



Timo Nousiainen

Ilmakehätapaaminen, 27-29.5. 2011

# VALAISEVAT YÖPILVET

# Yleistä yöpilvistä



# Taustaa

- Yöpilvet esiintyvät mesosfäärin yläosissa, mesopaussin tuntumassa noin 83 km korkeudessa.
- Yöpilviä esiintyy pääasiassa leveysasteilla 50-65° paikallisen kesän aikaan.
- Yöpilvet koostuvat pääosin jäästä, joten niiden esiintyminen edellyttää ylikyllästystä jään suhteen → alhainen lämpötila ja/tai kosteaa.

# Taustaa (2)

- Kesäinen korkeiden leveysasteiden mesopaussi on epätodennäköinen esiintymisalue jääpilville, koska:
  - kylpee lähes tauotta voimakkaassa auringonsäteilyssä.
  - Näin korkealla auringon valossa paljon lyhytaaltoista säteilyä joka absorboituu ilmamolekyyleihin → voimakasta paikallista säteilylämmitystä.
  - Vesihöyrymolekyylit hajoavat nopeasti säteilyn vaikutuksesta.
  - Ilma on ohutta ja hyvin kuivaa, mahdollisesti syntyvät hiukkaset kasvavat hitaasti ja vajoavat nopeasti.

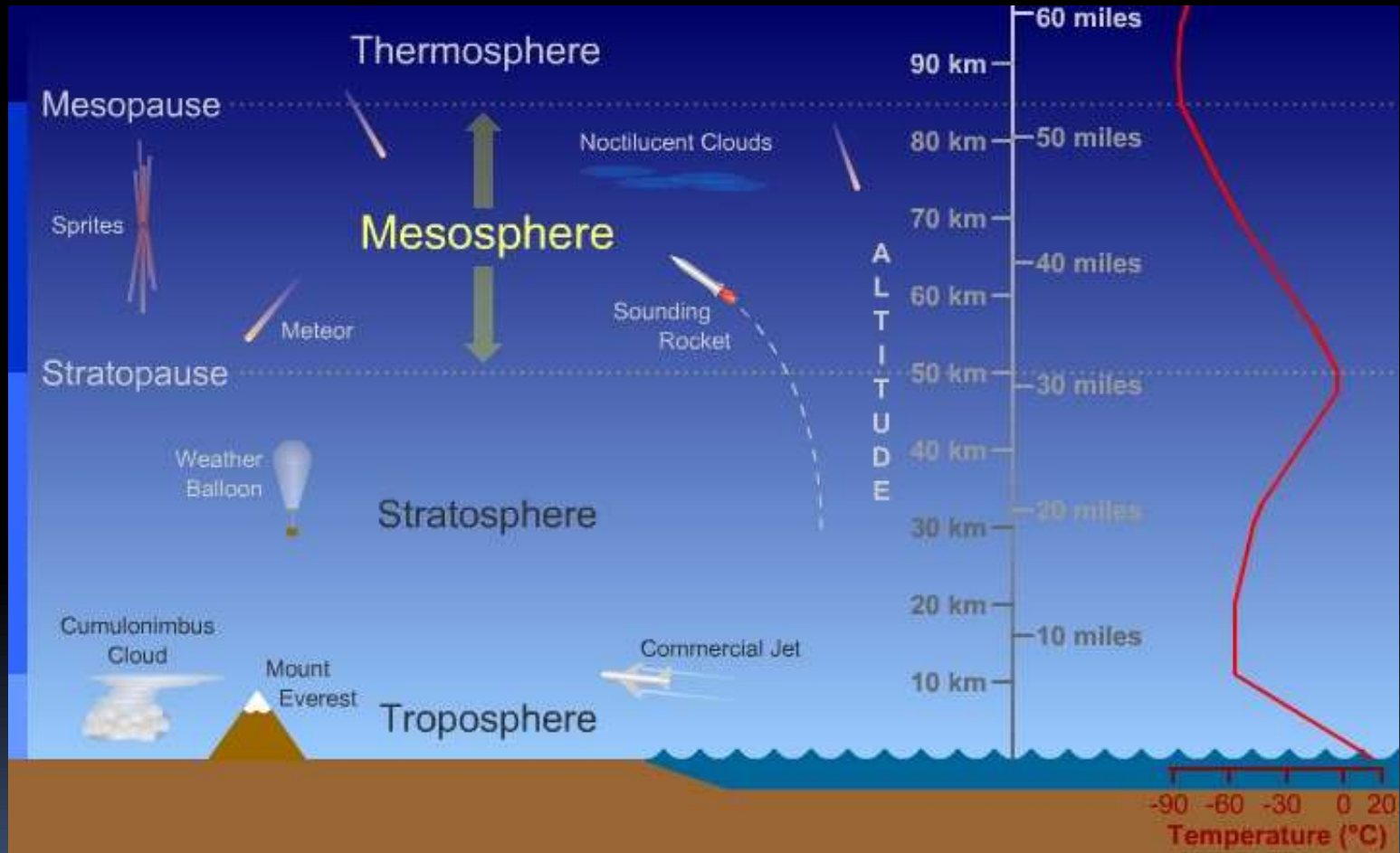
# Taustaa (3)

- On siis aivan aiheellista kysyä miten valaisevia yöpilviä voi ylipäättänsä esiintyä.
- Vastaus edellyttää tutustumista ilmakehän käyttäytymiseen ja ominaisuuksiin.

# Ilmakehästä



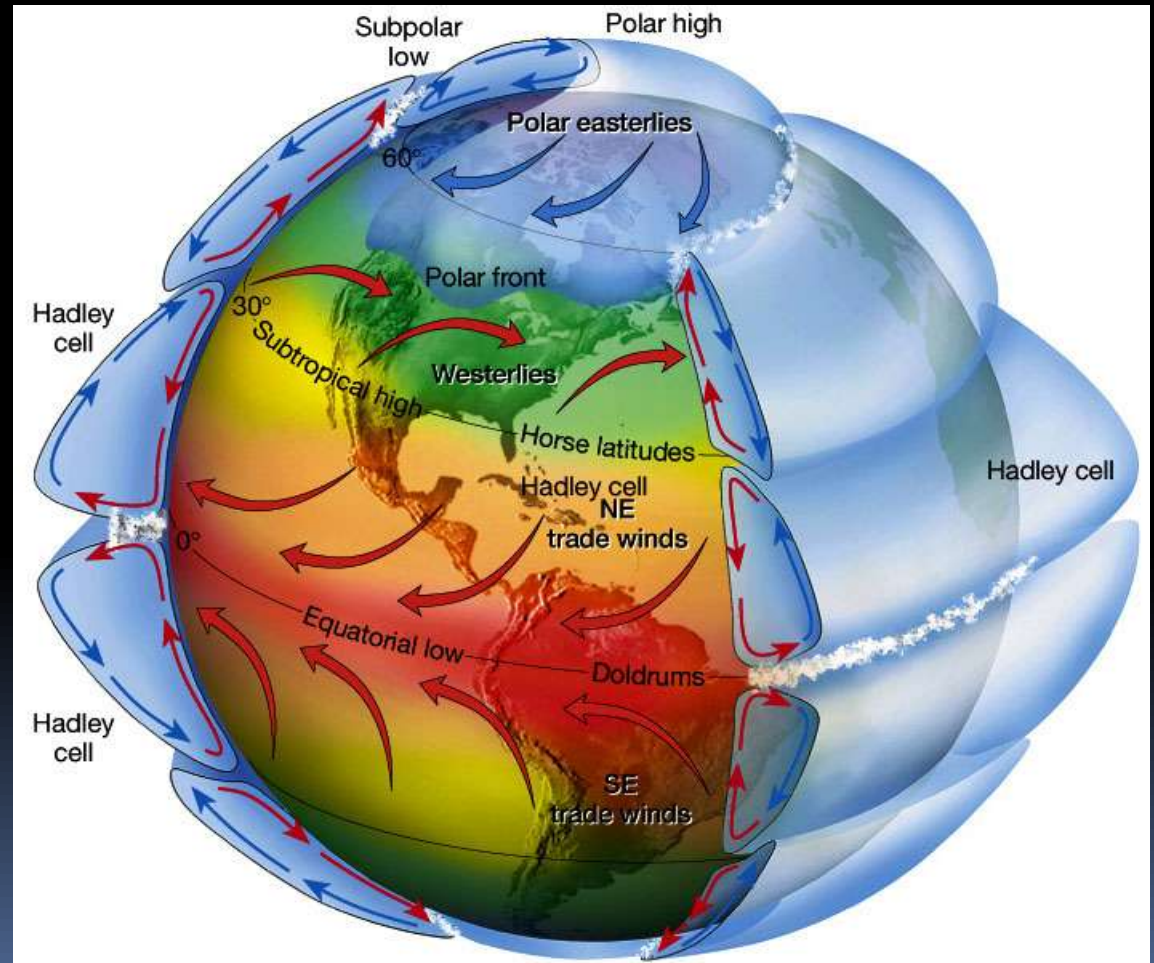
# Ilmakehän kerroksista



# Ilmakehän toiminnasta: troposfääri

Auringon lämmöstä  
liikkeeksi:

Lämmin ilma nousee,  
kylmä laskee →  
painopiste alenee →  
potentiaalienergiasta  
liike-energiaa.



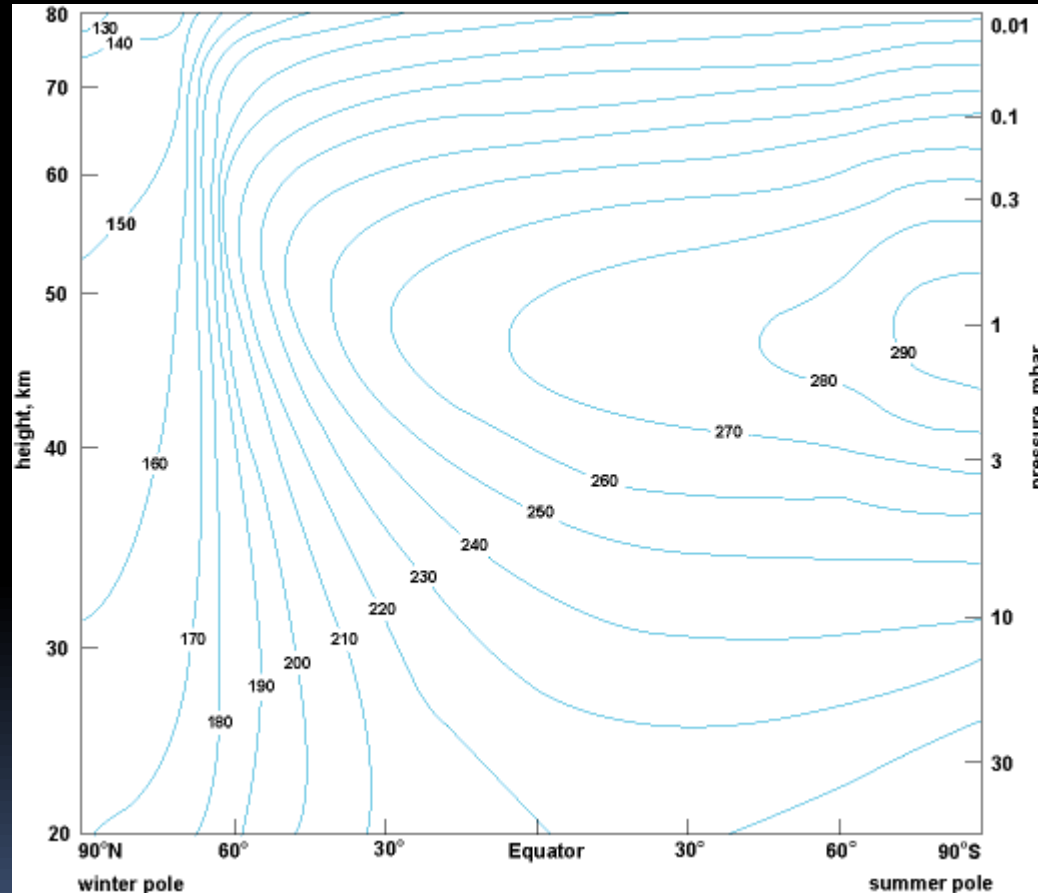


# Keski-ilmakehästä

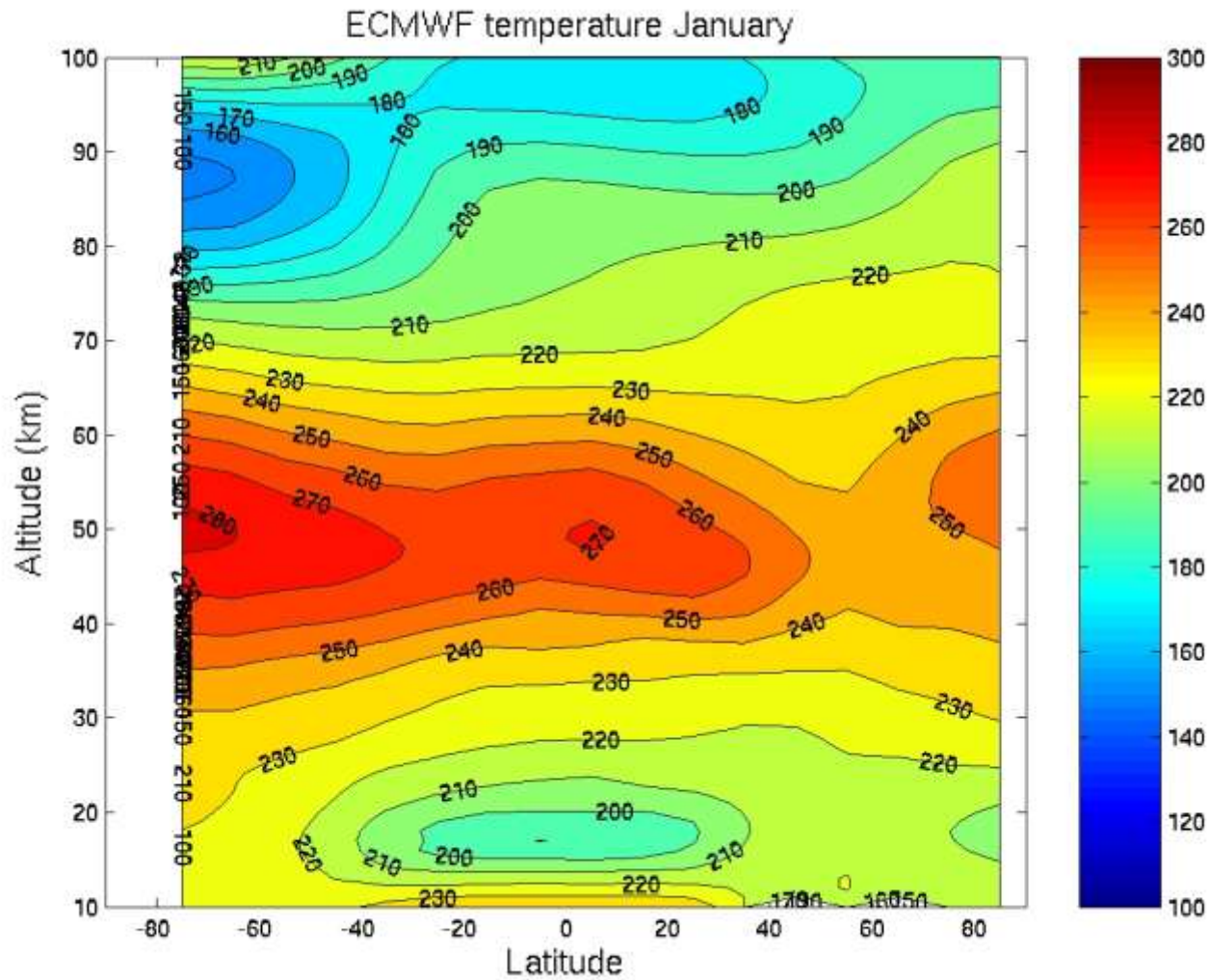
- Koostuu strato- ja mesosfääristä.
- Troposfääri ja ilmakehä kokonaisuutena toimii kuin lämpökone, lämpötilaerot synnyttävät liikettä.
- Keski-ilmakehä toimii keskimäärin päinvastoin, liike synnyttää lämpötilaeroja.
- Osa energiasta peräisin auringon energiasta (esim. Otsoniabsorptio), valtaosa alempaa ilmakehästä.

# Säteilytasapainon mukainen lämpötila

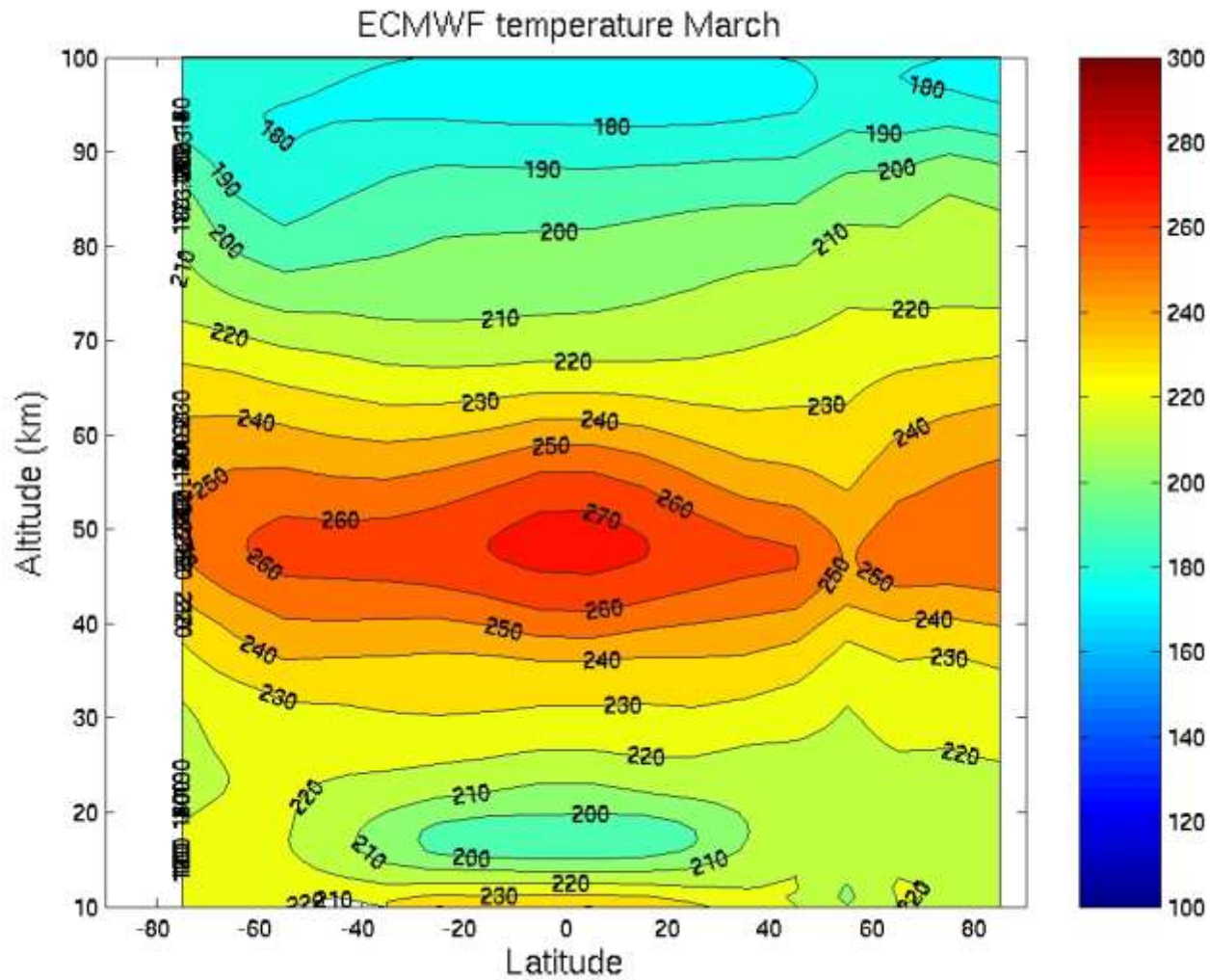
Säteilylämmitys  
mesosfäärissä  
noin 10 K/d.



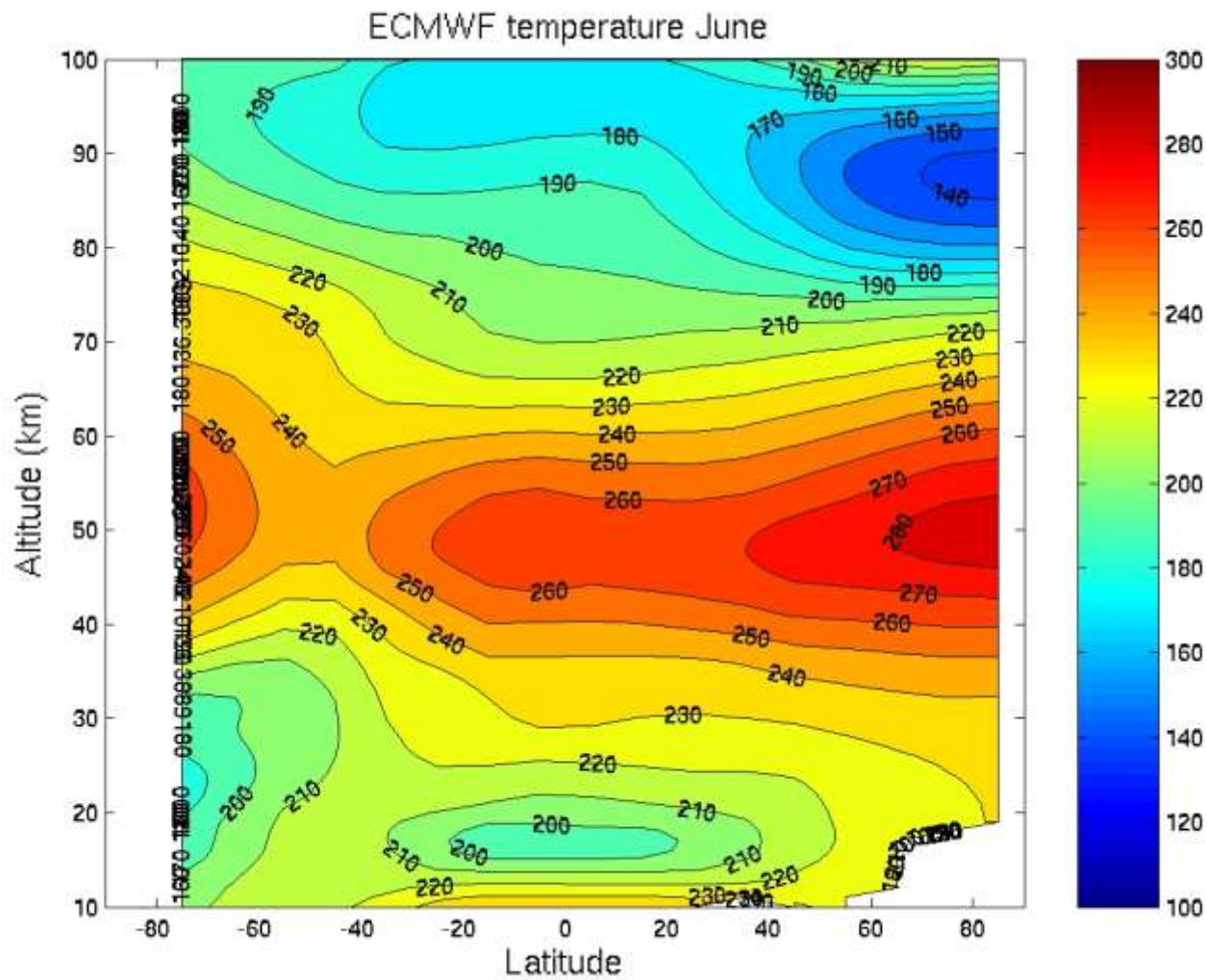
# “Havaittu” lämpötila (tammikuu):



# “Havaittu” lämpötila (maaliskuu):



# “Havaittu” lämpötila (kesäkuu):



# Huomioita

- Säteilytasapainoon vaikuttaa sekä auringon säteily että maanpinnan ja alemman ilmakehän lämpösäteily ja säteilyjäähdyminen.
- Todelliset lämpötilat poikkeavat huomattavasti säteilytasapainon mukaisesta.
- Mallien perusteella pohjoisen pallonpuoliskon mesopausi vaikuttaa kylmemmältä kuin eteläinen paikallisen kesän aikaan.
- Syyllinen eroihin on vertikaalisesti etenevät aallot ja niiden aiheuttamat pystyliikkeet (pohjoisella pallonpuoliskolla voimakkaampia).





Aalloista

# Nousevista aalloista

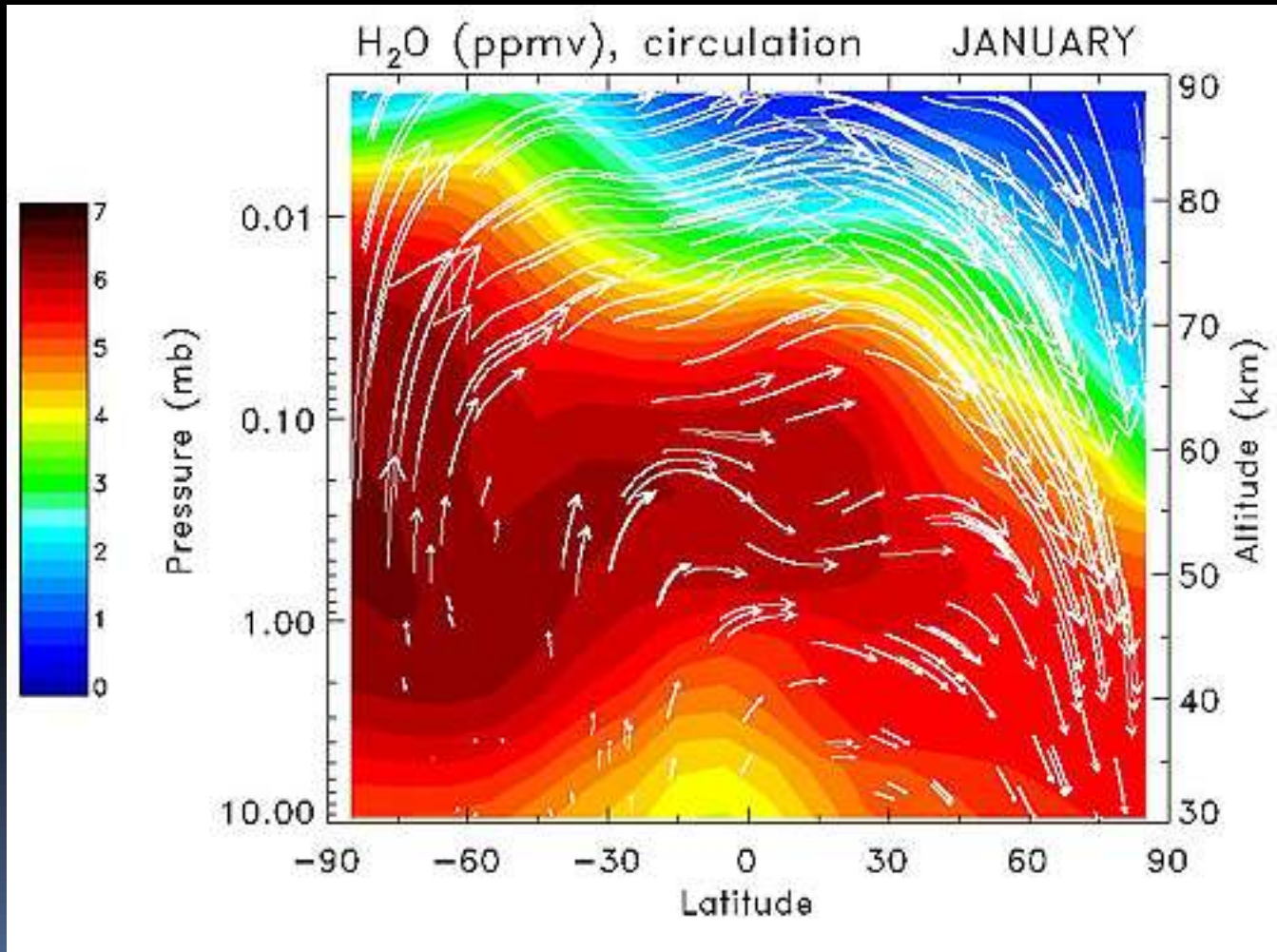
- Meitä kiinnostavat ovat lyhyitä (~10 km) aaltoja joita synnyttävät mm. ukkospilvet, topografia ja suihkuvirtaukset.
- Luovuttavat energiaansa perusvirtaukselle vain kun niiden amplitudi pienenee.
- Amplitudi pienenee säteilyprosessien ja murtumisen johdosta.
- Aallot murtuvat kesäisessä mesosfäärissä mesopaussin seutuvilla, synnyttäen turbulenssia ja liikemäärän siirtymistä aalloilta virtaukselle.



# Nousevista aalloista (2)

- Vain sellaiset aallot, joiden horisontaalinen vaihenopeus poikkeaa horisontaalisen virtauksen nopeudesta pääsevät etenemään ylöspäin.
- Kesällä stratosfäärin läpi pääsee vain aaltoja jotka liikkuvat nopeasti länteen, koska alapuolella esiintyy heikkoja länsituulia ja itätuulia.
- Murtuessaan aallot luovuttavat läntisen liikemääränsä virtaukselle, joka säteilytasapainon perusteella olisi itäinen → perusvirtauksen impulssimomentti kasvaa, pakottaen mesopaussin ilmaa kohden päiväntasaajaa ja synnyttää alapuolelle pakotetun nousuliikkeen tuomaan korvaavaa ilmaa.

Samalla mukana nousee kosteutta...



# Ja yöpilviä pukkaa...

- Noustessaan ilma laajenee ja (ideaalikaasun tilanyhtälön mukaisesti) jäähtyy.
- Noustessaan ilma tuo mukanaan kosteutta alemmasta ilmakehästä jossa valokemiallinen hajoaminen ei niin nopeaa.
- Lämpötila laskee ja saavuttaa jään suhteen ylikyllästystilan, jolloin yöpilvihiukkasia voi muodostua jos sopivia jäätymisytimiä.
- Jäätymisytiminä voivat toimia mm. vulkaaninen ja meteoripöly sekä tietyt ionit.

# Yöpilvien aaltomuodoista

- Aaltoja synnyttää:
  - Yöpilvikerroksen aaltoilu (näennäinen efekti, heikompi zeniitissä).
  - Ilmakehän aaltoihin liittyvät divergenssi- ja konvergenssivyöhykkeet (pakkaavat tai harventavat pilvihiukkasia).
  - Kerroksen paksuuden ja lämpötilan vaihtelut. Hiukkasia muodostuu/kasvaa (härmistyminen) kylmissä kohdissa ja katoaa/pienenee (sublimoituminen) lämpimissä.
- Aaltojen liike ei ole välttämättä ilman liikettä!

# Todellisuudessa kovin monimutkaista..

- Keski-ilmakehän toiminta on hyvin voimakkaasti epälineaarista erilaisten takaisinkytkentöjen takia:
  - Lämpötilaerot aiheuttavat virtauksia (termisen tuulen laki).
  - Virtaukset aiheuttavat lämpötilaeroja (esim. nousuliikkeet).
  - Säteily aiheuttaa lämpötilaeroja (esim. otsonin absorboima auringon säteily).
  - Lämpötila vaikuttaa kemialliseen koostumukseen ja sitä kautta säteilylämmitykseen (esim. otsonin kemia).
  - Vertikaalisesti etenevät aallon vaikuttavat virtauksiin.
  - Virtaukset vaikuttavat vertikaalisesti eteneviin aaltoihin (suodatus).
- Säteily, kemia ja dynamiikka vuorovaikuttavat voimakkaasti, vaikutukset eivät selviä päättelemällä!

# Viimeaikaisista löydöistä



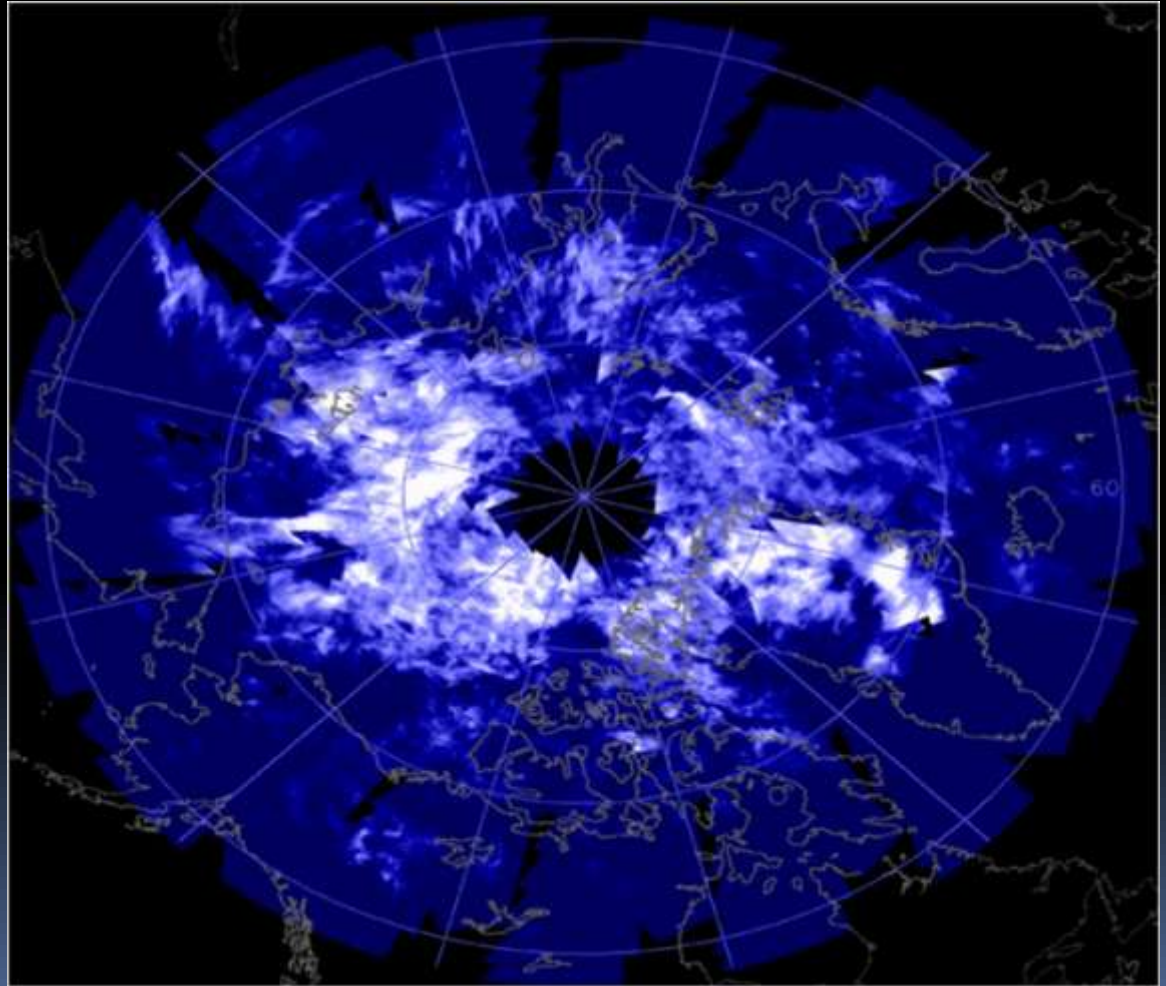
# AIM-satelliitti

- 27.4. 2007 NASA laukaisi AIM-satelliitin (Aeronomy of Ice in the Middle atmosphere) yöpilviä tutkimaan.
- AIM-projektin tarkoituksena on tutkia miten yöpilvet ylipäättänsä muodostuvat ja liittyykö niiden esiintyminen ilmastonmuutokseen.
- Satelliitissa kolme instrumenttia:
  - The Solar Occultation For Ice Experiment (SOFIE), spektrometri, profiilit kemialle ja lämpötilalle.
  - The Cloud Imaging and Particle Size (CIPS) experiment, UV kamera, kulmariippuvat suureet.
  - The Cosmic Dust Experiment (CDE), mittaa satelliittiin törmäävää pölyä.



# Polaarimesosfäärin pilviä (PMC) 14.7. 2009 CIPS-instrumentin kuvaamana.

Satelliitti näkee pilviä myös siellä missä aurinko on horisontin yläpuolella, pinnalta näitä pilviä ei näy. PMC on yleisnimi, yöpilvillä tarkoitetaan pinnalta näkyviä. Kyseessä kuitenkin samat pilvet.



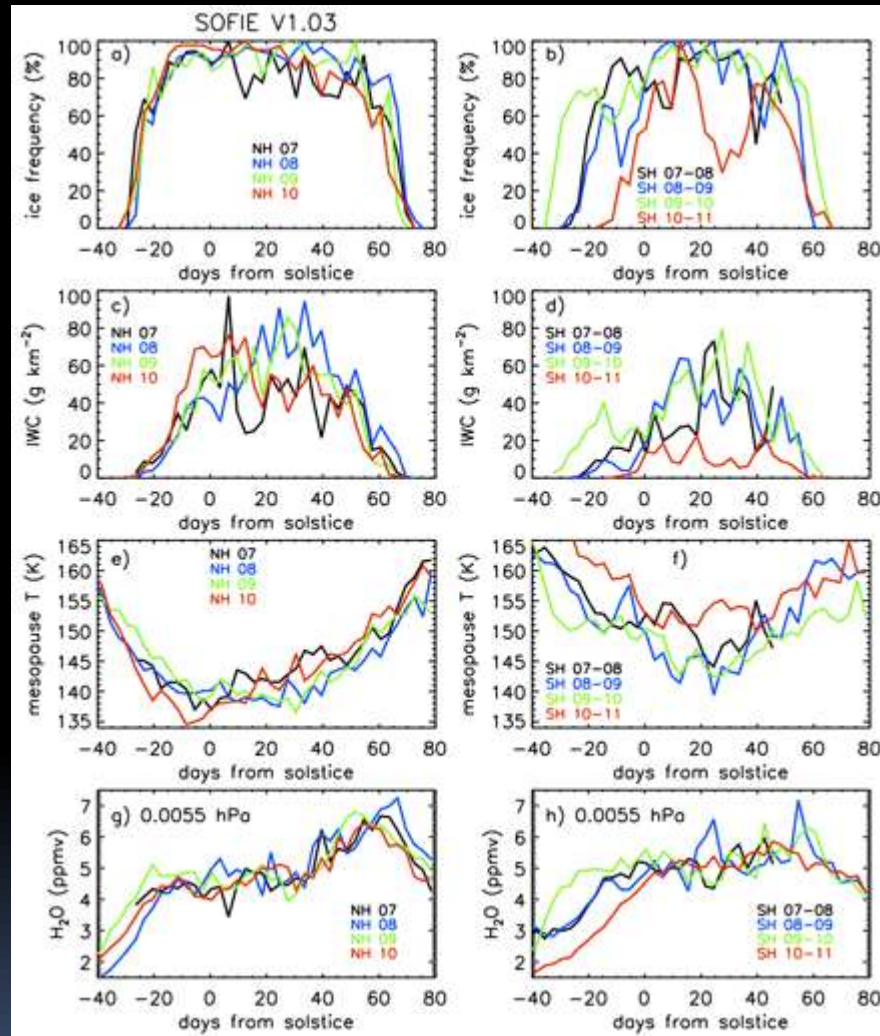


# AIM:n keskeiset tulokset

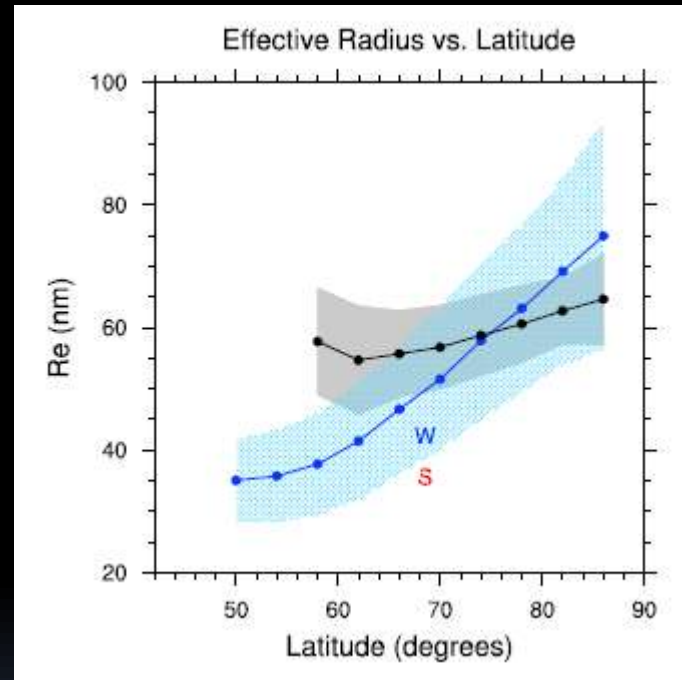
- PMC-kausi alkaa hyvin nopeasti, siirtymä pilvettömästä lähes jatkuvaan PMC-peitteisyyteen tapahtuu muutamassa päivässä.
- Lämpötila vaikuttaa tärkeimmältä parametrilta pilvien näkymisen kannalta.
- PMC:n esiintymisessä nähdään sekä suuren skaalan aaltojen globaaleja että pienten aaltojen paikallisia vaikutuksia.
- Pallonpuoliskojen välillä on kytkös. Kun lämpötila muuttuu talvipuolella, pilvet muuttuvat kesäpuolella.

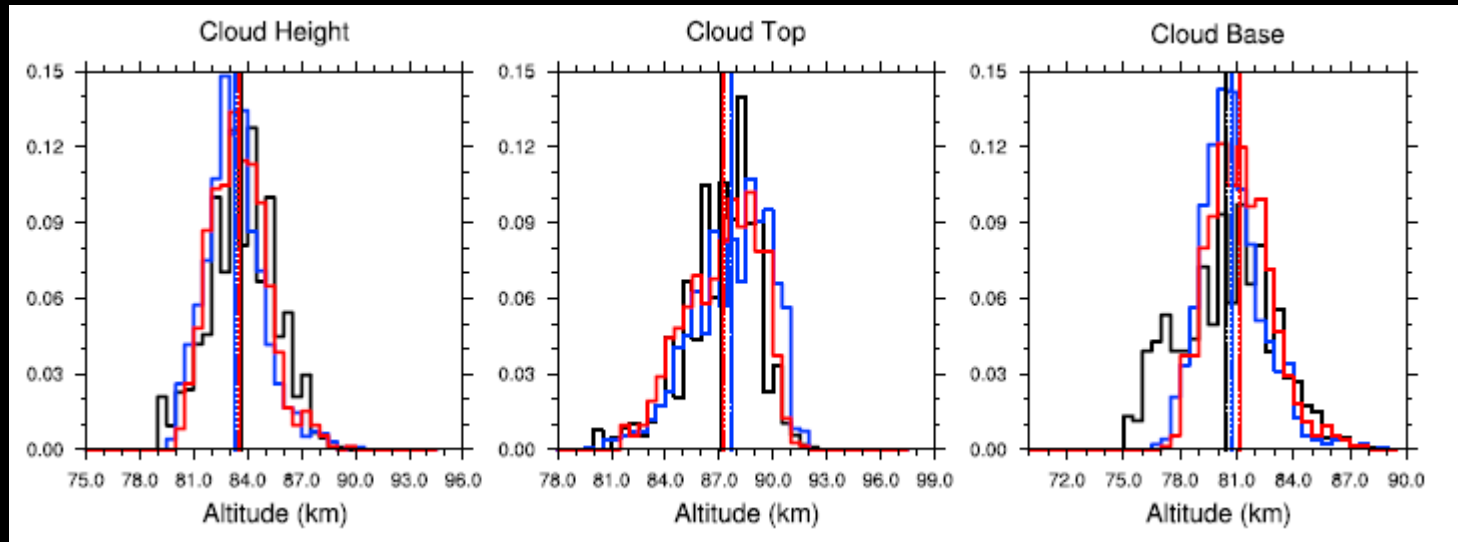
Yhteenveto SOFIEn neljän yöpilvikauden havainnoista.

Huomaa miten nopeasti yöpilvikausi alkaa ja loppuu. Kausi alkaa noin 30 päivää ennen juhannusta, kestää noin 100 päivää. Tämä siis kaikille PMC:lle, ei yöpilville!

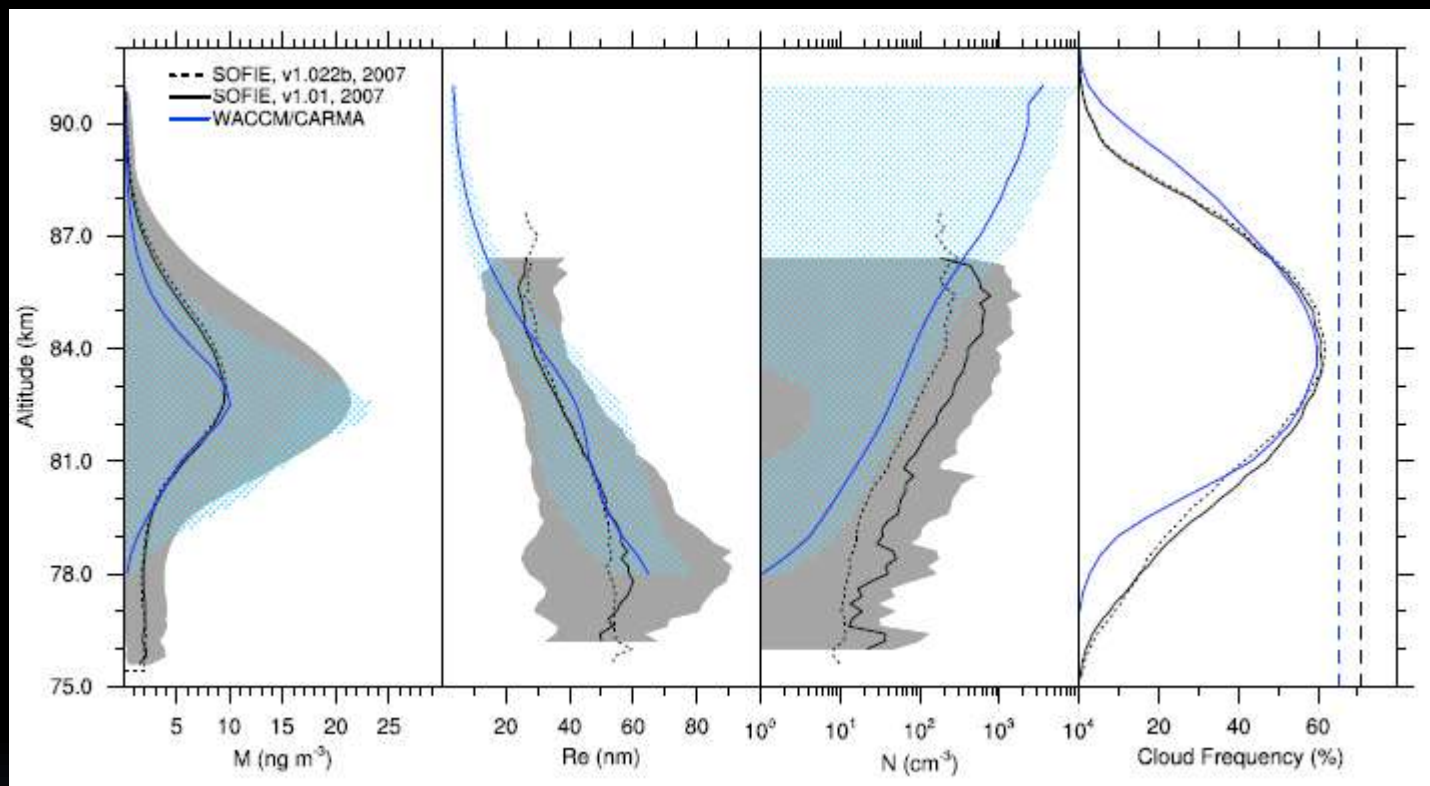


Pilvihiukkasten efektiivinen koko AIM-mittausten (harmaa) ja mallisimulaation (sininen) perusteella leveyspiirin funktiona. Yhtenäinen viiva keskiarvo ja tummennettu alue keskihajonta.





Pilven ylä-, ala-, ja keskikohdan korkeus AIM-mittausten (musta) ja mallin (sininen: aurinkominimi, punainen: aurinkomaksimi) perusteella.



Yöpilvikerroksen tiheys, pilvihiukkasten efektiivinen koko ja konsentraatio, sekä yöpilvien esiintymistodennäköisyys korkeuden funktiona. Sininen viiva mallista, mustat viivat (ja hajonta) havainnoista.

# Yöpilvet ja ilmastonmuutos



# Taustaa

- Ensimmäiset havainnot yöpilvistä vuodelta 1885. Ensimmäiset havainnot helmiäispilvistä vuodelta 1870.
- Lisääntyvät kasvihuonekaasujen pitoisuudet nostavat lämpötiloja maanpinnalla mutta eivät välttämättä ylempänä ilmakehässä (mallien mukaan lämpötila laskisi).
- Metaani, tärkeä kasvihuonekaasu, jonka pitoisuudet ovat yli kaksinkertaistuneet esiteolliselta ajalta, on tärkeä vesihöyryn lähde mesosfäärissä.

# Viimeaikaisia tuloksia

- Samalla kun troposfääri lämpenee, mesosfäärin lämpötilat ovat laskeneet keskimäärin noin 0.2-0.3 K vuodessa.
- Metaanin lisääntyminen lisää mesosfäärin kosteutta koska sen valokemiallinen hajoaminen tuottaa vettä.
- PMC:t ovat lisääntyneet viime vuosikymmeninä korkeilla leveysasteilla ( $70^{\circ}+$ ), yöpilvissä trendiä ei ole havaittu!
- Mesopaussin lämpötila riippuu paljon nousevista aalloista ja siten stratosfäärin ominaisuuksista. Muutokset esim. otsonikerroksessa ovat tärkeitä. Tulevaisuus epävarmaa!



# Yhteenveto



Yöpilvet näyttävät ihmeellisen hienoilta. On myös ihme että niitä ylipäätään esiintyy. Tutkittavaa riittää ja myös amatöörin kannattaa pitää silmänsä auki.