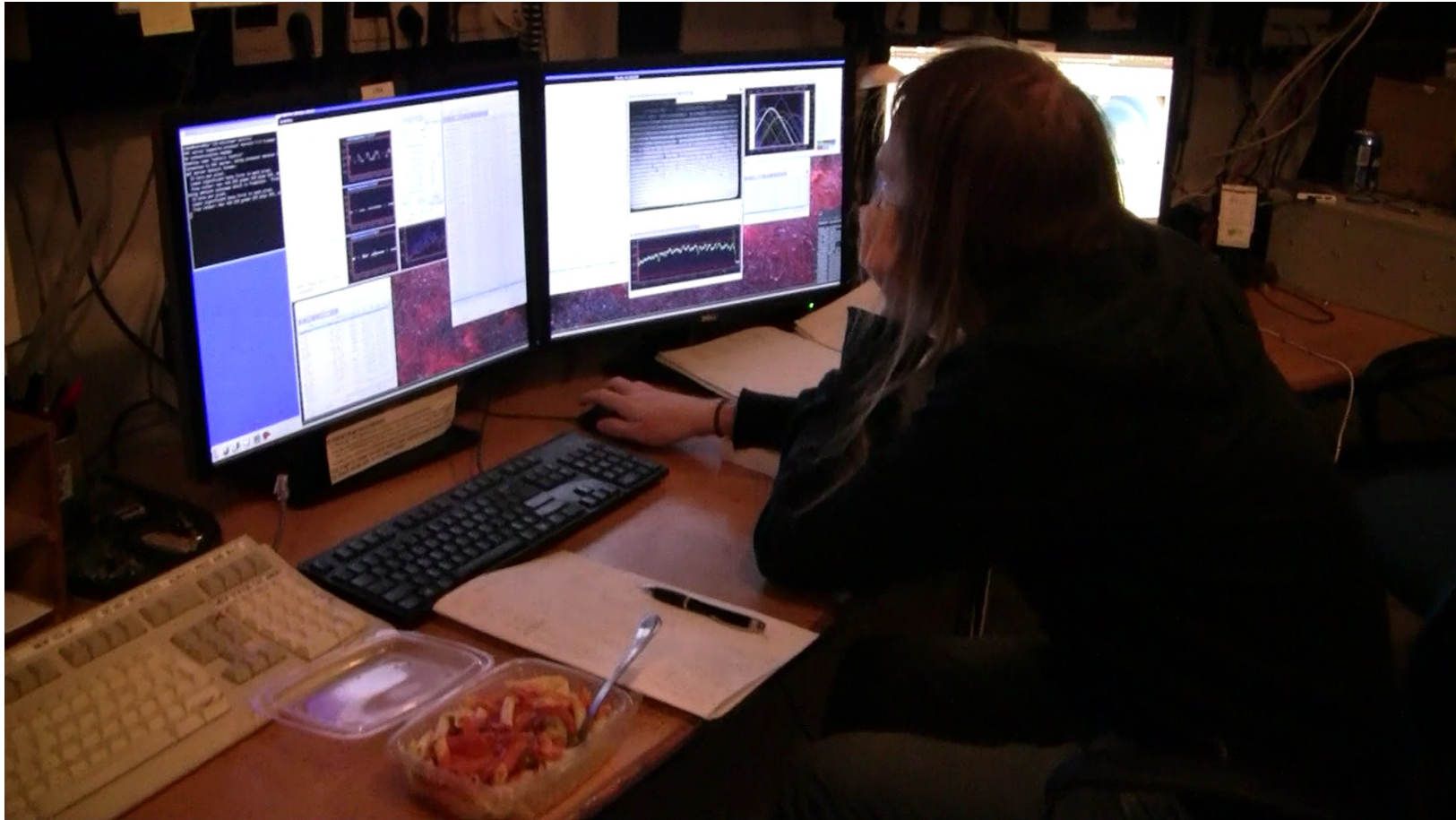


# Tähtitieteelliset havainnot

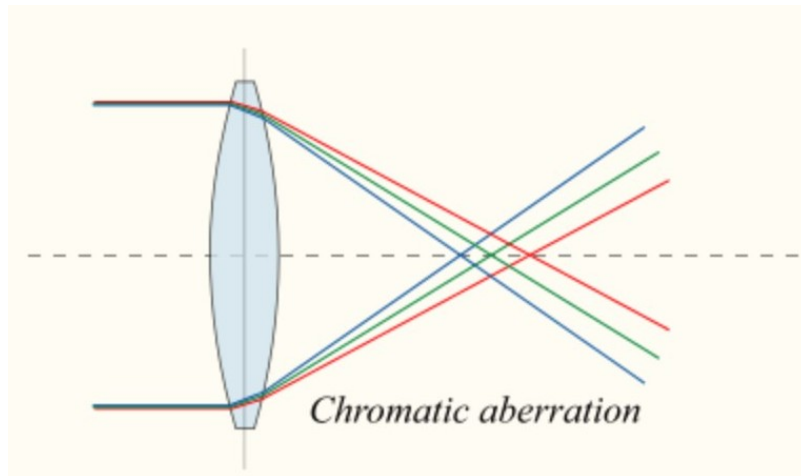
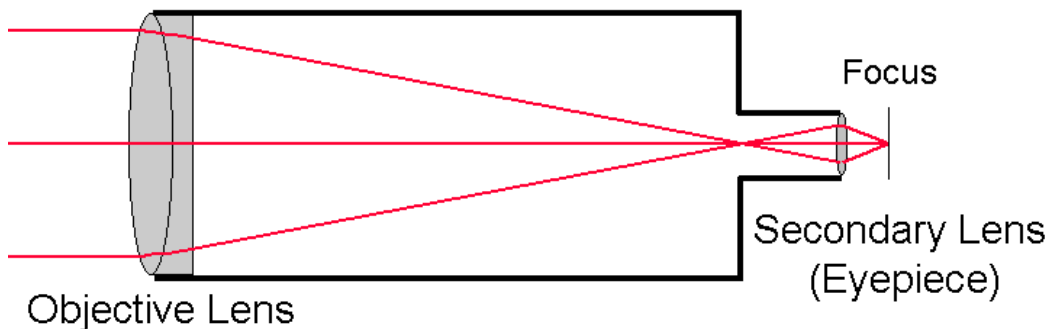


# Optiset teleskoopit

- Linssiputket (refraktorit)
- Peiliputket (reflektorit)
- Kaukoputkeen kuuluu
  - Linssjä/peilejä, jotka keräävät valoa ja kohdistavat sen fokukseen. Pääpeilin/linssin koko ratkaisee, miten paljon valoa teleskooppi kerää. Myös kuvan teoreettinen erotuskyky riippuu peilin/linssin koosta (ja valon aallonpituudesta).
  - Fokukseen voidaan asettaa okulaari silmää varten, tai kamera tai muu havaintoinstrumentti
  - Tukirakenteet, mahdollisesti moottorit liikuttamista ja automaattista seurantaa varten
- Suurin osa tähtitieteellisistä havainnoista tehdään edelleen maanpäällisillä optisilla teleskoopeilla

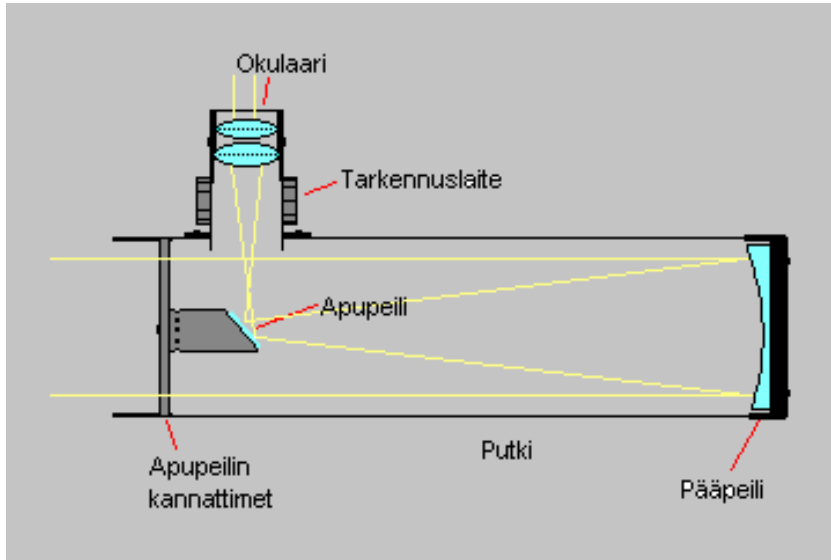
# Linssiputki (refraktori)

Simple Refracting Telescope

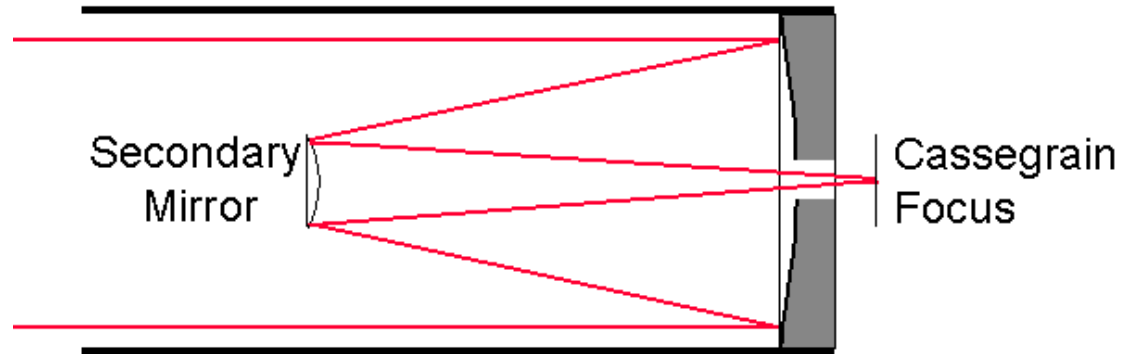


Linssiputkiin syntyy aina kromaattista aberraatiota eli värvirhettä, sillä valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavoin

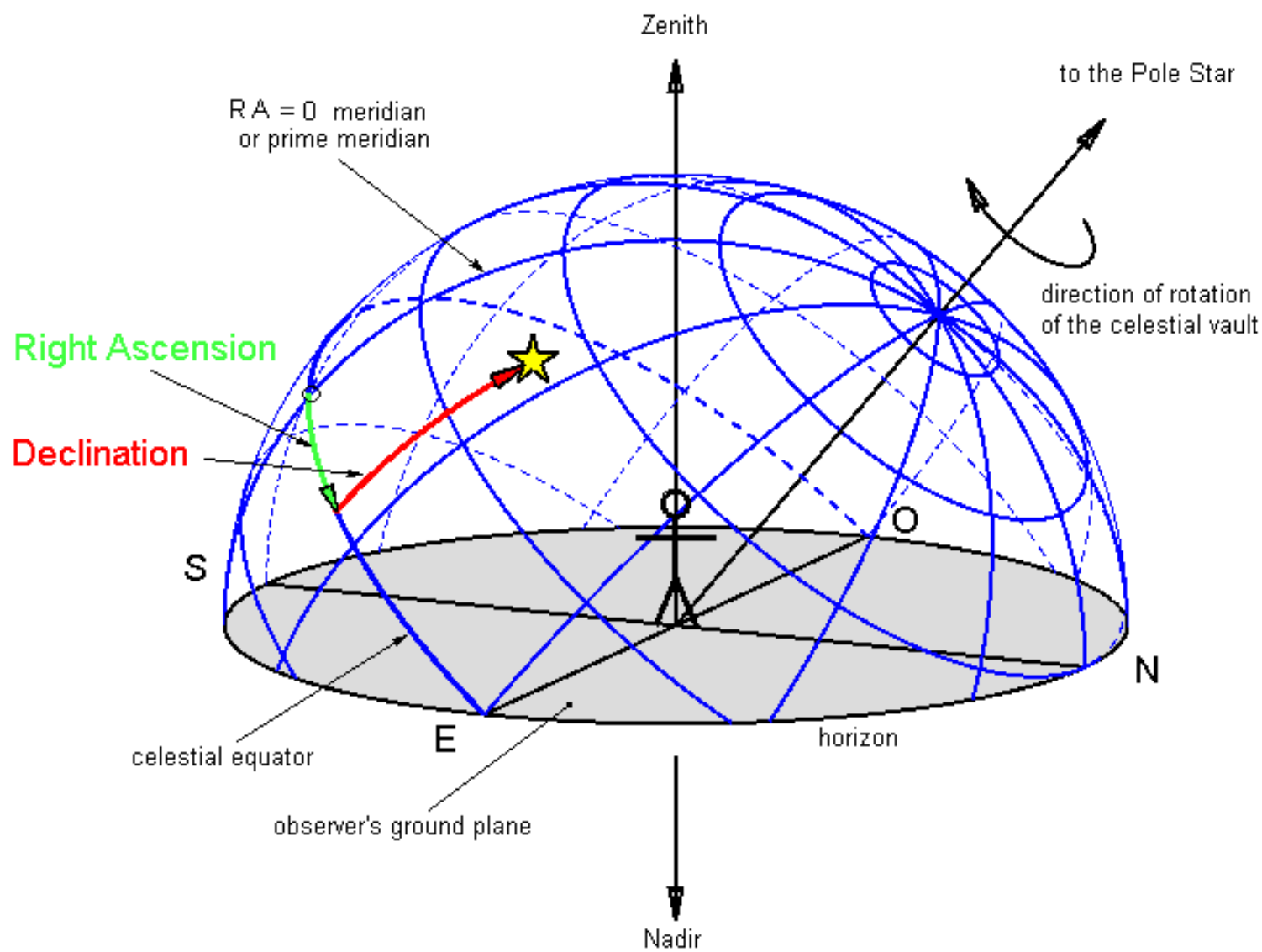
# Peiliputki (reflektori)



Newton-tyyppinen peilikaukoputki



Cassegrain-tyyppinen peilikaukoputki



# Observatoriot

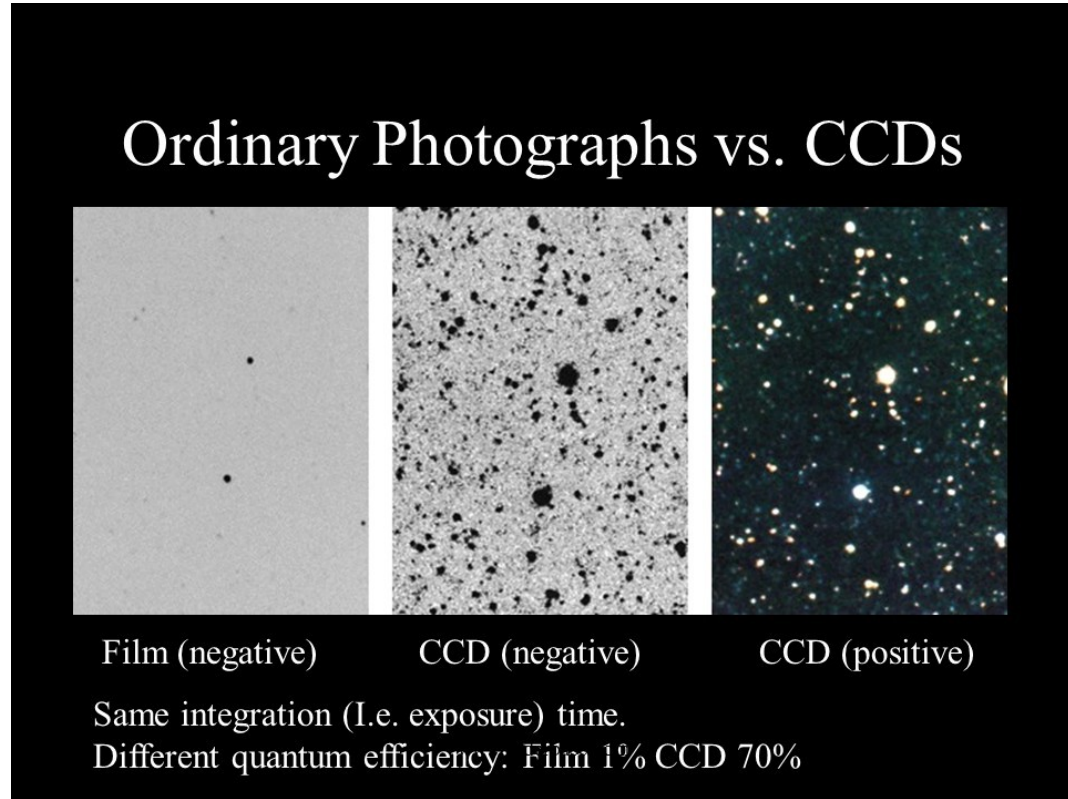
- Koska nykyaikaisten CCD-kameroiden valoherkkyys on jo lähes 100%, voidaan tarkempia havaintoja tehdä vain isommilla teleskoopeilla
- Ideaali sijainti (optiselle) observatoriolle on
  - Pimeä, kaukana valosaasteesta
  - Korkealla (vähän ilmakehää, usein pilvien yläpuolella)
  - Kuivassa
  - Riittävän helposti saavutettavissa
- Maailman parhaita havaintopaikkoja mm. Kanariansaarilla, Chilessä, Havaijilla, Australiassa, Arizonassa



ESOn VLT-teleskoopit Paranalilla, Chilessä, sijaitsevat maailman parhaimpiin kuuluvissa havainto-olosuhteissa.  
Kuva: ESO/H.H.Heyer

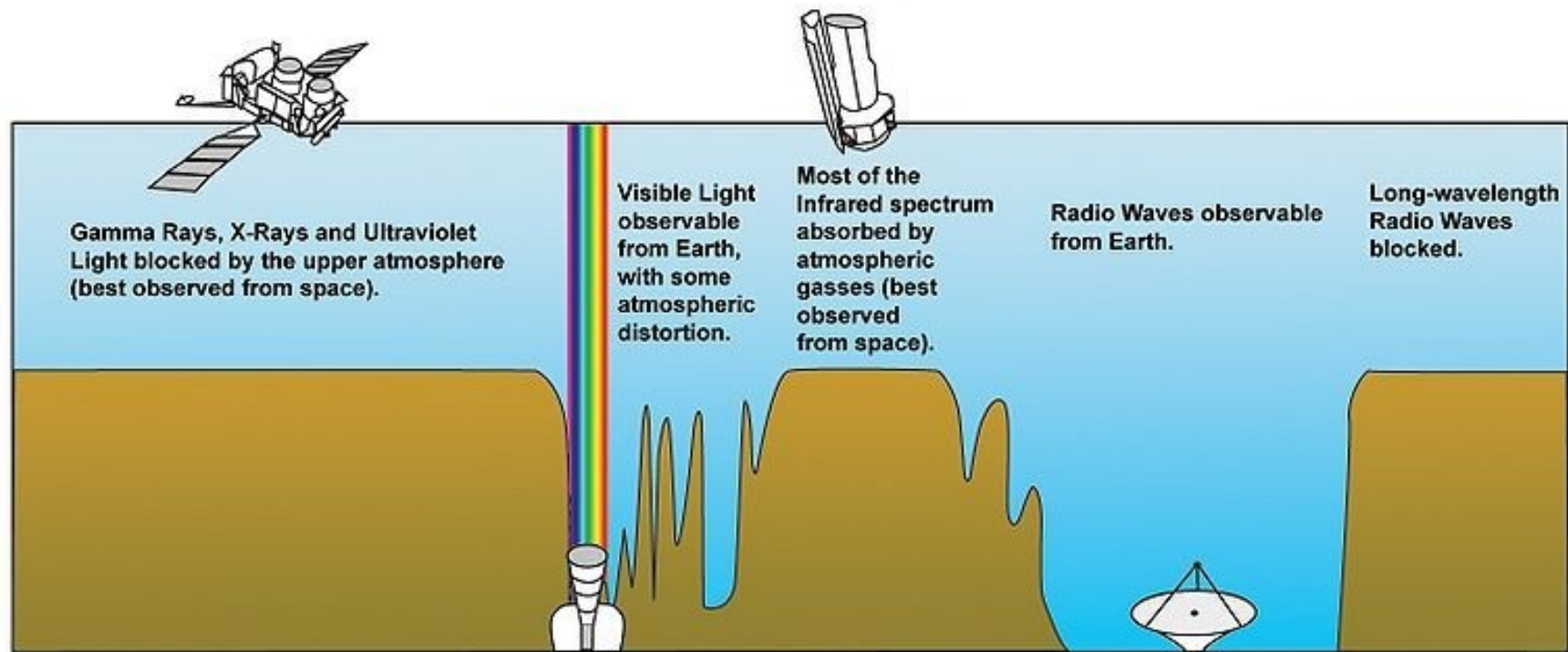
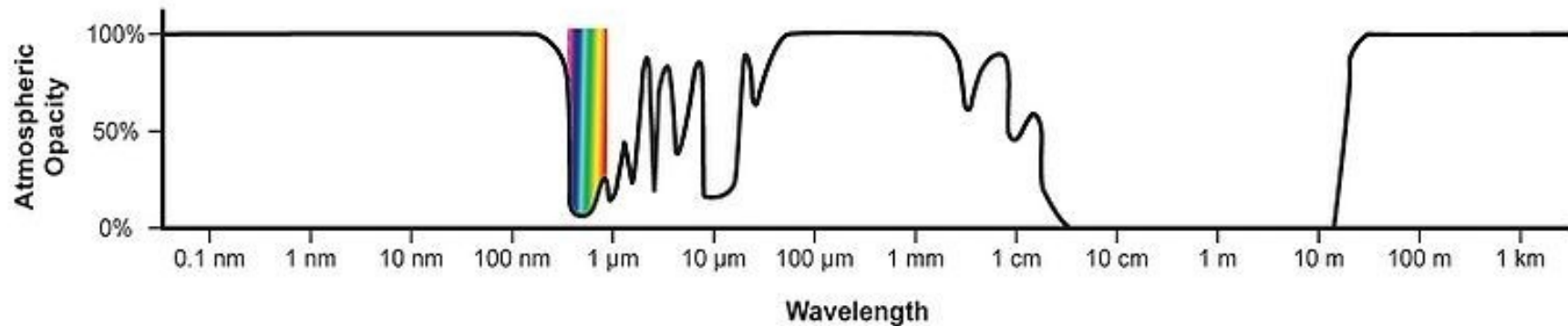
# Havaintovälineitä

- Silmä
  - Valoherkkyys n. 1%
- Valokuvauslevyt
  - Käyttöön 1800-luvun lopulla
  - Vain vähän silmää tehokkaampia, mutta voidaan valottaa pitkiä aikoja, ja saadaan kuva talteen myöhempää tarkastelua varten
- CCD-kamerat
  - Valoherkkyys lähes 100%



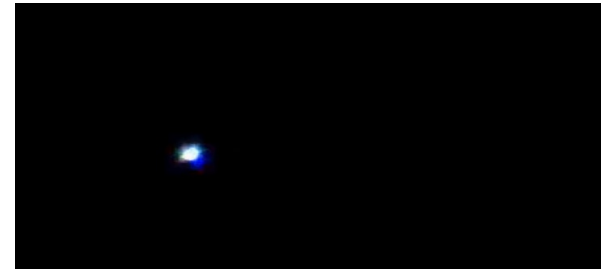
# Ilmakehän vaikutukset

- Ekstinktio (säteily heikkenee, monet aallonpituusalueet eivät lainkaan pääse maan pinnalle – pilvisellä säällä optiset havainnot käytännössä mahdottomia)
- Seeing (pistekohde leviää kiekoksi)
- Refraktio (valon taittuminen eli kulkusuunnan muuttuminen, eri aallonpituuksille eri määrä – ongelma erityisesti lähellä horisonttia)
- Ilmakehästä tuleva taustasäteily (spektriviivoja, ilmahehku, revontulet, valosaaste)



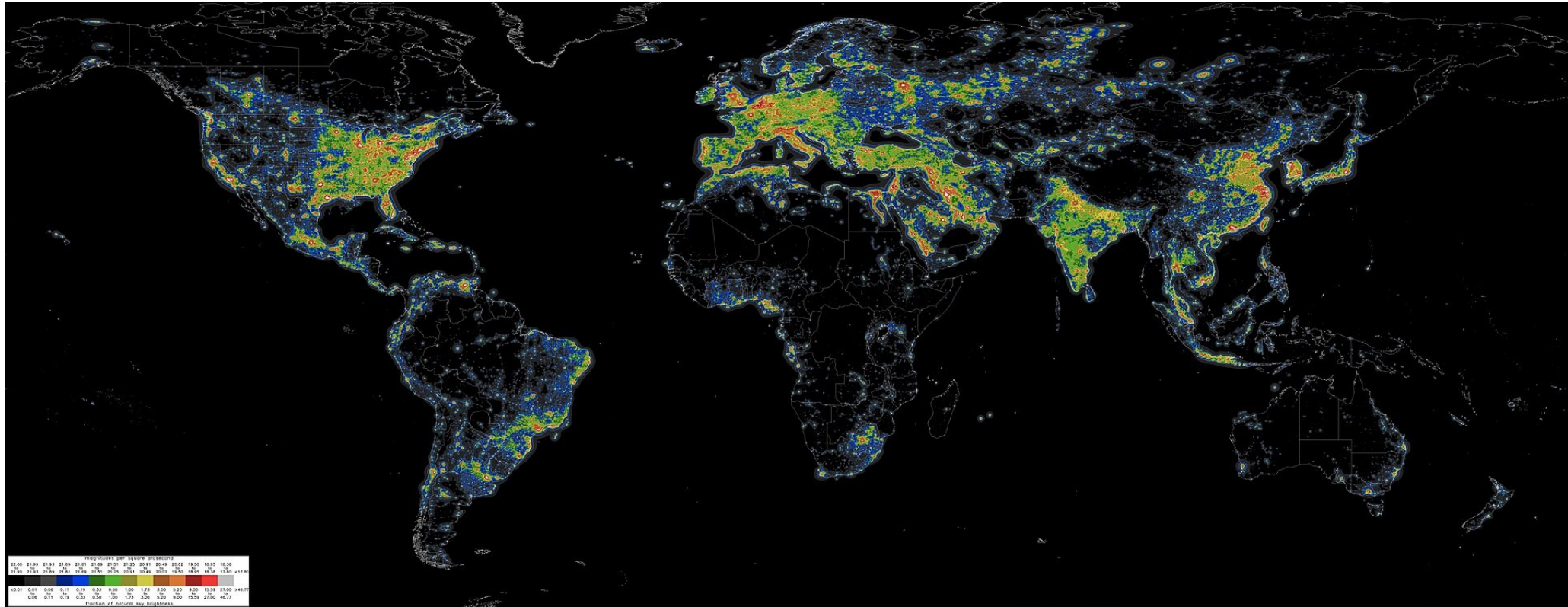
# Seeing, tuikkiminen

- Säteilijä ei kulje ilmakehässä suoraan, vaan kokee jatkuvaa turbulenssia => pistemäinen kohde (näennäinen koko on teoreettista erotuskykyä pienempi) leviää kiekoksi
- ”Pintakohde”, kuten planeetta, näkyy jo valmiiksi kiekkona, joten seeing ei vaikuta samalla tavalla (”planeetat eivät tuiki”)
- Seeing rajoittaa saavutettavaa erotuskykyä, eikä teleskoopin teoreettista erotuskykyä yleensä saavuteta



Ilmakehän vaikutusta Sirkukseen

# Valosaaste

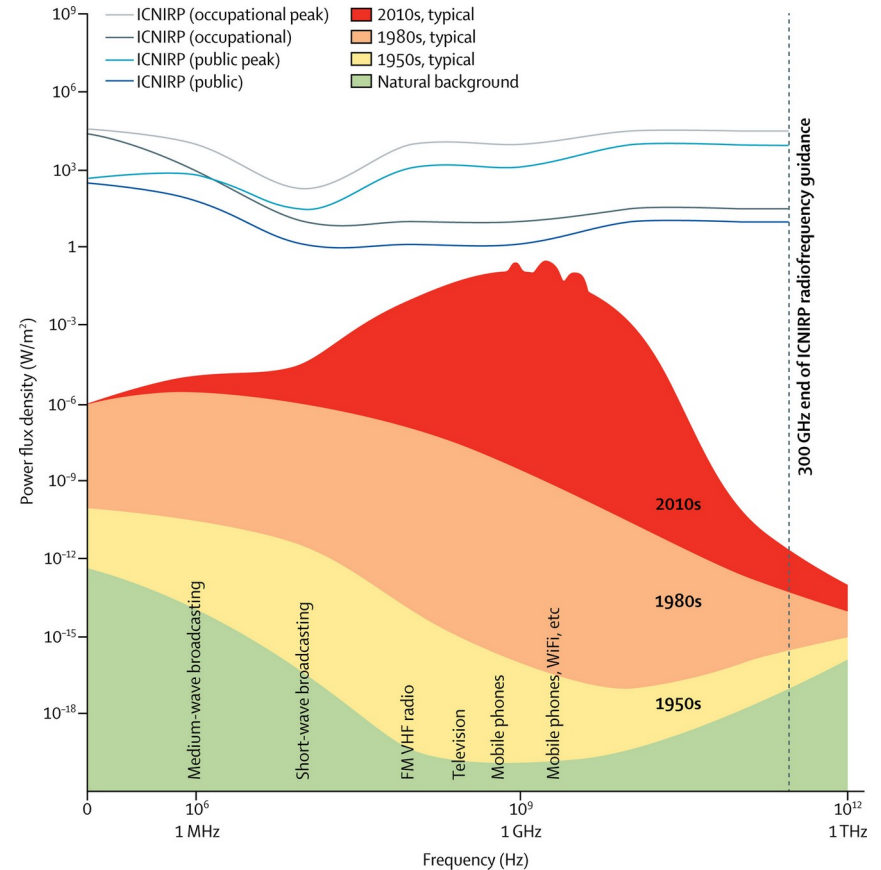


Kuva: David Lorenz

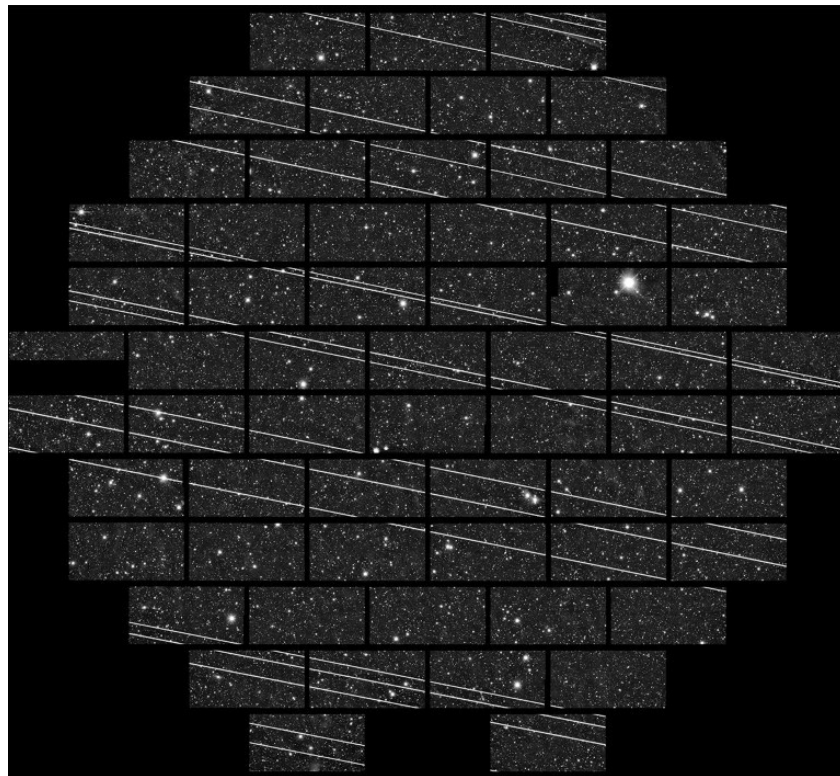
Maailmankaikkeus nyt 2026

# ”Radiosaaste”

- Radiotaajuuksilla ihmisen tuottama tausta jopa  $10^{18}$  kertaa luonnollista säteilyä voimakkaampaa
  - Kaikista voimakkain ihmisen aiheuttama ympäristövaikutus?



# Satelliitit



Starlink satelliittien jälkiä Cerro Tololon observatorion kuvassa 2019.  
Kuva: CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/DECam DELVE Survey.

Maailmankaikkeus nyt 2026



Nordic Optical Telescope (NOT) La Palmalla.  
Kuva: Teemu Willamo

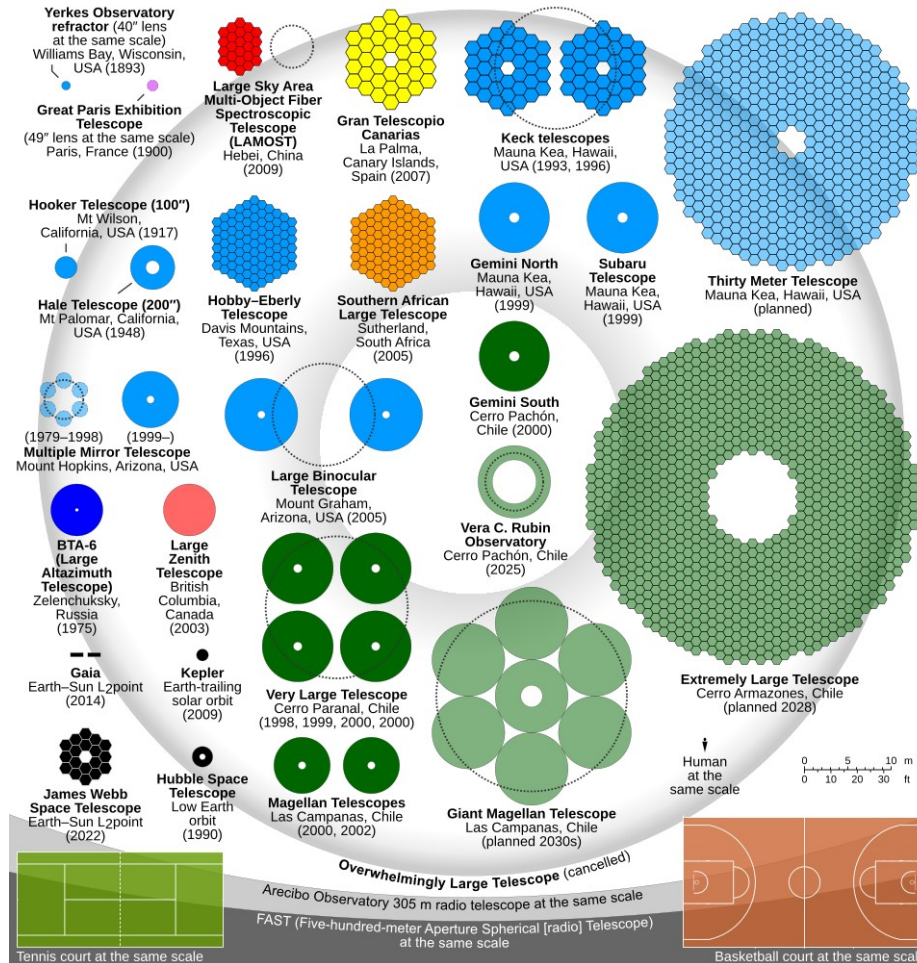


SOFIN-spektrometrin kiinnittämistä NOTilla.  
Kuva: Joonas Viuhon



Gran Telescopio Canarias (GTC) La Palmalla.  
Kuva: Teemu Willamo

# Suurimmat teleskoopit



# Avaruusteleskoopit

- Avaruudessa ei ilmakehän häiriöitä
  - Tietyillä aallonpituusalueilla havaitseminen mahdollista vain avaruudesta käsin
- Kallista!
- Mm. Hubble, James Webb, Kepler, TESS, Gaia, Planck, Euclid...



Hubble Space Telescope. Kuva: NASA

# Observatorioita Suomessa

- Metsähovin radio-observatorio (Aalto) sekä Helsingin yliopiston optinen teleskooppi
- Helsingin ja Turun vanhat observatoriot
- Tuorla
- Ursan Kaivopuiston tähtitorni sekä Tähtikallion havaintokeskus
- Paljon paikallisia harrastusyhdistysten observatoriota



Maailmankaikkeus nyt 2026

Helsingin yliopiston Metsähovin observatorion 60 cm teleskooppi. Kuva: Joonas Viuhon.

# Harrastajalaitteet

- Toisinaan harrastajavälineilläkin voi tehdä tieteellisesti merkittäviä havaintoja
  - Esim. seurantahavaintoja muuttuvista tähdistä tai (super)novista, asteroidien okkultaatiohavaintoja, eksoplaneettojen ylikulkuja, tulipalloja, harvinaisia ilmakehän ilmiöitä
- Ursan tulipalloryhmä, AAVSO



Hankasalmen observatorion 40 cm teleskooppi.  
Kuva: Jyväskylän Sirius

# Muut aallonpituusalueet

- Radioinsinööri Karl Jansky teki vahingossa ensimmäiset radiohavainnot Maan ulkopuolisista lähteistä 1932
- Maanpinnalta onnistuvat vain näkyvän valon ja radioalueen havainnot, sekä rajatusti infrapunahavainnot
  - Muita aallonpituusalueita varten havainnot on tehtävä avaruudesta käsin

# Radioaallot

- Aallonpituus  $> 1$  mm
  - Taajuus  $< 300$  GHz
  - Mikroaallot alle 30 cm ( $> 1$  GHz)
- Radioaallot läpäisevät pölyn, joka haittaa näkyvän valon havaintoja
- Havaintokohteita
  - Pulsarit
  - Radiogalaksit
  - Linnunradan keskusta
  - Vetykaasu (21 cm viiva)
  - Kosminen mikroaaltotausta



Maailmankaikkeus nyt 2026

Arecibon radioteleskooppi Puerto Ricossa oli maailman tärkeimpiä radio-observatorioita tuhoutumiseensa asti 2020. Kuva: NOAA

# Alimillimetrialue

- Aallonpituus  $\sim 0.1 \text{ mm} - 1 \text{ mm}$
- Periaatteessa pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, mutta tähtitieteessä jaotellaan usein omaksi kategoriakseen, havainnot mahdollisia maan pinnalta ja hyvin samanlaisia radiohavaintojen kanssa
- Havaintokohteita
  - Tähtienvälinen kaasu ja pöly, tähtiensyntäalueet, molekyylipilvet



Atacama Large Millimeter Array (ALMA).

Kuva: ESO/B. Tafreshi.

# Infrapuna (lämpösäteily)

- Aallonpituudeltaan 700 nm – 1 mm
- Lyhytaaltoisen infrapunon (lähi-infrapuna) havainnot samanlaisia kuin näkyvän valon
- Lämpäisee ilmakehää vaihtelevasti, pahin este vesihöyry
- Maanpinnan lämpötiloissa kaikki kappalet (mm. ilmakehä, havaintolaitteet, havaitsija...) säteilevät infrapunassa
  - Mittalaitteiden jäähdytys tärkeää!
- Havaintolaitteita mm. SOFIA, JWST, Spitzer, Herschel, WISE
- Havaintokohteita
  - Tähtienvälinen pöly
  - Tähtien synty



Pimeä sumu Barnard 68. Vasemmassa kuvassa näkyvä valo imeytyy sumuun, kun taas oikeassa kuvassa infrapuna läpäisee sumun paremmin. Kuva: ESO



Maailmankaikkeus nyt 2026

Lentokoneesta toimiva infrapunaobservatorio SOFIA.  
Kuva: NASA/Carla Thomas

# Ultravioletti

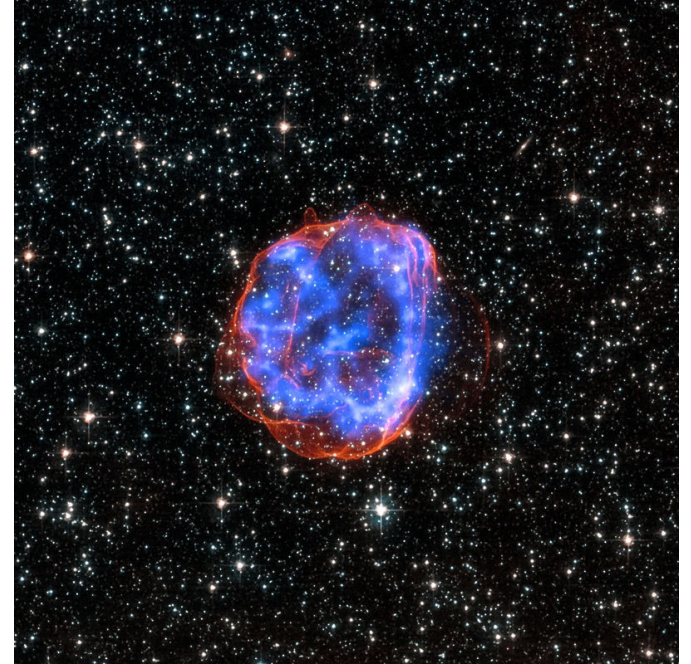
- Aallonpituus 10-400 nm
- Ilmakehän otsoni imee itseensä suurimman osan
  - Havainnot tehtävä avaruudesta
  - Havaintolaitteita mm. Hubble, GALEX, FUSE, EIT
- Havaintokohteita
  - Aurinko
  - Nuoret, kuumat tähdet
  - Galaksit joissa syntyy paljon uusia tähtiä



M81 galaksi UV-kuvassa. Kuva: GALEX/NASA/JPL-Caltech

# Röntgen

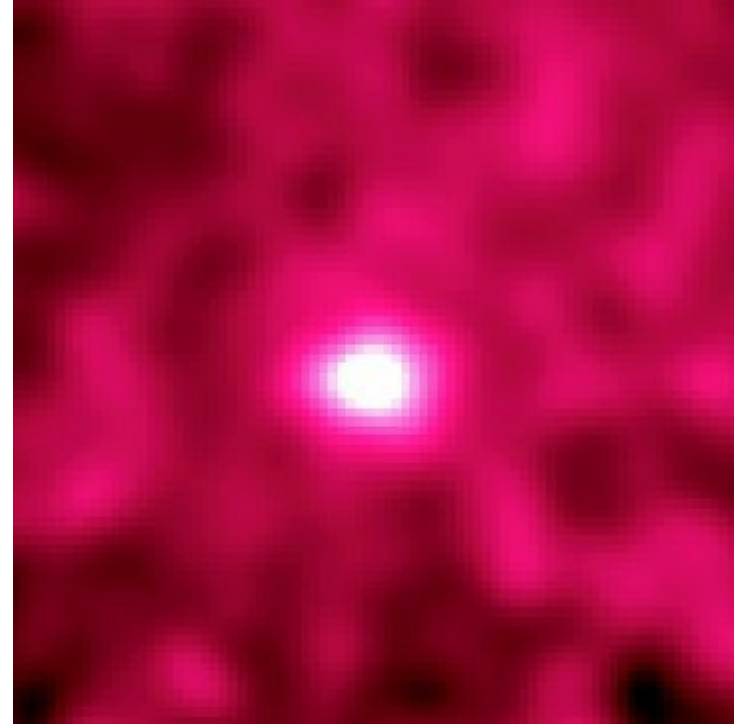
- Aallonpituus 0.01-10 nm
- Havaittava avaruudesta
  - Mm. Chandra ja XMM-Newton
- Röntgenfotonit eivät heijastu tavallisista peileistä, minkä takia röntgenteleskoopit ovat optisia monimutkaisempia (perustuvat hipaisevan heijastuksen periaatteeseen)
- Havaintokohteita
  - Auringon roihupurkaukset
  - Galaksijoukkoja ympäröivä harva, kuuma kaasu
  - Neutronitähdet
  - Mustat aukot
  - Aktiiviset galaksinytimet
  - Supernovajäänteet



SNR 0519-69.0 supernovajäänteet röntgenissä nähtynä. Taustatähdet on havaittu optisella valolla. Kuva: NASA/CXC/Rutgers/J.Hughes; NASA/STScI

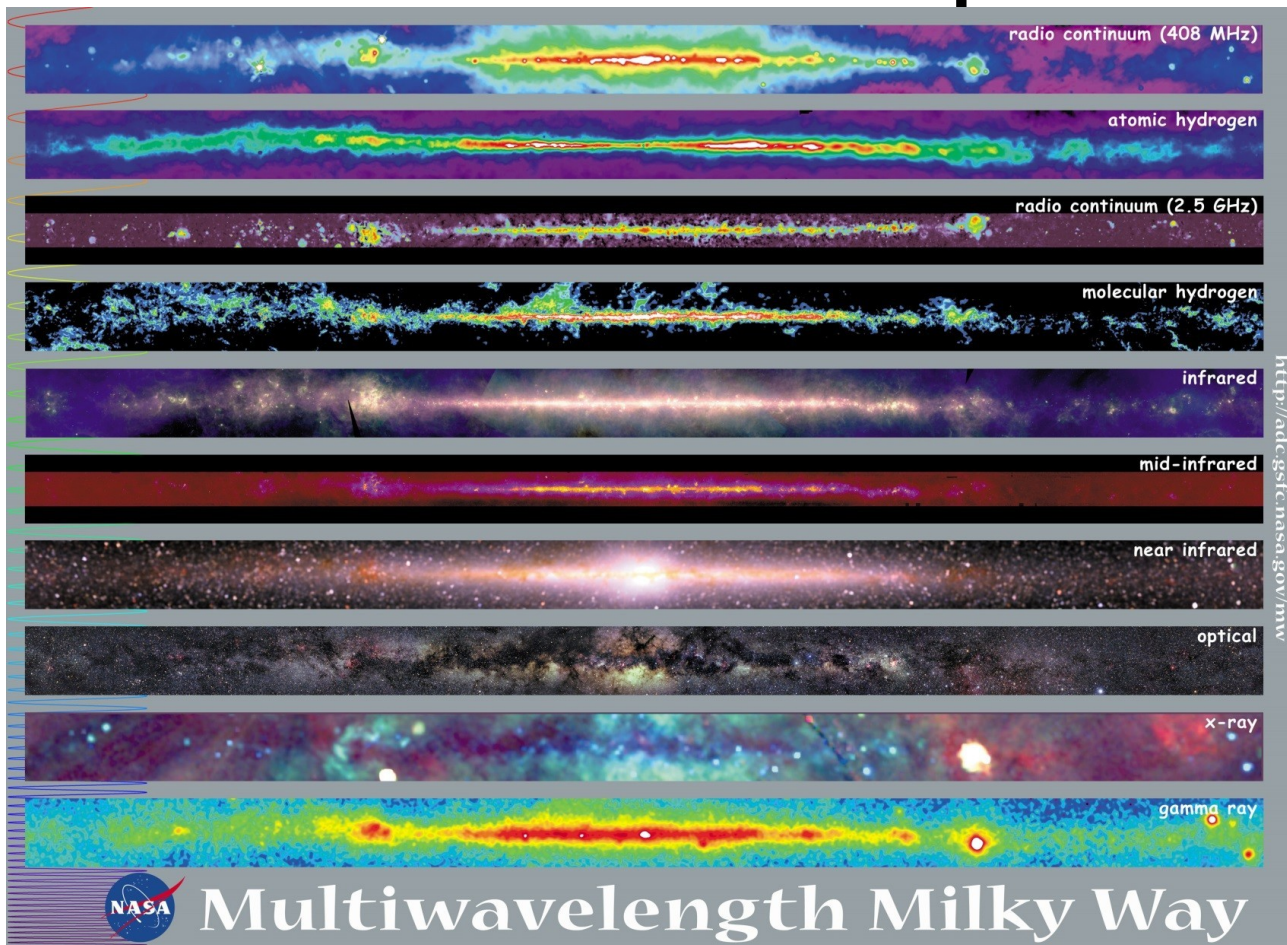
# Gamma-säteily

- Aallonpituus  $< 0.01$  nm
- Gammafotoneita havaitaan tuikeilmaisimilla, joissa on päällekkäin useita kerroksia ilmaisinlevyjä – mitä suurempi energia fotonilla on, sitä enemmän kerroksia se läpäisee
- Gammailmaisimen kuvan resoluutio jää alhaiseksi
- Havaintokohteita
  - Pulsarit
  - Gammapurkaukset
  - Tserenkovin säteily (korkeaenergistien gammasäteiden tai kosmisten säteiden yläilmakehän molekyyliihin osuessaan synnyttämää, maan pinnalle havaittavaa säteilyä)



Kuu nähtynä EGRET-gammateleskoopilla. Gammasäteet ovat peräisin Kuun pintaa pommittavista kosmisista säteistä. Kuva: D. J. Thompson, D. L. Bertsch (NASA/GSFC), D. J. Morris (UNH), R. Mukherjee (NASA/GSFC/USRA)

# Linnunrata eri aallonpituuksilla

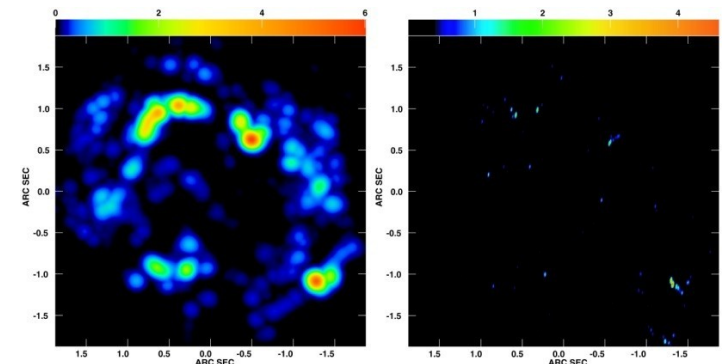


# Interferometria

- Teleskoopin teoreettinen erotuskyky riippuu peilin halkaisijasta – suurempi peili mahdollistaa tarkemmat havainnot
- Havaitsemalla kohdetta samanaikaisesti useammilla teleskoopeilla ja yhdistämällä niiden signaali saadaan tarkempia havaintoja
- Vaatii tarkan tiedon havaittavan säteilyn vaiheesta – helpompaa pitemmille aallonpituuksille
- Suurimmat radiointerferometrit yhdistävät eri puolilla maapalloa sijaitsevia teleskoopeja (VLBI – Very Long Baseline Interferometry), esimerkiksi Event Horizon Telescope



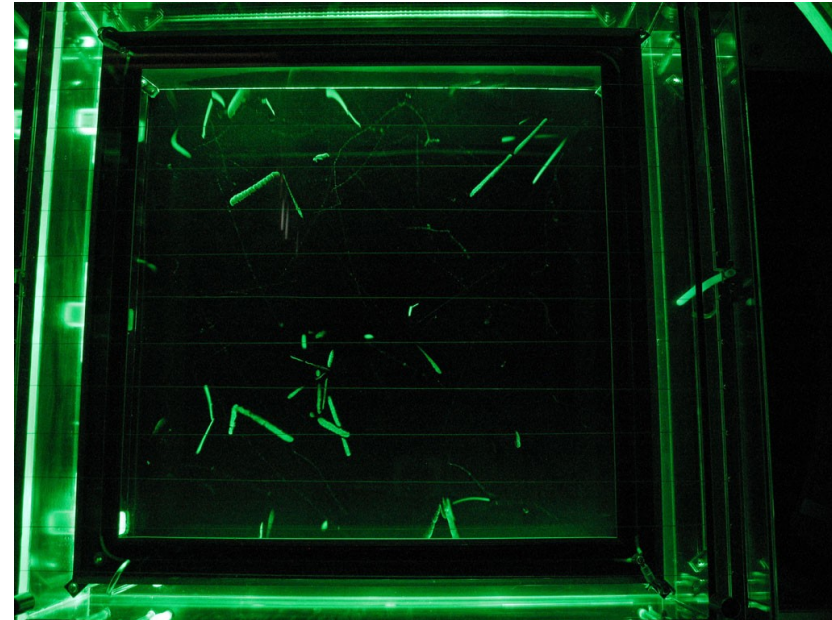
ALMA (Atacama Large Millimeter Array). Kuva: ESO



IRC +10420 tähden ympärilleen levittämän pilven rakenteita. Kuva: Joint Institute for VLBI in Europe

# Kosmiset säteet

- Lähellä valonnopeutta kulkevia hiukkasia (esim. elektroneja, protoneja, heliumytimiä)
- Lähteitä mm. supernovat, Aurinko
- Seuraavat magneettikenttiä, joten yksittäisen kosmisen säteen lähdettä on usein vaikea määrittää
  - Galaktisten kosmisten säteiden määrä maapallolla vaihtelee Auringon magneettikentästä riippuen
- Haittaavat tähtikuvaamista jättämällä niihin viiruja



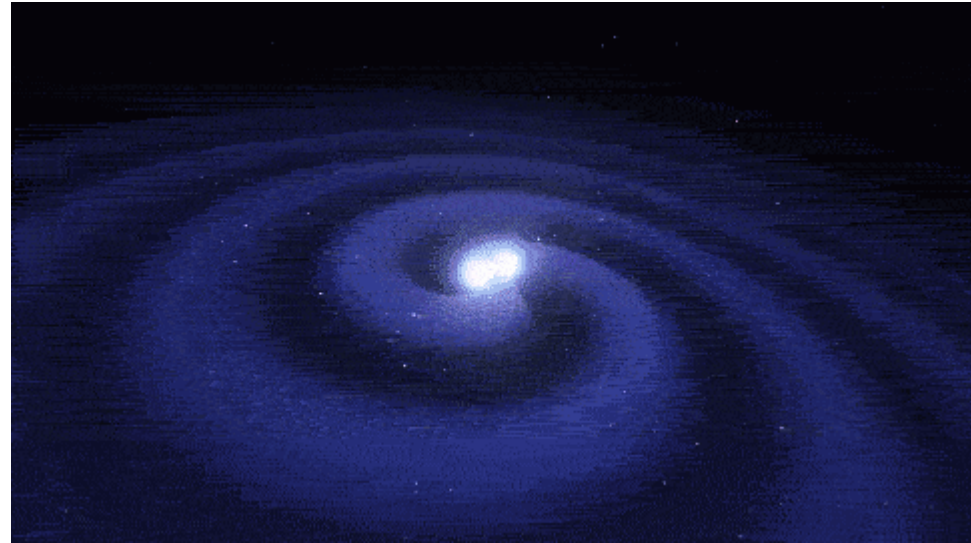
Sumukammiossa kosmiset säteet tulevat näkyviksi

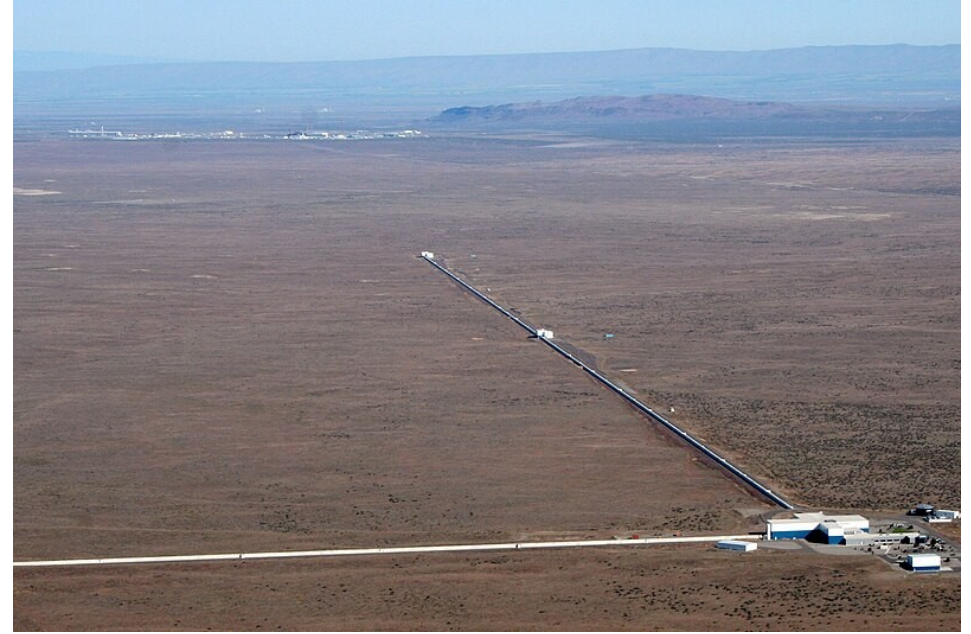
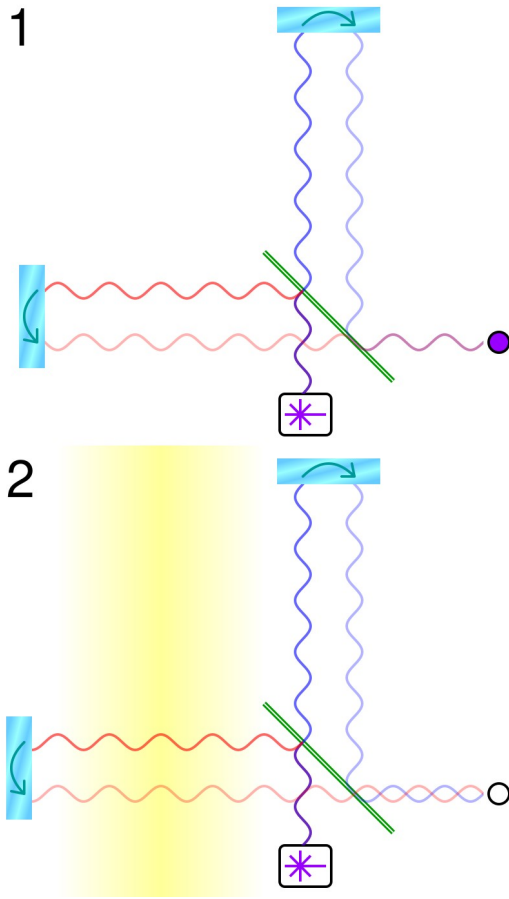
# Neutriinot

- Äärimmäisen heikosti vuorovaikuttava hiukkanen
- Kuutiosenttimetrin kokoisen alueen läpi kulkee miljardeja neutriinoja sekunnissa lähellä valonnopeutta, joista suurin osa on peräisin Auringosta
- Neutriinodetektoreilla pystytään havaitsemaan yksittäisiä neutriinoja
  - Maan ulkopuolisiksi vahvistettuja havaintoja toistaiseksi vain Auringosta ja 1987 A supernovasta
  - Ehkä joskus ”neutriinoteleskooppeja”?
- Supernovat, neutriinotausta?

# Gravitaatioaallot

- ”Gravitaatiohäiriö”, yleisen suhteellisuusteorian ennustama ilmiö
  - Gravitaatio välittyy aika-avaruuden värähtelynä, kaikkien kappaleiden liike aiheuttaa sitä
- Havaittu ensimmäisen kerran 2015
- Havaintolaitteita LIGO, VIRGO, KAGRA
- Toistaiseksi havaittu vain mustien aukkojen ja/tai neutronitähtien törmäyksiä





LIGO

Gravitaatioaalto havaitaan tarkkojen laserien avulla. Kun gravitaatioaalto venyttää laserin kulkemaa matkaa toisessa suunnassa, ei takaisin heijastuva lasersäde ole enää samassa vaiheessa toiseen suuntaan kulkeneen säteen kanssa. Kuva: Cmglee

Maailmankaikkeus nyt 2026