



Äikeseteooria ja äikese uurimine

Jüri Kamenik (Tartu Ülikool)

<http://www.ilmjainimesed.blogspot.com>

Äikeseteooria

- Äikeseteooria on mudel, mis püüab seletada võimalikult adekvaatselt eelkõige äikeseelektri päritolu ja kujunemist pilvedes, aga teooriat võib üldistada ning laiendada ka äikesepilve ja välkude tekkele;
- Klassikalist äikeseteooriat (laengute teke ja paiknemine äikesepilves) nimetatakse vahel ka Simpsoni teooriaks, inglase järgi, kes esimesena andis küllaltki põhjaliku ja hea seletuse.

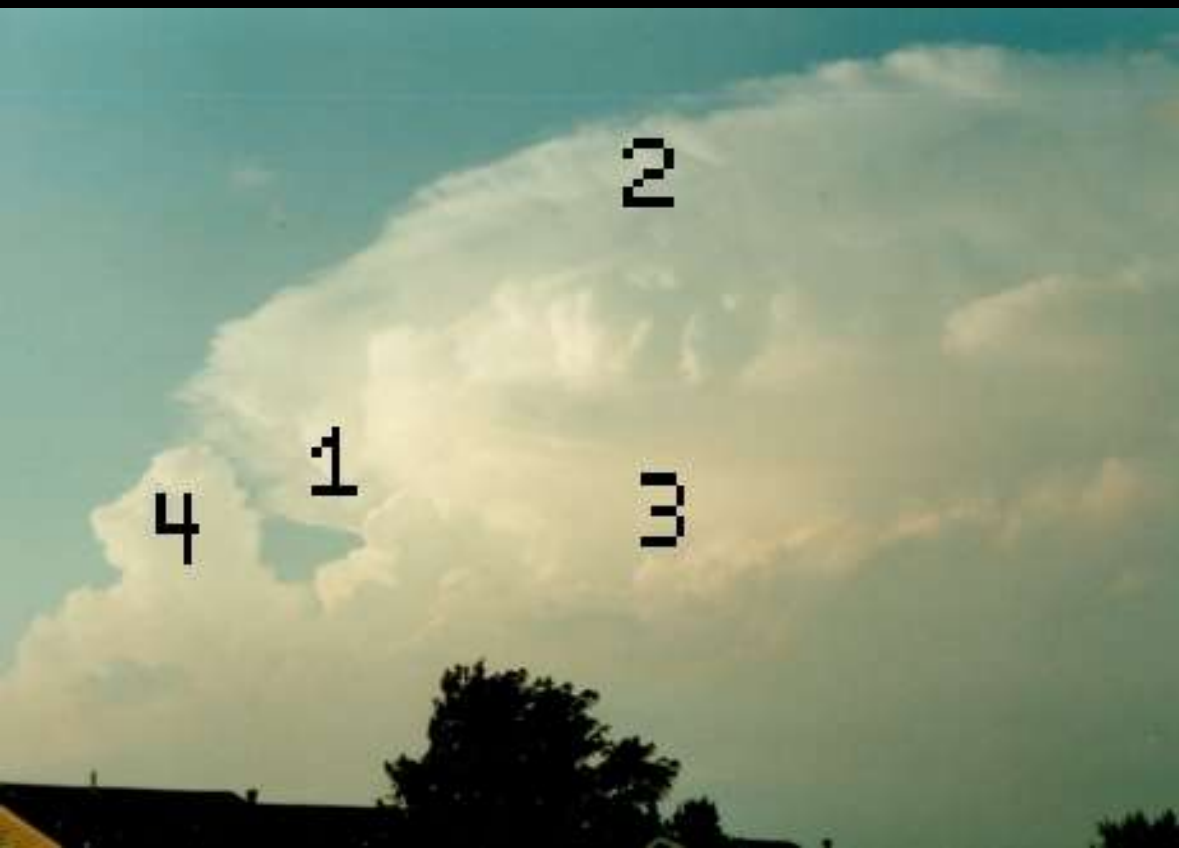
Äikesepilve ehitus

1 – *Cb capillatus*;

2 – *Cb mammatus*;

3 – *Altostratus
cumulonimbogenitus*;

4 – *Cu con*



Äikesepilv areneb
paremale (vastavalt
juhtvoolule)

Ajalooline ülevaade

- Induktsiooniteooria – pilveosakesed on polariseeritud;
- loonilise vastastikmõju teooria;
- Lenardi efekt;
- Simpsoni teooria;
- Elektromagnetväljade ja striimeri teooria;
- Globaalsete vastastikmõjude ja kosmiliste osakeste teooria

Konvektsioon

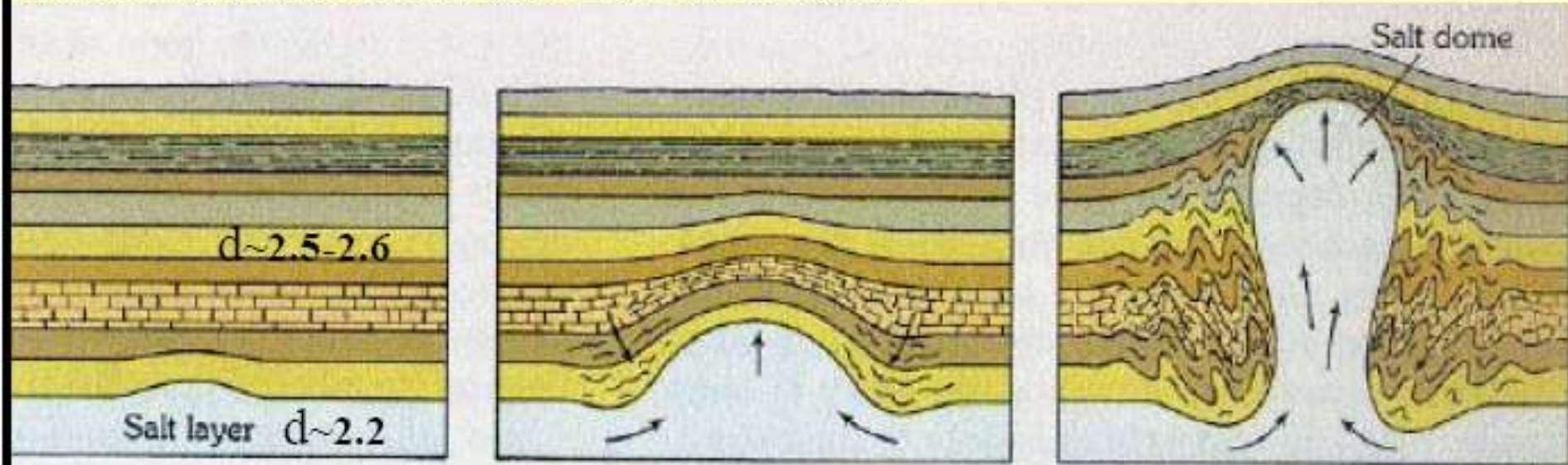
- Konvektsioon on ainehulkade liikumine, millega kaasneb ka soojuste edasikandumine;
- See tekib raskusjõu mõjul siis, kui vedelikus või gaasis on erisuguse temperatuuriga piirkondi, sest ka aine tihedus on sel juhul piirkonniti erinev;
- Seega kergemad osad tõusevad kõrgemale ja jahedamad (suurema tihedusega) piirkonnad vajuvad madalamale;
- Kuigi öeldakse, et konvektsioon saab toimuda ainult gaasides ja vedelikes, võib see tekkida ka pooltahketes ja isegi tahketes ainetes, näiteks on sellised mõned geoloogilised protsessid:

Diapirism - plastiliste ainemasside vertikaalne liikumine

Sooladiapirism e. soolatektoonika:

Mattudes üle 5-6 km paksuse setete masside alla hakkavad soolakihid

Maa raskusväljas lasuvatest setetest väiksema tiheduse ja viskoossuse tõttu kuplina (diapiirina) maapinna poole tõusma deformeerides ümbritsevaid kivimkihte



Magmadiapirism – magmadiapiiride(pluumide) analoogiline tõus

Klassikaline e. fikstlik geoloogia:

maakoor areneb vertikaalsete kerkimis-vajumisliikumiste kaudu

Konvektsioon

- Kõneldes konvektsioonist Maa atmosfääris, mõeldakse selle all tavaliselt õhu vertikaalset liikumist, millega kaasneb soojuse oluline ümberpaigutamine, kuid ka tuult võib vaadelda konvektsiooniilminguna (sageli pseudokonvektsioon);
- Selliseid suuremastaapseid horisontaalseid õhuvooluseid nimetakse advektsiooniks;
- Antud ülevaates käsitleme konvektsiooni siiski vertikaalsete õhuliikumistena, mis põhjustavad nn konvektsioonipilvede ja äikese tekke:

Aerosool: pilved

- Üks olulisemaid meteoroloogilise elemente; olulised kliima kujundajana;
- Looduslik nähtav ja valgust hajutav-neelav aerosool atmosfääris, vahel ka maapinnal;
- Koosneb enamasti veepiisakestest ja/või jääkristallidest;
- Nimetatakse binaarse nomenklatuuri järgi (alusepanija K. Linné; pilved: 1803 L. Howard);
- Kokku üle 100 pilveliigi, sageli segud, paljudele pilvedele ei ole nimesid antud, vaid nimetatakse selle järgi, millisele pilveliigile kõige enam sarnaneb.

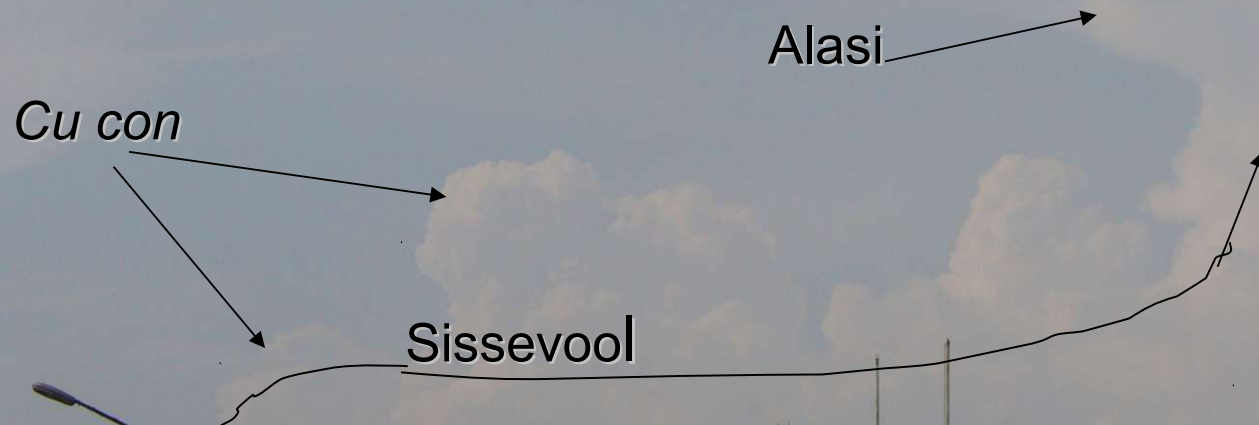
Äikeseteooria: äikese teke

- Tüüpilisel juhul tekivad konvektsioonipilved (vahel frondi tõttu);
- Päike soojendab maapinda, see aga õhku;
- Konvektsioonivoolud (vt järgmisi slide);
- Simpsoni teooria, Lenardi efekt ja piisalibisemisemisefekt (induktsiooniteooria);
- Elektrilaengute eraldumine

Äikesepilve struktuur

14. august 2008, Tallinn

Stabiilse õhu kiht; äikese-kiudpilved jmt



8. juuli 2008, Saaremaa

Intensiivne turbulents ja tõusvad õhuvoolud

Pagid ja laskuvad
õhuvoolud; sajuala



Maskeeritud äikesepilv

(17. mai 2008, Tallinn)

3. element

2. element

1. element

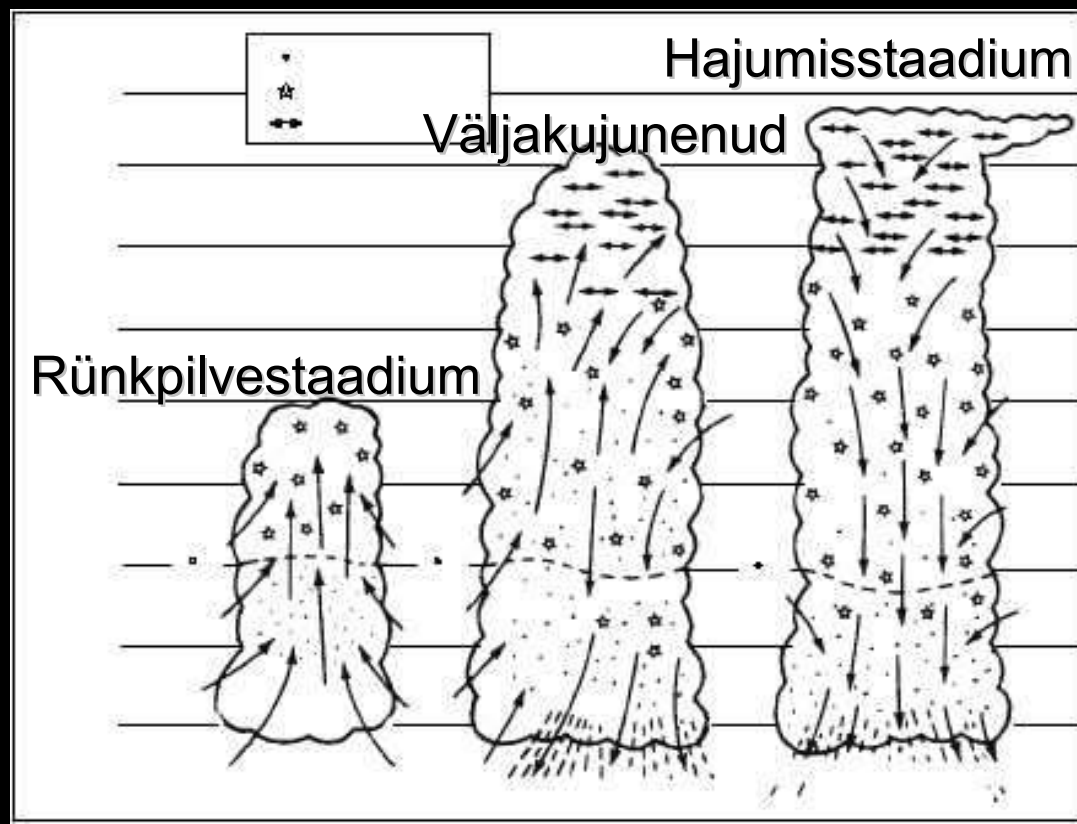


Äikeseteooria: elutsükkel

- Äikesepilved koosnevad üksustest (elementidest e rakkudest), mida võib vaadelda terviklikult ja mis läbivad arengustaadiumeid, mida on kolm:

- rünpilve-ehk kujunemisstaadium;
- maksimaalse arengu staadium ja
- hajumisstaadium;

- Klassikaline areng ühel elemendil kestab tund aega;
- Staadiumid on eriti hästi märgatavad õhumassisisese äikese puhul.



Enne äikest...

- Äikese eel toimuvad sageli, kuid mitte alati atmosfääris väga iseloomulikud muutused. Võrdlemisi tihti võib neid ka vahetult vaadelda.
- Enamasti annavad kõige rohkem infot pilved ja nende liikumine.
- Järgnevalt tutvustame mõningaid tunnuseid, mis eelnevad äikesele.

Enne äikest: pilved

Ebaühtlased kõrgrünkpilved (*Ac inh*)



7. september 2008, Tartu





tartu kaubamaja

ANDR

Enne äikest: pilved liiguvad eri suundades

- Vertikaalse suunalise tuulenihe tõttu liiguvad pilved eri kõrgustel erinevates suundades...
- Vertikaalne tuulenihe – tuule kiirus või suund muutuvad kõrguse suurenedes

17. mai 2008, Laitse, Harjumaa

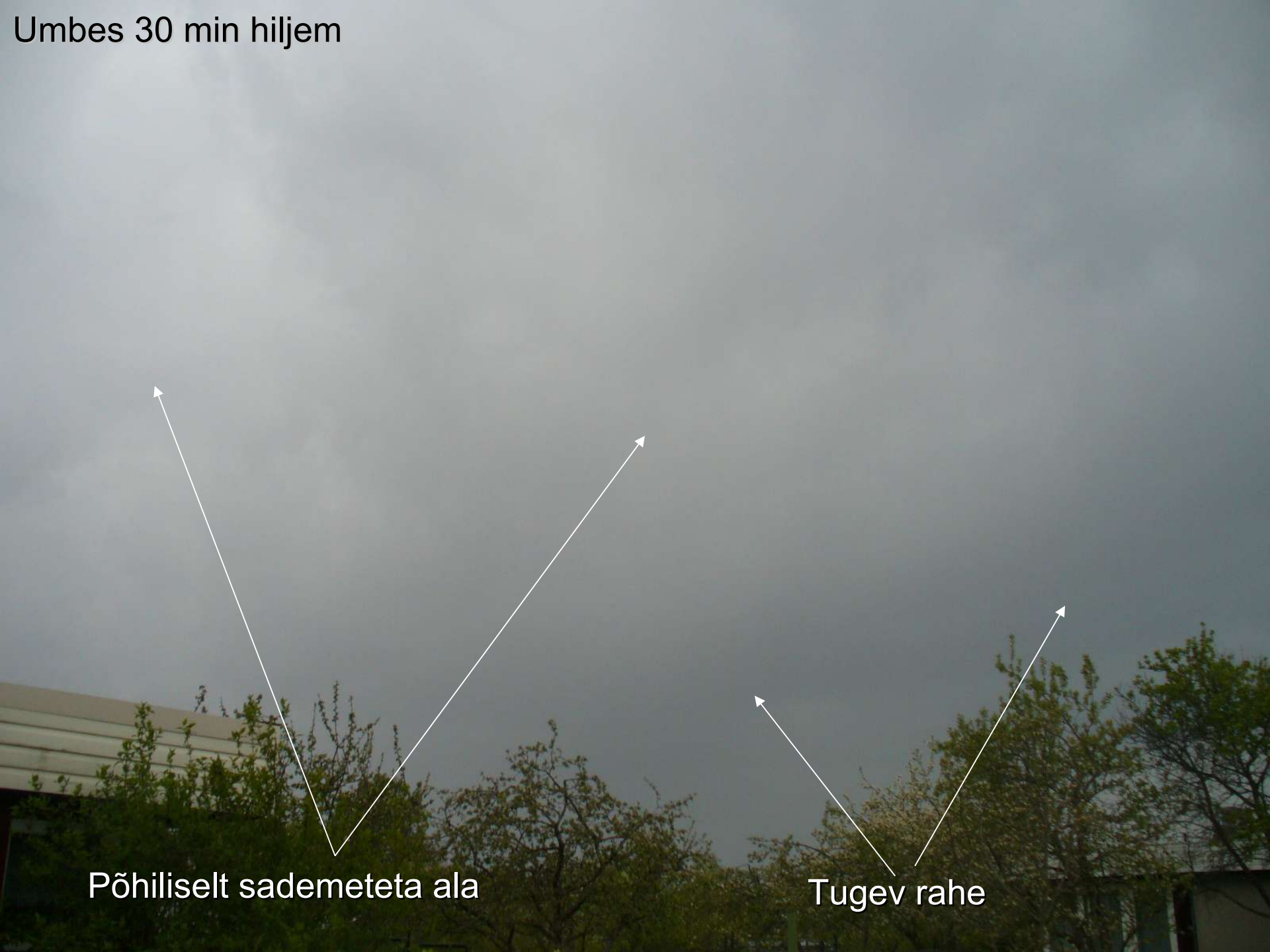


Tuulenihe kõrguse suurenedes

Ac inh



Umbes 30 min hiljem



Põhiliselt sademeteta ala

Tugev rahe

Äikesepilve elutsükkel: väljakujunenud



1. Cu congestus



2. Cb congestus



3. Cu congestus



4. Cb calvus



5. Cb calvus



6. Cb capillatus



7. Cu capillatus



8. Cb cap incus



9. Cb cap incus

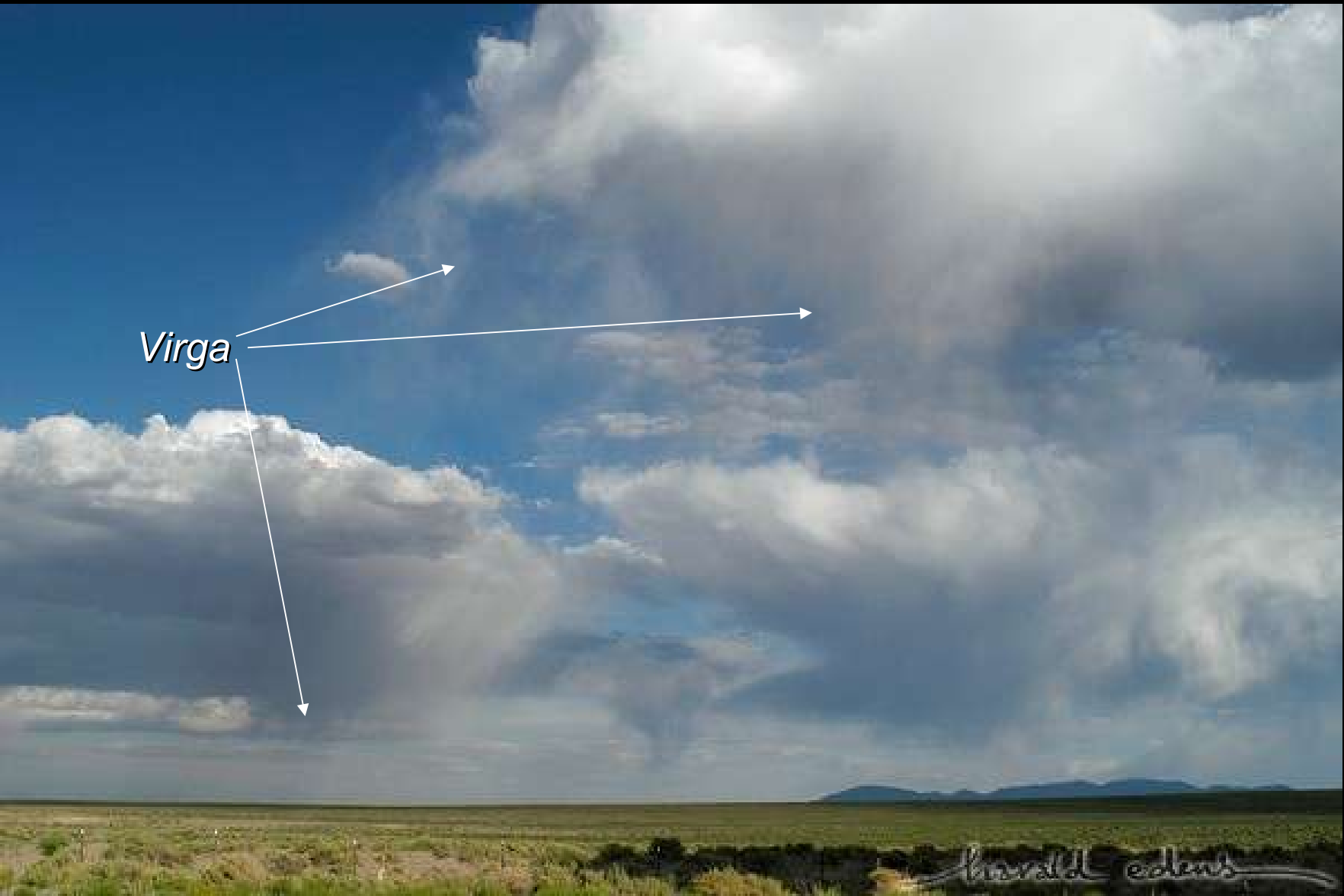


Äikesepilve elutsükkel: hajumisstaadium

- Ülekaalu saavutavad laskuvad õhuvoolud;
- Reeglina venivad pilvetipust tuule suunas välja kiudpilved (spetsiifiline nimetus: äikese-kiudpilved ehk *Cirrus spissatus cumulonimbogenitus*), sademed nõrgenevad, äikesetegevus väheneb, pilv hajub altpoolt alates;
- Viimaks jäävad alles pilvealad (orphan anvils) või äikese-kiudpilved, mis võivad mitu tundi püsida, sest jääkristallide aurustumine on veepiisakestest palju aeglasem;
- Nende all moodustuvad aurustuvatest sademetest sajujooned (*virga*).
- Alasi on sepaalasi meenutav rünksajupilve jäätunud ülaosa.

Hajumisstaadium: hajuvad pilvealasad

(*orphan anvils*)



Hajumisstaadium: äikese-kiudpilved

(*Cirrus spissatus cumulonimbogenitus*)

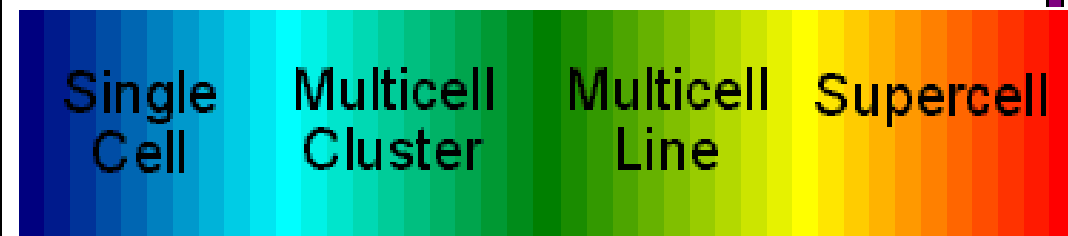


Äikesetormide liigid

- Liigitatakse kategooriatesse füüsikalistest omadustest ja pilveelementidest lähtuvalt;
- Kuigi üleminek on pidev, kõneldakse kõige sagedamini siiski 4 äikesetormi tüübist: ühe elemendiga tormid (*single cell*), klasteräikesed (*multicell*), pagiliinid (*squall line*) ja superrakulised (superelemendiga) tormid (*supercells*).

Äikesetormide spekter

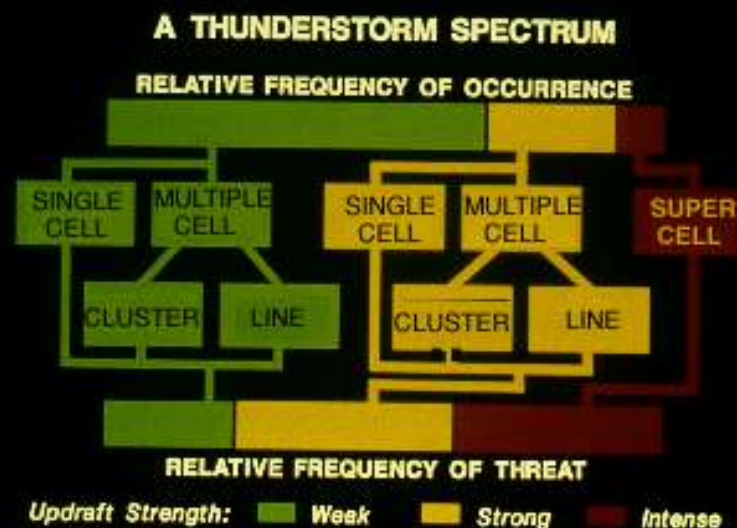
The Thunderstorm Spectrum



Weak updraft (non-severe)	Weak updraft (non-severe)	Weak updraft (non-severe)	Intense updraft
or	or	or	Almost always severe
Strong updraft (maybe severe)	Strong updraft (severe)	Strong updraft (severe)	Mesocyclone present
Slight threat	Moderate threat	Moderate threat	High threat

- Neil kahel skeemil on esitatud äikeste tüübid;

- Vasak näitab tugevusi, alumine aga lisaks omavahelisi seoseid



Välg

- Välg on võimas nähtav elektrilahendus (märkus!), mis esineb äikesepilves, pilvede vahel või pilve ja maapinna vahel (vajab tekkimiseks justkui pilve?);
- Tavaliselt on välgu eluiga 0,2 sekundit;
- Selle ajaga kuni 30 impulssi (käib nii palju kordi maa ja taeva vahet;
- Paljud välgud algavad maapinnalt, mitte pilvest (hargnemine).

Elekter ja elektrilaeng

- Et järgnevat mõista, tuleb aru saada ning mõista, mis on üldse elekter ja elektrilaeng;
- Elekter on mateeria põhiomadus, mis seisneb elektrilaengute olemasolus aine elementaarosakestel;
- Seda omadust aine elementaarosakestel nimetatakse elektrilaenguks (laeng on mateeria omadus osaleda vastastikmõjus);
- Looduses esineb elementaarlaeng $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Staatiline elekter ja laadumine

- Staatiline elekter (eesti keeles ka hõõrdeelekter) tekib materjalide omavahelistest kontaktidest ja eriti nende vahelisest hõõrdumisest.
- Elektronid kanduvad ühelt materjalilt teisele, mõlemad materjalid laaduvad, üks negatiivse, teine positiivse laenguga.
- Olenevalt omadusest laaduda negatiivselt või positiivselt, saab materjalid paigutada triboelektrilisse järjestusse.
- Elektrilaengud äikesepilvedes on eelnevale selgitusele tuginedes vaid niivõrd staatilised kuivõrd äikeseelekter tekib hõõrdumise tulemusena: konvektiiväike vs lumetormi välgud

Õhu elektrijuhtivus ja laadumine

- Kuiv õhk ei ole parem isolaator kui niiske õhk;
 - Oluline osa elektrijuhtivusel on õhu ioniseerumisel (ioonidel), radioaktiivsete ainete osakaalul (suureneb) ning kiirgusel;
 - Funktsionaalne ja ...laadumine
- 

Sädelahendus

Ebapüsiv sõltumatu gaaslahendus, mis toimib kõrgel rõhul (võrreldav 1 atm ja enam), kui vooluallikast ei piisa kaar-või huumlahenduse

(<http://video.delfi.ee/video/KVgZNxbT/>) tekkeks;

- Looduslik sädelahenduse vorm on välg ja koroona.

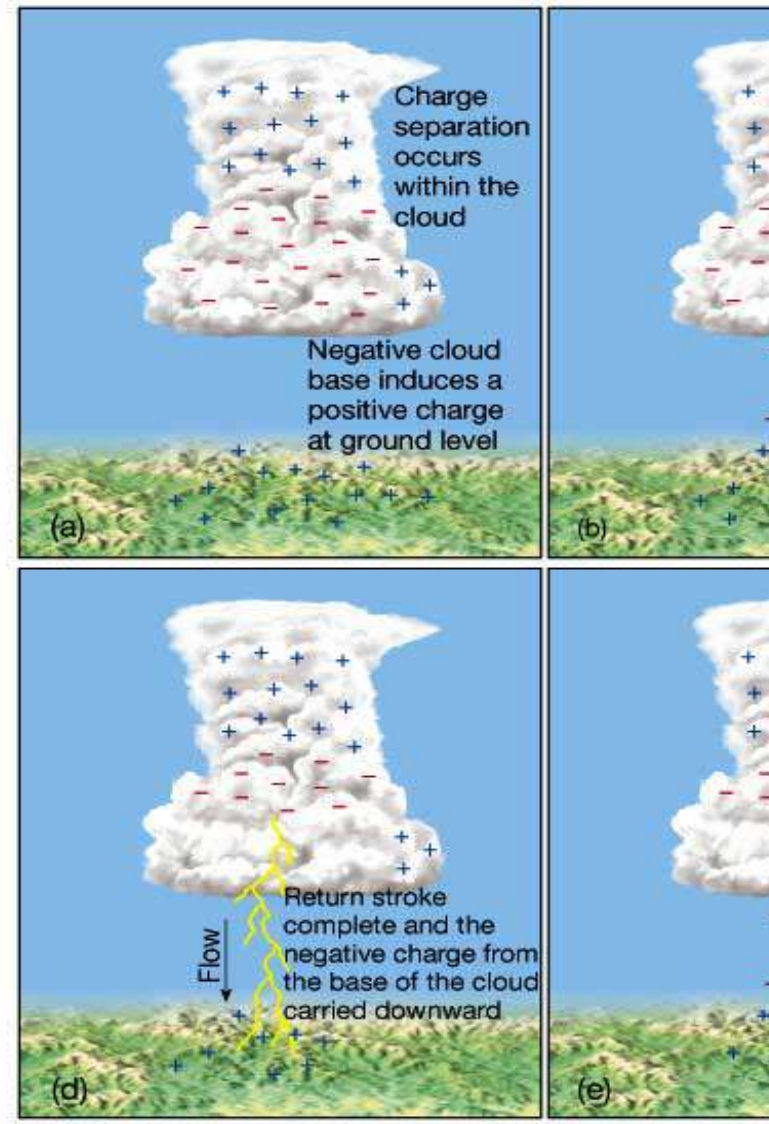
Äikese ja välgu kujunemine

- Maapind ja ionosfäär on laetud ja hiidkondensaatori katted;
- Kuigi esineb lekkevool, ei kao potentsiaalide vahe;
- Päikesetuule ja atmosfäärsete protsesside koosmõju

Välgu tekkimine

- Väga keeruline protsess;
- Striimeriteooria;
- Alusprotsessideks päikesetuul, veeauru protsessid ja tõusvad õhuvoolud;
- Teatud ruumi piirkonda peab tekkima väga tugev elektriväli;
- Elektronide laviin ja striimer (video);
- Nähtav sädelahendus.

Välgu tekkimine

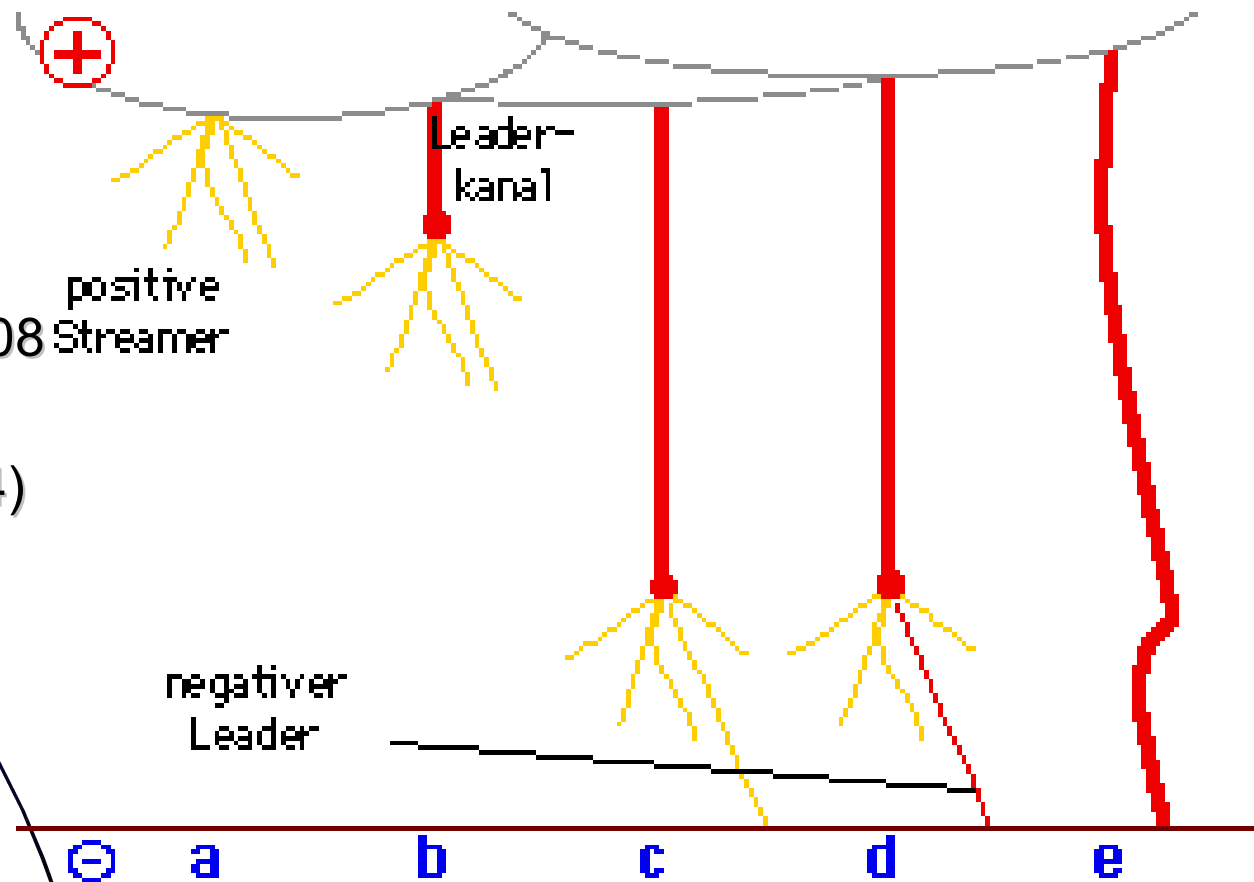


Striimeriteooria

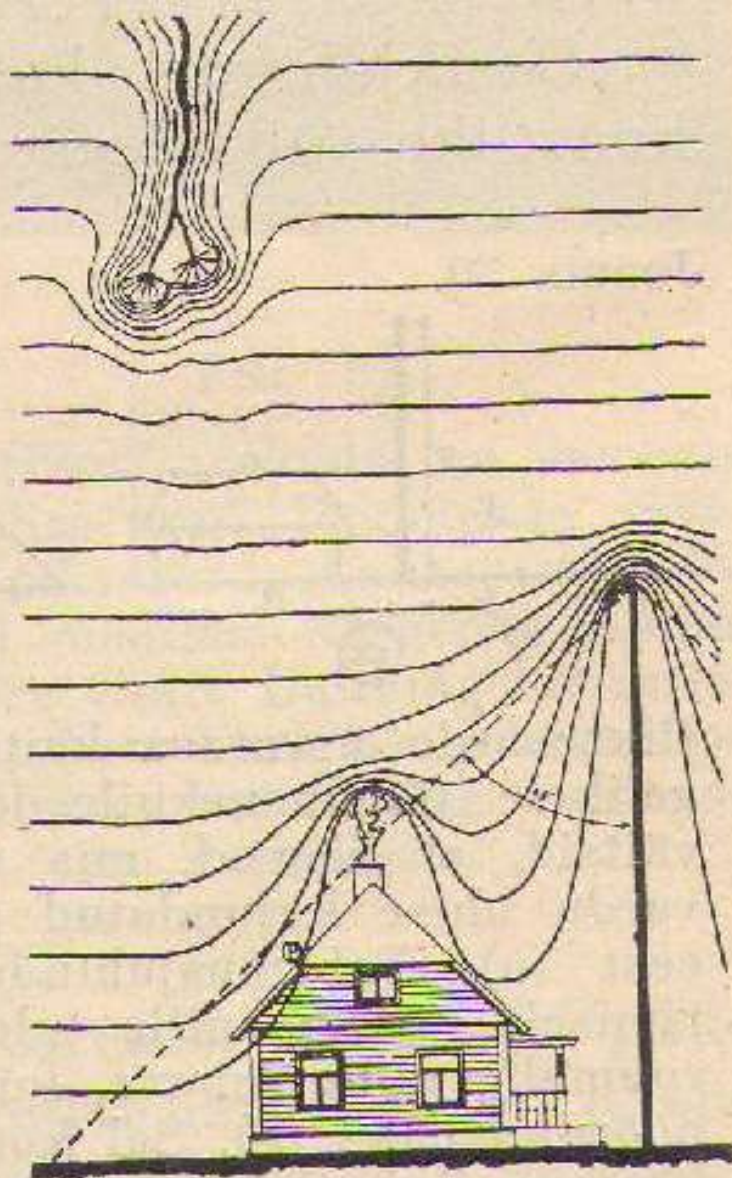
- Striimer areneb välja laviinimpulsist piisavalt tugevas elektriväljas;
- Striimer kujutab endas lahendusvahemikus ühelt elektrodilt teisele liikuvat plasmakerakest, mis jätab endast maha peene nõrgalt juhtiva kanali;
- Laviini arenemiseks striimeriks peab elektronide juurdekasv laviinis olema piisavalt

suur: $M = \exp(\alpha' \cdot d) \approx 10^8$ Streamer

(Leho Roots, 2004)



Piksekaitse



Joonis 29.

Nivoopindade asetuse ar-
vatav pilt piksevarda
ümbruses.

Uut äikese ja välkude teoorias

- Miks välk on siksakiline?
- Pikse tee käib astmelise juhtpunktuuri järgi;
- Pilvedes ei ole kunagi elektriväli välgu tekkeks piisav (oleks vaja 3 miljonit V/m, aga on umbes kuni 200 tuhat V/m);
- Välgulöögiga kaasneb röntgen-ja gammakiirgus;
- Välgu vallandajaks on kosmilised osakesed ja kulgeelektronid.

Atmosfäärielekttri teadus

- See teadusharu uurib peamiselt elektrilisi, sealhulgas ioonseid protsesse atmosfääris;
- Alus pandi 18. sajandil, sünniaastaks loetakse 1752. aastat, kui L. G. Le Monnier hakkas registreerima varda igapäevast elektriseerumist;
- 1744. aastal ehitas G. W. Richmann elektromeetri, mille abil avastas õhu vähese elektrijuhtivuse. Avastus aga unustati ja taasavastas 1785. aastal Coulomb, kelle taasavastus vajus samuti mõneks ajaks unustusse.

Välkude uurimine

- Välkude tõsisema uurimise algusaastail olid atmosfäärifüüsikute meeliskohad Eiffeli torn Pariisis ja Empire State Building New Yorgis;
- Tänapäeval eelistatakse aparatuur madalal asuvasse vaatlusjaama valmis seada ja välg teadlastele sobival hetkel 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 peaaegu kindel. Välgu parameetrid registreeritakse ostsillograafe ja kaameraid sisaldava keerulise aparatuuri abil;
- Raketi abiga süüdatud välg Floridas.



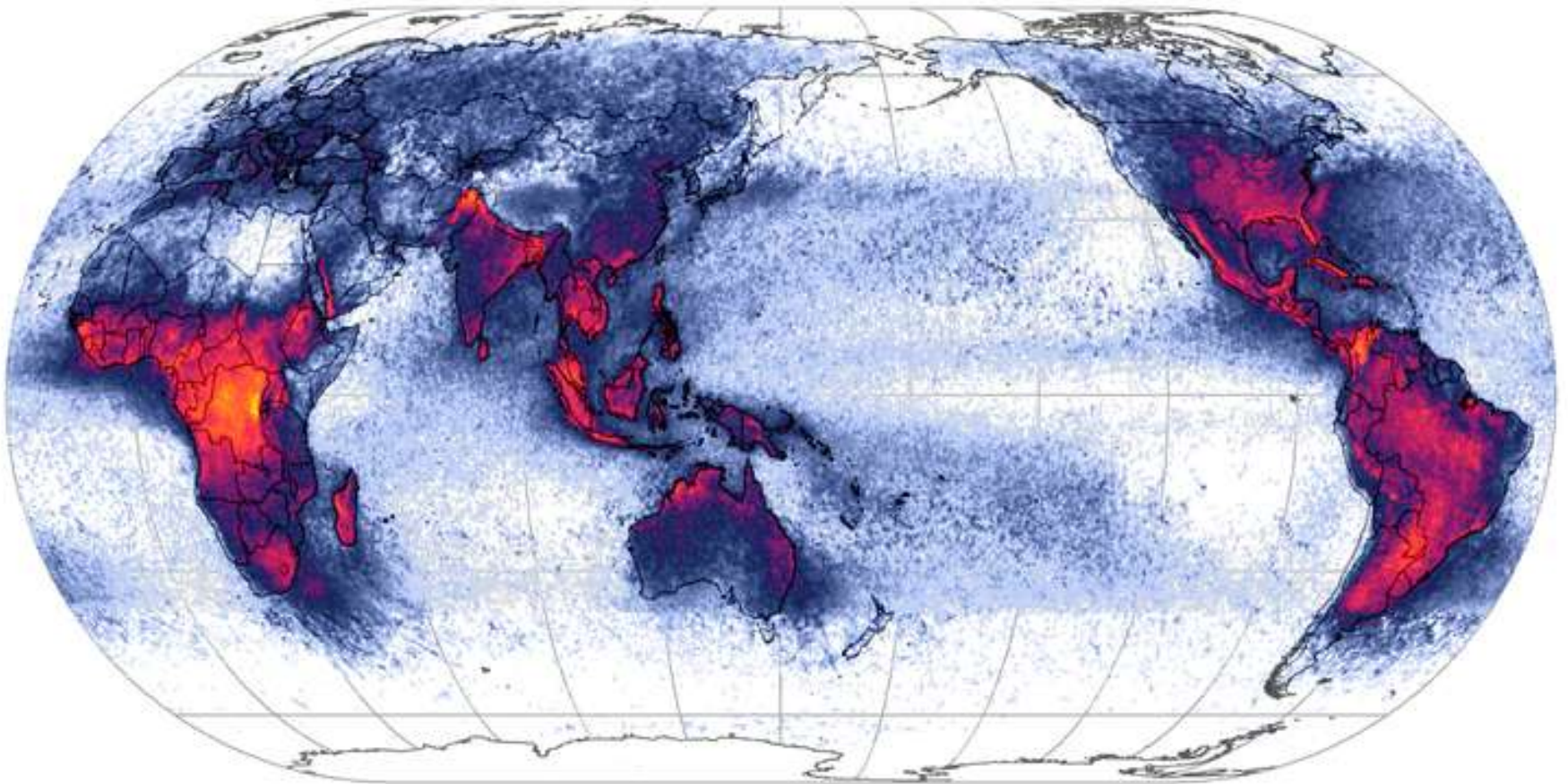
Vallée Blanche - Aguille du Midi



Globaalne äikesetegevus

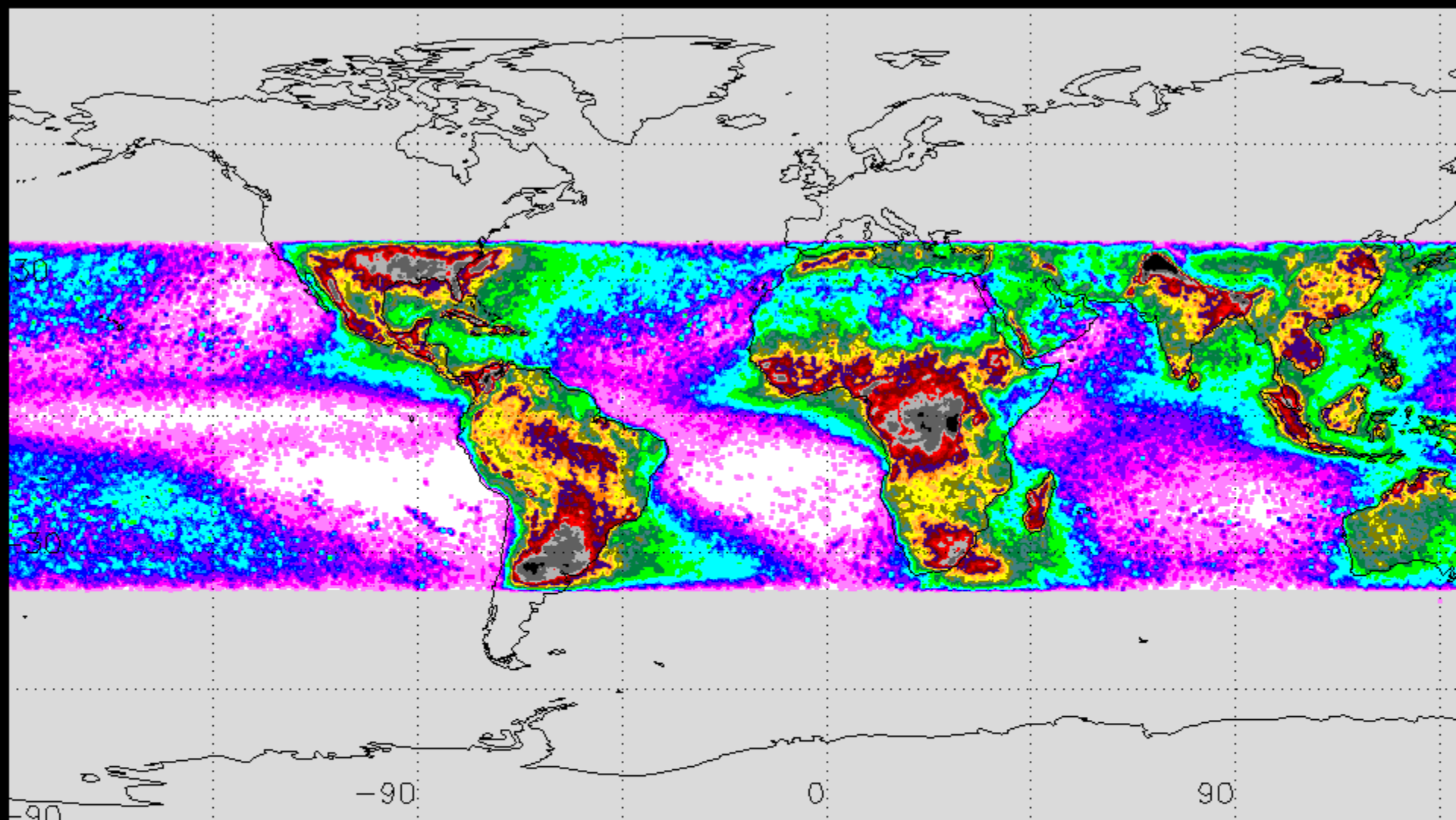
- Korruga üle maailma 1800-2000 äikesetormi;
- Välke 44 ± 5 igas sekundis (aasta jooksul umbes 1,4 miljardit välku); neist 80 % on pilvesisesed ja ülejäänud pilv-maa välgud.
- 70 % välkudest tekib troopikas, kus moodustub ka kõige enam äikesetorme.
- Äikesetegevus kulmineerub päeval ja vaibub öösel, sest oluline on soojusenergia;
- Ionosfääris pingel on kaks maksimumi: kui keskpäev on Aafrikas ja teine, kui keskpäev on Lõuna-Ameerikas; miinimum, kui keskpäev on Vaikse Ookeani kohal;
- Pinge keskmise väärtuse sõltub võrdeliselt planeedi keskmisest temperatuurist.

Välgulöökide sagedusjaotus



colors show number of strikes per square kilometer per year:





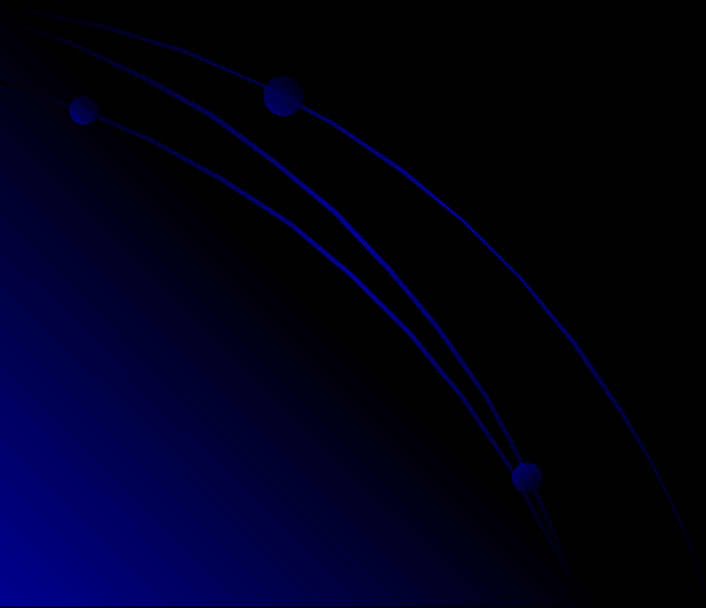
Orbits 62459
 Areas 3010833
 Flashes 14465153
 Groups 169306661
 Events 792516814



January 1998 - December 2008



Lisa



Definitsioon

- Klassikalise definitsiooni kohaselt on äike elektriline atmosfäärinähtus, mis ilmneb välkude ja müristamisena;



Äike Miramare di
Riminis Itaalias

Äikese mõiste küsimus

- Laiendame äikese mõistet
- Äikese puhul eeldatakse enamasti valgus- ja heliefekti olemasolu;
- Seega, kas juuste kammimisel tekkivad sädemed on äike?!
- Äikese aluseks on tugev ruumlaeng atmosfääris;
- Seega, kas välk on tingimata tarvilik, et võiksime öelda: “Jah, tegemist on äikesega!”?

Äikese mõiste

- Kujutlegem kaht olukorda:

1. juhtum



2. juhtum



Definitsiooni laiendamine või täpsustamine

- Esimene näide on tajuküsimus, teine aga olemuslik
- Siiski...
- Äikese puhul on atmosfääris piisavalt tugev elektriväli, et saaks tekkida välg,
↓
- Et aga oleks äike, ei pea ju välg ilmtingimata ilmnema?!
- Seega äike on siis tugev ruumlaeng atmosfääris, millega kaasnevad...
- Definitsiooni ärakasutamine

Kriitika

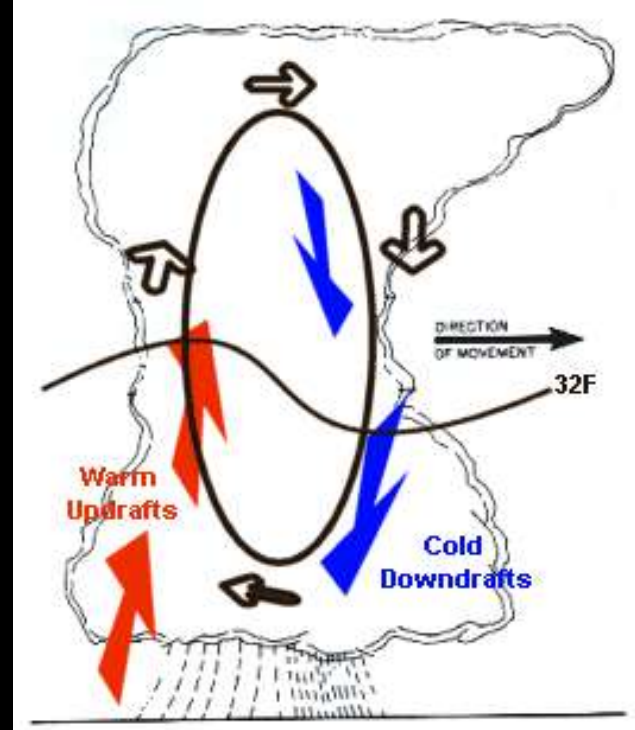
- Norimine, mõiste keerukaks ajamine
- Ebapraktiline
- Võib-olla jääb äike ikka olemuselt küll traditsiooniliseks mõisteks, kuid see, millest oli just juttu, on üks laiema sisuga nähtus, mille üheks avaldumisaspektiks ongi äike?
- Või äike jääb äikeseks, aga kas välk ikkagi teeb äikesest äikese?
- Passiivne ja aktiivne äike

Äikese tähtsus

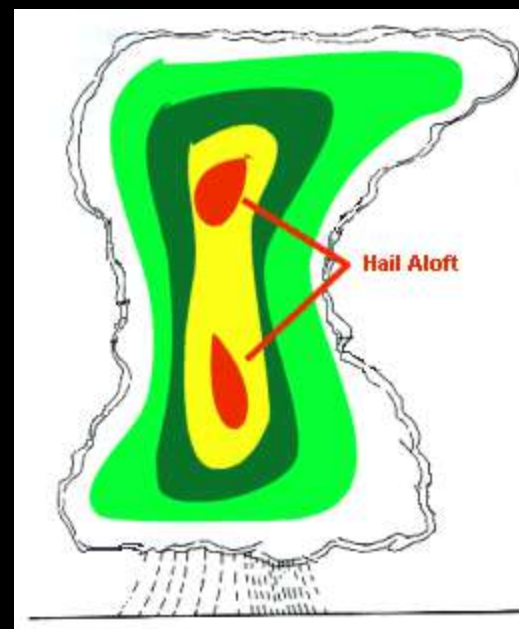
- Kuivtroopika sõltub suures osas äikese toodud vihmadest;
- Äikesetormidel on oluline osa atmosfääri soojus-ja elektrilaengute vahetuses;
- Välgud oksüdeerivad aastas kuni 3 miljonit tonni lämmastikku.
- ...

Äikese kaasnähted: rahe

- Tugevad tõusvad õhuvoolud tõstavad veepiisad sellisesse kõrgusesse, kus need külmuvad. Laskuvasse õhuvoolu ja pilve alumisse ossa sattudes kattub läbipaistva, kõrgemates osades läbipaistmatu kihiga.
- Rahetükk teeb tavaliselt mitu tsüklit läbi. Kui viimaks rahetera on muutunud liiga raskeks tõusvatele õhuvooludele, siis võivad sel olla surmavad tagajärjed.



Tekkemehhanism

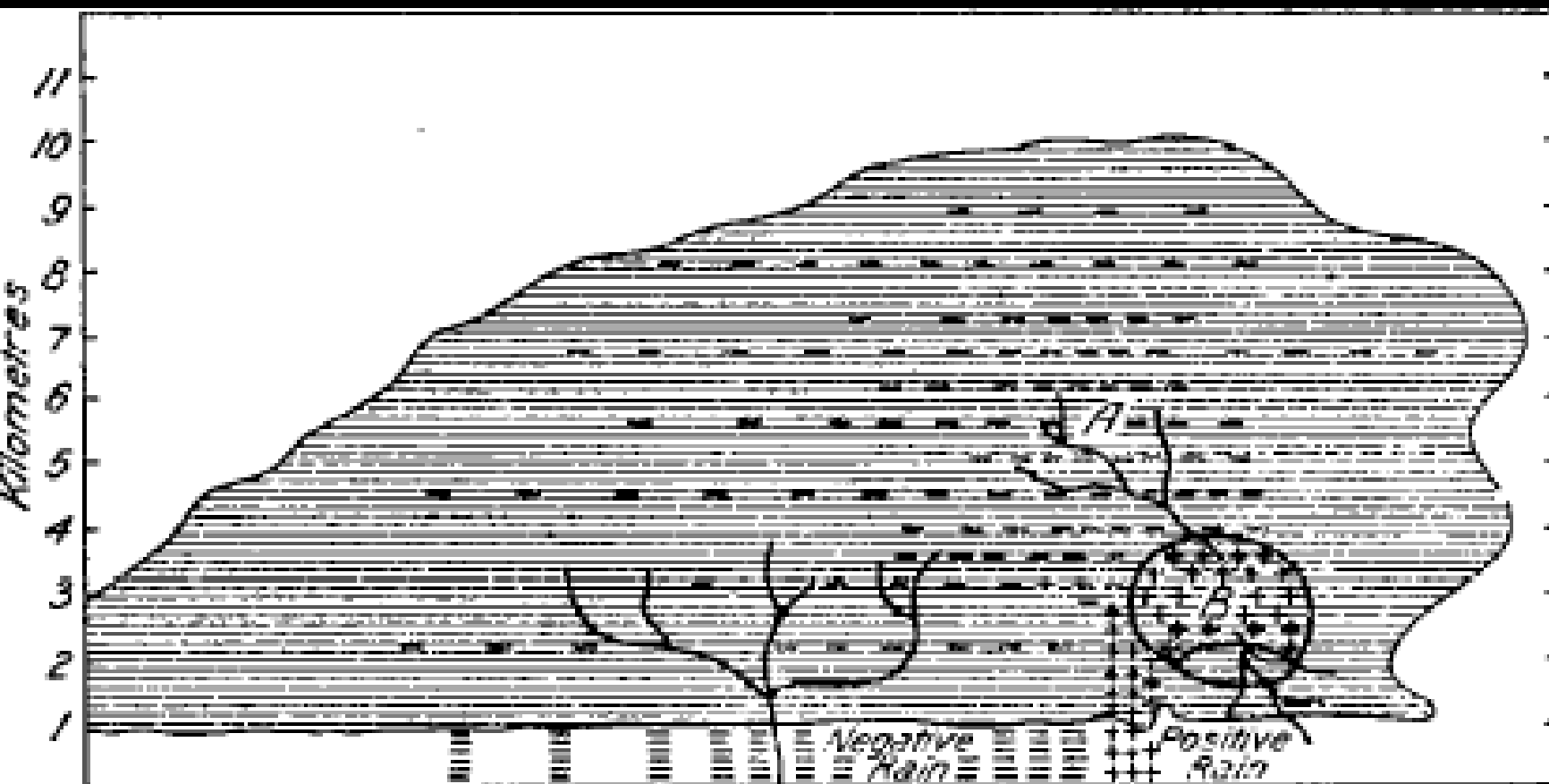


Tugev äike

- Defineeritakse mitmeti, enamasti tuule tugevuse ja kaasnähete alusel, harvem välkude arvu järgi:
 - kui tuule kiirus on vähemalt 26 m/s või
 - kui kaasnevad tornaado(d) või rahe, mille läbimõõt on vähemalt 2,0 cm ja enam või
 - eelnevate kombinatsioon.

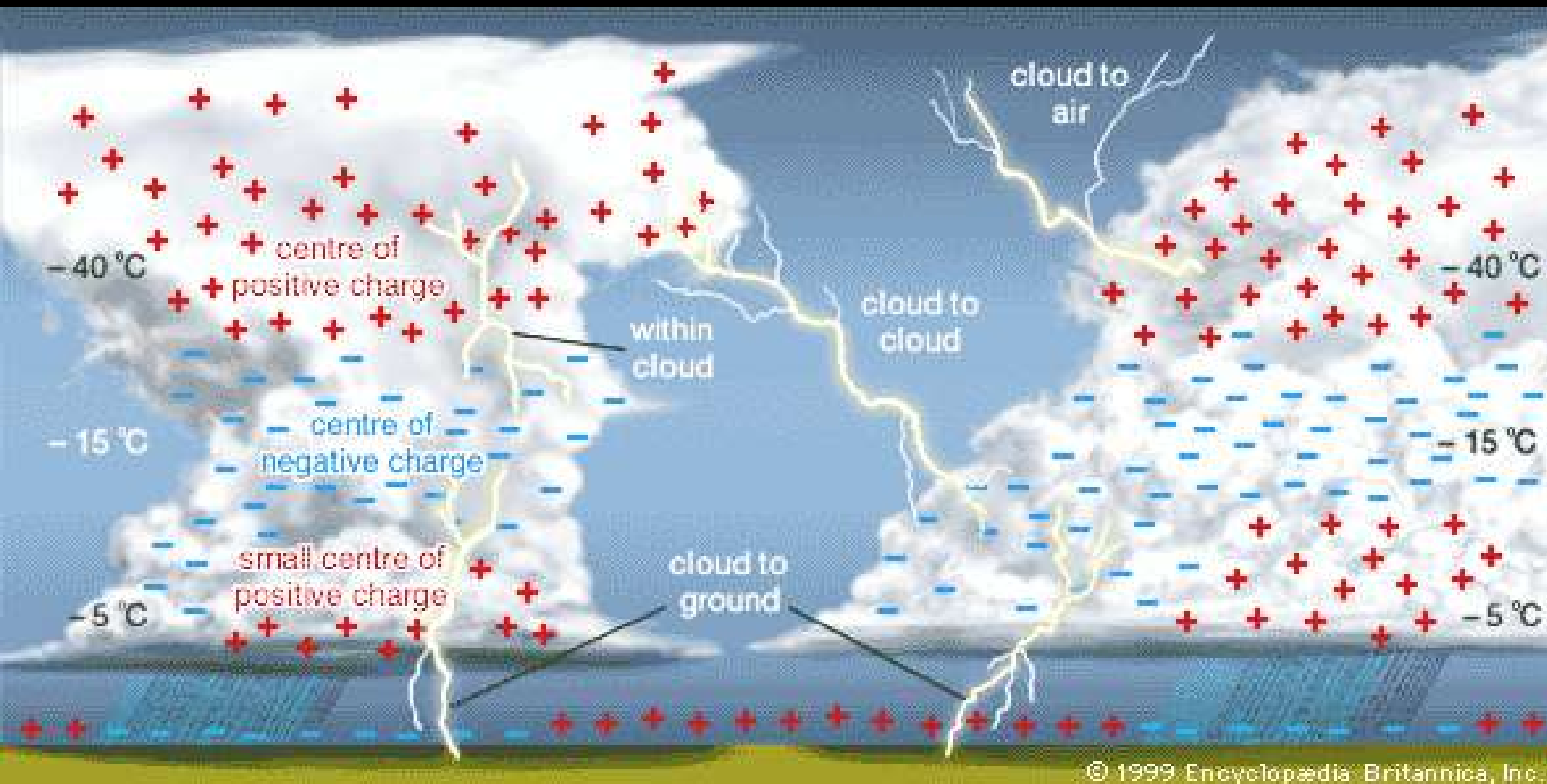
Laengute jaotus äikesepilves: Simpsoni teooria järgi

Tripoolne laengute jaotus

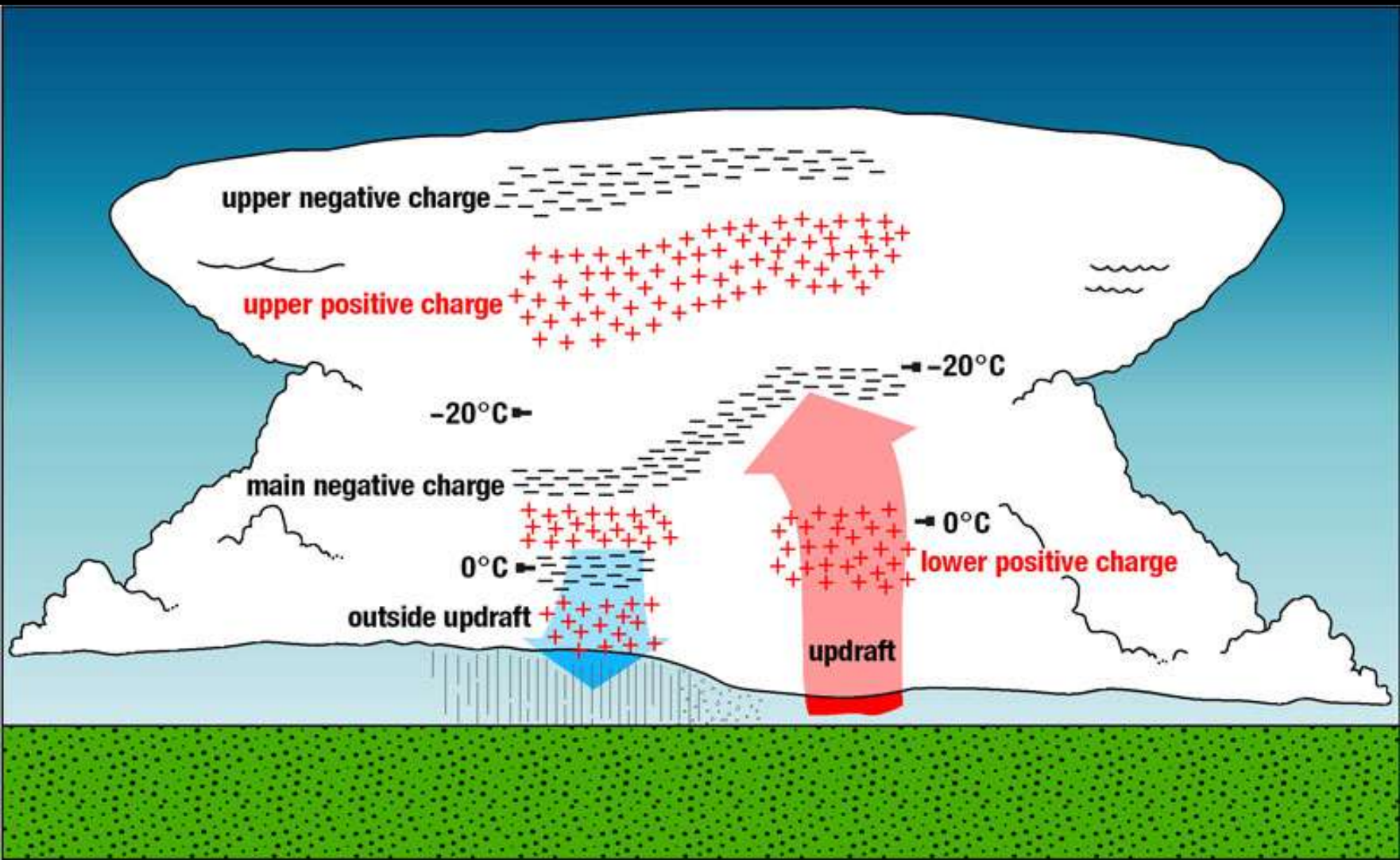


Laengute jaotus äikesepilves: tänapäev?

Miks me peame tripoolid hülutama?



Laengute jaotus äikesepilves: tänapäev



Välgusarnased nähtused

- Kettvälk (koosneb helendavaist punktidest);
- Keravälk (tulekera mõõtmed, värvus ja kestus on väga erisugused);
- Koroona (püha Elmo tuled: sinakad või punakad helendused, sõltuvalt laengu tüübist, omadusi:



Joonis: Dr. G. Hartwig, London, 1886

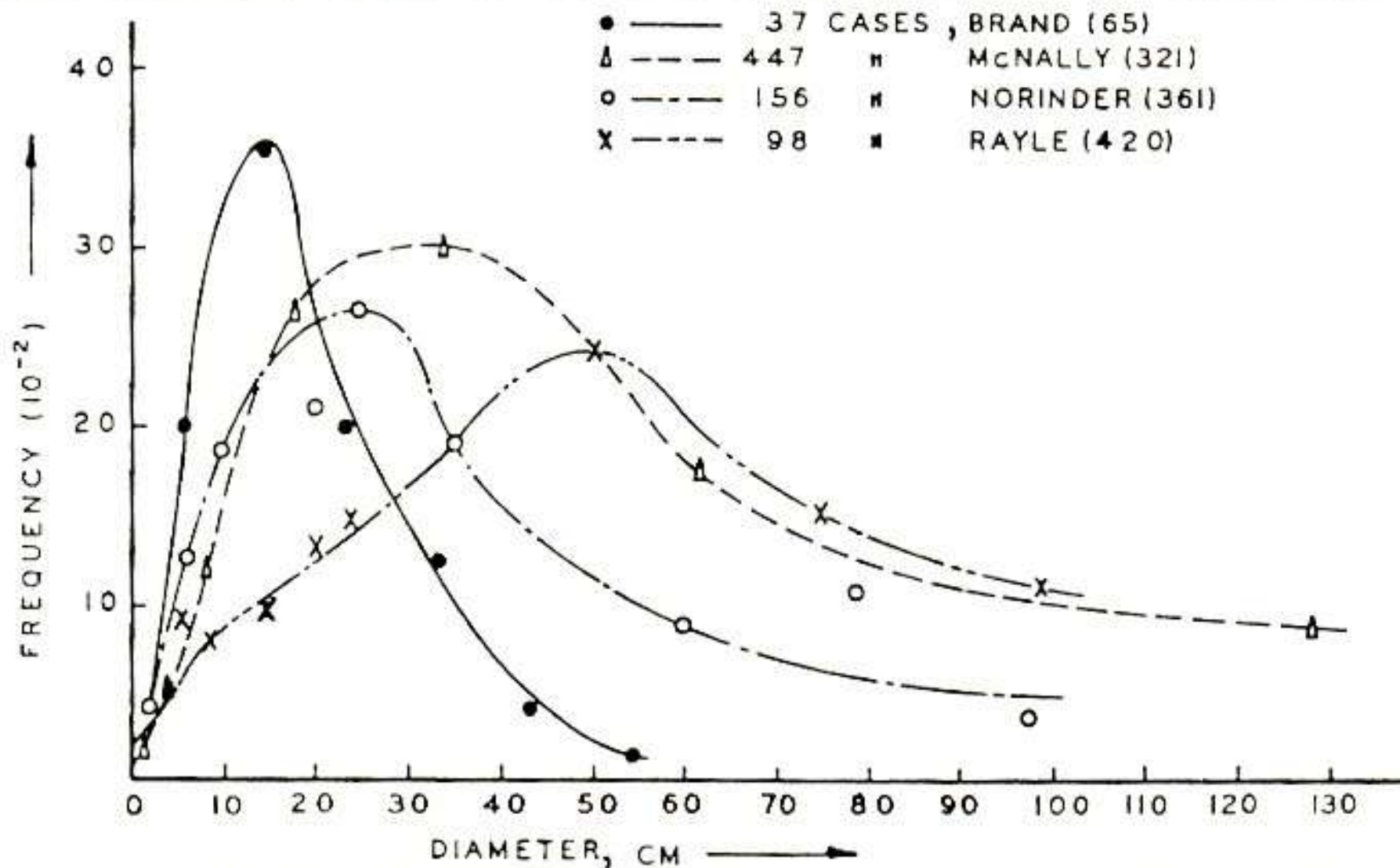


Keravälg



- Kaua vaidlusalune teema (pole laboris saadud);
- Maapinna lähedal läbimõõt 10-20 cm;
- Liigub valdavalt jalakäija kiirusega;
- Eluiga kuni 1 min;
- Erienergia 10^6 - 10^7 J/g;
- ⁶⁰Seos poltergeistiga

Keravälkude suurusjaotus



Positiivne välk ja keravälk

- Positiivne välk on ebatavaliselt võimas ja huvitav välguvorm (video: <http://www.youtube.com/watch?v=dSLZ8ksEDJM>)
- Kõikidest välkudest moodustab vähem 5 %, sageli talvistes ja hajuvates äikesetormides (või nende tagaosades).
- Arvatakse, et keravälgu ja positiivse välgu vahel on seos.



Thermosphere

100 —

Elve

Mesosphere

Sprite

50 —

Stratosphere

Blue Jet

Altitude (km)

10 —

Troposphere

Lightning

