

# ATMOSFÄÄRI IONISATSIOONI MUUTUSTEST TARTUS AASTASE PERIOODI VÄLTEL

J. Reinet  
Füüsikakateeder

## Sissejuhatus

Atmosfääri õhku maapinna läheduses võime vaadelda kui kolloidset süsteemi, kus gaaside molekulide seas leidub mitmesuguste ainete osi, millede suurus ulatub molekulide suurusest kuni nähtavate udu- või vihmapiisakesteni. Mõned nendest mikrokoopilistest osakestest, kaasa arvatud ka suhteliselt väike osa gaasimolekulidest, on elektriliselt laetud ja etendavad tähtsat osa mitte ainult õhu elektrilistes nähtustes, vaid ka sademete tekkimise protsessides. Seega atmosfääri elektri, atmosfääri ionisatsiooni nähtused mõjustavad sademete kaudu oluliselt elu- protsesse Maa peal.

Atmosfääri ionide otsest mõju elusorganismidele on paljude silmapaistvate uurijate töödes esile tõstetud. Põhjalikumad monograafiad sel alal on Dessaueri [1], Schmid'i [2], Edströmi [3] ja Vassiljevi [4] tööd. Kuid vaatamata senistele ulatuslikele uurimustele ei ole see küsimus tänapäeval veel täielikult selgitatud. Loodetavasti annavad lähemad aastakümned siin lõpliku vastuse.

Vastuvaidlematult on aga selge, et maapinnalähedaste õhukih- tide ionisatsiooni üksikasjaline tundmine on kujunemas möödapääs- matuks vajaduseks mitte ainult geofüüsikutele-atmosfäärifüü- sikutele, vaid samuti paljude teiste teaduslike distsipliinide uuri- jatele.

Tänapäeval me enam ei kujutle, et balneoloogias, klimato- teraapias jne. saaks edukalt töötada, rakendamata atmos- fääri ionisatsiooni uurimismeetodeid. Eriti vajalik on nende mee- todite rakendamine looduslike ja kunstlike radioaktiivsete ainete poolt tekitatud ionisatsiooni mõju selgitamisel.

Kunstlikkude radioaktiivsete ainete pideva tootmisega kasvab päev-päevalt nende ainete kasutamine niihästi meditsiinis kui ka bioloogias ja seepärast jäävad ionisatsiooni küsimused ka edas- pidi tihedalt seotuks biofüüsika küsimustega.

Ohu ionisatsiooni nähtuste üksikasjaliseks uurimiseks niihästi vabas atmosfääris kui ka elu- ja tööruumides on seepärast vaja konstrueerida kohased seadeldised ja anda sobivad meetodid, mis võimaldavad kiiresti ja küllalt täpselt iseloomustada atmosfääri ionide „spektrit” \*

Aluseks võttes ionide liikumise kiirust (cm/sek) elektriväljas, mille tugevus on 1 volt/cm, on käesolevas töös atmosfääri ionid jagatud järgmiselt:

Ioonide grupp	Ioonide liikuvus $k$ (cm <sup>2</sup> /sek volt)
I. Kerged ionid:	$k \geq 0,1$
1. Molioonid	$k \geq 1,0$
2. Vahepealsed ionid	$1,0 > k \geq 0,1$
II. Rasked ionid:	$0,1 > k \geq 0,00025$
1. Keskmised ionid	$0,1 > k \geq 0,01$
2. Poolrasked ionid	$0,01 > k \geq 0,001$
3. Langevin'i ionid	$0,001 > k \geq 0,00025$
III. Ultrarasked ionid	$k < 0,00025$

Alates 1951. aastast on autor omakonstrueeritud atmosfääri ionide kombineeritud loendajaga [5] uurinud koos TRÜ õppejõu H. Marraniga atmosfääri ionide spektrit Tartus, eriti kergete ja raskete ionide piirkonnas.

Selle töö peamiseks eesmärgiks ongi esitada lühidalt atmosfääri ionide spektris esinevate ionide gruppide ionide tiheduste ööpäevane ja aastane käik Tartus kesklinna oludes üheaastase (1951. a.) perioodi vältel ning esile tuua seost üksikute ionide gruppide ionide tiheduste ning ionide tiheduste ja meteoroloogiliste elementide vahel.

Sel eesmärgil teostati 1951. aastal Tartus kindlaajalise plaani kohaselt 19940 regulaarset ionide tiheduse mõõtmist, kusjuures mõõdeti molioonide ( $n_1^{\pm}$ ), kergete ( $n_2^{\pm}$ ), keskmiste ja poolraskete ( $N_1^{\pm}$ ) ning raskete ( $N_2^{\pm}$ ) positiivsete ja negatiivsete ionide tihedust võrdse arvul.

Need regulaarsed ionide tiheduse mõõtmised toimusid järgmiselt: iga kuu neljal nädalal mõõdeti ühel päeval, tavaliselt 4-ndal, 11-ndal, 18-ndal ja 25-ndal kuupäeval ülalnimetatud ionide tihedust 24 tundi (kogu ööpäev järjest).

Nende 24-tunniliste vaatluste eel- ja järelpäeval teostati iga ionide grupi tiheduse määramist 8 korda ja nimelt kell 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 ja 22 keskmise kohaliku päikeseaja järgi. Ülejäänud neljal nädalapäeval teostati ionide tiheduse mõõtmisi vaid kolm korda ööpäeva jooksul ja nimelt kell 7, 13 ja 19.

Peale nende regulaarsete vaatluste teostati veel erivaatlusi neil

---

\* Atmosfääri ionide „spektri” all me mõistame ruumühikus leiduvate elektriliselt laetud partikkelite (õhu molekulide, aerosoolide jne.) nn. ionide jagunemist nende liikuvuse järgi elektriväljas.

aegadel, kus esinesid erakordsed atmosfäärilised nähtused (äike, virmalised jne.).

Kokkuvõtlikud tulemused molioonide  $k \geq 1,0$  cm<sup>2</sup>/sek volt) ja kergete ionide ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) osas on esitatud käesolevas töös, ainult vajaduse korral käsitletakse küsimust selgitava võrdlusmaterjalina ka raskete ( $N_2$ ) ionide ( $0,1 > k \geq 0,00025$  cm<sup>2</sup>/sek volt) ja keskmiste ning poolraskete ( $N_1$ ) ionide ( $0,1 > k \geq 0,001$  cm<sup>2</sup>/sek · volt) tiheduse samaaegseid muutusi.

1951. aastale järgnevail aastail kuni 1955. aastani viidi läbi peamiselt üksikutel talvapäevadel Tartus ka kergete ionide karakteristikute uurimisi, millede üksikasjaline analüüs ei kuulu käesoleva töö raamidesse, küll aga on kinnitanud mõnd selles töös mainitud fakti.

Samal ajal, kui teostati atmosfääri ionide tiheduse regulaarseid mõõtmisi 1951. aastal, jälgiti ka meteoroloogiliste elementide (õhurõhk, temperatuur, relatiivne ja absoluutne niiskus, sademed, tuule suund ja tugevus, nähtavus, maapinna seisund, pilvede koguhulk jne.) muutusi. Meteoroloogiliste elementide vaatlusmaterjal saadi ENSV Teaduste Akadeemia Geofüüsika Observatooriumist, mis asus ionide tiheduse mõõtmise vaatluskoha TRÜ peahoone läheduses (umbes  $\frac{1}{2}$  km).

Ioonide loendamisel oli aspiraatoris (loendaja kondensaatoris) laminaarne õhuvool, mida kontrolliti 1) katseliselt ja 2) arvatati valemi

$$R_e = \frac{\Phi}{\nu \cdot \tau \cdot (R + r)} \text{ abil,}$$

kus  $R_e$  — Reynoldsi kriitiline arv,

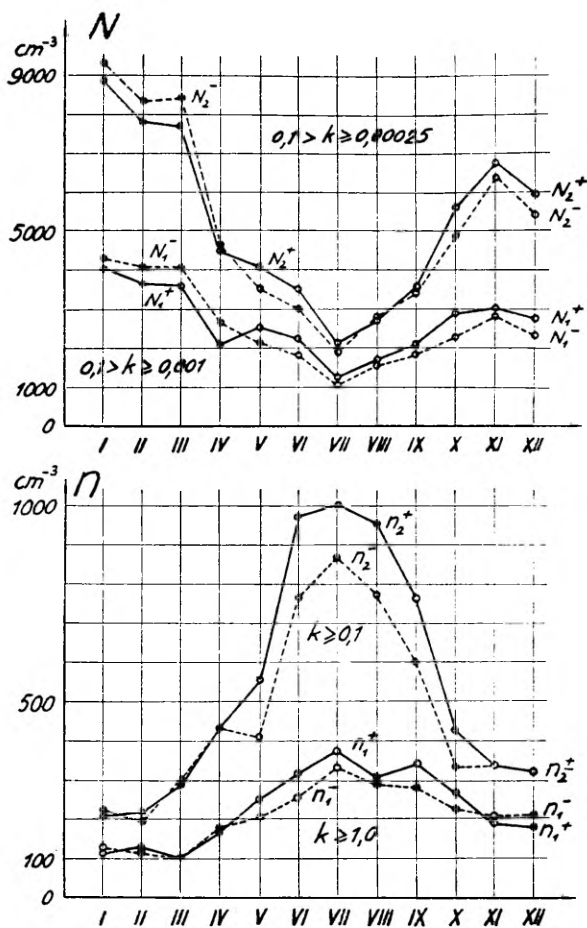
$\Phi$  — õhuvoolu ruumkiirus (cm<sup>3</sup>/sek) ja

$R, r$  — loendaja kondensaatori välis- ja siseelektroodi raadiused ja

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (\eta \text{ — dün. viskoossuskoefitsient ja} \\ \rho \text{ — õhutihedus}).$$

## I. Ioonide tiheduse ööpäevane ja aastane käik

Tartus 1951. aastal teostatud ionide tiheduse mõõtmiste tulemusena ilmnes, et atmosfääri primaarsed ioonid, nn. molioonid ( $k \geq 1,0$  cm<sup>2</sup>/sek volt) omasid aastast käiku miinimumiga märtsis (joonis 1), mil maapind on kõige enam läbi külmunud, lumikate kõige paksem ning tihedam, ja maksimumiga juulis, mil maapinna soojenemisest tingitud püstvoolud on kõige tugevamad. Tuleb mainida, et suvel, alates maikuust, mil pinnas on täiesti läbi sulanud ning kuiv, on ülekaalus positiivsed molioonid, kuid novembrist peale, kui pinnas on sügissadudest märg ja hakkab külmuma, me märkame negatiivsete molioonide ülekaalu. Neid tähele-



Joonis 1. Atmosfääri ionide tiheduse aastane käik Tartus 1951. aastal.

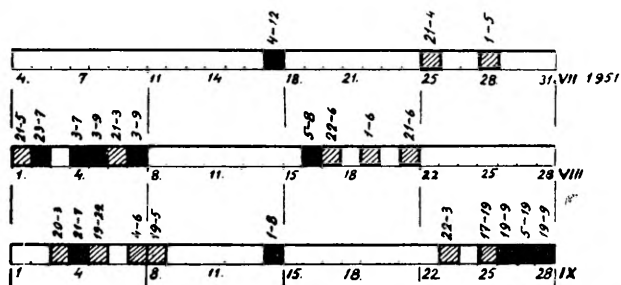
panekuid võib rahuldavalt seletada atmosfääri tunginud pinnase õhu ülekaaluka positiivse ionisatsiooniga soojal poolaastal (maist novembrini) ja atmosfääri pääsenud pinnase radioaktiivsete ainete lagunemise positiivsete laengutega, mis põhjustavad ka negatiivsete molioonide vähenemist viimaste rekombineerumisel positiivselt laetud osakestega.

Pinnase läbiligunemise ja külmumise korral avaldab mõju atmosfääri primaarsete ionide tekkimisele esijoones  $\gamma$ -kiirgus. On teada, et mida suuremat energiat kannab endas kiirguskvant, seda enam on võimalusi, et aatomist lüüakse välja mitte üks, vaid mitu elektroni, mistõttu lühilainelised  $\gamma$ -kiired tekitavad ülekaalukalt negatiivseid ioone (molioone).

Augustikuul näeme molioonide tiheduses suhtelist vähene-

mist, mis arvatavasti on tingitud sellest, et 1951. aasta augustikuul \* sademed, mis kannavad alla linnaõhus rikkalikult leiduvaid tuumi, peaaegu puudusid.

Atmosfääri primaarsed ioonid muutuvad tuumadega liitudes rasketeks ionideks ja see põhjustas ka molioonide tiheduse suhtelist vähenemist 1951. a. augustikuul.



Joonis 2. Päevad (viirutatud ruudud) ja kellaajad, mil esines udu juulis, augustis ja septembris.

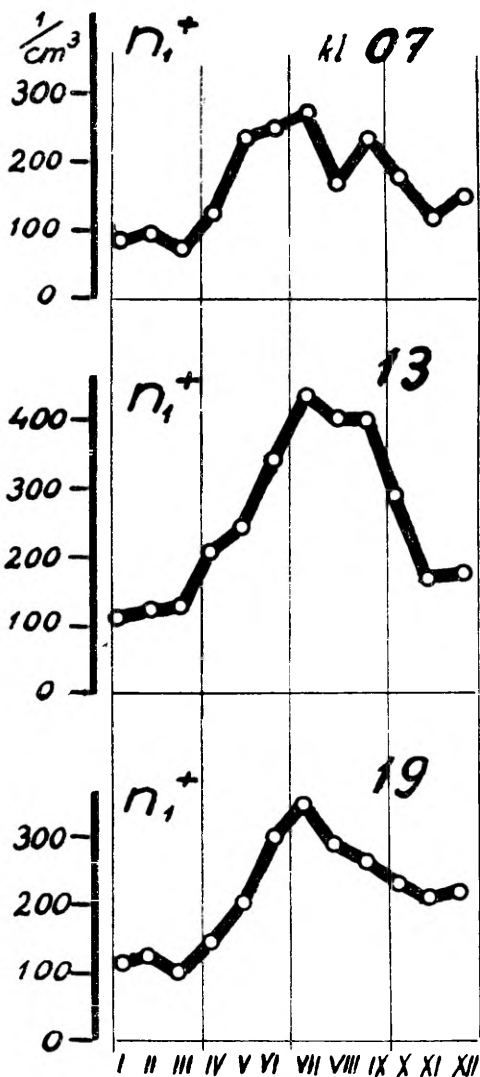
Teiselt poolt avaldab molioonide tihedusele märgatavat mõju püsiv udu. Joonisel 2 on augusti ja sellele eelneva (juuli) ning järgneva (septembri) kuu vaatluspäevadest vastavalt viirutatud need, mil esines tugev või nõrk udu, kusjuures ülemised arvud näitavad udu kestuse kellaage. Augustikuul esines udu peamiselt hommikuste, septembris aga õhtuste vaatluste ajal. Udu korral aga molioonide, eriti positiivsete molioonide tihedus langeb. See udu mõju ilmneb selgesti, kui jälgime molioonide tiheduse aastast käiku üksikute kellaageade, näiteks kella 7, 13 ja 19 vaatlusmaterjali põhjal (joonis 3). Jooniselt 3 selgub, et hommikuti (kell 07) on augustikuul positiivsete molioonide tihedus ( $n_1^+$ ) vähem kui septembris, kuna õhtuste (kell 19) vaatluste keskmised näitavad vastupidist.

Molioonide keskmine tihedus 1951. aastal Tartus kogu vaatlusmaterjali alusel oli  $n_1^+ = 230$  ja  $n_1^- = 210$  ning unipolaarsuse kordaja  $q_1 = 1,10$ .

Kergeste ionide ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) aastases käigus on

\* 1951. aasta augustikuul oli Tartus sademeid vaid 9,3 mm (augustikuul 28-l vaatluspäeval oli sademeid kokku 7,8 mm), kuna 70 a. (1866.—1935. a.) sademete keskmine Tartus [6] augustikuul oli 81,7 mm. Tegelikult oli suuremaid sademeid 1951. a. augustikuul vaid ühel päeval — 15. augustil (4,8 mm).

Mainitagu siinkohal, et 1951. aasta meteoroloogiliste elementide aastakeskmised kui ka üksikute kuude keskmised ei erinenud märgatavalt (välja arvatud sademete vähesus augustikuul) Tartus 70-a. (1866.—1935. a.) vaatlusperioodil saadud meteoroloogiliste elementide keskmistest.

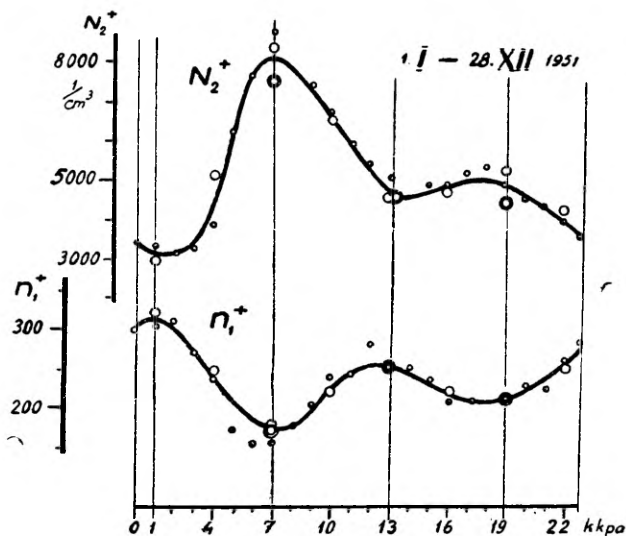


Joonis 3. Positiivsete molioonide tiheduse aastane käik kell 07, 13 ja 19 vaatluste andmetel.

samuti maksimum suvel juulikuus, kuid miinimum on nihkunud jaanuari-veebruarikuule (joonis 1). Ka kergete ionide aastases käigus märkame positiivsete ionide ülekaalu suvel (maist novembrini). Raskete ionide ( $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{sek} \cdot \text{volt}$ ) aastane käik on üldiselt antibaasis molioonide (kergete ionide) aastase käiguga, omades miinimumi suvel juulikuus ja maksimumi talvel.

Analoogiline pilt ilmneb ka keskmiste ja poolraskete ionide ( $0,1 > k \geq 0,001$  cm<sup>2</sup>/sek volt) aastase käigu puhul (joonis 1).

Kergeste ionide ja molioonide tiheduste suur erinevus soojal aastaajal ei saa olla tingitud raskete ionide oomilise voolu mõjust, sest suvel on raskete ionide tihedus suhteliselt väike ja kergete ionide ning molioonide tiheduste erinevus suur, vaid seda põhjustavad ionid, millele liikuvus asub vahemikus 1,0 kuni 0,1 cm<sup>2</sup>/sek volt, nagu seda ka hilisemad atmosfääri kergete ionide karakteristikute uurimised Tartus on kinnitanud.



Joonis 4. Molioonide ja raskete ionide ööpäevane käik Tartus 1951. aastal.

Talvel aga, kus raskete ionide tihedus on suur (ulatudes jaanuaris vahel kuni 10<sup>4</sup> ionini 1 cm<sup>3</sup> õhus) ja seega nende oomilise voolu mõju kergete ionide tiheduse mõõtmisel märgatav, on raske otsustada kergete ionide ja molioonide tiheduse vahelise erinevuse [7, lk. 29 joon. 6] \* põhjuse üle, kasutamata karakteristikute meetodit [8].

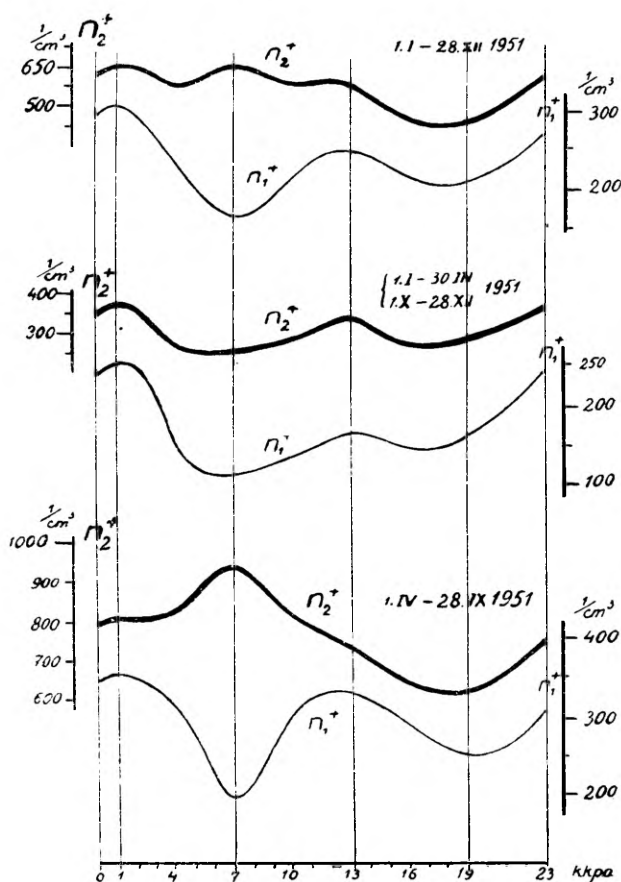
Rakendades viimati mainitud meetodit, on Tartus ka talveperioodil alates 1951. kuni 1955. a. ionide spektris liikuvuste vahemikus 1,0 kuni 0,1 cm<sup>2</sup>/sek volt leitud erinevaid ionide gruppe, mis mõjustavad ka talvel kergete ionide ja molioonide tiheduste erinevust.

Kergete ionide ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek·volt) keskmine tihedus 1951. aasta kogu vaatlusmaterjali alusel oli  $n_2^+ = 540$  ja  $n_2^- = 460$  ning unipolaarsuse kordaja  $q_2 = 1,17$ , kuna raskete ionide ( $0,1 >$

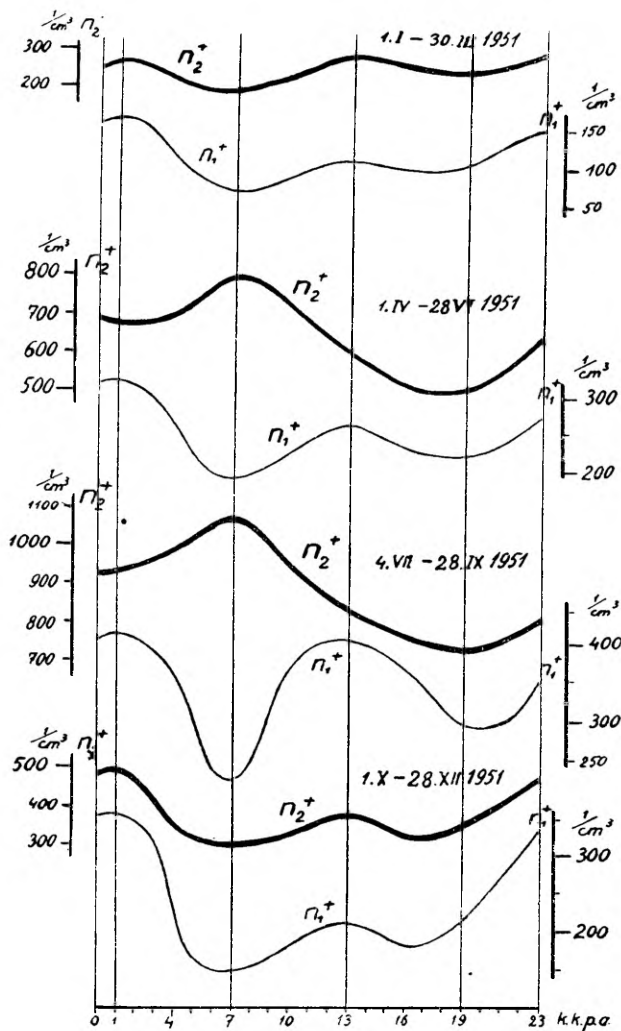
\* Tsiteeritud töös lk. 29 joon. 5 on trükiviga: ordinaatteljel on 1000 ja 500, peab olema 10 000 ja 5 000.

$> k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{sek volt}$ ) tihedus oli:  $N_2^+ = 5250$  ja  $N_2^- = 5150$  ja  $Q_2 = 1,02$ .

Jälgides aga atmosfääri ionide tiheduse ööpäevast käiku kogu aastase vaatlusmaterjali [5, lk. 15 ja 16] alusel näeme, et molioonide tiheduse ööpäevases käigus on peamaksimum pärast keskööd kella 2 paiku ja peamiinimum hommikul kell 7, kuna osamakimum esineb keskpäeval pärast kella 12 ja osamiinimum öhtul enne kella 19. Selline molioonide tiheduse ööpäevane käik ilmneb üldjoontes niihasti külmal kui ka soojal poolaastal. Joonisel 4 on kujutatud positiivsete molioonide ( $n_1^+$ ) ja raskete ( $N_2^+$ ) ionide ööpäevane käik kogu aastase vaatlusmaterjali põhjal. Pidev joon ühendab igale täistunnile vastavate ionide tiheduste kaalutud keskmisi ladusa kõverana, ringid kujutavad vastaval kellaajal (keskmise kohaliku päikesaja järgi — kkpä) üksikutel vaatluspäevadel mõõdetud ionide tiheduse keskmisi:  $\odot$  — nende vaat-



Joonis 5. Molioonide ja kergete ionide tiheduste ööpäevane käik soojal ja külmal poolaastal.

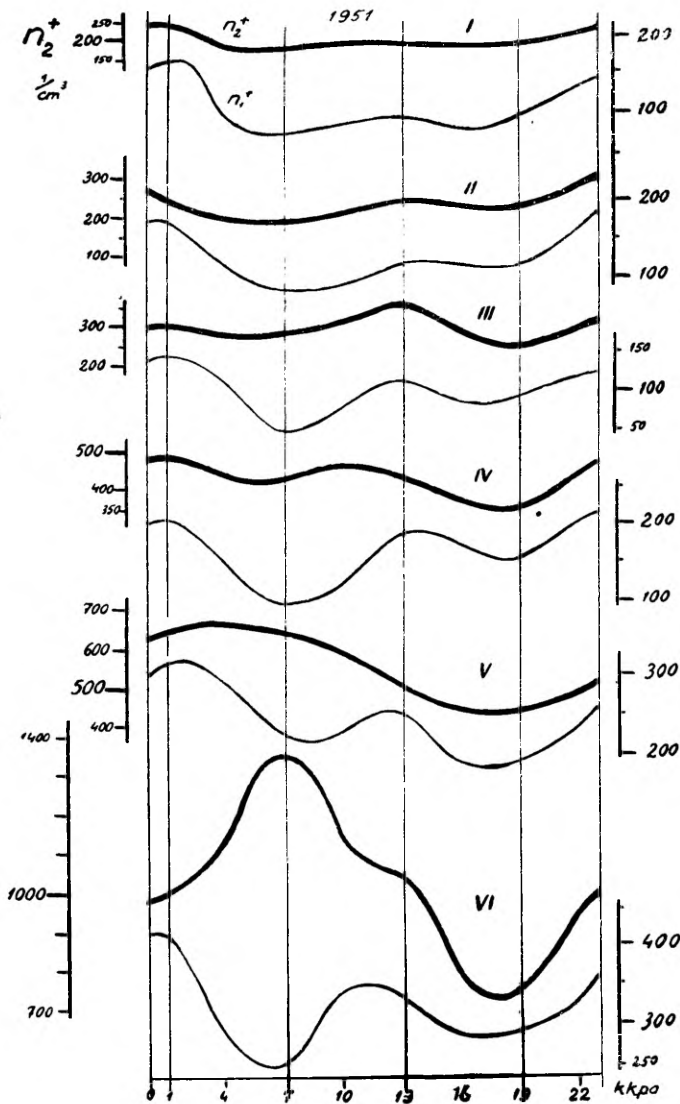


Joonis 6. Molioonide ja kergete ionide tiheduste ööpäevane käik erinevatel aastaagadel.

luspäevade vastaval kellaajal mõõdetud tiheduse keskmine, kus mõõtmistsükleid\* on teostatud vaid 3 korda päevas, ○ — 8 korda päevas ja ◦ — 24 korda päevas.

Joonisel 5 kujutavad ülemised kõverad positiivsete kergete ionide ( $n_2^+$ ) ja molioonide ( $n_1^+$ ) tiheduse ööpäevast käiku kogu

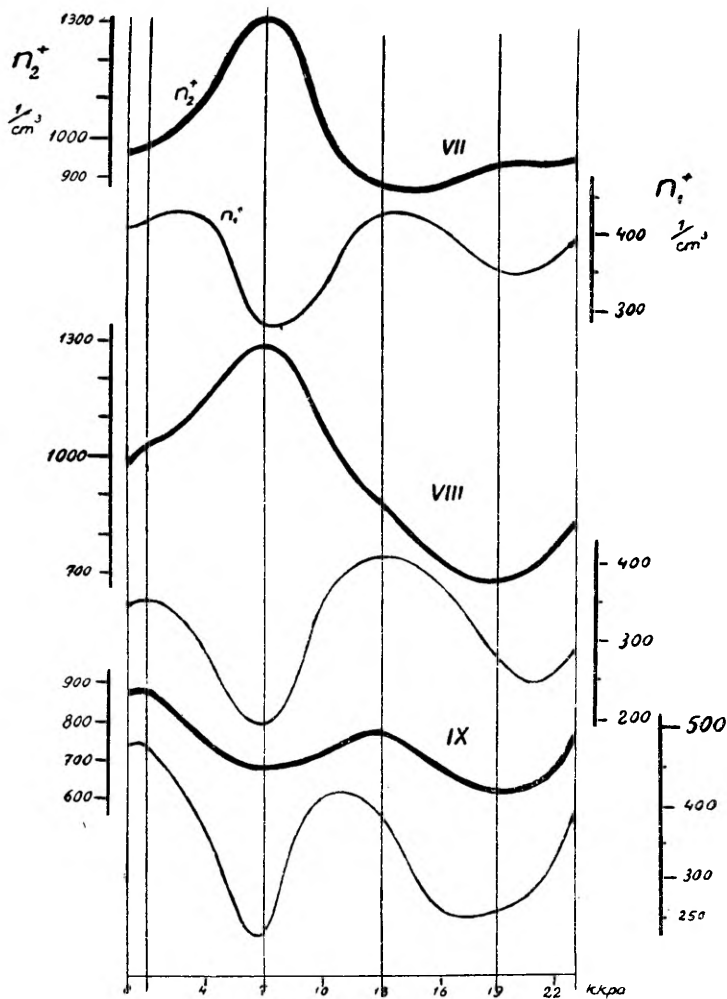
\* Iga mõõtmise tsükkel koosneb 8-st eri ionide grupi mõõtmisest:  $N_1^-$ ,  $N_2^-$ ,  $N_1^+$ ,  $N_2^+$ ,  $n_2^-$ ,  $n_1^-$ ,  $n_2^+$  ja  $n_1^+$ . mis läbi viidi nii, et üleminek raskete ionide ( $N_2^+$ ) loendamisest kergete ionide ( $n_2^-$ ) loendamisele toimus täis- tunnil keskmise kohaliku päikesearia järgi [5, lk. 12].



Joonis 7. Molioonide ja kergete ionide ööpäevane käik jaan.—juuni.

aastase vaatlusmaterjali põhjal, kuna keskmised kõverad iseloomustavad äsjamainitud ionide tiheduse ööpäevast käiku külmal poolaastal (aasta I ja IV kvartalil) ja alumised kõverad samade ionide tiheduse ööpäevast käiku soojal poolaastal (1. IV — 28. IX 1951)

Joonisel 6 on kujutatud kergete ionide ( $n_2^+$ ) ja molioonide ( $n_1^+$ ) tiheduse ööpäevane käik üksikutes kvartalites.

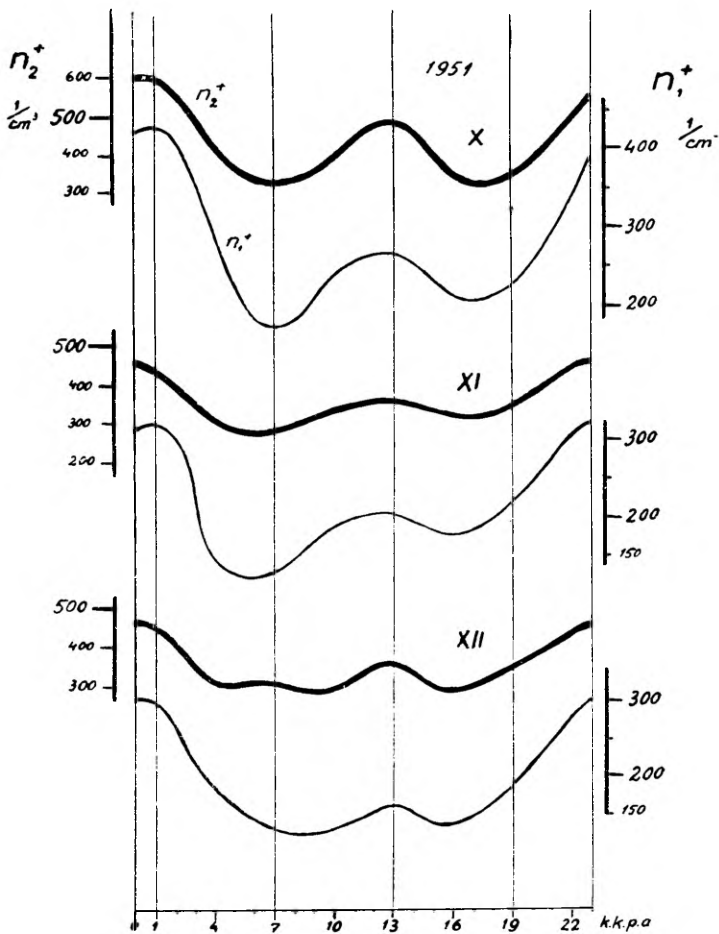


Joonis 72. Molioonide ja kergete ionide ööpäevane käik juuli—sept.

III kvartalil (suvel) keskpäevane molioonide tiheduse ( $n_1^+$ ) osamaksimum on valitsevate tugevate õhu püstvoolude tõttu ulatuslikult domineeriv ega erine märgatavalt öisest maksimumist.

Raskete ionide tiheduse ( $N_2$ ) ööpäevane käik on üldiselt anti-baasis molioonide tiheduse ööpäevase käiguga (joonis 4) Peamiinimum on pärast keskööd (kell 2) ja peamaksimum hommikul (pärast kella 7), osamiinimum on pärast keskpäeva ja osamaksimum õhtu eel.

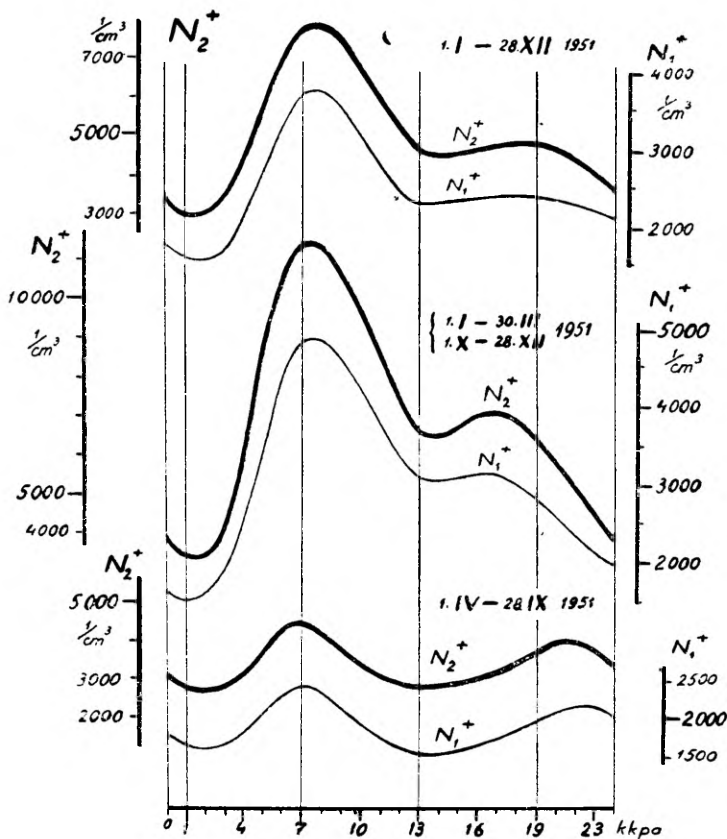
Kergete ionide ( $k \geq 0,1 \text{ cm}^2/\text{sek volt}$ ) tiheduse ööpäevast käiku analüüsidest ilmses, et see ionide grupp omab kord moli-



Joonis 7<sub>3</sub>. Molioonide ja kergete ionide ööpäevane käik okt.—dets.

oonide, kord jälle raskete ionide ööpäevast käiku sõltuvalt aastaajast (joonis 6). Eriti märkimisväärne on siin see fakt, et kerged ionid soojal poolaastal, kus raskete ionide tihedus muutub minimaalseks, omavad rasketele ionidele iseloomulikku ööpäevast käiku (hommikune maksimum), kuna külmal aastaajal, kus raskete ionide tihedus on maksimaalne, kergete ionide ööpäevane käik aga jälgib üldiselt raskete ionide tihedusega antibaasis olevat molioonide ööpäevast käiku (joonis 5).

Kuid veelgi kujukamalt ilmneb, kuidas kergete ionide tiheduse ööpäevane käik on sarnane raskete ionide tiheduse ööpäevase käiguga soojal aastaajal (juuli) ja molioonide tiheduse ööpäevase käiguga külmal aastaajal (veebruari), kui vaatleme ionide tiheduse ööpäevast käiku kuust kuusse (joonis 7<sub>1-3</sub>).



Joonis 8. Raskete ionide ööpäevane käik soojal ja külmal aastaajal.

Molioonide ja raskete ionide tiheduse „kahekordne laine” näib olevat tingitud õhus leiduvate tuumade sisalduse muutusest, Päikese kiirgusest tingitud õhu konvektsioonvooludest ja turbulentsist.

Õine molioonide tiheduse peamaksimum ja raskete ionide tiheduse peamiinimum langevad ajale, mil õhk on kõige puhtam (pärast keskööd), kuna hommikune molioonide peamiinimum ja raskete ionide peamaksimum langevad ajale, millal õhk (eriti kütteperioodi kestel) on kõige tuumarikkam, temperatuur minimaalne, relatiivne niiskus maksimaalne ja tuule kiirus väike.

Pärastlõunane molioonide sekundaarne maksimum on tingitud õhu püstvooludest, konvektsioonist, mis eriti jõuliselt ja ulatuslikult esile kerkib III kvartalil, kus konvektsioonvoolude mõju on kõige suurem. Konvektsioonvoolud mitte ainult ei kanna kõrgemasse õhukihtidesse pinnase tugevasti ioniseeritud õhku, vaid kannavad kõrgemale ka tuumaderikast õhku, mille asemele asub

tuumadevaene õhk. See toob raskete ionide tiheduses esile sekundaarse miinimumi, mis ulatuslikult on süvenenud soojal aastaajal (joonis 8), eriti aga III kvartalis, kus konvektsioonvoolud on kõige tugevamad. Öhtu eel konvektsioonvoolud nõrgenevad ja õhu tuumaderikkus kasvab, mis põhjustabki molioonide tiheduse öhtuse sekundaarse miinimumi ja raskete ionide tiheduse sekundaarse maksimumi. Öö saabudes tuurhade arv väheneb, õhk muutub puhkamaks ja molioonide tihedus kasvab peamaksimumi suunas, kuid raskete ionide tihedus langeb, jõudes pärast kella 2 ööpäevase käigu ekstreemsete väärtusteni.

Molioonide tiheduse ööpäevases käigus esilekerkiv pärastlõunane osamiinimum talvepoolaastal tekib varem (kella 16—17 paiku), kuna soojal poolaastal see nihkub edasi hilisemale ajale (kella 19—20) kooskõlas raskete ionide pärastlõunase osamaksimumiga (joonised 5 ja 8) Öhtuse osamiinimumi (vastavalt osamaksimumi) nihkumine on kooskõlas Päikese loojangu aja nihkumisega.

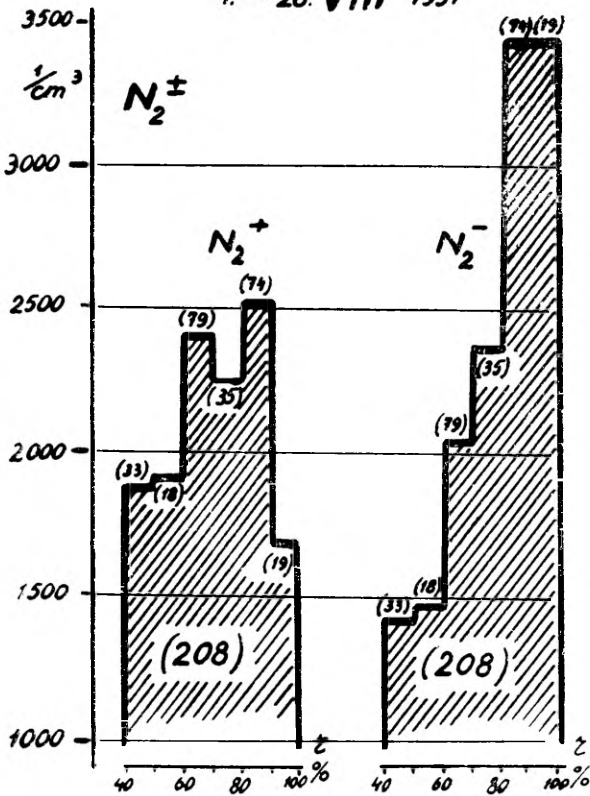
## 2. Seosest ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide vahel

Otsides seost ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide vahel näeme, et neid seoseid ei ole igakord võimalik avastada paljude teiste segavate kõrvalmõjude tõttu või on need seosed koguni erinevad külmal ja soojal aastaajal. Seepärast võime eksida, otsides neid seoseid kogu aastase vaatlusmaterjali põhjal, eraldamata seda sesoonilisteks või veelgi lühemateks (kontinentaalsete ja mariitiimsete õhumasside jne.) vaatlusperioodideks.

Teinekord aga on mõnd seost, kui see ka ilmneb, raske täiesti rahuldavalt füüsikaliselt tõlgendada, näiteks näivat korrelatiivset seost ionide tiheduse ja temperatuuri vahel. Temperatuuri muutused põhjustavad pinnase külmumist või sulamist ja seega pärsivad või soodustavad radioaktiivse ionisaatori toimet ja atmosfääris leiduva niiskuse ning tuumade muutust, mis omakorda kajastub ionisatsiooni muutuses. Mõnikord aga võib ühe ja sama ionide grupi negatiivsete või positiivsete ionide tiheduste seos mõne meteoroloogilise elemendiga olla ka erinev. Näiteks sademetevaeasel 1951. a. augustikuul, jälgides relatiivse niiskuse muutudes raskete ionide tiheduse ( $N_2$ ) muutust (joonis 9), paneme tähele, et relatiivse niiskuse kasvades raskete negatiivsete ionide tihedus ( $N_2^-$ ) üldiselt kasvab,\* kuna positiivsete raskete ionide ( $N_2^+$ ) puhul sellist korrapärasust ei ilmne. Negatiivsete raskete ionide suurt kasvu relatiivse niiskuse kasvades võib seletada faktiga, et veeauru kondenseerumine toimub hõlpsamini negatiivsetel ionidel [9]. Selliste üksikasjade selgitamine on tihtipeale küllaltki raske

\* Joonisel 9 sulgudes olevad arvud näitavad vaatluste arvu, mis kuuluvad antud relatiivse niiskuse vahemikku. Augustikuu 28-l päeval teostatud vaatlusseeriade arv oli 208.

1. - 28. VIII 1951

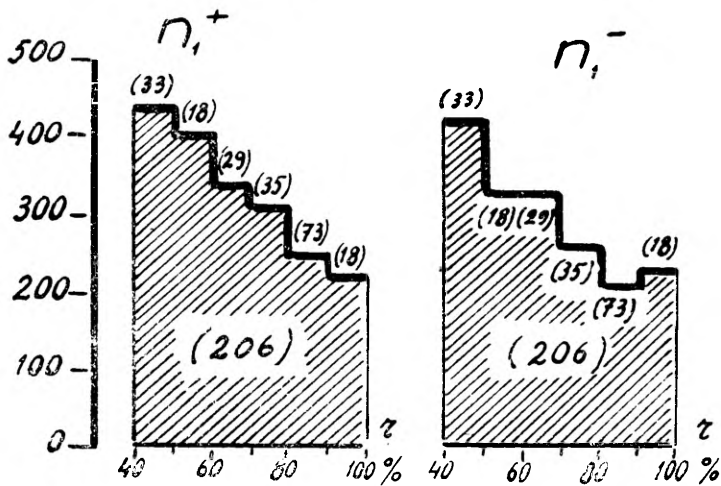


Joonis 9. Raskete ionide tihedus sõltuvalt relatiivsest niiskusest (1951. a. augustikuul).

väga keerulistes ja alatasa muutuvates atmosfäärilistes tingimustes ja nõuab üksikvaatlusteni tungimist ning samal ajal kõigi võimalikkude meteoroloogiliste elementide ja isegi lokaalsete efektide (õhu puhtuse ja saastumise) jälgimist.

Analüüsides ionide tiheduse ja absoluutse niiskuse\*\* vahelist seost näeme, et absoluutse niiskuse (a) kasvades molioonide tihedus ( $n_1$ ) soojal aastaajal üldiselt kahaneb, mis näitab, et gaasioonide liikuvus väheneb veeauririkas õhus. Kuid talvel absoluutse niiskuse kasvades näib kasvavat ka molioonide tihedus. Näib, nagu oleks siin mingi vastuoluga tegu. Tähelepanekud aga näitavad, et talvel on absoluutse niiskuse kasv tavaliselt tingitud temperatuuri tõusust. Kõrgema temperatuuri põhjustavad talvel kohalviibivad madalrõhkkonnad, mille puhul tavaliselt molioonide tihedus kasvab, kuna väga madala temperatuuri (kõrgrõhu) kor-

\*\* Absoluutset niiskust on kasutatud veeauru rõhu asemel.

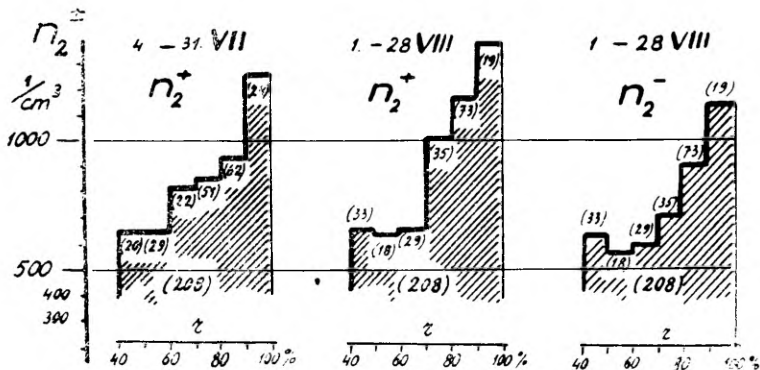


Joonis 10. Molioonide tihedus sõltuvalt relativsest niiskusest (1951. a. augustikuul).

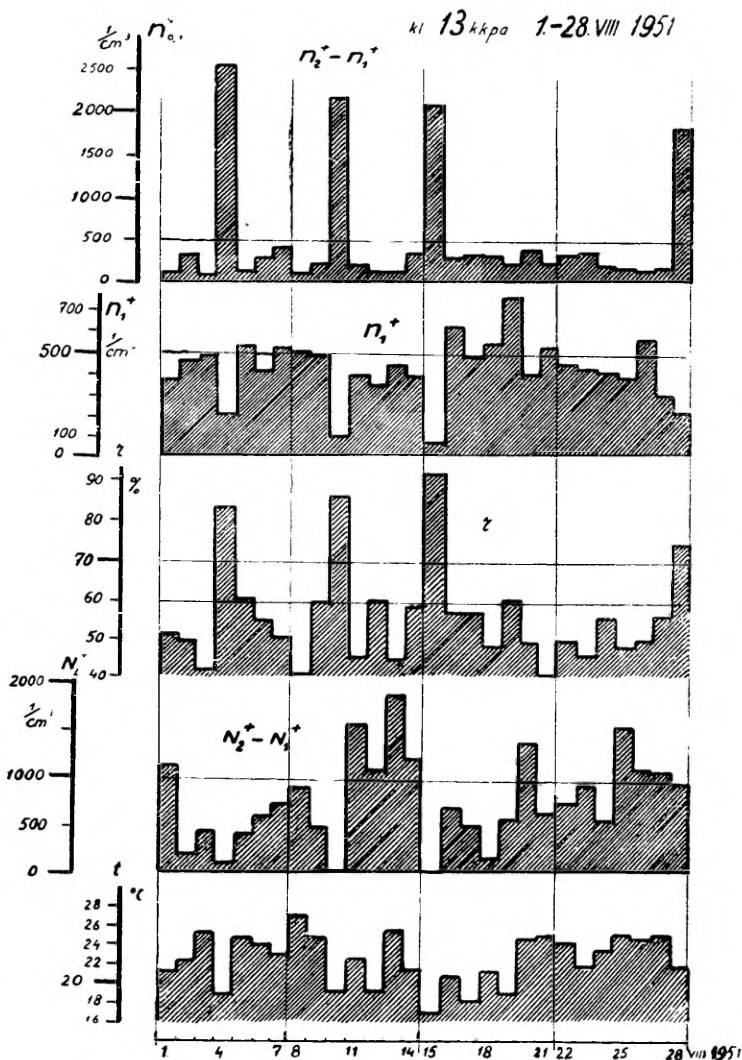
ral, mil absoluutne niiskus on minimaalne, on atmosfääris rikkalikult tuumi [10] ja seega ka raskeid ioone, mispärast molioonide tihedus on langenud minimaalväärtusteni.

Niiskuse mõju ionisatsioonile iseloomustab ka ionide tiheduse ja relativse niiskuse vaheline seos, ja nimelt relativse niiskuse kasvades molioonide tihedus väheneb (joonis 10), kuna kerge (joonis 11) ja raskete ionide, eriti negatiivsete raskete ionide tihedus (joonis 9) kasvab, mis on tingitud molioonide muutumisest kergeks ionideks veeauru molekulidega liitumise tõttu.

Kui relativne niiskus tõuseb soojal aastaajal üle 70%, siis moli-



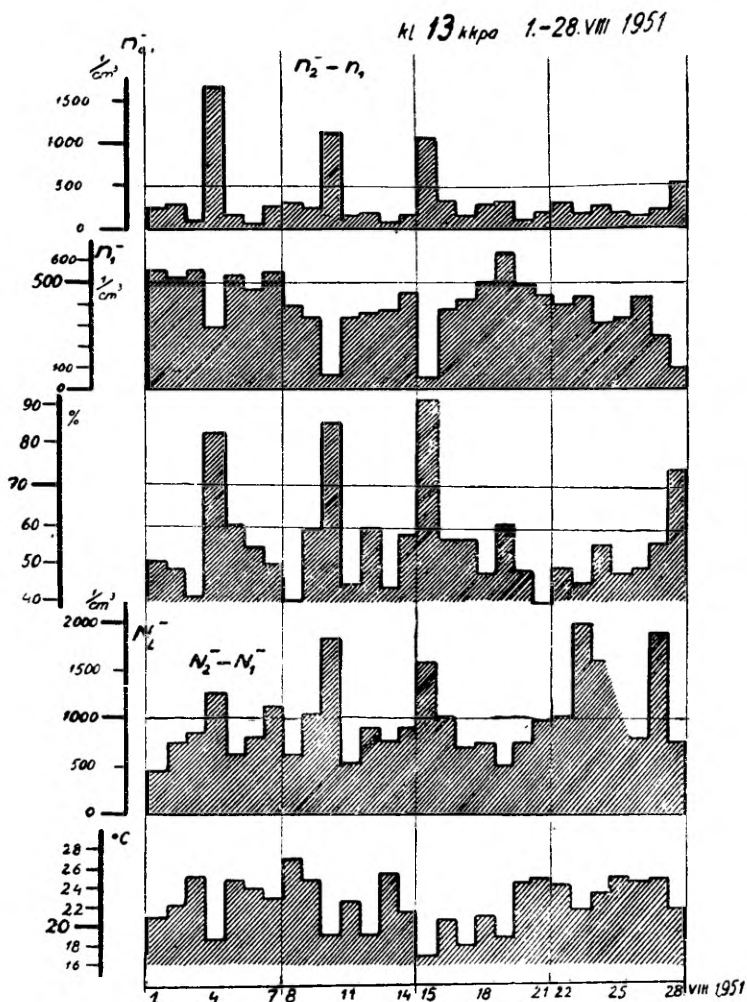
Joonis 11. Kergeste ionide tihedus sõltuvalt relativsest niiskusest.



Joonis 12. Molioonide, vahepealsete ionide ja positiivsete Langevin'i ionide tihedus sõltvalt relatiivsest niiskusest.

oonide tiheduse ( $n_1$ ) langedes erakordselt suureneb kergete ionide tihedus ( $n_2$ ). See suurenemine on tingitud nn. vahepealsete ionide ( $n_2 - n_1$ ) tekkest. Illustreeriva näitena võime vaadelda sademetevaese augustikuu keskpäevaste (kl. 13 kkpaa.) vaatluste materjale mõõdetud molioonide ( $n_1$ ) ja kergete ionide ( $n_2$ ) tiheduse kohta. Jooniselt 12 selgub, et neil päevadel (4., 10., 15. ja 28. augustil), kus keskpäeval\* (kell 13 kkpaa.) relatiivne niiskus ( $r$ ) on suur

\* Ülevaatlikkuse mõttes on üksiku kellaaja (kl. 13) vaatluste tulemused kujutatud tulpdiaagrammidena.



Joonis 13. Molioonide, vahepealsete ionide ja negatiivsete Langevin'i ionide tihedus sõltuvalt relativsest niiskusest.

(üle 70%), positiivsete molioonide tihedus ( $n_1^+$ ) on langenud, kuna samal ajal kergete ( $n_2^+$ ) ja vahepealsete ionide ( $n_2^+ - n_1^+$ ) tihedus on erakordselt suur, kuid positiivsete Langevin'i ( $N_2^+ - N_1^+$ ) ionide tihedus langeb. Temperatuur ( $t$ ) vahepealsete ionide rohkearvulise tekke korral on küllalt kõrge (umbes  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Analoogiliselt muutub ka (relatiivse niiskuse korral üle 70%) negatiivsete molioonide ( $n_1^-$ ), kergete ( $n_2^-$ ) ja vahepealsete ionide ( $n_2^- - n_1^-$ ) tihedus (joonis 13). Märkimisväärne on fakt, et negatiivsete Langevin'i ionide ( $N_2^- - N_1^-$ ) tihedus vastandina positiivsete Langevin'i ionide tihedusele samaaegselt kasvab.

Rohkearvulised tähelepanekud kinnitavad, et vahepealseid ioone tekib rikkalikult eriti siis, kui atmosfäärilised tingimused on soodsad tahke aerosooli (meresool) üleminekuks vedelasse faasi [11].

Soojal aastaajal (maist novembrini), mil tekivad rohkearvuliselt vahepealsed ioonid, on positiivsete Langevin'i ionide tihedused suure relatiivse niiskuse korral tunduvalt vähemad kui negatiivsete Langevin'i ionide tihedused. Arvatavasti on positiivsete Langevin'i ionid tahked aerosoolid, mis vedelas faasis oma loomult muutuvad, kuna negatiivsed Langevin'i ioonid tekivad niiskuse kondenseerumisel negatiivsetel ioonidel. Positiivsete Langevin'i ionide tiheduse vähenemine ülalmainitud atmosfäärilise olukorra puhul avaldab oma mõju ka raskete positiivsete ionide ( $N_2^+$ ) tiheduse keskmiste käigule relatiivse niiskuse jõudmisel piirkonda, kus soojal aastaajal algab tahke aerosooli üleminek vedelasse faasi (järgnev tabel\*):

R. n.	68—72%	72—76%	76—80%	80—84%
$N_2^+$	5130	5070	4530	6070
V. a.	(114)	(131)	(173)	(246)

Analoogilist fakti — et raskete ionide tihedus suhteliselt langeb relatiivse niiskuse vahemikus 70—80% — pani tähele ka Israel [12], kuid ta ei andnud selle nähtuse tõlgendust.

Hilisemates töödes niihästi H. Israel [13, 14] (Potsdam) kui ka F. J. Scrase [15] (Kew) konstateerisid, et tuumade ( $N$ ) ja ionide ( $N^+ + N^-$ ) suhe  $p = \frac{N}{N^+ + N^-}$  järsku vähenes, kui relatiivne niiskus ületas 70%.

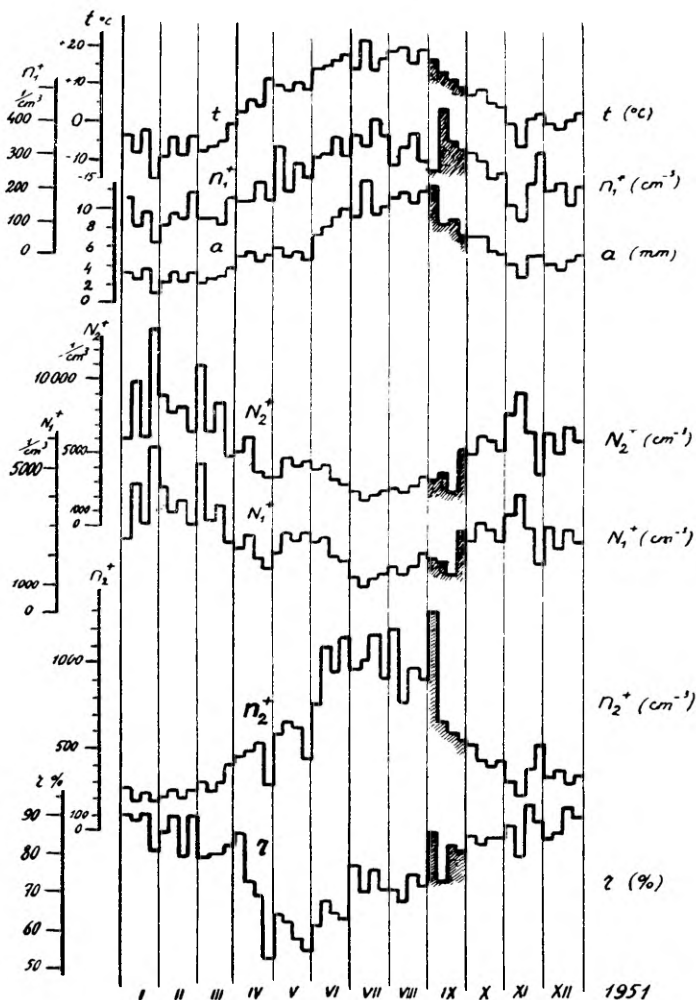
Autori arvates on tuumade arvu vähenemine tingitud tahke hügrokoopse aerosooli (meresoola) üleminekust vedelasse olekusse, mis eriti intensiivselt toimub soojal aastaajal, kui relatiivne niiskus ületab 70% ja temperatuur on umbes 20°C lähedal. Äikesvihma korral tugevas elektriväljas ja õhuvoolus, mil aerosooli (meresoola) faasi muutuse tingimused on täidetud [11], tekib eriti rohkearvuliselt vahepealseid ioone. Vahepealsete ionide rohkearvulise tekke korral on atmosfäärilised tingimused väga soodsad elusorganismide arengule — küllaldane niiskus ja temperatuur, positiivsete Langevin'i ionide tiheduse vähenemine ja negatiivsete Langevin'i ionide tiheduse kasv [4].\*\*

Selliste küsimuste analüüs kogu vaatlusmaterjali aastakeskmiste või arvatatud korrelatsioonikoefitsientide kaudu ei saa avastada üksiknähtuse tõelisi põhjusi.

Hoopis lähemale tõele jõuame nähtuste sisulisel analüüsil, mis vajaduse korral peab tungima iga üksiku vaatluse analüüsini.

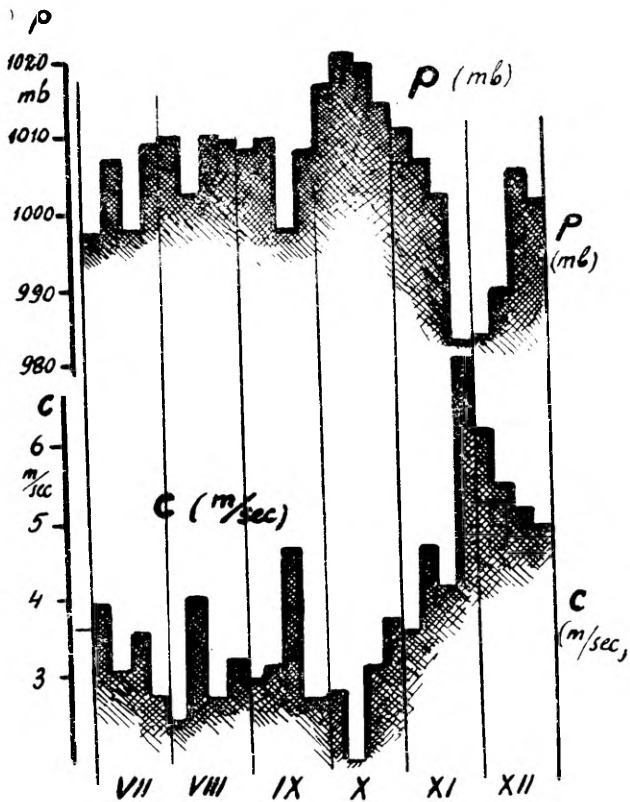
\* R. n. — relatiivse niiskuse vahemik;  $N_2^+$  — raskete positiivsete ionide keskmine tihedus (kogu aastase vaatlusmaterjali alusel); V. a. — vaatluste arv (sulgudes).

\*\* 1951. aastal alates maist kuni septembrini oli atmosfääris Langevin'i negatiivseid ioone keskmiselt tunduvalt rohkem kui Langevin'i positiivseid ioone.



Joonis 14. Ioonide tiheduste ja absoluutse ning relatiivse niiskuse nädalakeskmiste käik.

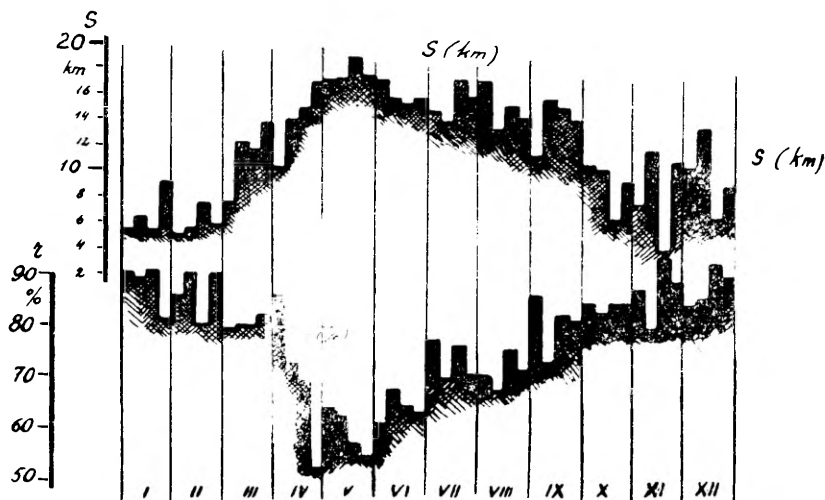
Isegi üksikute kuude keskmiste kõrvutamine ei võimalda igakord nähtuste tõelisi põhjusi avastada. Näitena võime mainida huvitavat fakti. Nimelt kergete ionide tiheduse ( $n_2$ ) keskmine jõuab septembri esimesel nädalal maksimumini (joonis 14), kuna teisel nädalal ta langeb järsku, jäädes enam-vähem sellele tasemele püsima kuni aasta lõpuni. Jooniselt 14 selgub selle nähtuse põhjus, mis kuu keskmistega piirdudes oleks jäänud avastamata. Septembri esimesel nädalal oli relatiivne ja absoluutne niiskus kõrge ja temperatuur umbes  $20^\circ$  piiris, milline olukord on väga soodne aerosoolide naatriumkloriidi või meresoola tahke faasi muutumisele



Joonis 15. Novembrikuu tsükloonaalse ilmastiku õhurõhu ja tuule tugevuse muutus.

vedelaks [11] ja seega esineb sel korral silmatorkavalt suur vahepealsete ionide ( $n_2 - n_1$ ) teke, nagu seda ka samalt joonisel võime lugeda. Septembri teisel nädalal aga ei ole temperatuuri ja niiskuse mõjud enam kohased vahepealsete ionide tekkeks (vt. joonis 14) ja meie võime konstateerida viimaste kontsentratsiooni langust. Samaaegselt molioonide tihedus ( $n_1$ ) on kasvanud, jõudes isegi aastases käigus maksimumi. Sealt peale algab molioonide tiheduse langus ja samaaegselt raskete ionide tiheduse kasv, mis on tüüpiline talvisele vaatlusperioodile. Ainult kord veel novembrikuu viimastel nädalatel näeme järsku hüpet molioonide tiheduse ( $n_1$ ) käigus, mis kahtlematult on tingitud tsükloonaalse ilmastiku korral esinenud tugeva tuule mõjust (joonis 15), mis on toonud endaga kaasa puhta ja moliooniderikka õhu. Kahtlemata näib siin mõju avaldavat ka erakordselt madal õhurõhk (joonis 15), mille puhul esines veel rikkalikult sademeid, mis puhastavad õhku tuumadest ja seega aeglustavad molioonide muutumist rasketeks ionideks.

Nii analüüsitud üksiknähtustest selgub, et nähtavuse suurenemisel ja absoluutse ning relatiivse niiskuse vähenemisel moli-oonide tihedus kasvab. Nähtavuse ( $s$ ) ja relatiivse niiskuse ( $r$ ) vaheline seos (relatiivse niiskuse kasvades nähtavus väheneb) on üsna hästi iseloomustatav ka vastavate meteoroloogiliste elementide nädalakeskmiste kaudu (joonis 16).

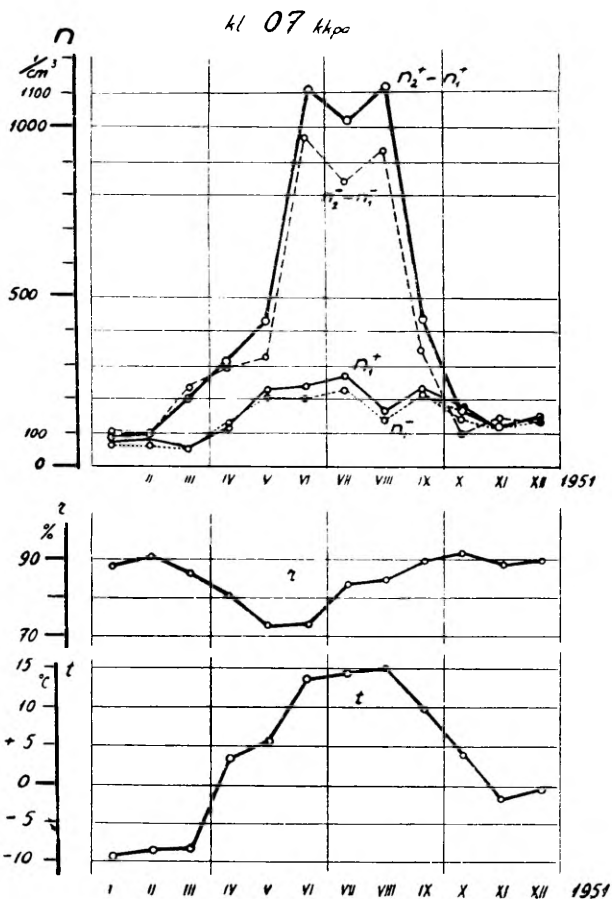


Joonis 16. Nähtavuse ja relatiivse niiskuse nädalakeskmiste käik.

Kui vahepealsete ionide tiheduse kasv soojal aastaajal ilmneb vaid kindla relatiivse niiskuse korral (umbes 70%), kui temperatuur on küllalt kõrge (umbes 20° C), siis külmal poolaastal seda nähtust märgatavalt ei esine. Seepärast oleks ilmselt ekslik rääkida vahepealsete ionide ja relatiivse niiskuse vahelisest seosest kogu aastase vaatlusmaterjali alusel, sest relatiivse niiskuse muutus talvel (kui temperatuur on alla nulli) ei põhjusta mainimisväärselt vahepealsete ionide tiheduse muutust, suvel aga on ta domineerivaks teguriks. Joonisel 17 on kujutatud hommikuste (kell 07) vaatluste alusel vahepealsete ionide ( $n_2 - n_1$ ) ja moli-oonide ( $n_1$ ) tiheduse aastane käik. Me näeme, et kuigi hommikuti (kell 07) on keskmine relatiivne niiskus kõigil kuudel aasta läbi üle 70%, ilmneb vahepealsete ionide tiheduste keskmises käigus märgatav kasv alles siis, kui keskmine temperatuur (kell 07) on tõusnud tunduvalt üle 0° C (vt. joonis 17)

Ka tuule kiirus ja sellega kaasnev õhu turbulentsus mõjutavad ionide tihedust, sest tuul kannab ära linna kohalt tuumi ja põhjustab erineva ionisatsiooniga õhumasside segunemist.

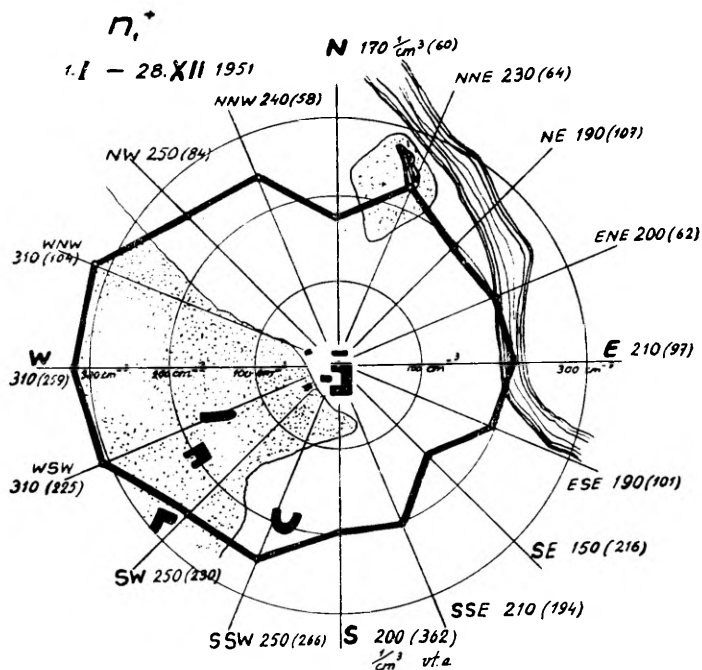
Kuid mitte üksnes tuule kiirus, vaid ka tuule suund avaldab mõju ionisatsiooni olukorrale, sest õhumasside vaheldumine on seotud tavaliselt tuule suuna muutumisega.



Joonis 17 Vahepealsete ionide aastane käik kell 07  
vaatluste andmetel.

Lahutades vaatlusmaterjali tuule suundade järgi võime täheldada, et molioonide tihedus on üldiselt suurem läänekaarte tuulte korral, mis toovad kaasa vaatluskoha lähema ümbruse (Toomemäe) puhtamat õhku kui ka sajurikkaid õhumasse, mille puhul molioonide tihedus üldiselt on suurem. Idakaarte tuulte korral aga molioonide tihedus langeb, mis on tingitud õhu tuumarikkusest tihedalt asustatud linnaosa kohal, kuid peamiselt talvepoolaasta külma ja mandrilise õhumassiga kaasnenud raskete ionide maksimaalsest tihedusest ja sellega antibaasis olevast minimaalsest molioonide tihedusest.

Joonisel 18 näeme vaatluskoha (ringide tšenter) lähema ümbruse skemaatilist plaani ilmakaartega. Tugev murdjoon kujutab positiivsete molioonide ( $n_1^+$ ) tiheduse kõikumist olenevalt tuule suunast. Sulgudesse paigutatud arvud näitavad üksikvaatluste



Joonis 18. Molioonide tiheduse sõltuvus tuule suunast.

arve, mis on teostatud positiivsete ionide tiheduse ( $n_1^+$ ) mõõtmiseks valitseva tuule korral.

Esitatud materjalist selgub, et ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide vahelise seost tuleb jälgida lühiajalise sesoonilise perioodi kestel, kusjuures aastaegade järgi jaotatud vaatlusmaterjal tuleb jaotada veel tuule suundade järgi, sest tuule suund ja sellega kaasas käiv õhumasside päritolu näib avaldavat ionsatsiooni olukorrale väga erinevat mõju.

Niisugustest seisukohtadest lähtudes on autor tunginud üksikvaatluse analüüsini ja eriti läbi töötanud sellised üksikvaatlused, kus ionide tihedus ükskõik millise iooni liigi puhul erines umbes 100% ulatuses ja enam vastava ionide grupi kvartali keskmisest ionide tihedusest.

Nende nõndanimetatud ekstreemsete\* väärtuste analüüsil on saadud allpool esitatud tulemused, mis veel kord kinnitavad kogu vaatlusmaterjalil põhinevaid tähelepanekuid ja püstitavad uusi probleeme edaspidiseks uurimiseks.

Aastaegade ja tuule suundade järgi lahutatud vaatlusmaterjalis nn. ekstreemseid ionide tihedusi analüüsides selgus, et:

\* Ekstreemseteks väärtusteks nimetame neid ionide tihedusi, mis umbes 100% ja enam erinevad kvartali keskmisest.

a) talvel (jaan. — märts):

1. Sadu põhjustab kergete ionide ja molioonide tiheduse kasvu ning raskete ionide tiheduse langust. Analooiline nähtus esineb ka tugeva tuule ja vahel isegi tuisu korral.

2. Udu ja suitsu korral esineb raskete ionide tiheduse kasvu ja molioonide tiheduse langus, kusjuures uniopolaarsuse kordaja udu korral on tavaliselt vähem 1-st.

b) kevadel (aprill — juuni):

1. Niiskuse kasvamine, kerge udu ning peen vihm põhjustavad kergete ionide tiheduse kasvu ja molioonide tiheduse langust.

2. Tihe udu ja sadu põhjustavad molioonide tiheduse langust ja raskete ionide tiheduse kasvu, kusjuures sadu kõrgema õhuperatuuri korral (keskpäeval) põhjustab raskete negatiivsete ionide ülekaalu, võrreldes raskete positiivsete ionidega.

3. Äikesevihm aga põhjustab rohkearvuliselt kergete ioone, kusjuures raskeid positiivseid ioone on tunduvalt vähem kui raskeid negatiivseid ioone.

c) Suvel (juuli — september):

1. Väga palju on kergete ioone äikese korral, kusjuures molioonide ja raskete ionide tihedus muutub suhteliselt vähe.

2. Samuti on palju kergete ioone siis, kui relatiivne niiskus on 70—80% ja absoluutne niiskus küllalt suur ( $a > 10$  mm) ning temperatuur umbes 20° C lähedal — toimub aerosooli (meresoola) tahke faasi üleminek vedelasse.

d) Sügis-talvel (oktoober — detsember):

1. Suure relatiivse niiskuse, halva nähtavuse ja nõrga tuule korral on molioonide ning samuti ka kergete ionide tihedus väike, kuid raskete ionide tihedus suur, ja vastupidi.

2. Udu ja suits põhjustavad molioonide (kergete ionide) tiheduse langust ja raskete ionide tiheduse kasvu.

Udu korral on uniopolaarsuse kordaja 1-st vähem. Suitsu, jäite, härra ja isegi halla korral on unipolaarsuse kordaja tavaliselt 1-st suurem.

### 3. Ruumilaeng

Ruumilaeng, mis on arvatud kergete ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) ja raskete ( $0,1 > k \geq 0,00025$  cm<sup>2</sup>/sek volt) ionide tihedusarvude alusel, oli 1951. aastal negatiivne talvekuudel (jaanuarist aprillini), kui maapind oli külmunud ja lumikattes, kuna maist kuni detsembri oli ruumilaeng positiivne.

Aasta keskmine ruumilaeng

$$q_k = + 200 \frac{\text{el} \cdot \text{laeng}}{\text{cm}^3} = + 0,096 \frac{\text{ESÜ}}{\text{m}^3}.$$

## Kokkuvõte

Tartus 1951. aastal teostatud atmosfääri ionide tiheduste mõõtmisel ilmnes:

1. Atmosfääri primaarsed ionid, nn. molioonid ( $k \geq 1,0$  cm<sup>2</sup>/sek volt) omasid aastast käiku miinimumiga märtsis, mil maapind on kõige enam läbi külmunud ja lumikate kõige paksem ja tihedam, ning maksimumiga juulis, mil maapinna soojenemisest tingitud püstvoolud on kõige tugevamad.

Soojal poolaastal, alates maikuust, mil pinnas on täiesti läbi sulanud ning kuiv, on ülekaalus positiivsed molioonid, kuid novembrist peale, kui pinnas on sügissadudest märg ja hakkab külmuma, on ülekaalus negatiivsed molioonid.

Keskmine molioonide tihedus 1951. aastal Tartus kogu aastase vaatlusmaterjali alusel oli:  $n_1^+ = 230$  cm<sup>-3</sup> ja  $n_1^- = 210$  cm<sup>-3</sup> ning unipolaarsuse kordaja  $q_1 = 1,10$ .

2. Kergete ionide ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tiheduse aastases käigus on samuti maksimum juulikuus ja miinimum talvekuudel, kusjuures soojal poolaastal on positiivsetel ionidel tunduv ülekaal.

3. Rasketes ionide ( $0,1 > k \geq 0,00025$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tiheduse aastane käik on üldiselt antibaasis molioonide (kergete ionide) tiheduse aastase käiguga, omades miinimumi suvel (juulikuus) ja maksimumi talvel.

4. Kergete ionide ja molioonide tiheduse suur erinevus soojal poolaastal (maist septembrini) on tingitud rohkearvulisest vahepealsete ionide ( $1,0 > k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) olemasolust atmosfääri ionide „spektris”

Ka talvistel vaatlusperioodidel Tartus (1951.—1955. a.) on leitud atmosfääri ionide spektris liikuvuste vahemikus 1,0 kuni 0,1 cm<sup>2</sup>/sek volt erinevaid ionide grupe.

5. Keskmine kergete ionide ( $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tihedus 1951. aastal kogu vaatlusmaterjali alusel oli:  $n_2^+ = 540$  cm<sup>-3</sup> ja  $n_2^- = 460$  cm<sup>-3</sup> ning unipolaarsuse kordaja  $q_2 = 1,17$  kuna rasketes ionide ( $0,1 > k \geq 0,00025$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tihedus oli:  $N_2^+ = 5250$  cm<sup>-3</sup> ja  $N_2^- = 5150$  cm<sup>-3</sup> ning unipolaarsuse kordaja  $Q_2 = 1,02$ .

6. Molioonide tiheduse ööpäevases käigus on peamaksimum pärast keskööd, kella 2 paiku ja peamiinimum hommikul kell 7. kuna osamaksimum esineb keskpäeval pärast kella 12 ja osamiinimum õhtul enne kella 19. Selline molioonide tiheduse ööpäevane käik ilmneb üldjoontes niihästi külmal kui ka soojal poolaastal, kusjuures soojal aastaajal molioonide tiheduse öhtune osamiinimum (vastavalt rasketes ionide pärastlõunane osamaksimum) nihkub hilisemale ajale kooskõlas päikese loojanguga. Suvel (aasta III kvartalil) on keskpäevane molioonide tiheduse osamaksimum valitsevate tugevate õhu püstvoolude tõttu ulatuslikult domineeriv ja ületab öise maksimumi.

7 Rasketes ionide tiheduse ööpäevane käik on üldiselt anti-

baasis molioonide tiheduse ööpäevase käiguga. Peamiinimum on pärast keskööd (kell 2) ja peamaksimum hommikul (pärast kella 7), osamiinimum on pärast keskpäeva ja osamaksimum öhtu eel.

8. Kergete ionide tiheduse ööpäevane käik jälgib kord molioonide, kord jälle raskete ionide ööpäevast käiku sõltuvalt aastaajast. Soojal poolaastal, kus raskete ionide tihedus muutub minimaalseks, omavad kerged ionid rasketele ionidele iseloomuliku ööpäevast käiku (hommikune maksimum), kuna külmal poolaastal, kus raskete ionide tihedus on maksimaalne, jälgib kergete ionide ööpäevane käik aga üldiselt raskete ionide tihedusega antibaasis olevat molioonide tiheduse ööpäevast käiku.

9. Öine molioonide tiheduse peamaksimum ja raskete ionide tiheduse peamiinimum langeb ajale, mil õhk on kõige puhtam (pärast keskööd), kuna hommikune molioonide peamiinimum ja raskete ionide peamaksimum langeb ajale, millal õhk (eriti kütteperioodi kestel) on kõige tuumarikkam ja mil temperatuur on minimaalne, relatiivne niiskus maksimaalne ning tuule kiirus väike.

10. Meteoroloogilistest elementidest avaldab atmosfääri ionide spektrile kõige enam mõju niiskus. Relatiivse niiskuse kasvades molioonide tihedus väheneb, kuna kergete ja raskete ionide tihedus, eriti negatiivsete raskete ionide tihedus kasvab, mis on tingitud molioonide muutumisest aeglaselt liikuvateks ionideks veeauru molekulidega liitumise tõttu.

11. Kui relatiivne niiskus tõuseb soojal aastaajal üle 70%, siis molioonide tiheduse langedes suureneb erakordselt kergete ionide tihedus. See suurenemine on tingitud nn. vahepealsete ionide ( $1,0 > k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tekkest. Viimased tekivad rohkearvuliselt eriti siis, kui atmosfäärilised tingimused on soodsad tahke aerosooli (meresoola) üleminekuks vedelasse faasi (temp. umbes 20°C ja relat. niiskus 70%). Soojal aastaajal, mil tekib rohkearvuliselt vahepealseid ioone, on atmosfäärilised tingimused elusorganismidele soodsad. Samal aja positiivsete Langevin'i ionide ( $0,001 > k \geq 0,00025$  cm<sup>2</sup>/sek volt) tihedus langeb ja negatiivsete Langevin'i ionide tihedus kasvab.

12. H. Israel'i (Potsdam) ja F. J. Scrase'i (Kew) poolt tähelepandud  $p = \frac{N}{N_+ + N_-}$  järsk vähenemine umbes 70%-lise relatiivse niiskuse puhul on arvatavasti tingitud hügrokoopsete aerosoolide (meresool) tahke faasi üleminekust vedelasse.

13. On tõenäoline, et tahked hügrokoopsete aerosoolid, mida leidub maapinna läheduses atmosfääris, kannavad suures enamikus positiivseid laenguid.

14. Ühe ja sama relatiivse niiskuse korral (70—80%) on atmosfääri ionide spekter soojal ja külmal aastaajal täiesti erinev.

15. Nähtavuse suurenemisel ja absoluutse ning relatiivse niiskuse vähenemisel molioonide tihedus kasvab ja vastupidi.

Ka tuule kiirus ja suund avaldavad mõju atmosfääri ionide spektrile.

Läänekaare tuulte korral, mis toovad kaasa vaatluskoha lähema ümbruse (Toomemäe) puhtamat õhku kui ka läänekaarte tuultega sajurikkaid õhumasse, molioonide tihedus üldiselt suureneb.

Idakaarte tuulte korral aga molioonide tihedus langeb, mis on tingitud asustatud linnaosa õhu tuumarikkusest, kuid ka talvepoolaastal külmade ja mandriliste õhumassidega kaasnenud tuumade ja raskete ionide tiheduse kasvust.

16. Aastaaegade ja tuule suundade järgi lahutatud vaatlusmaterjalis nn. ekstreemseid\* ionide tihedusi analüüsides selgus, et: a) talvel (jaan. — märts):

1) Sadu põhjustab molioonide ja kergete ionide tiheduse kasvu ja raskete ionide tiheduse langust. Analooiline nähtus esineb ka tugeva tuule ja vahel isegi tuisu korral.

2) Udu ja suitsu korral esineb raskete ionide tiheduse kasvu ja molioonide tiheduse langust, kusjuures unipolaarsuse kordaja udu korral on tavaliselt vähem 1-st.

b) kevadel (aprill — juuni):

1) Niiskuse kasvamine, kerge udu ning peen vihm, põhjustavad kergete ionide tiheduse kasvu ja molioonide tiheduse langust.

2) Tihe udu ja sadu põhjustavad molioonide tiheduse langust ja raskete ionide tiheduse kasvu, kusjuures sadu kõrgema temperatuuri korral (keskpäeval) põhjustab ülekaalus raskeid negatiivseid ioone, võrreldes raskete positiivsete ionidega.

3) Äikesevihm aga põhjustab rohkearvuliselt kergete ioone, kusjuures raskeid positiivseid ioone on tunduvalt vähem kui raskeid negatiivseid ioone.

c) Suvel (juuli — september):

1) Väga palju on kergete ioone äikese korral, kusjuures molioonide ja raskete ionide tihedus muutub suhteliselt vähe.

2) Samuti on palju kergete ioone siis, kui relatiivne niiskus on 70—80% ja absoluutne niiskus küllalt suur ( $a > 10$  mm) ning temperatuur umbes 20°C lähedal — kui toimub aerosooli (meresoola) tahke faasi üleminek vedelasse.

d) Sügis-talvel (oktoober — detsember)

1) Suure relatiivse niiskuse, halva nähtavuse ja nõrga tuule korral on molioonide ja samuti ka kergete ionide tihedus väike, kuid raskete ionide tihedus suur ja vastupidi.

2) Udu ja suits põhjustavad molioonide tiheduse langust ja raskete ionide tiheduse kasvu.

Udu korral on unipolaarsuse kordaja 1-st väiksem. Suitsu, jäite, härma ja isegi halla korral on unipolaarsuse kordaja tavaliselt 1-st suurem.

17 Kergete ja raskete ionide tihedusarvude alusel arvuta-

---

\* Ekstreemseteks väärtusteks nimetame neid ionide tihedusi, mis umbes 100% ja enam erinevad kvartali keskmistest.

tud ruumilaeng oli 1951. aastal negatiivne talvekuudel (jaanuarist aprillini), mil maapind on külmunud ja lumikattes, kuna maist kuni detsembrini oli ruumilaeng positiivne.

Aasta keskmine ruumilaeng

$$e_k = + 200 \frac{\text{el} \cdot \text{laeng}}{\text{cm}^3} = + 0,096 \frac{\text{ESÜ}}{\text{m}^3}.$$

#### KIRJANDUS

1. Дессауэр, Ф. Ионизированный воздух и его физиологическое действие, 1932.
2. Schmid, A. Biologische Wirkungen der Luft-Elektrizität, Bern, 1936.
3. Edström, G. Studies in natural and artificial atmospheric electric ions, Lund, 1935.
4. Васильев, Л. Л. Теория и практика лечения ионизированным воздухом, Ленинград, 1953.
5. Рейнет, Я. Ю. Комбинированный счетчик атмосферных ионов. Академия Наук СССР Институт Техничко-Экономической информации, Москва, 1955.
6. Kirde, K. Acta et commentationes Universitatis Tartuensis, A, XXXIV. 1940.
7. Рейнет, Я. Ю. Труды Главн. Геофиз. Обсерв. 58(120), 23, 1956.
8. Siksna, R. Arkiv för geofysik, 1, 5—6, 483, 1953.
9. Wilson, C. R. T. Phil. Trans. Roy. Soc. A., 193, 289, 1899.
10. Schachl, P. F. Gerl. Beitr. zur Geophys., 38, 202, 1933.
11. Twomey, S. Journal of Applied Physics, 24/9, 1099, 1953.
12. Israël, H. Gerl. Beitr. zur Geophys., 23, 283, 1929.
13. Israël, H. Gerl. Beitr. zur Geophys., 57, 247, 1941.
14. Israël, H. Gerl. Beitr. zur Geophys., 57, 261, 1941.
15. Scrase, F. J. Geoph. Mem. meteor. Off. London, No. 64, 1935.

## ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ В Г ТАРТУ В ТЕЧЕНИЕ ГОДИЧНОГО ПЕРИОДА

Я. Рейнет

### Резюме

Во время измерений плотностей атмосферных ионов, произведенных в Тарту в 1951 году, обнаружилось, что:

1. Первичные атмосферные ионы, так называемые молионы ( $k \geq 1,0$  см<sup>2</sup>/сек-вольт) имели годовой ход с минимумом в марте, когда поверхность земли наиболее проморожена, а снежный покров имеет наибольшую толщину и плотность; максимум же плотности молионов наблюдается в июле, когда вертикальные потоки в атмосфере, обусловленные нагреванием почвы, являются наиболее интенсивными.

В теплом полугодии, начиная с мая месяца, когда почва совершенно оттаивает и высыхает, преобладают положительные молионы; но начиная с ноября, когда почва влажна от осенних дождей и начинает уже подмерзать, имеют перевес отрицательные молионы.

Средняя плотность молионов в 1951 году в Тарту на основании всего годичного материала наблюдений была:  $n_1^+ = 230$  см<sup>-3</sup> и  $n_1^- = 210$  см<sup>-3</sup>, а коэффициент униполярности  $q_1 = 1,10$ .

2. В годовом ходе плотности легких ионов ( $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек-вольт) максимум наблюдается также в июле, а минимум в зимние месяцы, причем в теплом полугодии положительные ионы значительно преобладают.

3. Годовой ход плотности тяжелых ионов ( $0,1 > k \geq 0,00025$  см<sup>2</sup>/сек-вольт) в общей сложности противоположен годовому ходу плотности молионов (легких ионов), обладая минимумом летом (в июле месяце) и максимумом зимою.

4. Большое различие плотностей легких ионов и молионов в теплом полугодии (с мая по сентябрь) обусловлено наличием большого количества промежуточных ионов ( $1,0 > k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек-вольт) в спектре атмосферных ионов.

Во время зимних периодов наблюдений в Тарту (1951—1955 гг.) также отмечались в спектре атмосферных ионов раз-

личные группы ионов в промежутке подвижностей 1,0—0,1 см<sup>2</sup>/сек·вольт.

5. Средняя плотность легких ионов ( $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек·вольт) в 1951 году была на основании всего материала наблюдений следующая:  $n_2^+ = 540$  см<sup>-3</sup> и  $n_2^- = 460$  см<sup>-3</sup> и коэффициент униполярности  $q_2 = 1,17$ , а плотность тяжелых ионов ( $0,1 > k \geq \geq 0,00025$  см<sup>2</sup>/сек·вольт) была:  $N_2^+ = 5250$  см<sup>-3</sup> и  $N_2^- = 5150$  см<sup>-3</sup>, коэффициент униполярности  $Q_2 = 1,02$ .

6. В суточном ходе плотности молионов главный максимум наблюдается после полуночи, около 2-х часов, а главный минимум утром, в 7 часов, в то время как побочный максимум существует в полдень после 12 часов, а побочный минимум вечером до 19 часов. Такой суточный ход плотности молионов обнаруживается в общем как во время холодного, так и теплого полугодия, причем в теплое время года вечерний побочный минимум плотности молионов (соответственно послеобеденный побочный максимум тяжелых ионов) продвигается на более позднее время в соответствии с заходом солнца. Летом (в III квартале года) полуденный побочный максимум плотности молионов резко выражен, вследствие наличия мощных вертикальных воздушных потоков в атмосфере, и превосходит даже ночной максимум.

7. Суточный ход плотности тяжелых ионов вообще прямо противоположен суточному ходу плотности молионов. Главный минимум имеет место после полуночи (в 2 часа), а главный максимум утром (после 7 часов), побочный минимум наблюдается после полудня и побочный максимум перед вечером.

8. Суточный ход плотности легких ионов подражает то суточному ходу молионов, то тяжелых ионов — в зависимости от времени года. В теплом полугодии, когда плотность тяжелых ионов становится минимальной, легкие ионы усваивают суточный ход, свойственный тяжелым ионам (утренний максимум); во время холодного полугодия, когда плотность тяжелых ионов максимальна, суточный ход легких ионов подобен в общих чертах суточному ходу плотности молионов, который прямо противоположен суточному ходу плотности тяжелых ионов.

9. Ночной главный максимум плотности молионов и главный минимум плотности тяжелых ионов приходится на время, когда воздух чище всего (после полуночи); утренний главный минимум молионов и главный максимум тяжелых ионов приходится на время, когда воздух (в особенности в течение отопительного сезона) богаче всего в отношении ядер, когда температура минимальна, относительная влажность максимальна и скорость ветра невелика.

10. Из метеорологических элементов влажность оказывает наибольшее влияние на спектр атмосферных ионов. С увеличением относительной влажности уменьшается плотность молионов, в то время как плотность легких и тяжелых ионов, особенно плот-

ность отрицательных ионов, увеличивается, что обусловлено преобразованием молионов в медленно движущиеся ионы, вследствие их соединения с молекулами водяного пара.

11. Когда в теплое время года относительная влажность поднимается выше 70%, то с уменьшением плотности молионов чрезвычайно увеличивается плотность легких ионов. Это увеличение обусловлено образованием так называемых промежуточных ионов ( $1,0 > k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек·вольт). Последние образуются в большом количестве особенно тогда, когда атмосферные условия благоприятствуют переходу твердых аэрозолей (морской соли) в жидкое состояние (температура приблизительно 20°C и относительная влажность 70%) В теплое время года, когда появляются в изобилии промежуточные ионы, атмосферные условия благоприятны для живых организмов. Одновременно плотности положительных ионов Ланжевена ( $0,001 > k \geq 0,00025$  см<sup>2</sup>/сек·вольт) уменьшаются и плотности отрицательных ионов Ланжевена увеличиваются.

12. Отмеченное Х. Израэлем (Потсдам) и Ф. Ж. Скрасом (Кью) внезапное уменьшение  $\rho = \frac{N}{N_+ + N_-}$  при приблизительно 70% относительной влажности обусловлено, по-видимому, переходом твердой фазы гигроскопических аэрозолей (морская соль) в жидкую.

13. Весьма вероятно, что твердые гигроскопические аэрозоли, которые находятся во взвешенном состоянии в атмосфере вблизи земной поверхности, имеют преимущественно положительные заряды.

14. При одной и той же относительной влажности (70—80%) спектры атмосферных ионов в теплое и холодное время года совершенно различны.

15. При увеличении видимости и уменьшении абсолютной и относительной влажности плотность молионов увеличивается и наоборот.

Скорость и направление ветра также оказывают влияние на спектр атмосферных ионов.

Во время западных ветров, которые приносят чистый воздух из ближайшей окрестности места наблюдения (Тоомеяги), а также богатые дождем массы воздуха, плотность молионов вообще увеличивается.

В случае же восточных ветров плотность молионов уменьшается, что обусловлено обилием ядер в воздухе из густо заселенной части города, но также в холодное время года, вследствие содержащихся в холодных континентального происхождения воздушных массах ядер и в зависимости от увеличения плотности тяжелых ионов.

16. В результате анализа так называемых экстремальных\*

\* Экстремальными значениями называем те плотности ионов, которые отличаются от средних квартала приблизительно на 100% и более.

плотностей ионов в наблюдательном материале, распределенном по временам года и направлениям ветра, выяснилось, что:

а) зимой (январь—март):

1. Дождь обуславливает увеличение плотностей молионов и легких ионов и уменьшение плотности тяжелых ионов. Аналогичное явление имеет место также во время сильного ветра и иногда даже во время метели.

2. При тумане и дыме наблюдается увеличение плотности тяжелых ионов и уменьшение плотности молионов, причем коэффициент униполярности во время тумана обычно меньше 1.

б) весной (апрель—июнь):

1. Увеличение влажности, легкий туман и мелкий дождь обуславливают увеличение плотности легких ионов и уменьшение плотности молионов.

2. Густой туман и дождь обуславливают уменьшение плотности молионов и увеличение плотности тяжелых ионов, причем дождь при наивысшей температуре (в полдень) вызывает появление тяжелых отрицательных ионов в преобладающем количестве по отношению к тяжелым положительным ионам.

3. Гроза обуславливает появление большого количества легких ионов, причем тяжелых положительных ионов имеется гораздо меньше, чем тяжелых отрицательных ионов.

в) летом (июль—сентябрь):

1. Очень много легких ионов во время грозы, причем плотность молионов и тяжелых ионов изменяется относительно мало.

2. Много легких ионов обнаруживается тогда, когда относительная влажность составляет 70—80% и абсолютная влажность достаточно велика ( $a > 10$  мм), а температура приблизительно около 20°C — переход твердой фазы аэрозолей (морской соли) в жидкую.

г) осенью—зимой (октябрь—декабрь):

1. При большой относительной влажности, плохой видимости и слабом ветре плотность молионов, а также легких ионов мала, но плотность тяжелых ионов велика и наоборот.

2. Туман и дым обуславливают уменьшение плотности молионов и увеличение плотности тяжелых ионов.

Во время тумана коэффициент униполярности меньше 1. При дыме, гололедице, иное коэффициент униполярности обычно больше 1.

17 Объемный заряд, вычисленный на основании числовых величин плотностей легких и тяжелых ионов, был в 1951 году отрицательным в зимние месяцы (с января по апрель), когда почва была заморожена и покрыта снегом; с мая по декабрь объемный заряд был положительным.

Годовой средний объемный заряд

$$\rho_{ср} = + 200 \frac{\text{эл. зарядов}}{\text{см}^3} = + 0,096 \frac{\text{CGSE}}{\text{м}^3}$$

## ON THE CHANGES OF ATMOSPHERIC IONIZATION IN TARTU DURING A YEARLY PERIOD

J. Reinet

### Summary

The measurements of ionic density in the atmosphere made in Tartu in 1951 gave the following results:

1. The primary ions of the atmosphere, the so-called molions ( $k \geq 1.0$  cm<sup>2</sup>/sec volt) had their annual variation with a minimum in March, when the ground is most deeply frozen and the cover of snow is deepest and most dense, and with a maximum in July, when the vertical currents due to the heating of the ground are strongest.

In the warm season, beginning with May, when the ground is quite thawed up and dry, the positive molions predominate, but beginning with November, when the ground is wet with autumn rain and begins to freeze, the negative molions predominate.

The average density of the molions in 1951 in Tartu, according to the total annual observation material, was  $n_1^+ = 230$  cm<sup>-3</sup> and  $n_1^- = 210$  cm<sup>-3</sup>, and the unipolarity coefficient  $q_1 = 1.10$ .

2. In the annual variation of the density of small ions ( $k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/sec volt) the maximum is also in July and the minimum in the winter months, positive ions being in marked predominance in the warm season.

3. The annual variation of the density of large ions ( $0.1 > k \geq 0.00025$  cm<sup>2</sup>/sec volt) is on the whole the reverse of the annual variation of the molions (small ions), having a minimum in summer (in July) and a maximum in winter.

4. The great difference between the density of small ions and of molions in the warm season (from May to September) is due to the presence of numerous intermediate ions ( $1.0 > k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/sec volt) in the "spectrum" of the atmospheric ions.

Also in the winter observation periods in Tartu (1951—1955) there have been found in the spectrum of the atmospheric ions, within the interval of mobilities from 1.0 to 0.1 cm<sup>2</sup>/sec volt, different groups of ions.

5. The average density of small ions ( $k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/sec volt) during 1951 on the basis of the whole observation material was  $n_2^+ = 540$  cm<sup>-3</sup> and  $n_2^- = 460$  cm<sup>-3</sup>, and the unipolarity coefficient  $q_2 = 1.17$ . whereas the density of large ions ( $0.1 > k \geq 0.00025$  cm<sup>2</sup>/sec volt) was  $N_2^+ = 5250$  cm<sup>-3</sup> and  $N_2^- = 5150$  cm<sup>-3</sup> and the unipolarity coefficient  $Q_2 = 1.02$ .

6. In the diurnal variation of the density of molions the main maximum is after midnight, at about 2 A. M., and the main minimum in the morning, at 7 A. M., whereas the partial maximum occurs at midday, after 12 o'clock, and the partial minimum in the evening, before 19 P. M. Such a diurnal variation of the density of molions is observed in general in the cold as well as in the warm season, the evening partial minimum of molions (and the corresponding partial afternoon maximum of large ions) being shifted to a later time in accordance with the sunset. In summer (the 3rd quarter of the year) the midday partial maximum of the density of molions is largely predominant, owing to the prevalence of strong vertical air currents, and it surpasses the night maximum.

7. The diurnal variation of the density of large ions is on the whole the reverse of the diurnal variation of molions. The main minimum is after midnight (at 2 A. M.) and the main maximum in the morning (after 7 A. M.), the partial minimum is after midday and the partial maximum before the evening.

8. The diurnal variation of the density of small ions follows now the diurnal variation of molions, now that of large ions, according to the season of the year. In the warm season, when the density of large ions falls to a minimum, small ions have the diurnal variation characteristic of large ions (the morning maximum), whereas in the cold season, when the density of large ions is at its maximum, the diurnal variation of small ions on the whole follows the diurnal variation of the density of molions, which is the reverse of the density of large ions.

9. The nocturnal main maximum of the density of molions and the main minimum of the density of large ions fall on the time when the air is purest (after midnight), whereas the morning main minimum of the molions and the main maximum of the large ions fall on the time when the air (especially during the period of artificial heating) is most rich in nuclei and when the temperature attains its minimum and relative humidity its maximum, and the velocity of the wind is small.

10. Of the meteorological elements it is humidity that influences the spectrum of the atmospheric ions most of all. With the increase of relative humidity the density of molions decreases, while the density of small and large ions, that of large negative ions in particular, increases, owing to the change of molions into slowly moving ions, because of their fusion with the molecules of water vapour

11. When relative humidity in the warm season exceeds 70 per cent, the decrease of the density of molions is accompanied by an exceptionally large increase of the density of small ions. This increase is due to the production of so-called intermediate ions ( $1.0 > k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/sec volt). The latter are produced in great numbers especially when the atmospheric conditions are favourable to the transition of the solid aerosol (sea-salt) into the liquid state (at a temperature of 20° C and relative humidity of 70 per cent). In the warm season, when intermediate ions are produced in great numbers, atmospheric conditions are favourable to living organisms. At the same time the densities of the positive Langevin ions ( $0.001 > k \geq 0.00025$  cm<sup>2</sup>/sec volt) decrease, and those of the negative Langevin ions increase.

12. The steep decrease of  $p = \frac{N}{N_+ + N_-}$  at about 70 per cent relative humidity, observed by H. Israël (Potsdam) and F. J. Scrase (Kew), is presumably due to the transition of hygroscopic aerosols (sea-salt) from the solid state into the liquid.

13. It is probable that hygroscopic aerosols, which are found in the atmosphere near the ground, carry in a great majority positive charges.

14. With one and the same relative humidity (70—80 per cent) the spectrum of the atmospheric ions is totally different in the warm and in the cold season.

15. With increasing visibility and decreasing absolute and relative humidity the density of molions increases, and vice versa.

The velocity and direction of the wind also affect the spectrum of the atmospheric ions.

In case of westerly winds, which from the immediate vicinity of the place of observation (from the Toomemägi hill) bring purer air as well as rain-saturated air masses from the west, the density of molions generally increases.

In case of easterly winds, however, the density of molions decreases, which is due to the richness of the populated part of the town in nuclei, but also in the winter season to the density of the nuclei and of large ions accompanying the cold and continental air masses.

16. In the observation materials arranged according to the seasons and the directions of the wind, analysing the so-called extreme\* densities of the ions, it was shown that:

a) in the winter (January — March):

1. Precipitation causes an increase of the density of molions and of small ions, and a decrease of the density of large ions. An analogous phenomenon occurs also when there is a strong wind and sometimes even in a snowstorm.

---

\* We call extreme such values of the ion densities which differ from the average value for the quarter of the year about 100 per cent and more.