



## Atmosfäärielekter

H. Tammet

*the Question, Whether  
Lightning are electrical  
is done conveniently  
high Tower or Steeple,  
Box big enough  
an electrical  
Dial of the Stand  
and pass bending  
in upright 20 or  
thorp at the End.  
be kept clean  
ing on it -  
passing -  
ied. and*



Katkend Franklini kirjast.

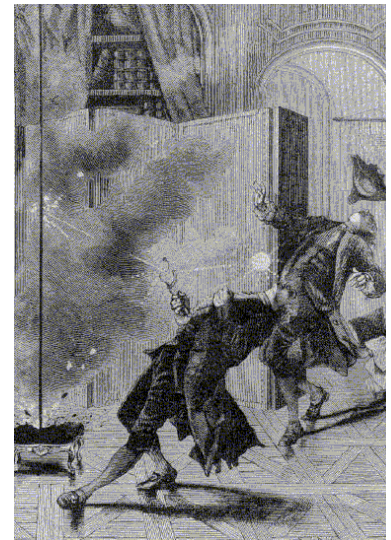
tud pingil seisev teadlane peaks proovima, kas äikese ajal saab tema sõrmedest sädemeid. Franklin avaldas kirjas arvamust, et katse pole ohtlik. Kartliku teadlase jaoks lisas ta eraldi nõuande seista põrandal ja katsuda varda külge viivat traati mitte sõrmega, vaid isoleeritud käepideme külge kinnitatud ja teisest otsast maandatud traadiga. Nii kavatseski akadeemik Georg W. Richmann 6. augustil (vana kalendri järgi 26. juulil) 1753. aastal Peterburis, küll mitte tornis, vaid enda kodus laboratooriumis. Katse lõppes Richmanni hukkamisega. Enne seda oli Franklini poolt soovitatud katse õnnelikult korda läinud esimesena 10. mail 1752. a. prantsuse teadlasel T.F. Dalibart'il ja sama aasta juunis Franklinil endal.

Benjamin Franklin (1706-1790) on tuntud ka kui üks Ameerika Ühendriikide iseseisvumise juhtidest ja tema pilt ehib sajadollarilist rahatähte. Balti-saksa päritolu Georg Wilhelm Richmann (1711-1753) on sündinud Pärnus, veetnud poisipõlve Tartus ja õppinud hiljem Tallinna gümnaasiumis, Saksa ülikoolides ja Peterburi Akadeemias.

Juba atmosfäärielektri teaduse sünniaastal 1752. pani prantslane L.-G. Lemonnier püsti kümnemeetrilise puust masti ja selle külge isoleeritud teraviku. Lemonnier'd huvitas, kui kaugel äikesepilvest on võimalik elektrilaengut registreerida. Nõrk elekter ei anna sädet ja Lemonnier kontrollis elektrilaengut selle järgi, kuidas varda küljest tulev traat tolmu külge tõmbab. Ühel selgel juunikuu päeval ei olnud pilvi ei lähemas ega kaugemas ümbruses, kuid traat tõmbas ikka tolmu külge. Lemonnier

### Atmosfäärielektri uurimise algus

Taevatähtede ja äikese mõistatused on läbi aastatuhandete olnud tõukejõuks nii müütidele ja religioonidele kui teadusele. Tähtede asendeid ja liikumist õpiti mõõtma juba antiikajal ja siit sai alguse teaduslike meetodite areng. Äikest ei osatud mõõta ja see jäi kauaks mütooloogia püruksmaks. Ka äikese olemus jäi mõistatuseks nii kauaks, kuni teadmiste piiratus ei võimaldanud näha analoogiat vägeva äikese ja merevaigu hõõrumisega kaasneva vaevukuuldava praksumise vahel. 1708. aastal püüdis inglise teadlane William Wall saada merevaiku hõõrudes võimalikult pikki sädemeid ja avaldas tolleaegses juhtivas teadusajakirjas prohvetliku väite "...näib, et nende olemus on sama kui välgul". Walli artiklile ei järgnenud tõsisemaid uurimistöid kuni Benjamin Franklin kirjeldas 1750. a. sõbrale saadetud kirjas katse plaani, mille kohaselt torni otsa ehitatud putkasse tuuakse 6-9 m pikuse terava otsaga varda küljest ühendustraat. Vardaga elektriliselt ühendatud ja maast isoleeritud



Richmanni surm.

asus varda elektriseerumist igapäevaselt registreerima ja tema Prantsuse Teaduste Akadeemia toimetistes ilmunud artikkel märgib regulaarsete atmosfäärielektriliste mõõtmiste algust.

18. sajandi keskpaigani arvati, et õhk on ideaalne isolaator ja elekter võib seda läbida ainult sädeme kujul. Lemonnier'i avastus tähendas muud: elekter tuleb taevast ka sädemeta. Esimese mõõteriista nõrga staatilise elektri mõõtmiseks ehk elektromeetri ehitas aga G.W. Richmann St. Peterburis 1744 aastal. Selle abil tegi Richmann kindlaks, et õhk juhib alati vähesel määral elektrit. Mõni tema hilisemat kinnitust leidnud tähelepanekutest väärib erilist äramärkimist: tehes katseid erinevates tingimustes täheldas Richmann, et kuiv õhk ei ole sugugi parem isolaator, kui niiske õhk ja graniitkivist palees juhib õhk paremini elektrit, kui puitmajades. Tänapäeval seletatakse viimast tähelepanekut asjaoluga, et graniit sisaldab rohkem radioaktiivseid aineid, kui puit.

Richmanni avastus unustati. 1785. aastal tegi Coulomb'i seaduse autor prantslane C.A. de Coulomb katseid varem tuntuist paremate elektrometritega ja avastas uuesti õhu elektrijuhtivuse. Olgugi publikseeritud Prantsuse Teaduste Akadeemia toimetistes, jäi ka Coulomb'i avastus pea sajaks aastaks unustusse. Nende saja aasta jooksul edendati atmosfääri elektri teadust elektrostaatika meetoditega ja elektrivoolust õhus ei räägitud ega kirjutatud. Õhu elektrijuhtivusest tuleb allpool juttu rubriigis "Pilvitu taeva elekter".

## Välg ja müristamine



Välg tekib ainult äikesepilves. Ka põuavälg, mille sähvatust võib vahel näha öises pilvitus taevas, pärineb pilvest. Äike on siis nii kaugel, et pilve pole näha ja müristamist pole kuulda.

Välg on suur elektrisäde. Sädemete tekitamiseks on tarvis seda kõrget pinget, mida suurem on kaugus elektroodide vahel. Laboratoorses katses tekib säde tasaste plaatide vahel siis kui pinge on 30 kV ühe sentimeetri kohta. 30 kV on ligikaudu tuhat korda suurem, kui pinge amplituud seinakontaktis ja vaid kümme korda väiksem, kui pinge suures kõrgepingeliinis. Kolmekilomeetrise välgu kohta annaks meie arvutus ligi 10 000 megavolti, mis on uskumatult suur number. Terve mõistuse skeptitsism on siinkohal õigem kui lihtaritmeetika. Kui säde on atmosfääris kord alguse saanud, siis suudab ta edeneda ka oluliselt väiksema pingega korral. Tegelik pinge välgu otste vahel ulatub vaid 1000 megavoldini, mis on lihtaritmeetika tulemusest umbes kümme korda väiksem. See ületab aga inimese saavutusi (30 megavolti National Electrostatic Corporation'i Pelletron-kiirendis) ikkagi

mitmekümnekordselt.

Müristamine on küll muljetavaldav ja hirmu tekitav nähtus, kuid üsnagi kahjutu ja lihtsalt uuritav ja seletatav. Ligikaudu 3 cm läbimõõduga välgukanalis kuumeneb õhk silmapikselts kuni 30 000 kraadini mis on märksa enam, kui lõhkeaine plahvatuses. Paisuva õhu löökaine on tugev pauk. Välg kestab murdosa sekundist, müristamine aga mitu sekundit. Vahel arvatakse naiivselt, et müristamise muudab pikaajaliseks pilvedevaheline kaja. See ei pea paika. Pilved on hõredad ja kuigi kaja nendelt on sonariks nimetatud ülitundliku aparatuuri abil registreeritav, jääb see inimese kõrvale märkamatuks. Kontrolliks võib teha paugu pilvise taeva all ja oodata, kas kajab. Müristamine venib pikale hoopis lihtsal põhjusel. Välg on haruline ja mitu kilomeetrit pikk ning pauk jõuab tema ühest otsast vaatlejani mitu sekundit hiljem, kui teisest otsast.

Välgu voolutugevus ja võimsus on imposantsed, kuid inimese poolt järele tehtavad. Voolutugevus jääb tavaliselt 100 kA piiridesse ja saavutab väga harva 200 kA. 1000 MV ja 100 kA teeb võimsuseks 100 GW, mis ületab küll paljukordselt maailma suurimat elektri jaama (Kolme Kuristikku Tamm Hiinas, 18.2 GW) kuid jääb pea tuhat korda alla Michigani Ülikooli 40000 gigavattisele HERCULES-laserile. Paradoksi seletab aeg. Välg kestab vaid sekundikümneid ja tema koguerenergia jääb tavaliselt alla tuhande kilovatttunni, HERCULES-laseri välge aga kestab kõigest

$3 \times 10^{-14}$  s ja hiigelvõimsusele vaatamata on koguenergia väiksem kui fotoaparaadi välklambi sähvatusel. Välgu energia kütab õhku tema kanali kogupikkuses ja piksevardasse püütud välgu energiast pole võimalik kasutada ühte protsenti. On üsnagi selge, et välkude püüdmine energia saamiseks ei ole tasuv ettevõtmine. Välke püütakse vaid nende uurimise eesmärgil.

Välgu energia allikaks on tõusev õhuvool, mille algpõhjus on õhu soojendamine maapinna poolt. Soe õhk on kergem ja tõuseb üles. Kui veeaur hakkab tõusvas õhuvoolus kondenseeruma, siis eraldub veel lisasoojust ja protsess läheb laviinina käima. Äikesepilve keskel vertikaalselt üles puhuv tuul kiirusega kuni 50 m/s võib kanda hõljuvas olekus poolekiloseid raheterasid. Vertikaaltuul käivitabki pilve staatilise elektri generaatori, mille mehhanism on üsna keeruline. Enamus suuri raheterasid ja tilku kannavad negatiivset ja väikesed tilgad positiivset laengut. Niiviisi viib tuul positiivse laengu vastu elektrijõudu üles kuni elektriväli kasvab nii tugevaks, et algab äike.

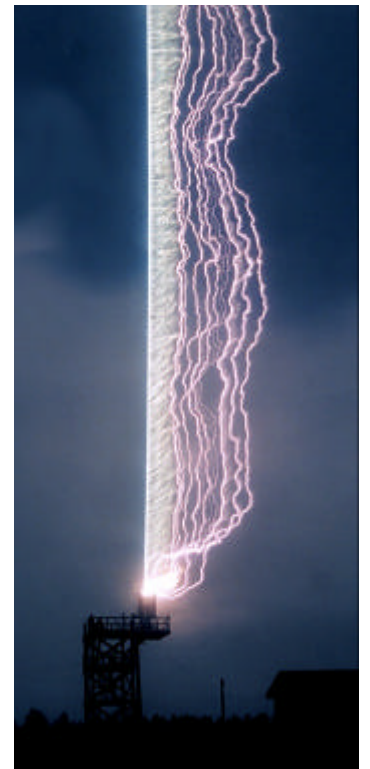


3. juuni 1902. a.  
M.G. Loppé foto

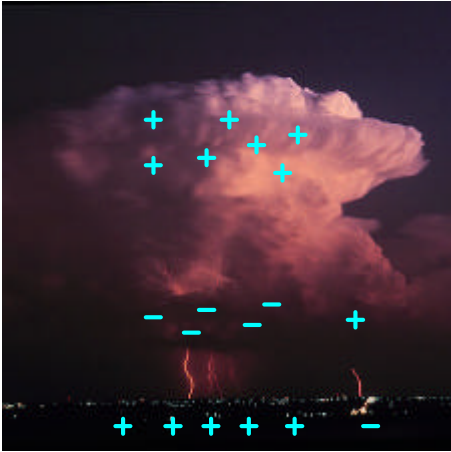
ruutkilomeetri kohta keskel läbi üks välk ja tavalist piksevarrast kasutades võibki ootama jääda. Välkude tõsisema uurimise algusaastail olid atmosfäärifüüsikute meeliskohad Eiffeli torn Pariisis ja Empire State Building New Yorgis. Tänapäeval eelistatakse aparaat madalal asuvasse vaatlusjaama valmis seada ja välk teadlastele sobival momendil kohale meelitada. Selleks oodatakse soodsat momenti (tavaliselt veidi pärast äikesevihma vaibumist) ja lastakse vertikaalselt üles väike rakett, mis kerib poolilt ja veab enda järel peenikest traati (sellised raketid on sõjatööstuses seeriatootmises). Nii saadakse pikk ja efektiivne piksevarras ning välgulöök on pea-aegu kindel. Välgu parameetrid registreeritakse keerulise otsillograafe ja kaameraid sisaldava aparatuuri abil.

Väljud on mitmekesised ja keerukad mitte ainult väliskujult vaid ka füüsilise mehhanismi ja struktuuri poolest. Välgu uurimused moodustavad kõige suurema osa atmosfääri elektri teadusest. Scholar.google.com annab küsimusele teadusartiklitest, mille pealkirjas on sõna "lightning" (välk) ca 12500 vastust samal ajal, kui pealkirjadest sõna "thunderstorm" (äike) otsides saab vastuseid kõigest ca 850.

Kõige lihtsam välgu uurimise meetod on öine aegfotograafia. See annab küll ilusaid pilte, kuid vähe informatsiooni välgu olemuse mõistmiseks. Lihtne meetod on ühendada piksevarras maaga mitte otse vaid läbi elektrivoolu registreerimise seadme ja jääda välku ootama. Paraku võib see ootamine kujuneda õige pikkaks. Eestis tuleb aastas ühe



Raketi abil süüdatud välk. Vasakul plahvatanud traat, paremal korduvlahenduste tuulest kantud kanalid.



Äikesepilv loojangul. Märgid näitavad elektrilaengu paiknemist.

Enamus välkudest algavad ja lõpevad äikesepilves ja nad ei põhjusta muud, kui valgusesähvatust, müristamist ja keemilisi reaktsioone. Välgud oksideerivad aastas umbes 3 miljonit tonni lämmastikku, mis on üle ühe protsenti lämmastiku bioloogilisest ringlusest. Veerand välkudest ulatuvad maapinnani. 90% (põhjamaises Eestis veidi väiksem protsent) pilve ja maa vahelistest välkudest kannab maapinnale negatiivset elektrilaengut ja neid nimetatakse negatiivseteks välkudeks. Tavaline välk algab pilves ja levib siksakiliselt mõnekümne meetri pikkuste sammliidriteks nimetatavate sädemetena, ühe sammu aeg on 20-50 mikrosekundit. Liider kannab negatiivset laengut allapoole ja kui ta jõuab maapinna lähedale, siis kasvab elektriväli maapinnal nii tugevaks, et siin algab uus säde. See on liidrist märksa võimsam ja sirutub sirgjooneliselt liidrile vastu. Kui liider ja vastutulev lahendus maapinnast mõnekümne meetri kõrgusel ühinevad, siis sulgub juhtiv voolukanal ja tuhandikuks sekundiks tekib midagi pilve ja maa vahelise lühiühenduse taolist. Selles staadiumis vabanebki välgu energia. Enamasti aga ei jõua välgu ülemist otsa ümbritsev elektrilaeng tuhandiksekundi jooksul maha laaduda ja umbes kümnendiku sekundi pärast tekib uus ja pea sama võimas lahendus nüüd juba ette kuumutatud ja ioniseeritud kanalit pidi. Välgulahendus võib niiviisi korduda kuni kümme korda enne kui välgu ülemise otsa ümbrusesse kogunenud laeng ammendub. Eesti kliimas piirdub välk tavaliselt vaid 1-5 lahendustsükliga ja kestab kokku alla poole sekundi.

Välkude esinemist ja geograafilist jaotust uuritakse satelliidifotode ja välgu raadiosignaale jälgivate maapealsete vaatlusvõrkude abil. Meie lähinaabritest on vaatlusvõrguga kaetud nii Rootsi kui Soome.

Välgud põhjustavad nimetamisväärset kahju. USA meteoroloogiateenistuse andmetel hukkus Ühendriikides ajavahemikul 1940-1991 välgutabamuse läbi 8316 inimest samal ajal kui tornaadod said saatuslikuks 5731 ja uputused 5828 inimesele. Ligikaudu 5% kindlustusjuhtumeid on põhjustatud välgulöökidest ja USA igaaastast majanduslikku kahju mõõdetakse miljardites dollarites.

### Elekter ülalpool pilvi

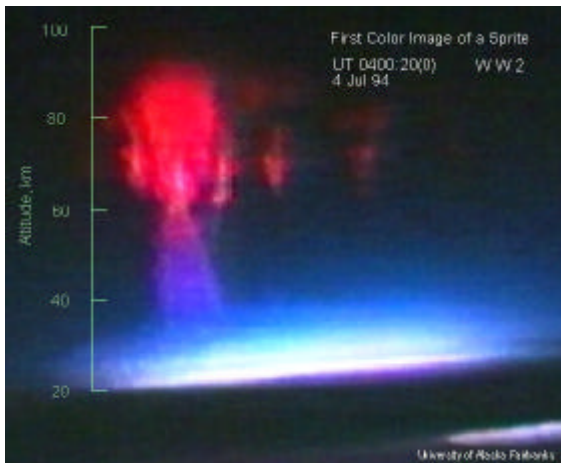
Välgud ja elektriliselt laetud äikesevihma tilgad kannavad maapinnale hulgaliselt negatiivset elektrilaengut. Üle kogu maakera laetakse maapinda äikeste all umbes 1000 amprilise vooluga. Looduses kehtib aga elektrilaengu jäävuse seadus: kui kuskil tekib mingi hulk negatiivset elektrilaengut, peab samal aja tekkima ka täpselt sama palju positiivset elektrilaengut nii, et laengu koguhulk jääks ikka samaks. Kuhu läheb siis äikesepilve ülaossa kogunenud positiivne laeng? Loomulik vastus on: läheb taevasse.

Atmosfäärielektriline taevastatiti tänu raadiotehnikale. Raadioside on algusest peale tihedalt seotud atmosfäärielektriga. Vene teadlase A.S. Popovi 1895. a. ehitatud esimene raadiovastuvõtja ei olnud üldse sideseade ja kandis nime "äikesemärkija". Äike on võimas raadiosaatja mis teeb tänase ni raadiosidele palju tüli. Tänu itaallase G. Marconi töödele arenes raadioside 19. ja 20. sajandi vahetusel väga kiiresti ja juba 1901. a. oli sisse seatud radioühendus Euroopa ja Ameerika vahel. Nii suur kaugus saatja ja vastuvõtja vahel näis füüsikaseaduste vastane. On ju raadiolaine nagu valguski elektromagnetiline lainetus, mis lainepikkusest palju suurema mastaabiga ruumis levib sirgjoonelis-



Välgust lõhutatud mänd Sodankyläs (Põhja Soome).

te kiirtena. Maakera on aga ümmargune ja raadioside Euroopast "nurga taha" Ameerikasse ei tohiks olla võimalik. Televisioonis ja kaasaegses ringhäälingus kasutatavad meeterlained käituvadki nagu korralik õpilane füüsikatunnis ja Euroopast Ameerikasse nad ei levi. Alates 15-20 meetrisest laine-pikkusest käituvad aga raadiolained teisiti ja nagu raadioamatöörid on paljukordselt tõestanud, võivad levida Eestist ka Uus-Meremaale. Esimestena said kaugraadioside olemusest aru 1902. a. Inglise füüsik O. Heaviside ja omal ajal Edisoni esimese abilisena alustanud USA inseneriteadlane A.E. Kennelly. Nad leidsid, et umbes 100 km kõrgusel maapinnast peab olema elektrit juhtiv õhukiht, mis peegeldab kosmose poole suunduvad raadiolained maale tagasi. Tänapäeval nimetatakse seda õhukihti ionosfääriks. See ongi "atmosfäärielektriline taevas".



Esimene värvifoto spraidist.

nende suulisi teateid ufo-laadsete silmapetetega. Spraidid pole ainus ülalpool pilvi toimuva elektrilahenduse vorm. Teist tuntud lahendusvormi nimetatakse "sinisteks jugadeks" (inglise "blue jets"). Need esinevad spraididest madalamal, algavad vahetult pilve tipust, jõuavad kuni 40 km kõrguseni ja võivad süüdata elektrilaengut kõrgemale edasi viiva punaka spraidi. Pilvest ülalpool esinevad lahendused on kahjuks väga raskelt vaadeldavad, sest helendus on nõrk ja äikesepilv ise rikub nähtavuse.

Äikesepilve kohal on õhk hõredam ja juhib paremini elektrit kui maapinnal. Sellepärast kandub oluline osa elektrilaengust pilve tipust ionosfääri elektrijuhtivuse tõttu ilma helendava lahenduseta.

## Pilvitu taeva elekter

Teame nüüd niipalju, et äikesed töötavad nagu maapinna ja elektrit juhtiva ionosfääri vahele ühendatud patareid, mis genereerivad üle maakera kokku 1000 amprit või veidi rohkem elektrivoolu. Elektrivool ei saa aga kuigi kaua voolata ainult ühes suunas ainult kasvatades pinget elektrilise kondensaatori katetena käituvate ionosfääri ja maapinna vahel. Mingit teed pidi peab elektrilaeng ionosfäärilist maapinnale tagasi jõudma. Õhk osutub vähesel määral elektrit juhtivaks ja Oomi seaduse järgi on kondensaatori lekkevool seda suurem, mida kõrgem pinget. Kuigi õhu takistus maapinna lähedal on vaskjuhtme takistusest üle  $10^{23}$  korra suurem on juhtme tohutu ristlõike (maakera pindala) tõttu atmosfääri takistus alla 300 oomi. Kui pinget ionosfääri ja maapinna vahel kasvab 250-300 kilovoldini (välgu otste vahelise pingega võrreldes on see väga väike pinget), siis kasvab lekkevool välgupatareide vooluga võrdseks ja pinget jääb püsima. Ionosfäär-maapind lekkevoolu võimsus on ligikaudu 300 MW, mis on kõigest kümnendik protsenti kõigi välgude elektrilisest võimsusest ja võrreldav üsna väikese elektrijaama võimsusega.

Ionosfääri ja maapinna vaheline pinget muutub ajas samuti, kui globaalne äikesetegevus. Äike vajab soojusenergiat ja kõige sagedasemad ning võimsamad on äikesed troopikas. Äikesetegevus kulmineerub päeval ja vaibub öösel. Ionosfääri pinget saavutab maksimumi siis, kui keskpäev on Aafrikas ja teise maksimumi, kui keskpäev on Lõuna-Ameerikas, ning langeb miinimumväärtuseni siis, kui keskpäev on Vaikse Ookeani kohal. Pinget keskmine väärtus on Maakera keskmisest tempera-

Kuidas aga elekter äikesepilvest ionosfääri jõuab? Pilvest ülepoole löövaid välke pole ju nähtud. Probleem jäi kauaks lahenduseta. 1989. aasta 6. juuli öösel testis Minnesota Ülikooli füüsik Robert Franz öises preerias uut ülitundlikku videokaamerat. Lindile jäid tähed ja kaugel äikese välgusähvatused, nendele lisaks aga ootamatu üllatus. Kauge äikesepilve kohal sähvisid üles ionosfääri poole valgussambad, mis ei olnud ei välgud ega virmalised. Seda tüüpi kuni 90 km kõrgusele ulatuvaid punaseid elektrilahendusi kutsutakse nüüd spraitideks (Inglise "sprite" tähendab haldjat). Kui spraitte uurima ja nendest kirjutama hakati, selgus, et paljud inimesed ja nende hulgas ka teadlased olid neid varemgi näinud, kuid kas polnud enda vaatlustest rääkinud või siis seletati

tuurist ja ionosfääri ja maapinna vahele ühendatud voltmeetrit saaks kasutada kliima globaalse soojenemise mõõtmiseks. Kahjuks aga ei osata ka kaasajal ionosfääri pinget selleks piisava täpsusega mõõta. USA füüsik E.R. Williams näitas 1992. a., et märksa reaalsem meetod Maakera keskmise temperatuuri jälgimiseks on mõõta globaalse äikesetegevuse looduslikult integreeritud raadiosignaali ülimaldaval sagedusel 7,9 Hz, mis on ionosfääri ja maapinna vahelise lainejuhi esimene resonantsagedus.



Ioonide liikuvusanalüüsil põhinev mürgaasidetektor.

klastriteks. Klastrite koostis ja tema mõõdetavad parameetrid, elektriline liikuvus ja mass, olenevad õhu lisanditest, mille kontsentratsioon võib olla alla miljondiku protsendi. Atmosfääriõhus leiduvate ioonide mass-spektromeetria nõuab kallist ja suuremõõtmelist aparatuuri. Elektrilise liikuvusi on võimalik veidi lihtsamalt mõõta ja analüsaatori võib teha õige väikese ja kaasaskantava. Ioonide liikuvusspektromeetria kui õhu lisandite keemilise analüüsi meetod hakkas kiiresti arenema 1990-ndatel aastatel ja alates 1998. a. ilmub juba spetsiaalselt liikuvusspektromeetria pühendatud teadusajakiri. Liikuvusspektromeetria kaasaegsete rakenduste hulka kuuluvad näiteks sõjagaaside ja narkootikumiaurude jälgede detekteerimine õhus.

Ioonidel on oluline osa atmosfääriaerosooli tekkimisel ja pilvede arengus. Juba 19. sajandil tõestas lord Kelvin, et mida väiksem on veetilk, seda raskem on veeauru kondenseerumine ja kiirem tilga aurumine. Kui tilga läbimõõt oleks sajandik mikromeetrit, siis peaks ta silmapilkselt auruma. Nii viisi näib, et uute pilvetilkade tekkimine ja kasvamine alates selgest õhust pole üldse võimalik. Paradoksi lahendus leiti ruttu: osutus, et õhk sisaldab alati mõne sajandikmikromeetri läbimõõduga tahkeid osakesi, mida hakati nimetama kondensatsioonituumadeks. Uued pilvetilgad tekivad kondensatsioonituumadel. Kui õhus on palju kondensatsioonituumi, siis saame teatud hulgast veeaurust palju pisikesi tilku mis jäävad õhku hõljuma. Kui kondensatsioonituumi on vähe, siis saab samast hulgast veeaurust vähe suuri tilku, mis käituvad hoopis teistviisi. Nii viisi juhivad kondensatsioonituumad pilvede ja sademete arengut ja selle kaudu maakera kliimat. Kuidas aga tekkivad kondensatsioonituumad, jäi kauaks mõistatuseks. Inglise füüsik C.T.R Wilson leidis Nobeli preemiaga pärjatud töös, et veeauru väga suure üleküllastuse puhul võivad kondensatsioonituumadena käituda ka tavalised õhuioonid. Paraku aga ei tule looduslikus õhus piisavalt kõrget üleküllastust kunagi ette.

Kondensatsioonituumade tekkimise ehk nukleatsiooni uurimine on kujunenud atmosfäärifüüsika iseseisvaks haruks, mille üheks juhtivaks keskuseks on Helsingi Ülikooli füüsikaosakond. 200 km Helsingist põhja poole Hyytiälä uurimisjaamas mõõdetakse nukleatsiooni protsessi pidevalt töötavate aparatuuridega, mille hulgas on ka kaks Tartus konstrueeritud ja ehitatud ioonispektromeetrit. Tulemused näitavad, et intensiivne nukleatsioon toimub mõnetunniliste puhangutena. Kõige võimsamad nukleatsioonipuhangud esinevad eriti selge õhuga kevadpäevadel. See esialgu paradoksaalsena näiv tulemus on õhukeemia ja aerosoolifüüsika iseärasustega üsna lihtsalt seletatav. Nukleatsiooni algfaasis tekkivate osakeste suurust mõõdetakse nanomeetrites (üks nanomeeter on tuhandik mikromeetrit) ja nende areng ühe ja kolme nanomeetri vahel on uurijatele väljakutseks tänaseni. Üha

Õhu elektrijuhtivust põhjustavad õhus leiduvad ioonid. Lämmastiku või hapniku aatomi lõhub positiivseks iooniks ja vabaks elektroniks kas radioaktiivse või kosmilise kiirguse kvant. Elektron ei püsi õhus kaua vaba, vähem kui mikrosekundi jooksul kleepub ta ettejuhtuva hapnikumolekuli külge ja muudab selle negatiivseks iooniks. Ioonid pörkuvad molekulidega tuhandeid kordi ühes mikrosekundis ja selles pörgeteahelas toimub palju keemilisi reaktsioone, millest võtavad osa ka õhus mikrokogustes leiduvad elektriliselt aktiivsete molekulidega gaasid. USA füüsik F. Eisele leidis 1986 a. mass-spektromeetri abil, et positiivsed õhuioonid sisaldavad reeglina püridiini, mille kontsentratsioon on nii väike, et selle aine leidumine looduslikus õhus ei olnud enne Eisele katseid teada. Eisele tulemusi kinnitavad Tartu Ülikoolis sõltumatult tehtud ioonide liikuvuste mõõtmised ja teoreetilised arvutused. Õhu ioonid osutuvad keerulisteks moodustisteks, mis koosnevad kümnest aatomitest ja mida füüsikud ja keemikud nimetavad

ilmsem on aga, et selles arengus mängivad oma osa ioonid. Ioonidest kondensatsioonituumade tekkimist nimetatakseioon-indutseeritud nukleatsiooniks. Kui ioon-indutseeritud nukleatsiooni osatähtsus atmosfääris osutub piisavalt suureks, siis tähendab see, et õhu ionisatsioon võib oluliselt mõjutada maakera kliimat. Õhu ionisatsioon on aga eriliselt tundlik nii inimtegevuse kui kosmosest tulevate mõjutuste suhtes.

Tartu Ülikooli Aeroelektrilaboratoorium alustas 1985. aastal laetud nanomeeterosakeste mõõtmist ioonispektromeetri abil Tahkuse Õhuseirejaamas ja esmakordselt registreeriti puhanguid juba samal aastal. 1988. a. alates töötab Tahkusel täielik ioonispektromeetrite komplekt ja põhiosa tänapäeva teadmistest maapinnalähedase atmosfääri ioonide liikuvusjaotuste kohta pärinebki Tahkusel tehtud mõõtmistest. Ioonispektrite regulaarsete mõõtmise jätkamine on osa Tartu füüsikute koostööst Helsingi kolleegidega.

Inimtegevuse tulemustest mõjutab atmosfääriõhu ionisatsiooni radioaktiivse gaasi Krüpton-85 emissioon tuumaenergeetika jäätmete ümbertöötlemistehastest. Krüpton on inertgaas ega kogune organismidesse, mistõttu teda loetakse suhteliselt ohutuks saasteaineks. Keemiline inertsus muudab krüptoni kõrvaldamise õhust väga raskeks kui mitte võimatuks. Krüpton-85 radioaktiivse lagunemise poolestusaeg on 10,7 aastat ja kuna inertgaas millegagi ei reageeri, siis ta akumulereub atmosfääris. Hinnangud näitavad, et olenevalt energeetika raskelt ennustatavatest tulevikustsenaariumidest võib radioaktiivsest krüptonist põhjustatud lisaionisatsioon juba käesoleval sajandil muutuda võrreldavaks loodusliku ionisatsiooniga. Milliseid tagajärgi see kaasa toob, pole teada.

Looduslikest faktoritest mõjutab ionisatsiooni, seda eriti suurematel kõrgustel, kosmosest tulev ioniseeriv kiirgus. Osa ioniseerivast kiirgusest pärineb Päikeselt ja see kiirguskomponent varieerub ajas olenevalt Päikese pinna seisundist. Teatavasti muutub Päikese pinna seisund perioodiliselt tsükli pikkusega umbes 11 aastat. Selles tsüklis ilmub Päikese pinnale kord vähem, kord rohkem ioniseerivat kiirgust emiteerivaid plekke. Taani teadlaste H. Svensmark'i ja E. Friis-Christensen'i 1997 a. ilmunud artikkel selgitab üsna veenvalt kuidas Päikese pinna seisund mõjutab atmosfääri ionisatsiooni kaudu Maakera pilvkatet ja kliimat. See artikkel vallandas teaduslikus ajakirjanduses ägeda diskussiooni ja atmosfäärifüüsikud pole seni üksmeelele jõudnud, kuivõrd Svensmarki hüpotees väärrib kriitikat või tunnustamist.

Päikese ioniseeriva kiirguse varieerumise tulemusi võib Eestis ja veel paremini Skandinaavia põhjaosas näha taevas palja silmaga. Tugev ioniseeriva kiirguse voog paneb hõreda õhu saja kilomeetri kõrgusel helendama samuti kui hõrendatud gaas helendab tänavareklaamide neoontorudes. Põhja-Soomes on virmalised polaaröös arvestatav valgusallikas, mis vaid veidi jääb alla kuuvalgusele. Kõige ilusama atmosfäärielektrilise nähtuse mõjudest ulatub aga maapinnani vaid valgus.

