on akna ette asetatud alumiiniumfoolio, Standardpreparaadi puudumisel ei ole loendaja efektiivsust õnnestunud täpselt määrata. Teatmik[27] on valgusjuhtme ja alumiiniumfoolioga kaetud aknaga töötamisel antud loendaja efektiivsuseks 10 %.

Ekspérimentaalselt määratud loenduskarakteristik

/joonis 12 / omab platood kallakuga 0,15  $\frac{\%}{V}$  pingete vahemikus 720 kuni 860 V. Platoo olemasolu aga lubab ole-  
tada siiski suuremat efektiivsust kuni 10 %.



Joonis 12

Loendaja tööpingeks on valitud 800.V. Kui piirame loendaja toitepinge kõikumisest põhjendatud mõõtmisvea 1 % -ga, peab kõrgepingeallikas olema stabiliseeritud 0,8 % täpsusega. Enamik standardseid kõrgepingeallikaid /BC - 9, „Opex“, „флюкс“ / rahuldavad seda tingimust.

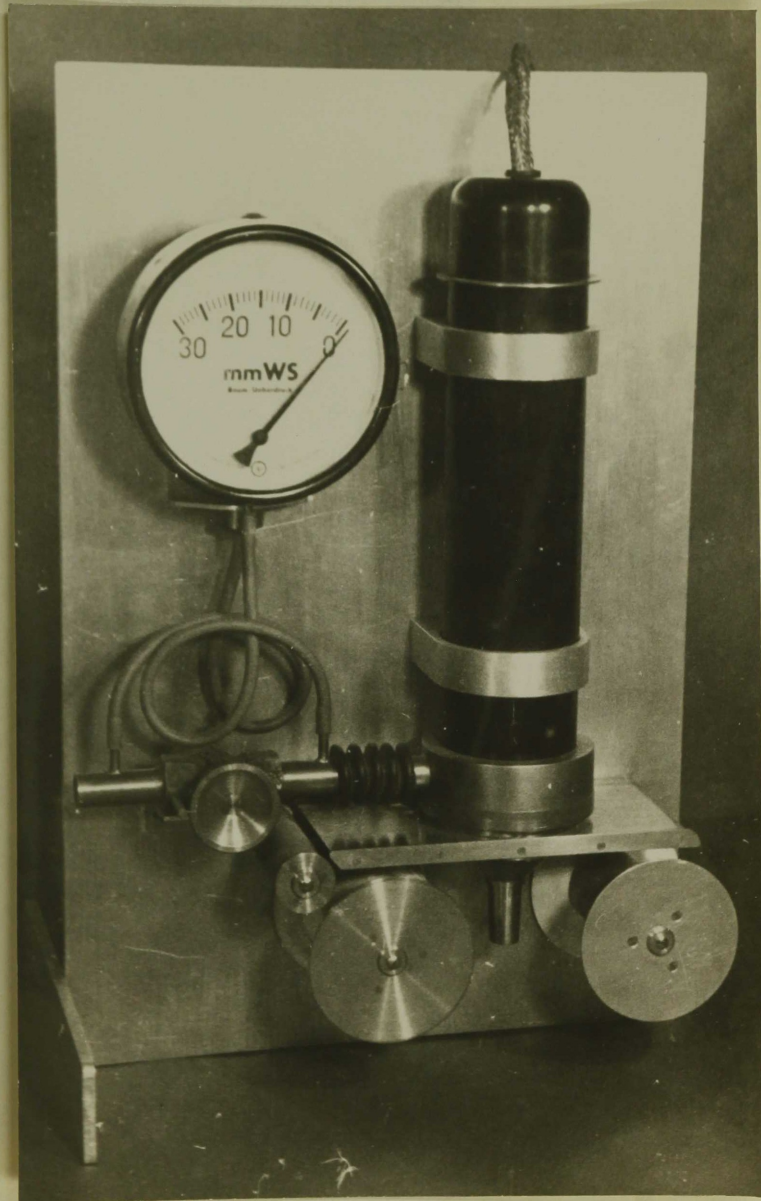


Foto 13

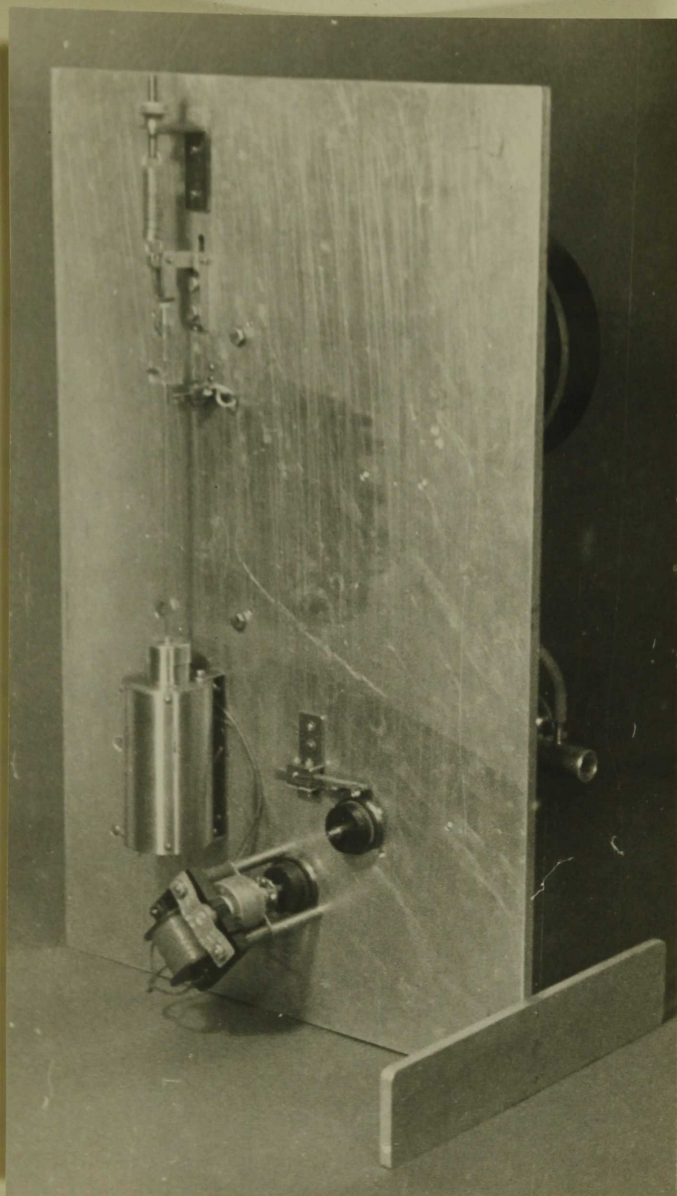


Foto 14

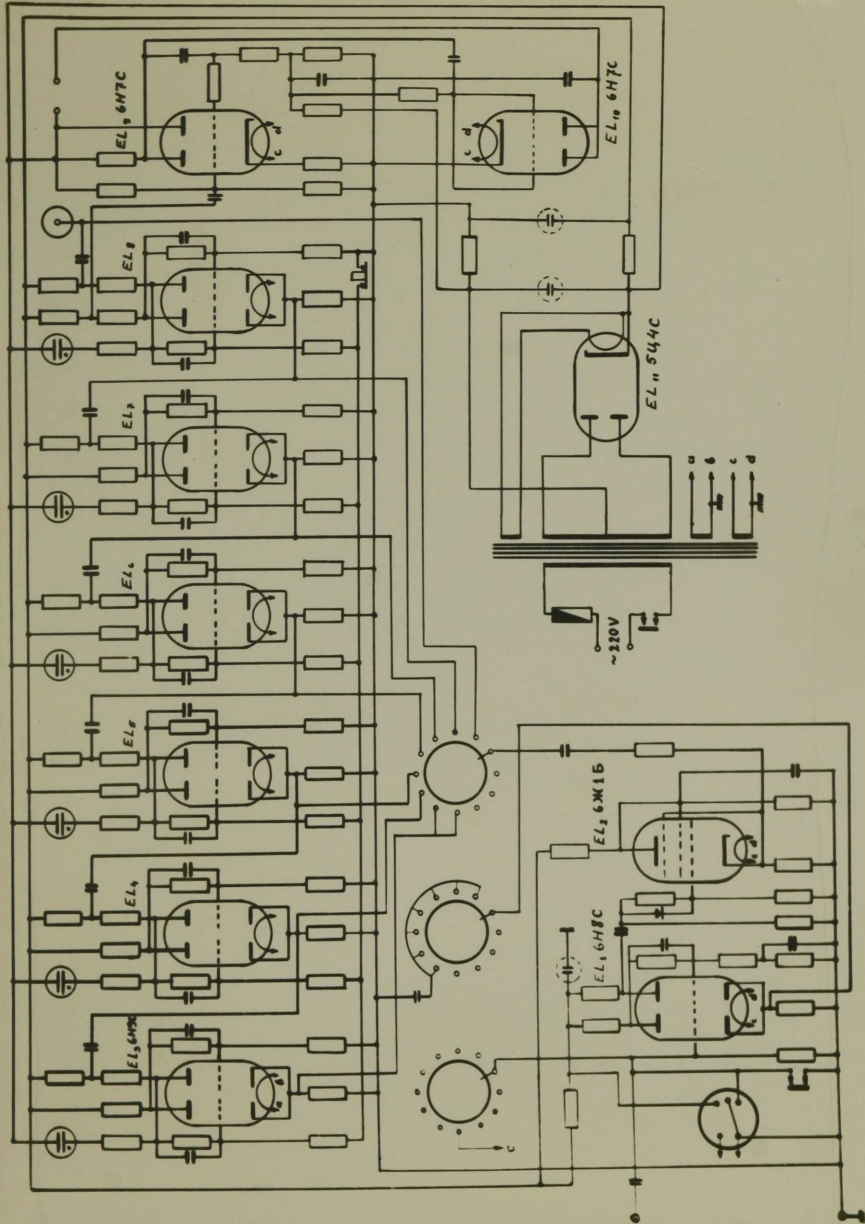
Fotodel 13 ja 14 on kujutatud filtrisõlm koos loendaja ja õhuvoolu kiiruse stabilisaatoriga eest- ja tagantvaates. Tagantvaates on näha ka loendaja tõstmise mehhanism.

§ 6. Mõõtepiirkondade ümberlülija, täiendav kahendloendaja ja võimsusaste.

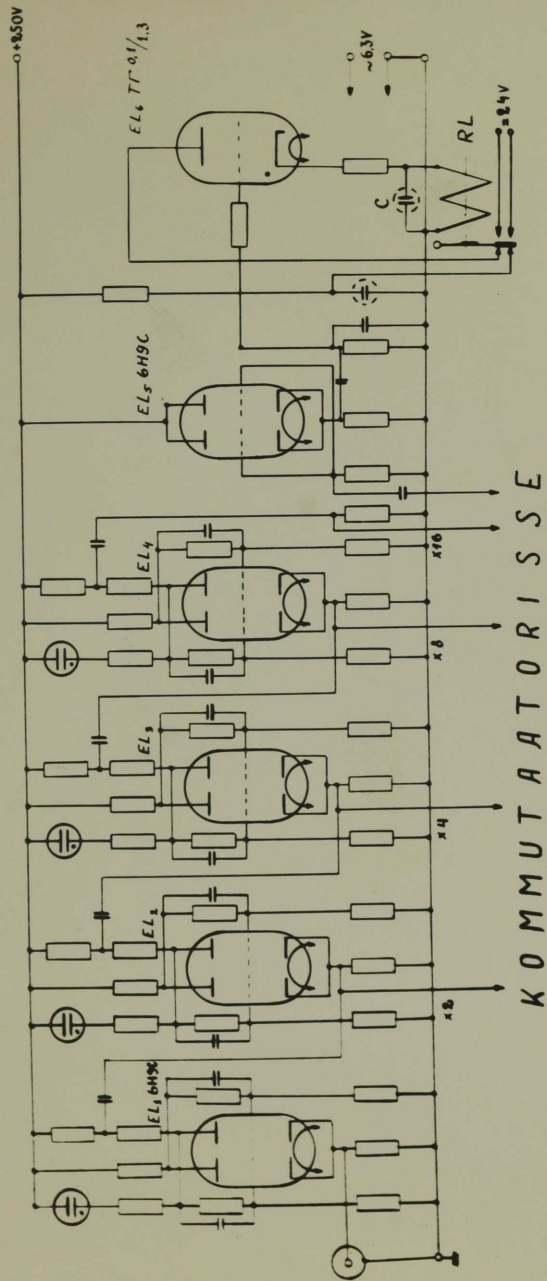
Mõõtepiirkondade astmeliseks muutmiseks kasutatakse tööstuslikult toodetavat kuueastmelist kahendloendajat ПС - 64 М, mille skeemis on teostatud mõningaid muutusi.

Schmidt'i trigeri  $EL_1$  / joonisel 15/ väljundimpulsid, läbinud diferentseeriva ahela ja diodipiiraja satuvad katoodejärgija  $EL_2$  võrele. Katoodejärgija katoodist juhitakse impulsid ümberlülija kaudu kahendloendustrigerite katoodidele. Lülitite pööramine ühe astme võrra muudab mõõtepiirkonda 2 korda. Viimase trigeri vasakpoolsest anoodilt võetakse impulsid mehaanilise numeraatori kalvitamiseks, parempoolsest anoodilt juhitakse impulsid koaksiaal-kaabli kaudu täiendavasse kahendloendajasse. Ülejaanud osas on skeem standardne.

Täiendav kahendloendaja /joonis 16/ on vajalik mõõtepiirkondade laiendamiseks suuremate kontsentratsioonide suunas. Kahendloendaja on nelja-astmeline, võimaldades mõõtepiirkondi suurendada vajaduse korral kuni 16 korda.



Joonis 15



K O M M U T A A T O R I S S E

Täiendava kahendloendajaga samale klassile on monteeritud ka võimsusaste /joonis 16/. Sõltuvalt vajadusest kas parast esimest, teist, kolmandat või neljandat täiendava kahendloendaja astet satuvad impulsid katoodjärgija  $EL_5$  võrele. Läbi lahtisüestusskeemi süütab positiivne impulss tiratroni  $EL_6$ . Kondensaator  $C$  laadub kuni rele  $RL$  tööle hakkamiseni. Rele kontaktid katkestavad tiratroni anoodvoolu ja tiratron kustub. Samal ajal aga ühendub teine kontaktipaar, mis asub mälu potentsiomeetrite impulssmootorite 24 V alalisvoolu ahelas. Kondensaatori  $C$  mahtuvus koos rele mahisetakistusega määrab rele töötamise aja, seega ka alalisvoolu impulsi pikkuse impulssmootorite vooluahelas.

Niisugune tiratronrele ei ole eriti suure töökiirusega /ca 3 korda sekundis/, tema eeliseks on aga suure anoodvooluga võimsuslampide puudumine.

## § 7. Mäluseadeldis. Modelleeriv elektronskeem.

vastutusrikas osa mõõtmisprotsessis langeb mälu seadeldisele.

Mäluseadeldis koosneb viiest ühesugusest mälu sõlmest. Mälu sõlm omakorda jaguneb kaheks iseseisvaks osaks: mälu potentsiomeetriks, mille liikuvalt kontaktilt saame vajaliku väljuvpinge, ja impulssmootoriks, mis muudab potentsiomeetri

liikuva kontakti pöördenurka võrdeliselt võimsusast-  
mest saabuvate alalisvoolu impulsside arvuga. Seega on  
pinge potentsiomeetri liikuvale kontaktile võrdeline  
 $\alpha$  - lagunemiste arvuga filtril.

Mehaaniline mäluseadeldis /potentsiomeetri pöörde-  
nurk on mehaaniline suurus/ on valitud sellepärast, et  
võrrandisüsteemi modeleeriva skeemi seisukohalt on aja-  
vahemikus  $t_1 + t_2$  loetud impulsside arvu kasulik esi-  
tada vahelduvpinge kujul. Kondensaatorimalu oleks kons-  
truktsioonilt lihtsam, kuid võimaldaks impulsside arvu  
esitamist ainult alalispinge kujul.

Fotol 17 on kujutatud üks mälusõlm. Potentsiomeetri  
takistustraata on keritud õhukesele tekstoliitribale 1  
ja asetatud silindrikujulisele bakeliitalusele 2.

Liikuv hõbekontakt 3 on joodetud elastsest pronks-  
plekist ribale 4, mis omakorda on kinnitatud  $C\pi$  -tüüpi  
potentsiomeetri 5 tsentraalse kontakti külge. Potent-  
siomeetrist  $C\pi$  on ära kasutatud ainult võlli, liugkon-  
takti libisev ühendus ja klemmid, takistuskeha on eemal-  
datud.

Impulssmootoritena 6 on kasutatud elektromag-  
netilisi numeraatoreid, mille üks täisring on jaotatud  
sajaks osaks. Seega on mälusõlme täpsus 1 % täisringust.  
Käesolevate mõõtmiste juures see rahuldab .

Potentsiomeetri võllile impulssmootori ja potentsio-

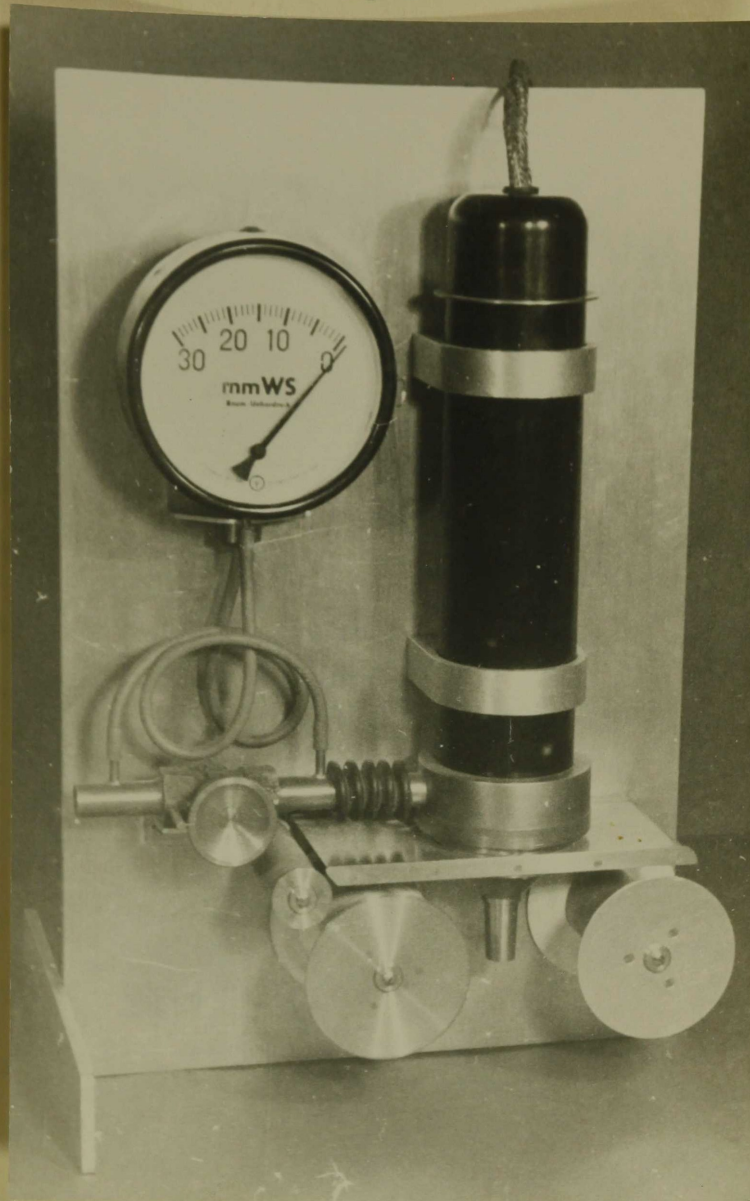


Foto 17

meetri kere vahele on asetatud ratas 7, millel libiseb kontaktipaari 8 tõukur. Normaalasendis on kontaktid suletud. Ainult tõukuri sattumisel süvendisse, mis on viilitud ratasse 7, avanevad kontaktid. See on malusõlme nullseis.

Mäluseadeldises salvestatud ja malupotentsiomeetrite väljundpinge kujul esitatud mõõtmistulemused N<sub>0</sub><sup>36</sup>... N<sub>122</sub><sup>345</sup>

juhitakse elektronskeemi, mis modelleerib võrrandisüsteemi /19/.

Modelleerivate skeemide töötamise põhimõtet me siinkohal ei puuduta. Seda võib leida kirjandusest [13, 15]. Kuna võrrandisüsteemi /19/ elektriline mudel on diplomitöö käigus üksikasjaliselt välja töötamata, siis me sellel pikalt ei peatu. Märkime vaid, et modelleerivalt skeemilt vajaliku arvutustäpsuse / kuni 1% lahendi maksimaalväärvaartusest / kättesaamine ei tohiks osutuda eriti raskeks. Viie võrrandi süsteemi mudel ei kujune ka eriti keeruliseks. Viis operatsioonivõimendajat sisaldavad igauks kuni kaks elektronlampi. Vahelduvpinge kasutamine lihtsustab tunduvalt võimendajate konstruktsiooni. Suurt tähelepanu tuleb pöörata faasimoonutuste vältimisele operatsioonivõimendajates, sest faasimoonutused põhjustaksid suuri "arvutusvigu".

Võrrandisüsteemi /19/ viis lahendit saame katte pingete kujul modelleeriva skeemi teatud punktides. Meid saab registreerida mitmekanalilise isekirjutaja abil. Võimalik, et õnnestub kasutada vahelduvpingelist potentsiometer-lülitust.

## § 8 . P r o g r a m m s e a d e l d i s .

Programmseedeldise abil juhitakse automaatse registreeritori tööd kogu mõõtmistsükli vältel. Programmseedeldis

koosneb kolmest põhisõlmest - minutiimpulsside generaatorist, minutiimpulsside programmeeritud jaotajast ja sammvalijast.

Minutiimpulsside generaator /foto 18/ on ehitatud sünkroonmootori  $CA-2$  baasil. Hammasratasülekanne abil

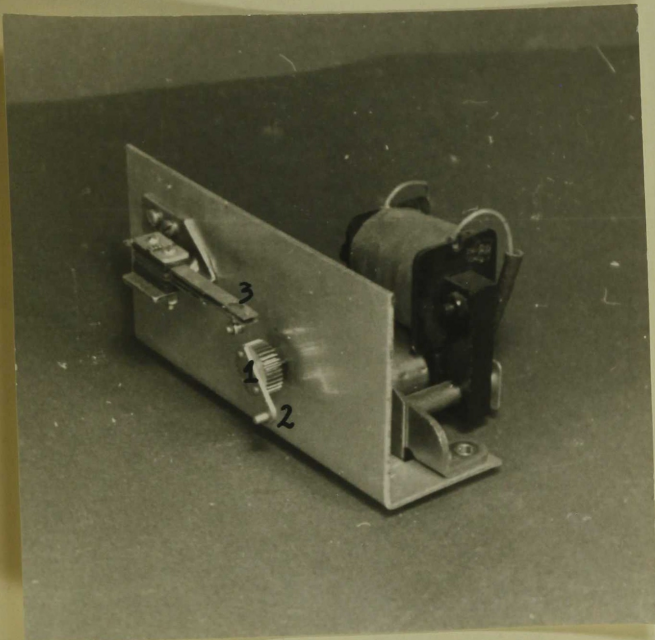


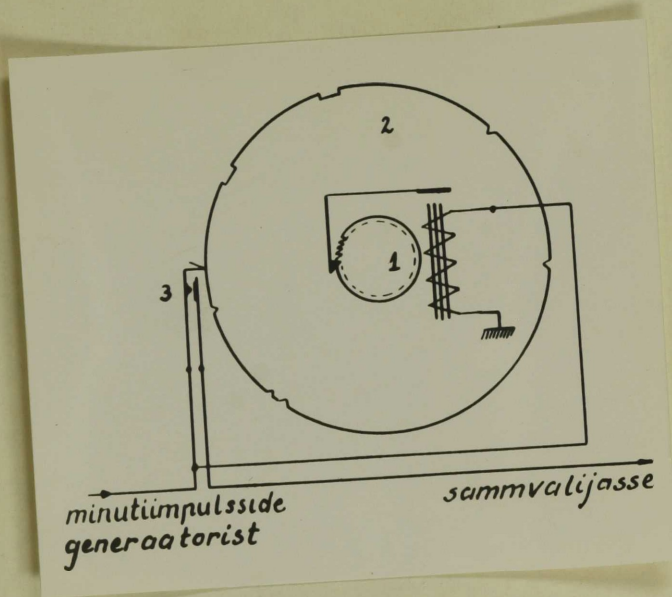
Foto 18

on mootori pöörete arvu vähendatud ühe pöördeni minutis /võlli 1/. Võlli 1 otsa on kinnitatud tõukur 2, mis iga pöörde juures ühendab alalisvoolu ahelas asuva kontaktipaari 3. Nii saame alalisvoolu impulsse pikkusega umbes 3 sekundit. Minutiimpulsside täpsuse määrab võrgusagedus.

Minutiimpulsside programmeeritud jaotaja ülesanne on järgmine. Kui saabunud ajamomendil on tarvis muuta süs-

teemi olekut, s.t. teostada temas mingeid ümberlüüimisi, siis minutiimpulsside jaotaja laseb impulsi läbi sammvalijasse, mis liigub edasi ühe sammu võrra. Kui aga antud ajamomendil süsteemi olekut ei ole vaja muuta, siis programmeeritud jaotaja minutiimpulssi läbi ei lase.

Minutiimpulsside jaotaja töö\_põhimõte selgub jooniselt 19.



Joonis 19

Iga minutiimpulss pöörab 360-hambalise impulssmootori 1 abil 1° võrra pleksiklaasist ketast 2. Ketta perimeetril libiseb kontaktipaari 3 kiilukujuline tõukur. Normaalseisundis on kontaktid avatud. Kui aga minutiimpulssi on tarvis läbi lasta sammvalijasse, langeb tõukur kettasse viilitud kiilukujulisse süvendisse 4 ja kontaktid sulguvad. Konstruktsiooni eeliseks on programmi koostamise

võimalus kuni 1 minuti täpsusega, samuti programmi ümbermuutmise lihtsus /tuleb täis täita mittevajalikud süvendid kettas ja viilida uued /. Puuduseks on asjaolu, et ühele minutile vastab  $\sim 1$  mm pikkune lõik ketta perimeetril. See nõuab süvendite asetuse ja kuju väga suurt täpsust ning keelab vähimagi logisemise võlli ja hammasrataste süsteemis.

Foto 20 kujutab minutiimpulsside jaotajat valmiskujul.

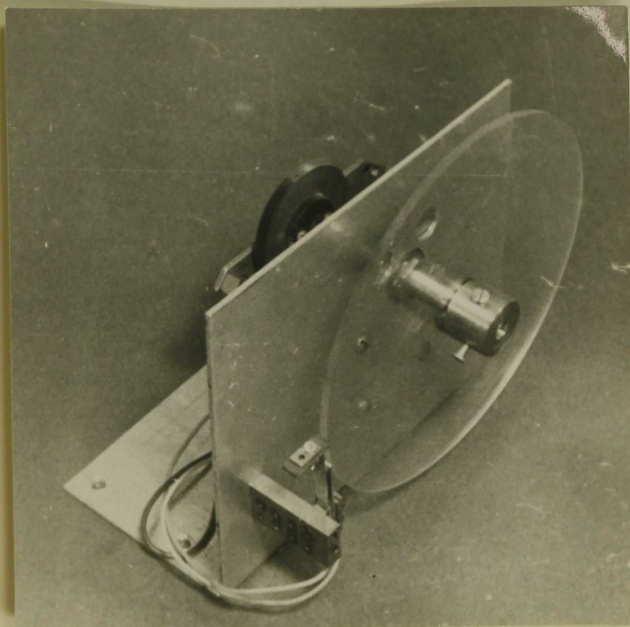


Foto 20

Sammvalija ülesandeks on programmkettalt saabunud käsu peale teostada kõik vajalikud ümberlülitused. Kasutatud on tüüpi *WN* -50 /foto 21/, mis omab neli

kanalit, igaüks viiekümne erineva asendiga.

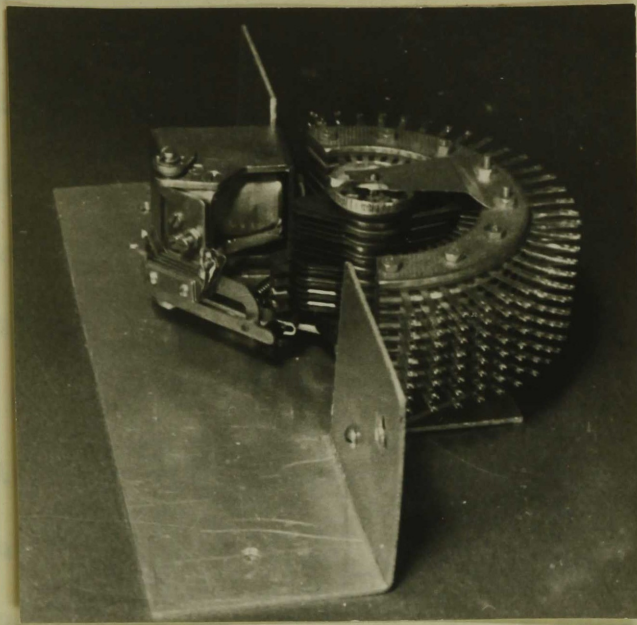


Foto 21

§ 9. Automaatse registraatori  
töötükkel ja üldine skeem.

Olles tutvunud automaatse registraatori kõigi sõlmede ehitusega, asume seadme kui terviku tööd vaatlema. Sõlmede vaheliste ühenduste skeem on toodud joonisel 22.

Süsteemi tööd juhib programmseadeldis /minutiimpulsside generaator 1, impulsside jaotaja 2 ja sammvalija 3/. Vaatleme kõigi sõlmede koostööd ühe mõõtmistsükli

/ 6 tunni/ jooksul.

Algab 1.minut. Kontaktipaar 4 on suletud ja minuti-impulss antakse edasi sammvalijale, mis siiani asus nullseisus. Sektsioonid 5,6,7 ja 8 astuvad ühendusse esimese kontaktiga /igas sektsioonis on 50 kontakti, kuid joonisel on välja joonistatud ainult 25/. Sektsioon 5 annab toitepinge releele 9, mis ühendab tolmuimeja vooluringi. Algab aspiratsioon.

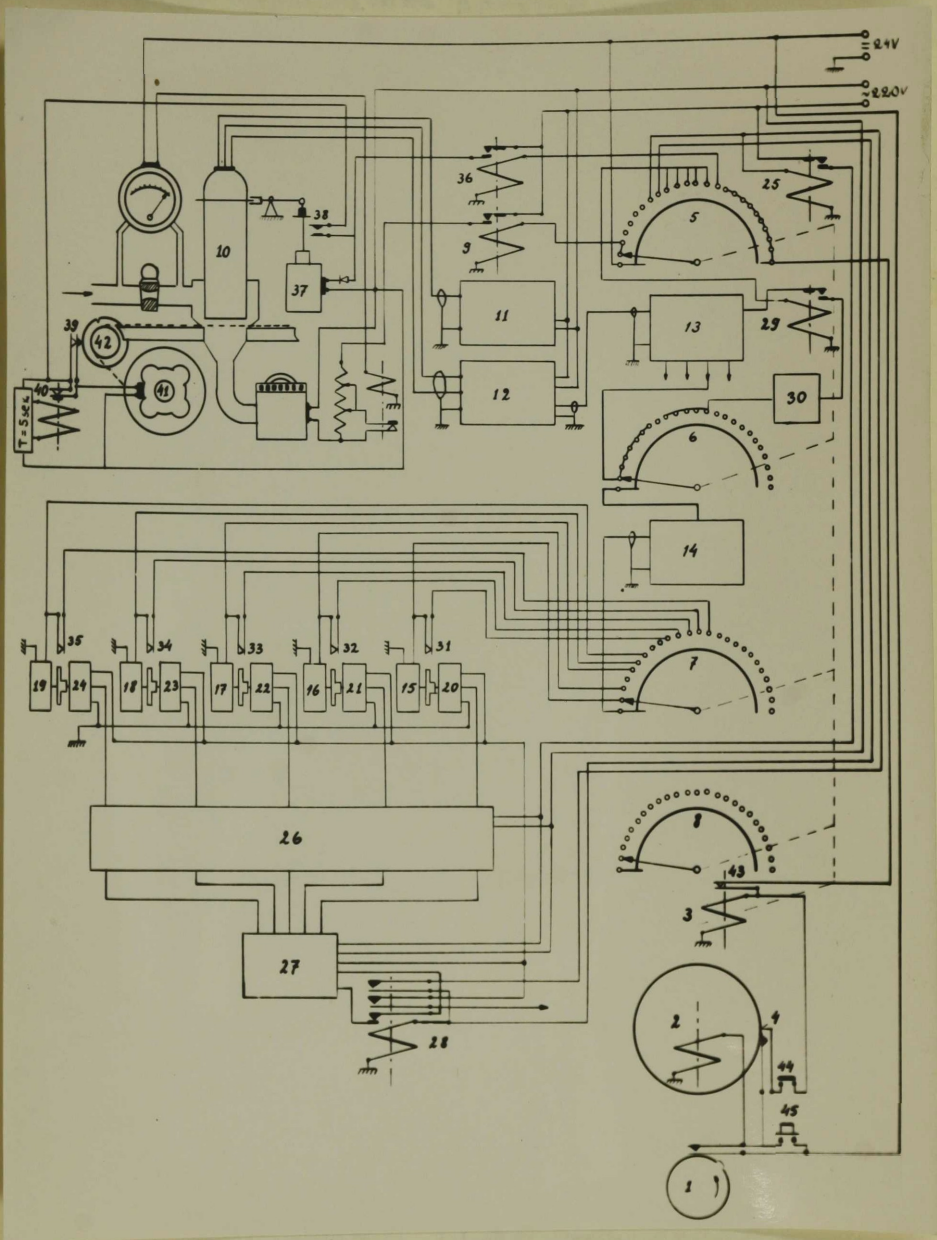
Kogu tsükli vältel on tööolukorras loendaja 10 koos kõrgepingeallikaga 11, mõõtepiirkondade ümberlüüja 12, täiendav kahendloendaja 13 ja võimsusaste 14. Sõlmest 12 saab toitepinge ka loendaja juurde kuuluv eelvõimendaja. Seega filtri radioaktiivsuse mõõtmise süsteem on pidevas tööolukorras.

Täiendava kahendloendaja sobivalt astmelt võetud impulsid /kordsus 2,4,8 või 16/ juhitakse sektsiooni 6 kontaktidele 1 - 7. Sektsiooni 6 tsentraalne klemm on ühenduses võimsusastme 14 sisendiga, võimsusastme väljund aga sektsiooni 7 tsentraalse klemmiga. Loendaja impulsid jõuavad /sobivalt ümberloendatuna/ juba alates esimesest minutist sektsiooni 7 tsentraalsele kontaktile. Sektsiooni 7 ülesandeks on impulsside jaotamine mälusõlmede impulssmootorite 15,16,17,18 ja 19 vahel. Sektsiooni esimene kontakt on ühenduses esimese mälusõlme impulssmootoriga 15. Iga saabunud impulss pöörab potentsiomeetrit 20 1/100

taisringi võrra. Kirjeldatud olukord püsib muutumatuna esimese 36 minuti jooksul /s.t. 35 järgneva minutiimpulsi jaoks on kontaktid 4 avatud ja impulsid sammvalijani ei pääse/ .

37. minuti algust tähistava impulsi jaoks on kontaktid 4 suletud ja impulss viib sammvalija järgmisse, teise asendisse. Sektsiooni 5 esimene ja teine konstant on ühendatud ning mingisuguseid muutusi ei toimu- aspiratsioon kestab edasi. Sektsioonis 6 jääb olukord samuti muutumata. Sektsioon 7 aga lüübib impulsid ümber teise mälusõlme impulssmootorile 16. Hakkab pöörduma potsentsiomeeter 21. Süsteem on niisuguses asendis kuni 45./incl./ minutini. 45. minuti lõppu tähistav minutiimpulss nihutab sammvalija kolmandasse asendisse. Sektsioon 5 katkestab aspiratsiooni. Sektsioonides 6 ja 7 muutusi ei toimu - impulsid juhitakse ka edaspidi teise mälusõlme. Alles 56. minuti lõppu tähistav impulss viib sammvalija neljandasse asendisse, mille tulemusena hakkab täituma kolmas mälusõlm /mootor 17 ja potsentsiomeeter 22/ . Edasi 81. minuti lõpus lülitatakse impulsid ümber neljandale ja 122. minuti lõpus viiendale mälusõlmele /sektsiooni 7 viies ja kuues kontakt/ .

Ka 325 minuti lõppu tähistav impulss viib sammvalijat ühe astme võrra edasi. Sektsioonides 7 ja 8 see mingeid



muutusi esile ei kutsu, sest kuues ja seitsmes kontakt on omavahel ühenduses ja võimsusaste 14 jätkab impulsside vastuvõtmist täiendavast kahendloendajast 13 ning nende edasiandmist viiendasse mälusõlme. Sektsiooni 5 seitsmenda klemmi kaudu saab aga toitepinge rele 25, mis lüübib toitevoolu /  $\approx 220$  V / modeleerivasse skeemi 26 ja isekirjutavasse potentsiomeetrisse 27. Kahekümne järgneva minuti jooksul viimatinimetatud riistad soojenevad ja saavutavad normaalse tööseisundi.

Järgmise sammu teeb sammvalija 345 minuti lõpus, astudes ühendusse kaheksanda kontaktiga. Impulsside loegemise protsess lõpeb; võimsusaste eraldatakse täiendavast kahendloendajast /sektsioon 6/ ning mälu-potentsiomeetrid võimsusastmest /sektsioon 7/. Sektsioon 5 annab toitepinge releele 28, mille /joonisel/ alumine kontaktipaari lülitab sisse isekirjutaja diagrammimootori, keskmise kontaktipaari kaudu pingestatakse mälu-potentsiomeetrid ning ülemise kontaktipaari abil säilitatakse toitepinge rellel 25.

Kolme minuti jooksul jõuab isekirjutaja üles märkida pinged modeleeriva skeemi viies vajalikus punktis, 348. minuti lõpus jõuab sammvalija üheksanda kontaktini ning releede 25 ja 28 kontaktid avanevad. Sektsioon 5 lülitab rele 29 abil toitepinge impulsside generaatorile, mis annab ca 2 impulssi sekundis. Toitepinge saab generaator täiendavast kahendloendajast 13. Genereeritud impulsid

juhatakse sektsiooni 6 kontaktidele 9 ... 13. Võimsusastme 14 seisundit ühendatakse kordamööda nende kontaktide külge. Võimsusastme väljundit kommuteeritakse aga vastavalt kõigi mälusõlmede impulssmootoritega kontaktipaaride 31, 32, 33, 34 ja 35 kaudu. Kontaktide tõukurid libisevad potentsiomeetrite telgedel asuvatel ketastel. Ketastesse on viilitud süvendid, nii et potentsiomeetrite nullseisus kontaktid avanevad. Seega iga järgneva sammvalija sammuga pöörduv üks mälu-potentsiomeeter kuni täisringini, st. nullseisu saavutamiseni. Kuna iga mälusõlme nullistamiseks on arvestatud 1 minut, on 353. minuti lõpuks kõik mälu-potentsiomeetrid viidud nullseisu.

Nüüd jõuab järjekord sammvalija neljateistkümenda kontaktini. Sektsioonides 6 ja 7 on see kontakt vaba. Sektsioon 5 lülitab aga pingereleele 36. Sulgub loendajat tõstava elektromagneti 37 vooluring. Kui magnet on kokku tõmbunud /loendaja on jõudnud ülemisse äärmisse seisusse/, sulguvad kontaktid 38, mis asuvad filtrit edasivedava elektrimootori 41 vooluahelas. Samas vooluahelas asuvad veel kontaktid 39, mille tõukur libiseb mõõdurulliga 42 ühisele teljele kinnitatud süvendiga rattal, ning aegrelee /  $T = 5$  sek / kontaktid 40. Voolu sisselülitamise hetkel asub kontaktipaari 39 tõukur rattasse viilitud süvendis ning kontaktid on avatud. Elektrimootori vooluringi sulevad aga kontaktidega

39 paralleelselt lülitatud kontaktid 40. Mootori jõul liigub filtrilint edasi ning pöörab mõõdurulli 42. 2-3 sekundi möödumisel väljub kontaktipaari 39 tõukur süvendist ning kontaktid sulguvad. Varsti avanevad aegrelee kontaktid, kuid mootori vooluahel jääb ikkagi suletuks tänu kontaktidele 39. Mootor töötab niikaua, kuni mõõdurull teeb täisringi, kontaktipaari 39 tõukur satub uuesti süvendisse ning kontaktid avanevad. Kuna ka aegrelee kontaktid on nüüd avatud, siis mootori vooluahel katkeb. Kogu protsess kestab 20- 25 sekundit. Minuti lõpus /tsükli on see 354. minut/ liigub sammvalija edasi viieteistkümneenda kontakti juurde, relee 36 katkestab elektromagneti ja aegrelee toitevoolu, elektromagneti ankur liigub vedru mõjul üles ja kontaktid 38 avanevad. Aegrelee toitevoolu katkemisega aga sulguvad kontaktid 40. Seega võib kogu protsess jälle korduda järgmise tsükli lõpus.

Alates viieteistkümneandast kontaktist kuni viiekümneandani on sektsiooni 5 kõik kontaktid ühendatud kontaktipaari 43 kaudu sammvalija enese vooluringi. Toimub sammvalija iseseisev pöördumine algasendisse.

Seega on 354. minuti lõpuks mõõtmistsükkel lõppenud, kõik sõlmed on viidud algseisu ning kogu süsteem on valmis tsükli kordama. Ajavahemikku 354. minuti lõpust kuni 360. minuti lõpuni võib kasutada jooksvaks remondiks ja "kella" õigeksseadmiseks. Ette tulevate

manipulatsioonide teostamiseks ongi programmi vooluringi asetatud tumbler 44 ning surunupplülitid 45.

Kommutatsiooni lihtsustamise huvides, samuti seetõttu, et osutus võimalikuks kasutada standardseid sisselülitatud toiteseadmetega sõlmi, on loobutud tsentraalsest toiteblokist ning kõiki elektronseadmeid toidetakse otse 220 V vahelduvvoolu võrgust. Releede toiteks aga on ette nähtud 24 V alalisvoolu allikas. Mälupotentsiomeetreid pingestatakse rangelt siinuselise vahelduvpingega, mida saadakse eri transformaatorest /joonisel 22 kujutatud ei ole/.

## VII. Filtri efektiivsuse määramine.

Käesolevas töös on kasutatud filtrit  $\phi\Pi\Pi$  -15-1,7. Nimetatud filtrit toodetakse  $1,5 \times 0,5 \text{ m}^2$  suuruste kangastena. Kuna seadeldis on ette nähtud 10 cm laiuse lindikujulise filtri jaoks, siis tuli kangastest tahvelkäärde abil lõigata sobivate mõõdetega ribad.

Üheks raskemaks küsimuseks filtermeetodi puhul on filtri efektiivsuse määramine. Petrjanovi filtrite kohta leidub kirjanduses andmeid vaid väikeste õhuvoo tiheduste  $/ 1 - 2 \frac{1}{\text{min cm}^2} /$  ja suurte mõõdetega osakeste puhul. Käesolevas töös neid kasutada ei saa. Filtri efektiivsust õnnestus kindlaks määrata järgmisel meetodil.

Osutus, et kui õhku imeda läbi kahe üksteise järel asetatud analoogse filtri, nii et mõlemad on täpselt samades tingimustes, siis õhuvoo tiheduse puhul ca  $1/\frac{1}{\text{min cm}^2}$  oli teise filtri radioaktiivsus praktiliselt null. See tähendab, et kõik radioaktiivsed osakesed, mille suhtes filtri efektiivsus erineb nullist, peetakse kinni esimesel filtril, ülejäänud radioaktiivne aine aga läbib takistamatult mõlemad filtrid. Osakesi mille suhtes filtri efektiivsus oleks nulli ja ühe vanel, õhus ei ole.

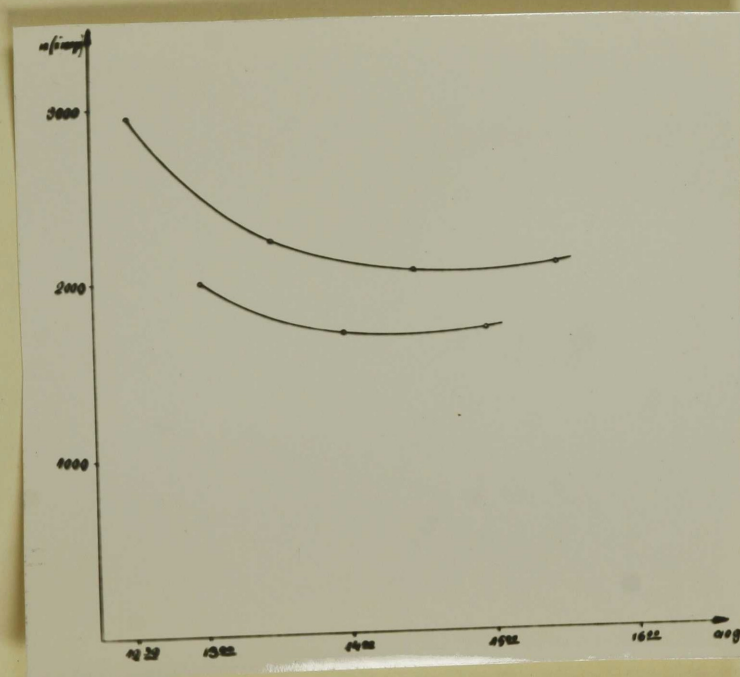
On teada, et emanatsioonid üldiselt välja ei filtreeru

ja läbivad takistamatult mõlemad filtriid. Emanatsioonide laguproduktid aga on seotud aerosooli osakestega mille mõõdeted on enamikus  $0,005 + 0,035 \mu$  piires ning mis moodustavad pideva spektri. Seega kui osutub, et teise filtri radioaktiivsus on null, võime väita, et esimese filtri efektiivsus on 100 % kõigi õhus leiduvate emanatsioonide laguproduktide suhtes. Võimalus, et filtri efektiivsus ka mõnesuguste mõõdetega radioaktiivse aerosooli osakeste jaoks on null jääb välja sellepärast, et siis peaks aerosooli spektri pidevuse tõttu õhus olema ka niisuguseid osakesi, mille suhtes filtri efektiivsus on nulli ja ühe vahel. Katsest aga tegime järelduse, et niisuguseid osakesi ei ole.

Omades tuntud efektiivsusega filtrit võib sellega võrdlemise teel määrata kindlaks tundmatute filtritüüpide efektiivsuse, samuti võib teostada võrdlusi mitmesuguste õhuvoo tiheduste jaoks. On leitud kõver filtri  $\phi \Pi \Pi - 15 - 1,7$  efektiivsuse sõltuvuse kohta õhuvoo tihedusest.

15 minuti jooksul aspireeriti läbi ümarguse  $19,6 \text{ cm}^2$  pindalaga filtri 565 l keldriõhku. Täisava puhul oli õhuvoo tihedus  $1,92 \frac{1}{\text{min cm}^2}$ . Pärast seda loeti 25 minuti jooksul  $\alpha$ -lagunemisi filtril. Poole-tunnise vaheaja järel / mis kulus impulsside lugemiseks/ aspireeriti sama aja jooksul samasugune hulk õhku läbi

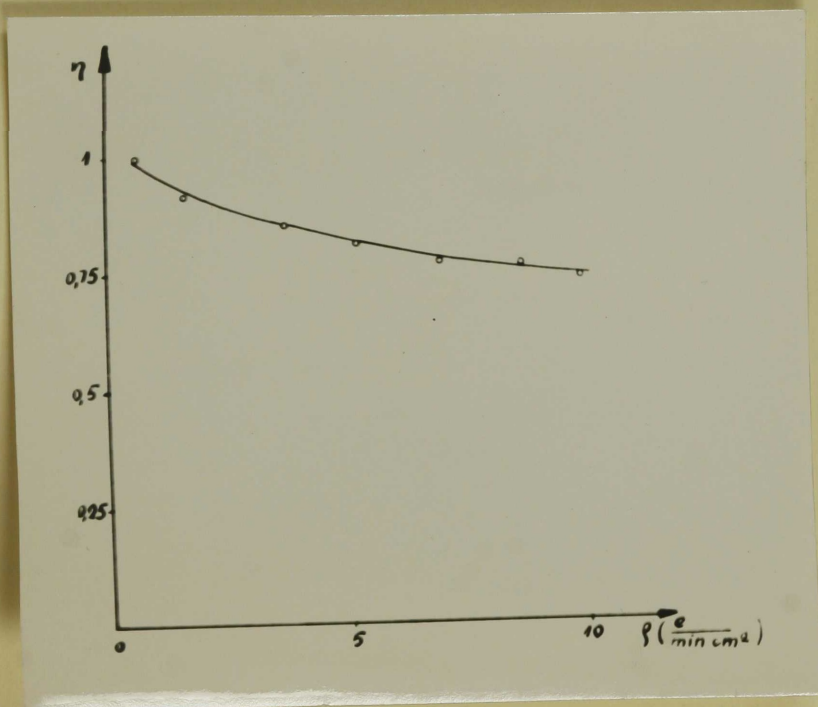
analoogse filtri, millest oli jäetud õhuvoolule avatuks vaid teatud sektor -  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{5}$  jne. kogupindalast. Seega oli teise filtri puhul õhuvoo tihedus vastavalt 2, 3 jne. korda suurem, muud tingimused olid samad. Toaõhu radioaktiivsuse muutuste elimineerimiseks tuli katset teostada ühe ja sellesama avatud sektori ning täisavaga vaheldumisi mitu korda. Joonisel 23 ongi näitena esitatud 25 min. jooksul loetud impulsside arvude /ordinaadil/ sõltuvus katse teostamise ajast /abstsissil/. Ülemine kõver kujutab impulsside arvu täisavaga filtri, alumine  $\frac{1}{6}$ -avaga filtri puhul.



Joonis 23

Filtrite efektiivsuste suhe on keskmiselt 0,81.

Analoogsed kõverad on leitud avade  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{7}$  ja  $\frac{1}{8}$  jaoks ja saadud filtri efektiivsuse sõltuvus õhuvoo tihedusest. Kuna täisavaga filtri efektiivsus /õhuvoo tihedus  $1,92 \frac{1}{\text{min cm}^2}$  / osutus veel mitte 100 %-seks, võrreldi seda omakorda sama filtri efektiivsusega õhuvoo tiheduse puhul  $0,671 \frac{1}{\text{min cm}}$ , missugusel juhul efektiivsus oli väga lähedane ühele. Suhteks saadi  $0,91 \pm 0,025$ . Lõplik kõver filtri  $\Phi\Pi\Pi -15 -1,7$  efektiivsuse sõltuvuse kohta õhuvoo tihedusest on esitatud joonisel 24.



Joonis 24

Katse teostamist raskendas tunduvalt konstantse radioaktiivsusega ruumi puudumine. Õhu radioaktiivsuse muutuse põhjusi ei õnnestunud selgitada.

Käesolevas töös kirjeldatud seadmes on õhuvoo tiheduseks  $8 \frac{1}{\text{min cm}^2}$ , mille puhul filtri efektiivsuseks võib lugeda 75 % .

## K o k k u v ö t e .

Kirjeldatud aparatuur on üks täiuslikumaid õhu radioaktiivsuse mõõtmise seadeldisi. Nagu juba eespool märgitud, ei ole kirjanduses andmeid analoogsete seadeldiste olemasolu kohta, ja üldse on siiani vähe tähelepanu pööratud emanatsioonide laguneproductide partsiaalkontsentratsioonide määramisele atmosfääri õhus. Probleemi suurest tähtsusest aga kõneleb kas või see, et Leedu NSV Geograafia- ja Geoloogia Instituudis, ühes meie maa vanimas atmosfääri radioaktiivsuse uurimise keskuses on nimetatud küsimus võetud 1961.a. teaduslike tööde plaani. Vestavaks otstarbeks on seal konstrueeritud automaatne õhu radioaktiivsuse registraator, mis erineb eespoolkirjeldatust suurema universaalsusega, kuid nõuab andmete käsitsi ümbertöötamist. Kasutatakse filtri aktiivsuse kõverat, mis registreeritakse seadeldise „Ирис“ ja isekirjutava potentsiometri abil. Aktiivsuse kõverat võrreldakse  $R_n$  laguneproductide mitmesuguste partsiaalkontsentratsioonide jaoks teoreetiliselt ettearvutatud kõverate sarjaga. Torooni laguneproductide kontsentratsioone ei määrata. Kuna seadeldis ei ole veel täiesti töökorras, siis ei ole kirjanduses tema kohta andmeid ilmunud.

Käesolevas töös kirjeldatud aparatuuril, samuti nagu kõigil filtermeetodil töötavatel õhu radioaktiivsuse mõõtmise

riistadel on üks märkimisväärne puudus. Nimelt eeldatakse, et õhu radioaktiivsus aspiratsiooni vältel on konstantne. Tegelikult aga ei ole see nii. Nagu selgub, alluvad radioaktiivsete ainete kontsentratsioonid õhus suurtele ruumilistele fluktuatsioonidele. Fluktuatsioonid võivad mõjutada impulsside arvu /või aktiivsuse/ kõverat aspiratsiooni ajal sedavõrd, et analüüsi tulemusena leitud partsiaalkontsentratsioonide väärtused on kaugel tõelistest. Puuduse kõrvaldamiseks tuleb luua spetsiaalsed tingimused fluktuatsioonide vältimiseks aspireeritavas õhus.

Omaette teaduslikku huvi pakuvad fluktuatsioonide põhjused.

Kirjelatud aparatuur mõõdab emanatsioonide laguproduktide partsiaalkontsentratsioone neli korda ööpäeva jooksul. See võib osutada mitteküllaldaseks õhu radioaktiivsuse ööpäevase käigu leidmiseks. Pidevalt töötav lihtne summaarse radioaktiivsuse registraator aitaks leida radioaktiivsuse suhtelist käiku nelja absoluutselt mõõdetud punkti vahelises alas.

*Alair*

K i r j a n d u s

1. Bečhounek F., Majerova M., Nature, v.178 N 4548, 1457 /1956/.
2. Buchner W., Neue industrielle Geräte zu Messung der Radioaktivität der Luft.
3. Fryer O.G., Phys Rev.53, N 4, 325 /1938/.
4. Israël-Köhler H. und Becker F., Naturwissensch. 23, N 48, 818 /1935/.
5. Jaki S.L. and Hess V.F., Geophys.Research, v.63, N 2, 373 /1958/.
6. Norrinder H., Miltnieks A., Sikсна R., Arkiv för Geophysik Bd 1 N 21 /1953/.
7. Schmidt, E., Zeitschr. f. Geoph. B.8, 233 /1932/.
8. Wilkenning M.H., Rev. of Scient, Instr. v.23 N 1, 13-16 /1952/
9. Баранов, В. И. Радиометрия. Изд. Акад. Наук СССР, Москва 1956.
10. Бергстедт, А. Свойства электростатических осадителей для измерения радиоактивных аэрозолей, сб. "Дозиметрия ионизирующих излучений, ГИИЛ, 279-286, Москва, 1956.
11. Гарбалюскас, Ч. А. О применении толстослойной фотографической эмульсии к исследованию радиоактивности атмосферы, Труды АН Лит. ССР, серия В, I, 69 (1956).
12. Под ред. Гусев, У. Я., Маргулиса, А. Н. и др. Сборник радиохимических и дозиметрических методик, Медгиз, Москва 1959.
13. Гутенмахер, Л. И. Электрические модели, Изд. Акад. Наук СССР, Москва, Ленинград 1949.

14. Джелепов, Б. С., Пекер, Л. К. Схемы распада радиоактивных ядер, Изд. Акад. Наук СССР, Москва, Ленинград 1958.
15. Корн, Г. и Корн, Т., Электронные моделирующие устройства (на постоянном токе), Изд. Инostr. Лит., Москва 1955.
16. Курчатов, И. Журнал геофизики и метеорологии, Т II в. I - 2 17(1925).
17. Лабейри, Ж. и Уэйль, Дж. Измерение радиоактивности атмосферы и радиоактивного загрязнения вблизи атомного центра, сб. "Дозиметрия ионизирующих излучений", ГИТЛ, 381-390, Москва, 1956.
18. Лайск, А. Х. Об одном методе измерения концентрации продуктов распада радона в воздухе, рукопись в кафедре эксп. физики ТГУ.
19. Ломакин, А. А. Известия прикладной геофизики 3. 124-136, (1927).
20. Оболенский, В. Метеорологический вестник № I, 7(1919).
21. Сегал Б. И. и Семендяев К. Л. Пятизначные математические таблицы, Изд. Акад. Наук СССР, Москва, Ленинград, 1950.
22. Старик, И. Е. Основы радиохимии, Изд. Акад. Наук СССР, Москва, Ленинград, 1959.
23. Стыро, Б. И. Вопросы ядерной метеорологии, Вильнюс, 1959.
24. Фачини, У., Мальвисини, А. Изучение альфа - радиоактивности в воздухе с помощью быстродействующей ионизационной камеры, сб. "Дозиметрия ионизирующих излучений", ГИТЛ, 274-278, Москва, 1956.
25. Хультквист, Б. Ионизирующее излучение естественных источников, Изд. Инostr. Лит. Москва, 1959.

26. Атомная энергия - краткая энциклопедия, Гос. Научн. Изд. "Большая Советская Энциклопедия".
27. Справочник по дозиметрическим и электронно - физическим приборам... Изд. Главн. Упр. по исп. Ат. Энергии, Москва, 1959.
28. Энтон Н. Разработка и конструирование серии точных детекторов для измерения радиоактивных аэрозолей и применения их в целях дозиметрического контроля. сб. " Дозиметрия ионизирующих излучений " ГИТТЛ, 287-324, Москва, 1956 .