

RADIOTELESKOOPEISTA

URSALO

02.11.2017

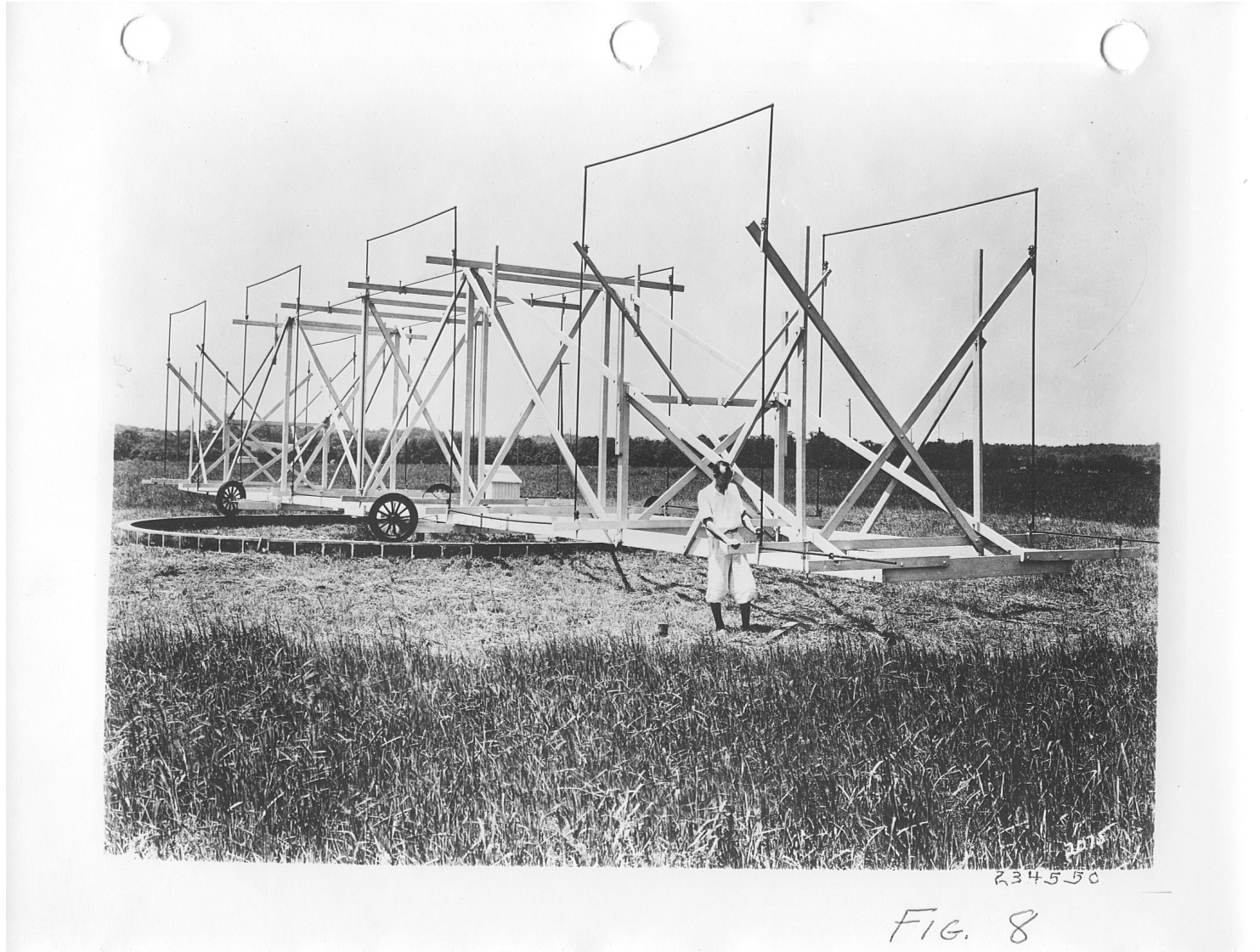
Janne Peltonen

SISÄLTÖ

- Radioteleskooppien historiaa
- Radioteleskooppeja
- Isot suunta-antennit
- Vaiheistetut antenniryhmät

RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (1)

- 1933 Karl.G.Jansky havaitsee Linnunradan säteilyn radiotaajuudella
 - Mittauksia taajuudella 20.5MHz / 14.6m
 - Jansky havaitsi kohinamaksimin toistuvan 23h 56min välein (=sideerinen vuorokausi)



$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{Hz}}$$

RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (2)

- 1937 Grote Reber rakentaa oman radioteleskoopin takapihalleen
 - 9m paraboloidipeili
- 1938 kartoittaa Linnunradan säteilyä taajuudella 160 MHz /1.9m

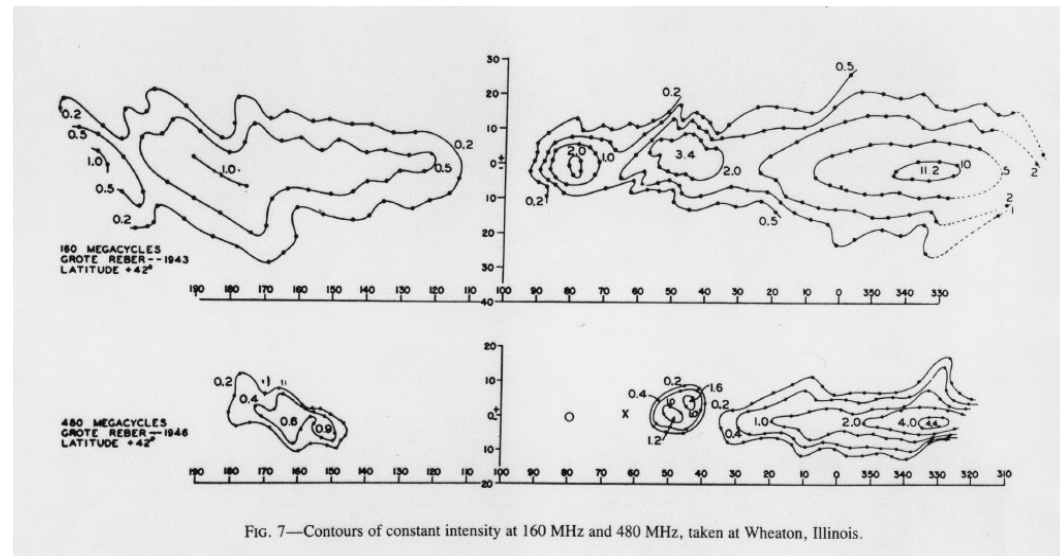
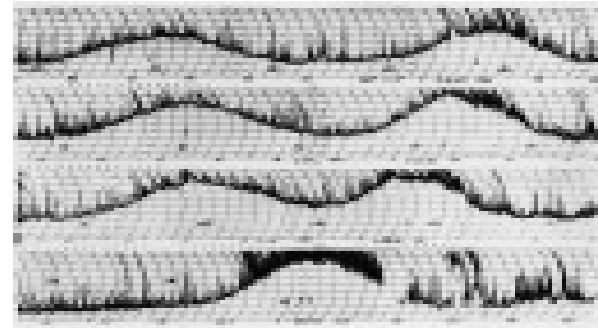


FIG. 7—Contours of constant intensity at 160 MHz and 480 MHz, taken at Wheaton, Illinois.

RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (3)

- Tutka-antennien uudelleen käyttö radioteleskooppina
 - 1951 hollantilaiset havaitsivat vedyn emissioviivan taajuudella 1420MHz / 21cm (H1)
 - Hendrik Christoffel van de Hulst
 - Wurzburg-Riese 7.5m antenni



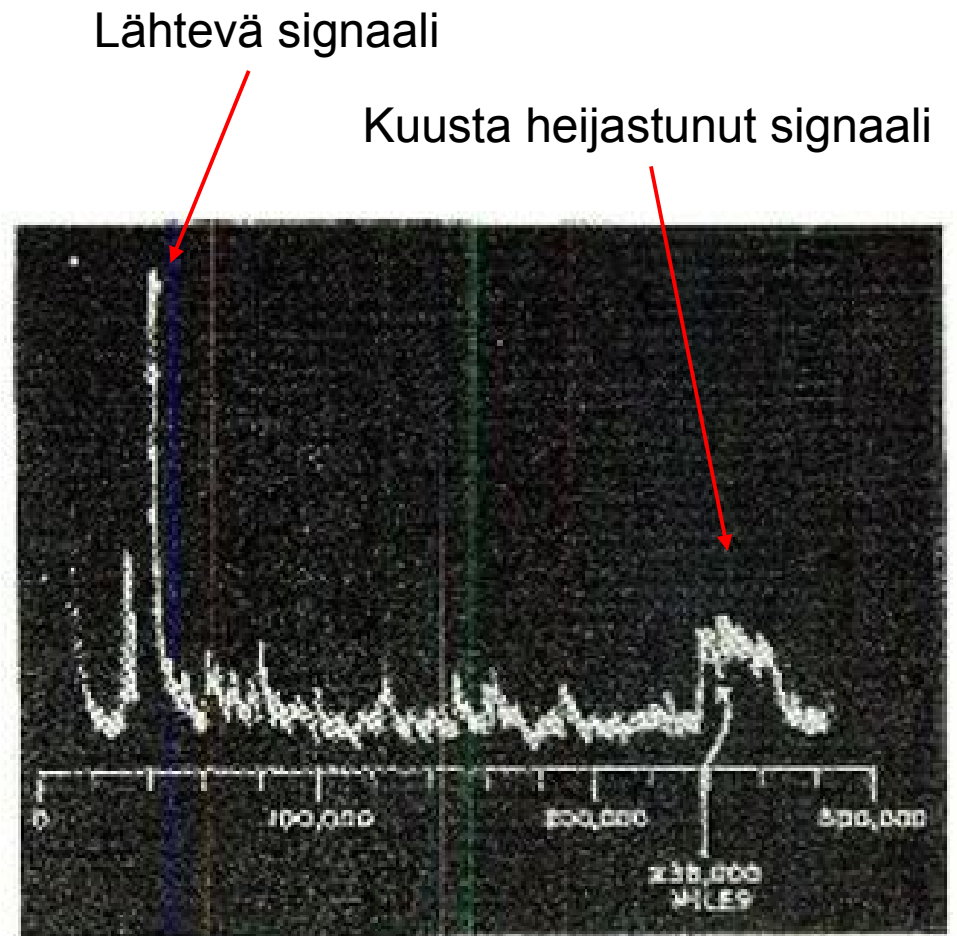
RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (4)

- Wurzburg-Riese antenni polaarialustalla
 - Tekninen museo Munchen
 - Tällä antennilla havaittiin H1 emissioviiva ensimmäisen kerran



RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (5)

- Projekt Diana 1946
 - Ensimmäinen yritys kuuheijastuksen saamiseksi
 - USA:n armeijan tutka SCR-271
 - Taajuus 111.5Mhz
 - Pulssiteho 15kW / 0.25s
 - 64 dipolia+heijastin =24 dBd



RADIOTELESKOOPPIEN HISTORIAA (6)

- Isojen antennien rakentaminen alkaa 50-luvulla
- 1954 Dwingeloo 25m teleskooppi Hollannissa
- Dwingeloo teleskooppi oli valmistuttuaan isoin maailmassa
- Vedyn emissioviivan havainnointia
- 2012 Kunnostettiin täysin, lähinnä museona



RADIOTELESKOOPPEJA

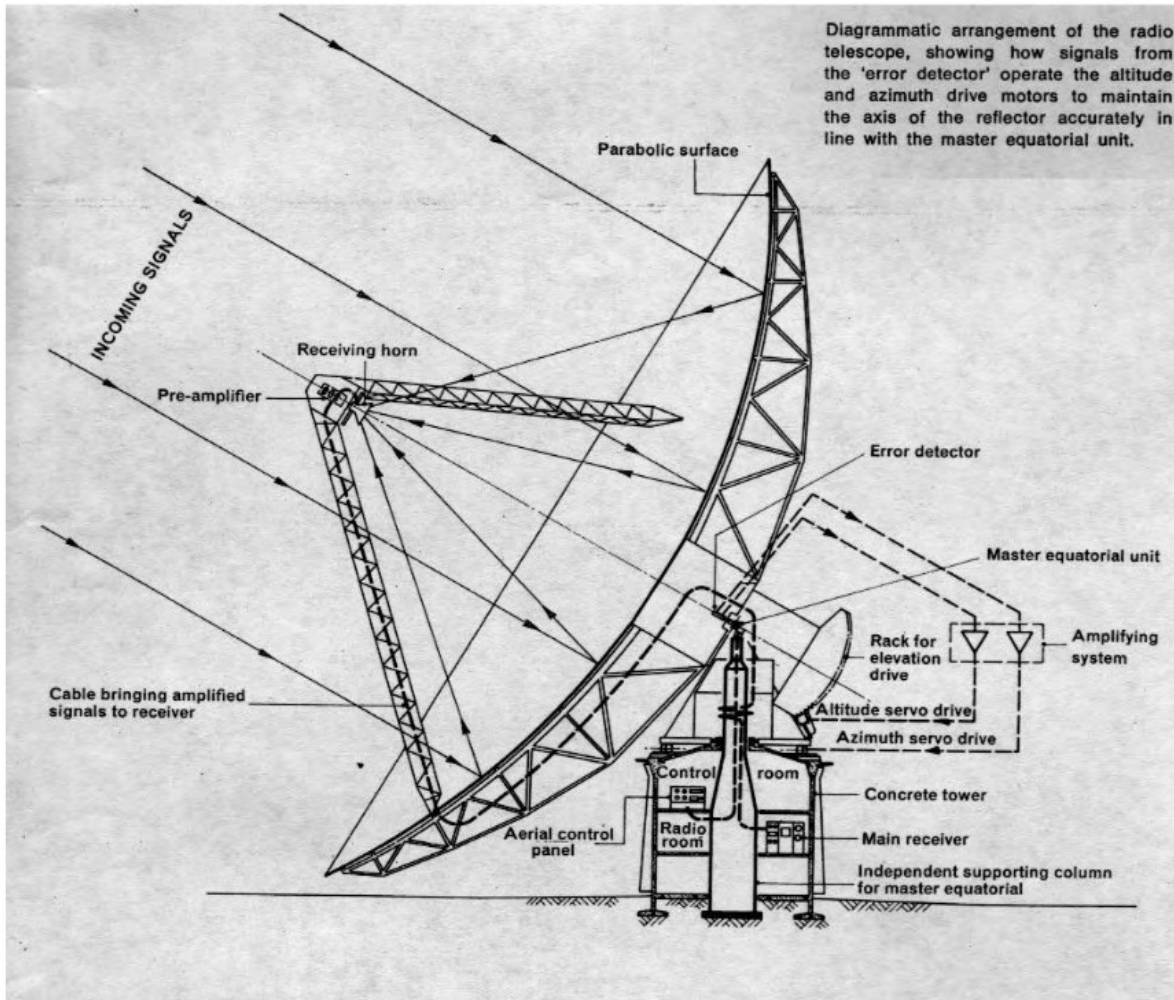
- Parkes Australia “the Dish”

- Valmistunut 1961
- Halkaisija 64m
- AZ-EL jalusta
- “master equatorial”-ohjaus
- Taajuusalue 0.7..22GHz
- Käytetty myös maa-asemana
 - Apollo
 - Mariner 2
 - Mariner 4
 - Voyager
 - Giotto
 - Galileo
 - Cassini-Huygens
 - Mars mönkijät
- Löytänyt yli puolet pulsareista
- H1 kartoitusta



RADIOTELESKOOPPEJA

- Parkesin ohjaussysteemi
- “Master equatorial” aputeleskooppi



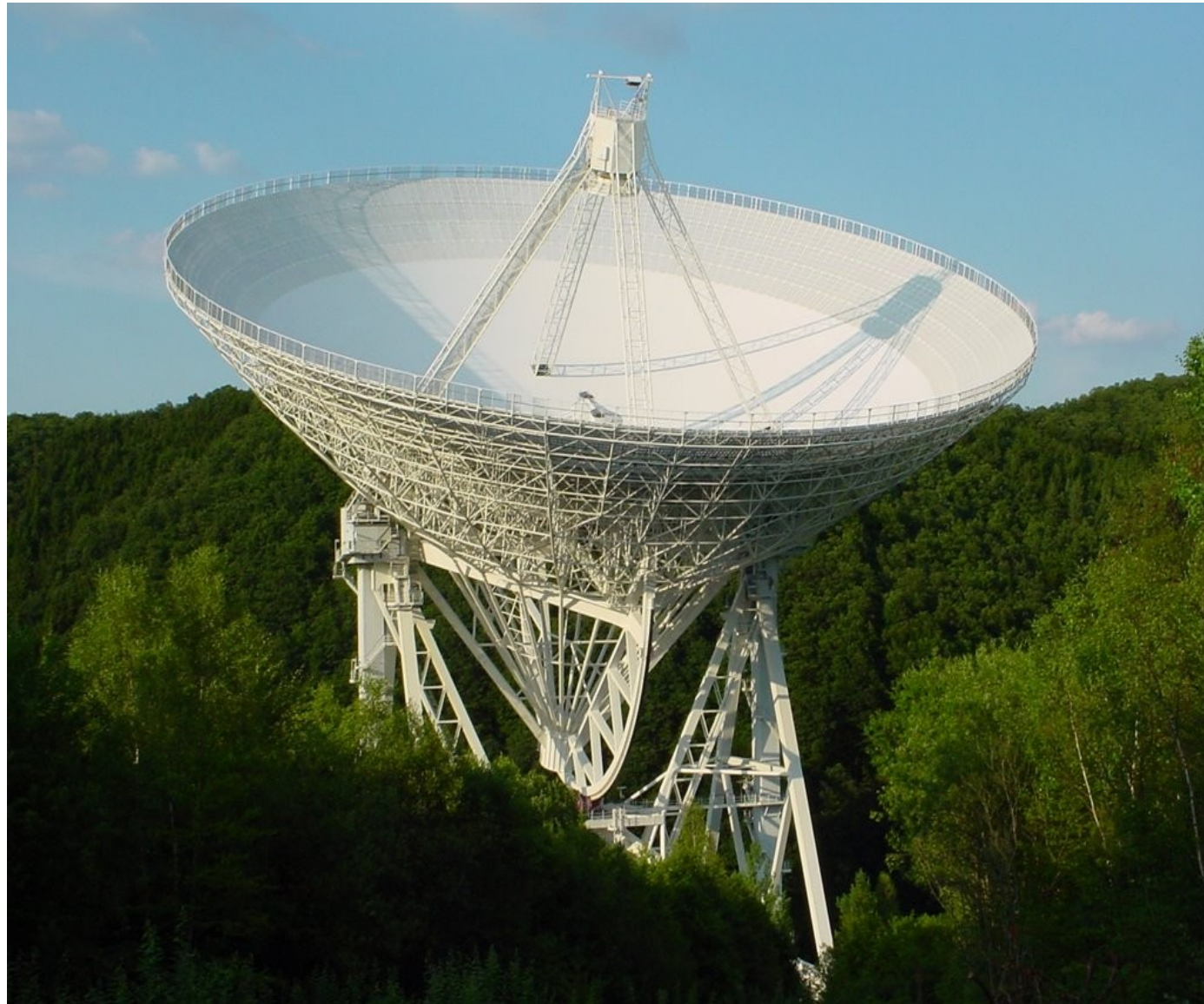
RADIOTELESKOOPPEJA

- Lovell teleskooppi, Jodrell Bank MK1A, UK
- Valmistunut 1957
- Halkaisija 76m
- Taajuusalue nykyään ..5GHz
- Käytetty myös tutkana
 - Venus
 - Mars
 - Aurinko
 - ICBM
- Luotamien vastaanottoa
 - 1961 Venera 1
 - 1962 Mariner 2
- Radioastronomiiaa
 - H1 mittauksia
 - H1 Punasiirtymä
 - 1963 OH maser
 - Pulsareita



RADIOTELESKOOPPEJA

- Effelsberg Saksa
- Valmistunut 1971
- Halkaisija 100m
- Apertuuri 7850m²
- Pinta-ala 9090 m²
- Taajuusalue 0.4..86GHz
- Pintatarkkuus 0.5mm (rms)

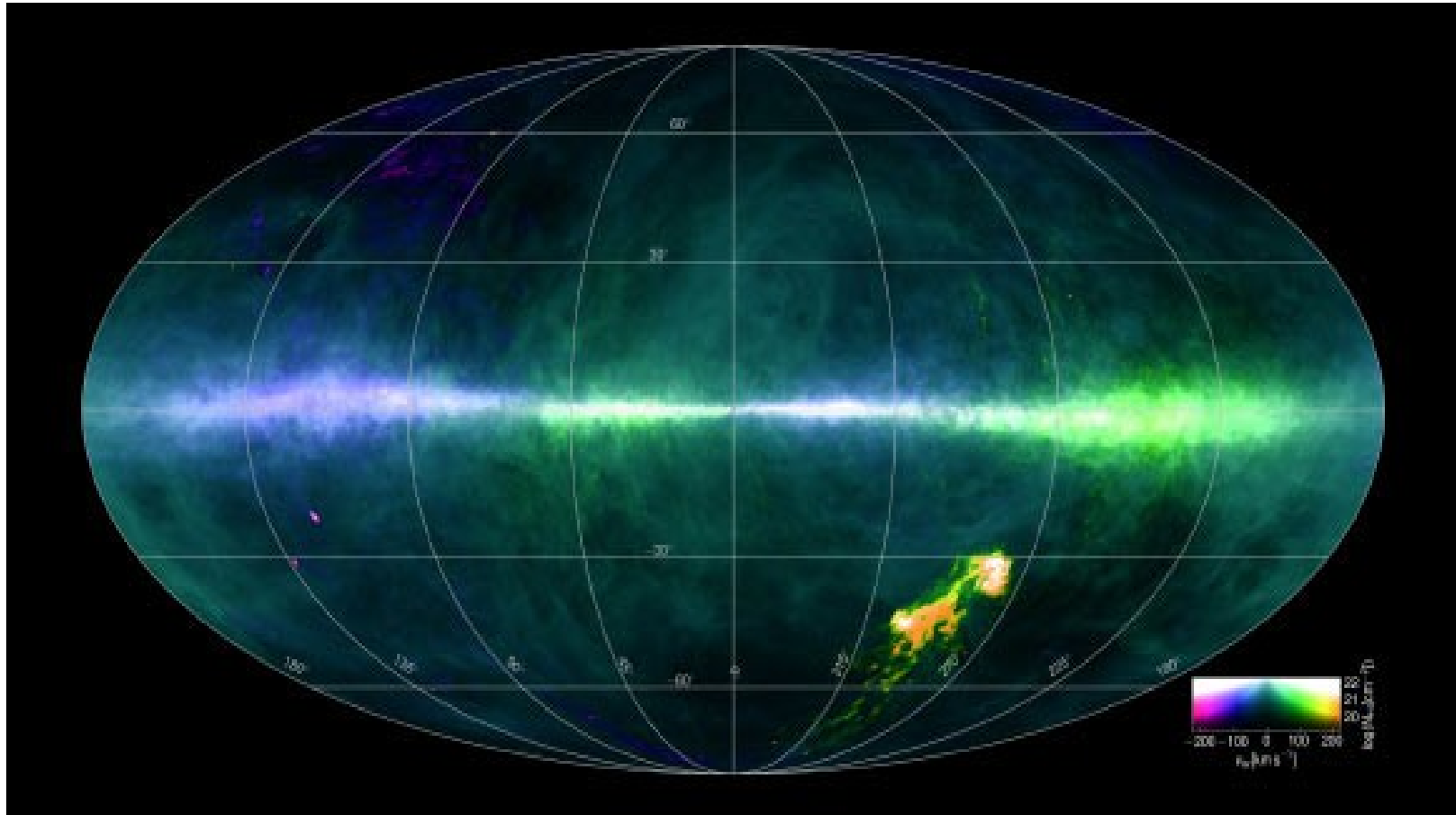


Radioastronomiaa:

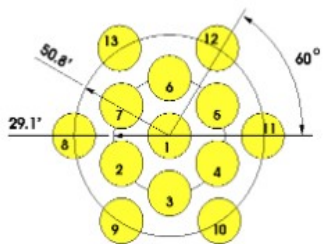
- 1974 M31 kartoitusta
- 1977 1. Extra galaksinen vesimaseri
- 1982 Kokotaivaan kartoitus 408MHz
- 1989 Kosmiset magneettikentät perustuen Zeemanin ilmiöön
- 1998 M31 kartoitusta tarkemmin, 6cm
- 2010 1. Millisekuntipulsari

RADIOTELESKOOPPIKUVIA

- Effelsberg+Parkes, Vety
- HI4PI survey



Kuva koostettu yli miljoonasta havainnosta



M31, M33 näkyy
Alhaalla vasemmalla

Iso ja pieni Magellanin pilvi
Alhaalla oikealla

Koodaus:
Teho=intensiteetti
Nopeus=väri

RADIOTELESKOOPPEJA

- Green Bank teleskooppi, USA
- Valmistunut 2002
- Korvasi 1962 rakennetun 90m antennin, joka romahti
- Halkaisija 100m
- Taajuusalue 0.1..116GHz

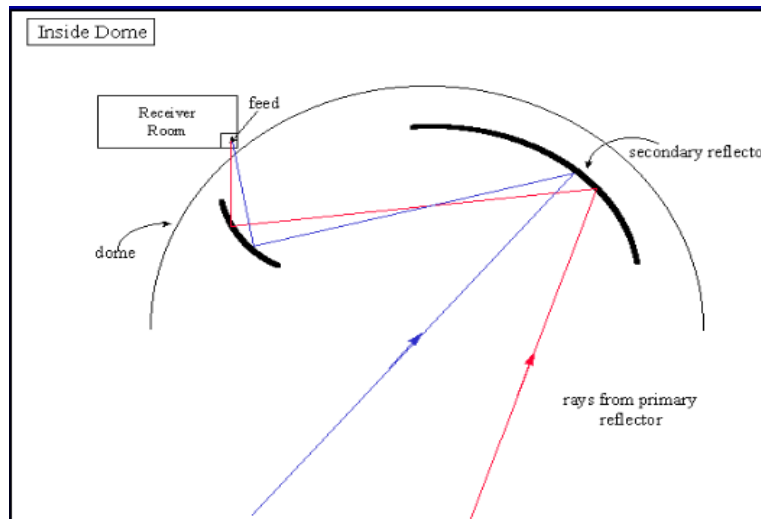
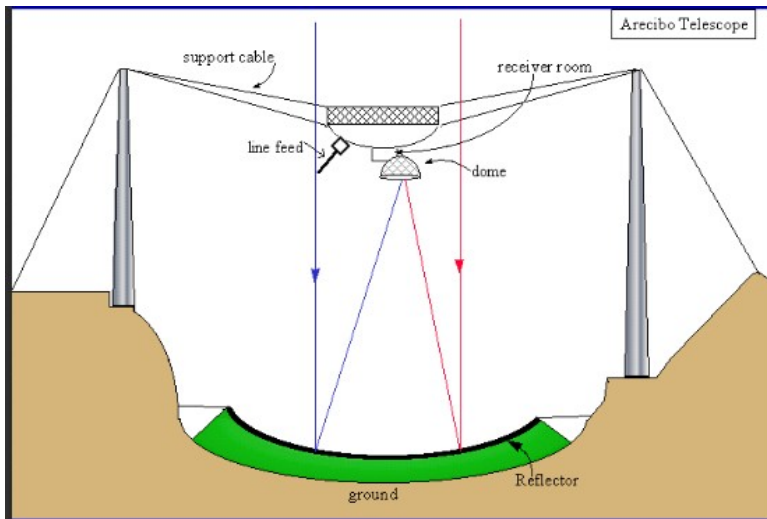
Havaintoja:

- 2002 3kpl millisekunti pulsareita
- 2006 suurin tunettu neuronitähti
- 2006 molekyylipilviä galaksien ympärillä
- 2006 sokeria avaruudessa



RADIOTELESKOOPPEJA

- Arecibo, Puerto Rico
- Valmistunut 1963
- Halkaisija 300m
- Taajuusalue ..10GHz (aluksi 500MHz)
- Alun perin rakennettu tutkaksi
- Kiinteä lautasosa maassa
- Pallopinta
- Suunnataan syöttöä siirtämällä
- Suunnattavissa +/-20 astetta
- Gregorian syöttö lisätty 1997

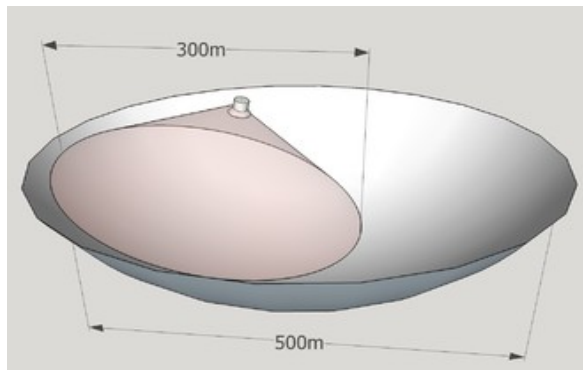


G-ALFA syöttö



RADIOTELESKOOPPEJA

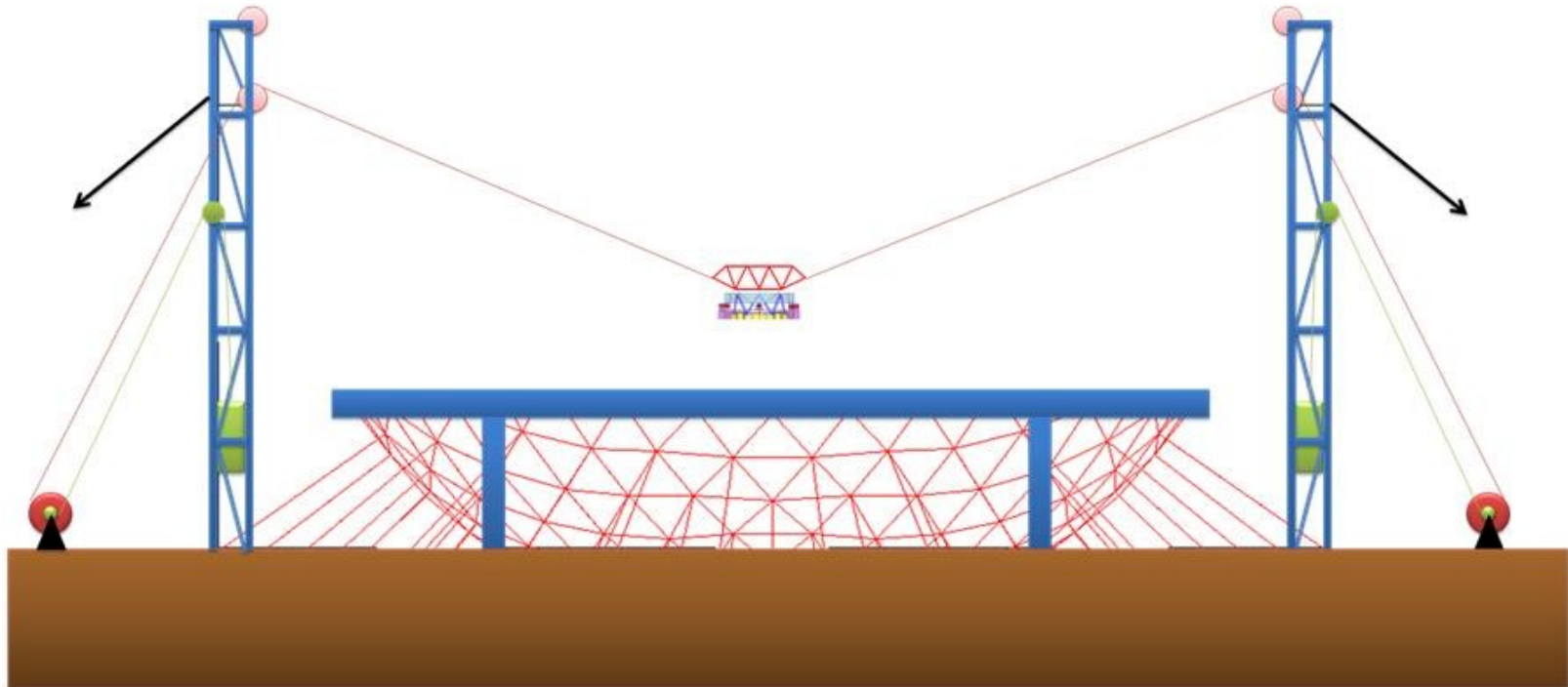
- FAST teleskooppi, Kiina
- Halkaisija 500m
- Valmistunut 2016
- Taajuus 70MHz..3GHz
- Adaptiivinen pinta
 - 2225 vinssiä
- Säädetään parabeliin
- Vain 300m osio valaistu
- Laaja ohjaus kulma
 - +/-60 astetta



Tavoitteet:
Laajamittainen vedyn kartoitus
Pulsari havannot
Johtava asema kansainvälisessä VLBI verkostossa
Tähtien välisten molekyylien ilmaiseminen
Tähtien välisen kommunikaation ilmaiseminen (SETI)
Pulsarien ajoitus mittauksia (pulsar timing arrays)

RADIOTELESKOOPPEJA

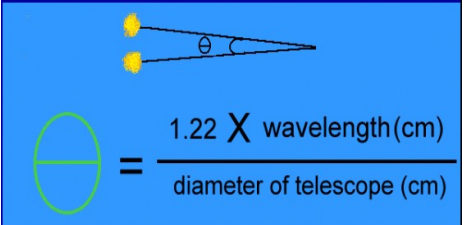
- FAST teleskoopin ohjaus
- Karkea ohjaus vaijereilla
- Tarkempi ohjaus syöttökabiinissa
- Tarkkuus on 10mm
- Paikan mittaus kameroilla ja laserilla (optinen)



RADIOTELESKOOPIN RESOLUUTIOSTA

- Paraboliantennin vahvistus riippuu pinta-alasta ja käytetystä aallonpituudesta (taajuus)
 - H1 taajuus 1420MHz
 - 4m peili → 33.6dBi (=noin 2500x)
 - Parkes 64m -->54.7dBi (=noin 500000x)
 - Arecibo 300m → 71.2dBi (=noin 15M x)
- Paraboliantennin resoluutio riippuu halkaisijasta suhteessa aallonpituuteen (apertuuri)
 - 3dB keilanleveys taajuudella 1420MHz (Vety H1)
 - 4m peili → 3.6 astetta
 - Metsähovi 14m-->1.0 astetta
 - Parkes 64m -->0.22 astetta
 - Arecibo 300m -->0.05 astetta (=noin 180 kaarisekuntia)
- Effelsberg 100m @ 86GHz
 - Vahvistus 97.2dBi
 - Keilanleveys 0.002 astetta (noin 7.2 kaarisekuntia)
- FAST 500m (300m) @ 3GHz
 - Vahvistus 77.6dBi
 - Keilanleveys 0.02 astetta (10x Effelsberg..)

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} e_A$$



$$\theta = \frac{1.22 \times \text{wavelength (cm)}}{\text{diameter of telescope (cm)}}$$

$$\theta = k\lambda/d$$

$$K \approx 70 \text{ (typ)}, 57 \text{ (min)}$$

$$2 \cdot \pi \cdot 57 = 360 \text{ deg}$$

$$1.22 \cdot 57 = 70$$

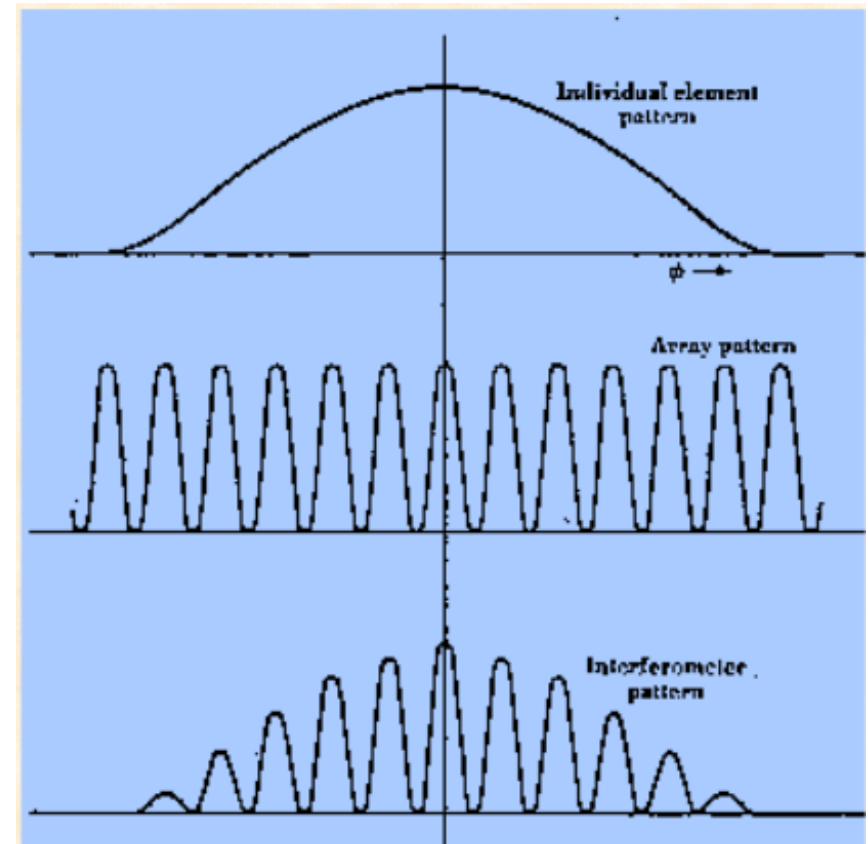
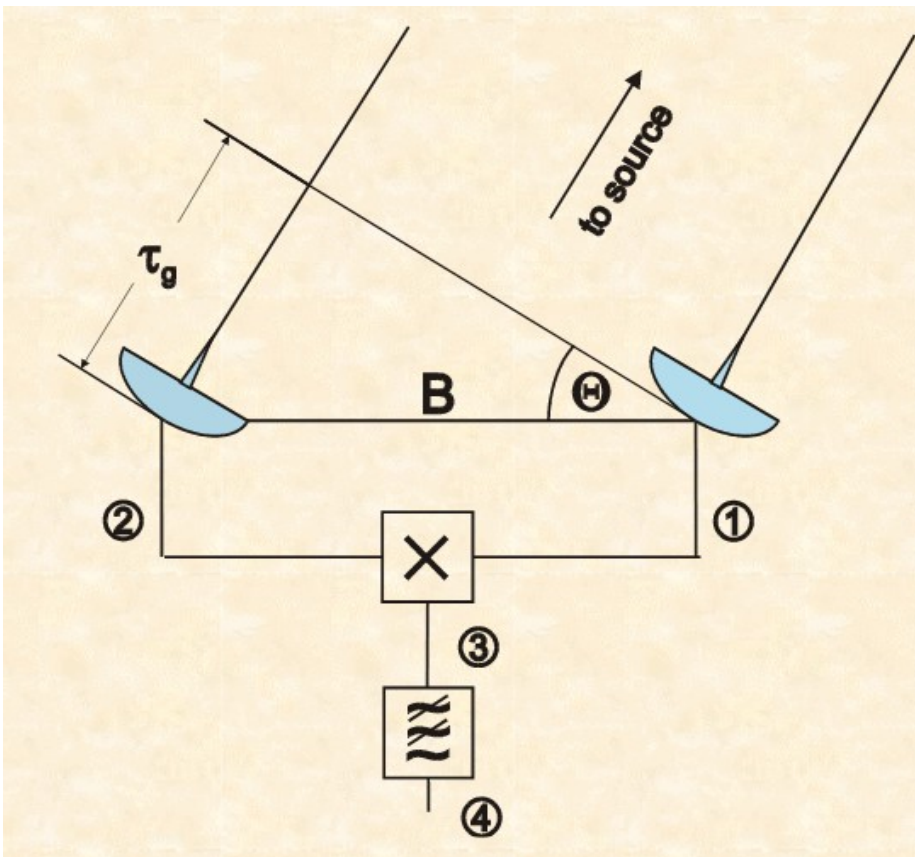
Vertailun vuoksi:

optinen kaukoputki 5m-->20 milli kaarisekuntia

Metsähovi 14m @37GHz 0.04 ast.

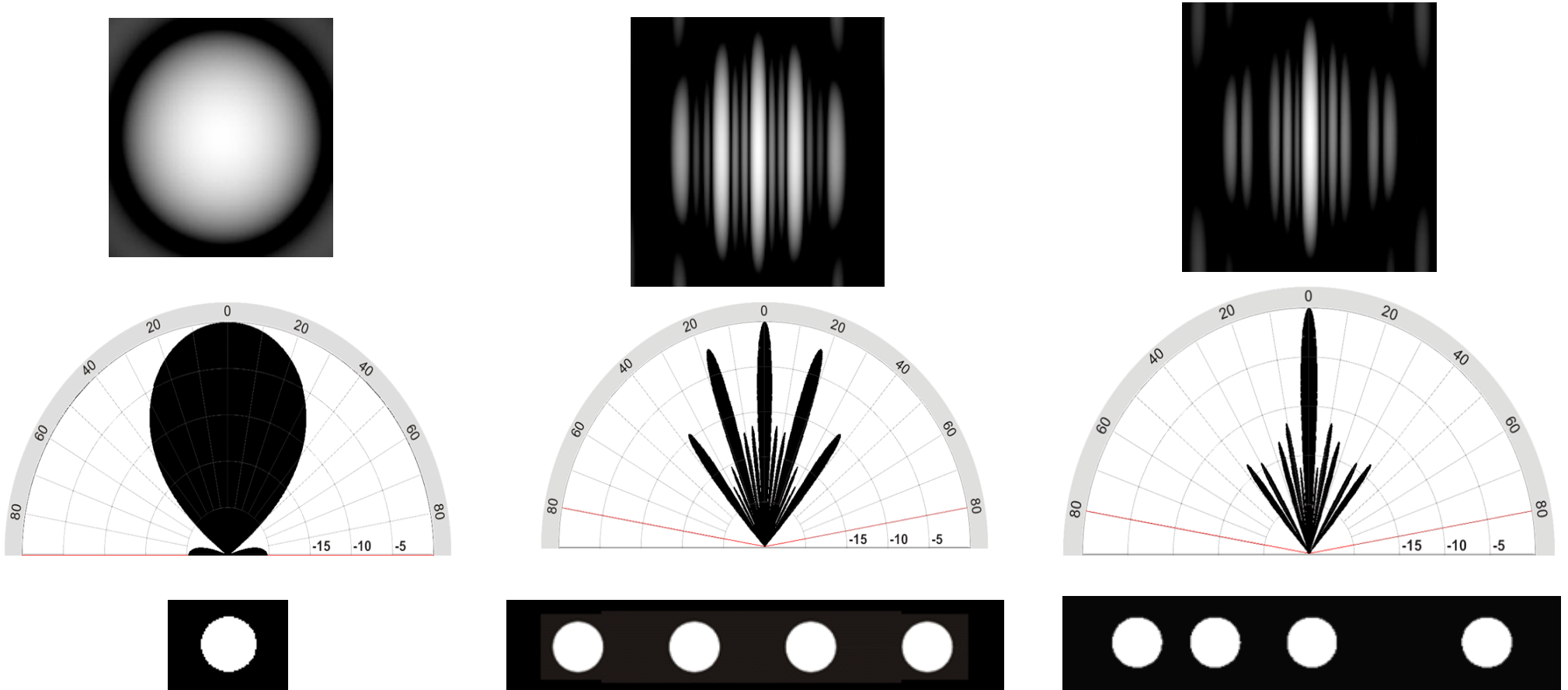
INTERFEROMETRIA

- Resoluutiota voidaan parantaa interferometrialla
 - Summataan useamman antennin signaalia toisiinsa
 - Resoluutio riippuu antennien etäisyydestä toisiinsa
 - Antennien keräämän signaalin määrä kasvaa vain antennien pinta-alojen summan verran
 - Antennien isosta etäisyydestä toisiinsa aiheutuu sivukeiloja



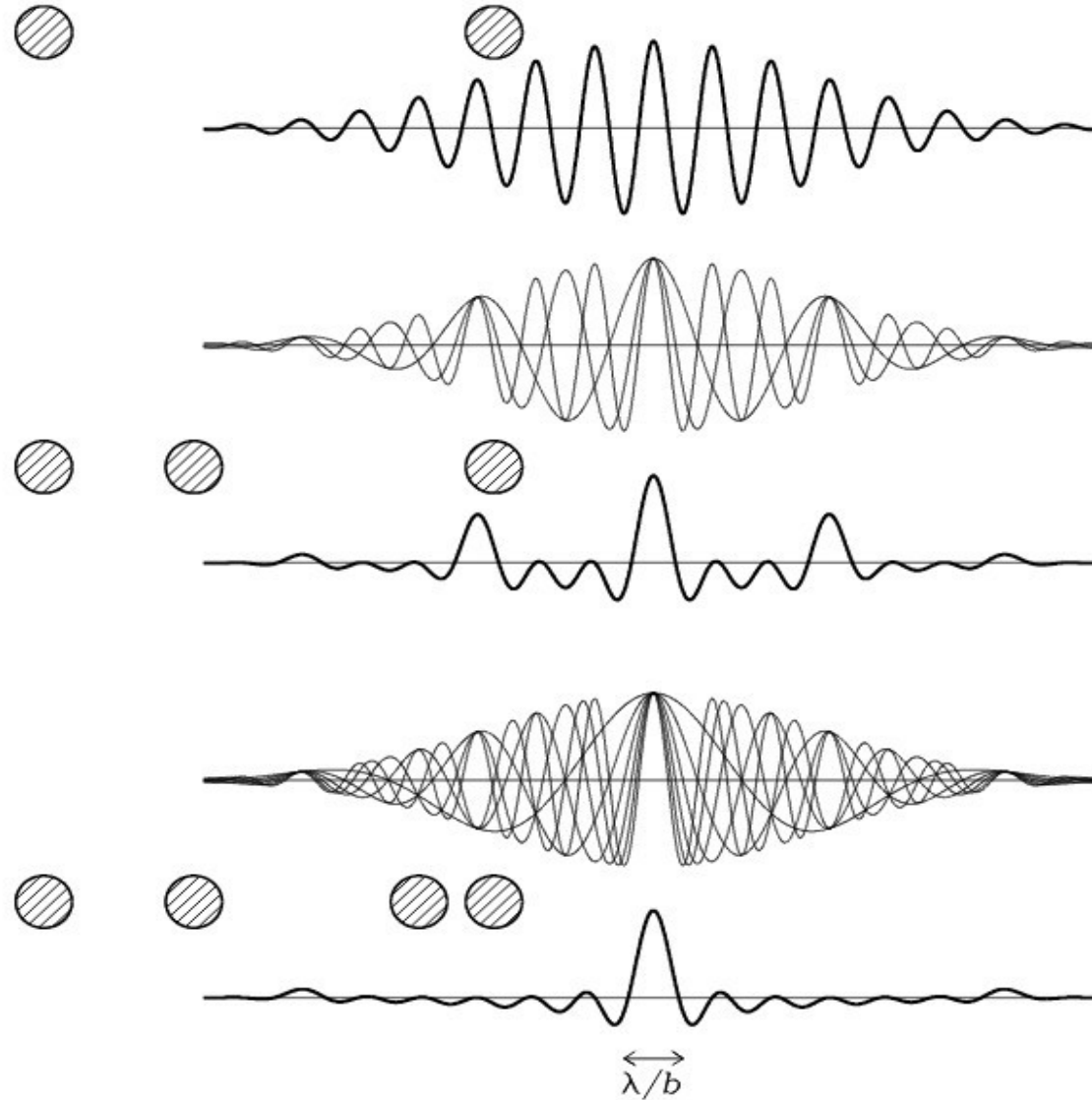
INTERFEROMETRIA

- Esimerkki antennikeilan kaventamisesta/resoluution parantamisesta vaiheistamalla



INTERFEROMETRIA

- Esimerkki2 4-elementtinen interferometri



INTERFEROMETRIA

- VLA New Mexico
- 27 x 25m antennreja
- 73MHz..50GHz
- Y-muotoinen geometria
- Antennit kiskoilla
- Y-haarat 21km pitkät
- Resoluutio 0.2..0.04 kaarisek.



Effelsberg resoluutio ~7.2 kaarisekuntia
Arecibo resoluutio 180 kaarisekuntia
Aurinko ja kuu noin 1900 kaarisekuntia
Tähtien seeing Suomessa noin 2" ..5"

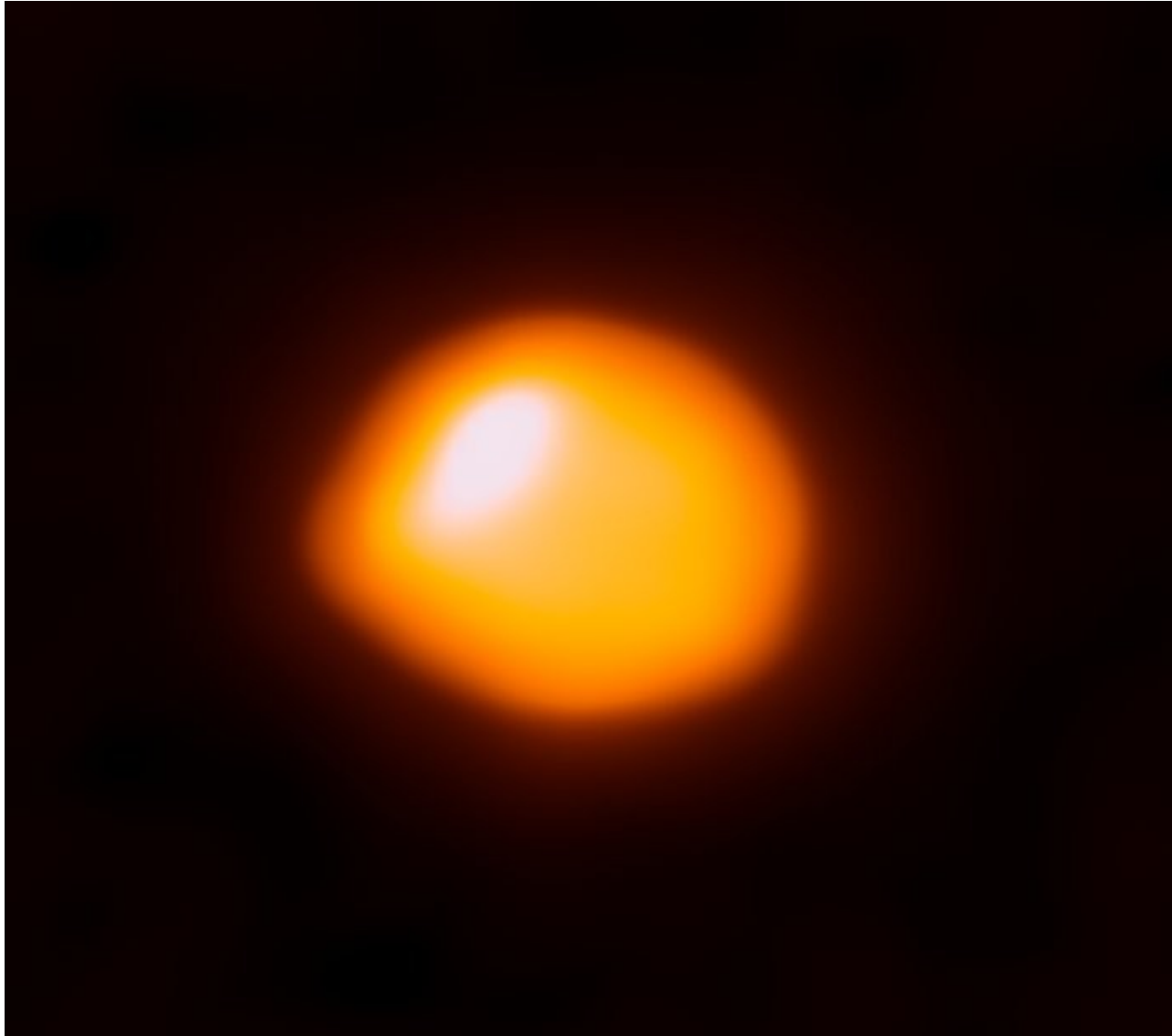
INTERFEROMETRIA

- ALMA, Chile (Atacama Large Microwave Array)
- 5000m korkeudella
- Hyvin kuiva paikka
- 66 Antennia
- 54 x12m + 12 x 7m
- Pintatarkkuus 20 μ m
- Taajuus 31GHz..1000GHz
- Maksimi etäisyys 16km
- Antenneja voidaan siirrellä
- Resoluutio 0.01 kaarisekuntia
- 10x parempi kuin VLA
- 5x parempi kuin Hubble



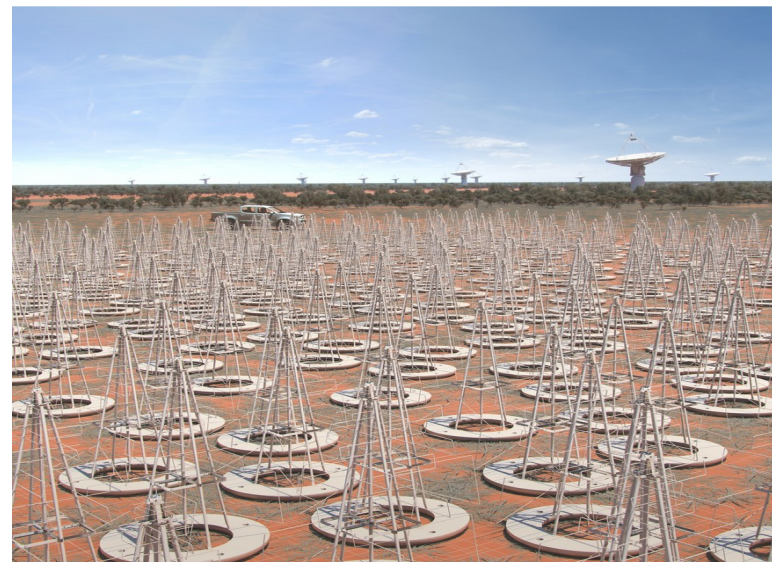
INTERFEROMETRIA

- ALMA, Betelgeuse
- 600 Valovuotta
- 1400x Aurinko



INTERFEROMETRIA

- SKA (Square kilometer Array)
 - Rakentaminen aloitettu 2012
 - Tarkoituksena on olla osittain toimintakykyinen 2020 (vaihe1. valmis 2023)
 - Tavoitteena jopa tuhansia peiliantenneja ja satojatuhansia pientaajuusantenneja
 - Rakennetaan vaiheittain osissa
- Kolme erilaista antenniryhmää
 - Pientaajuus 50MHz..350MHz -->90 dipolia 100m alueella ryhmissä x???
 - Keskitajuus 350MHz..14GHz -->vaihe 1. 200 kpl n. 15m peiliä
 - “survey array” -->pienempi erillinen peiliantenniryhmä



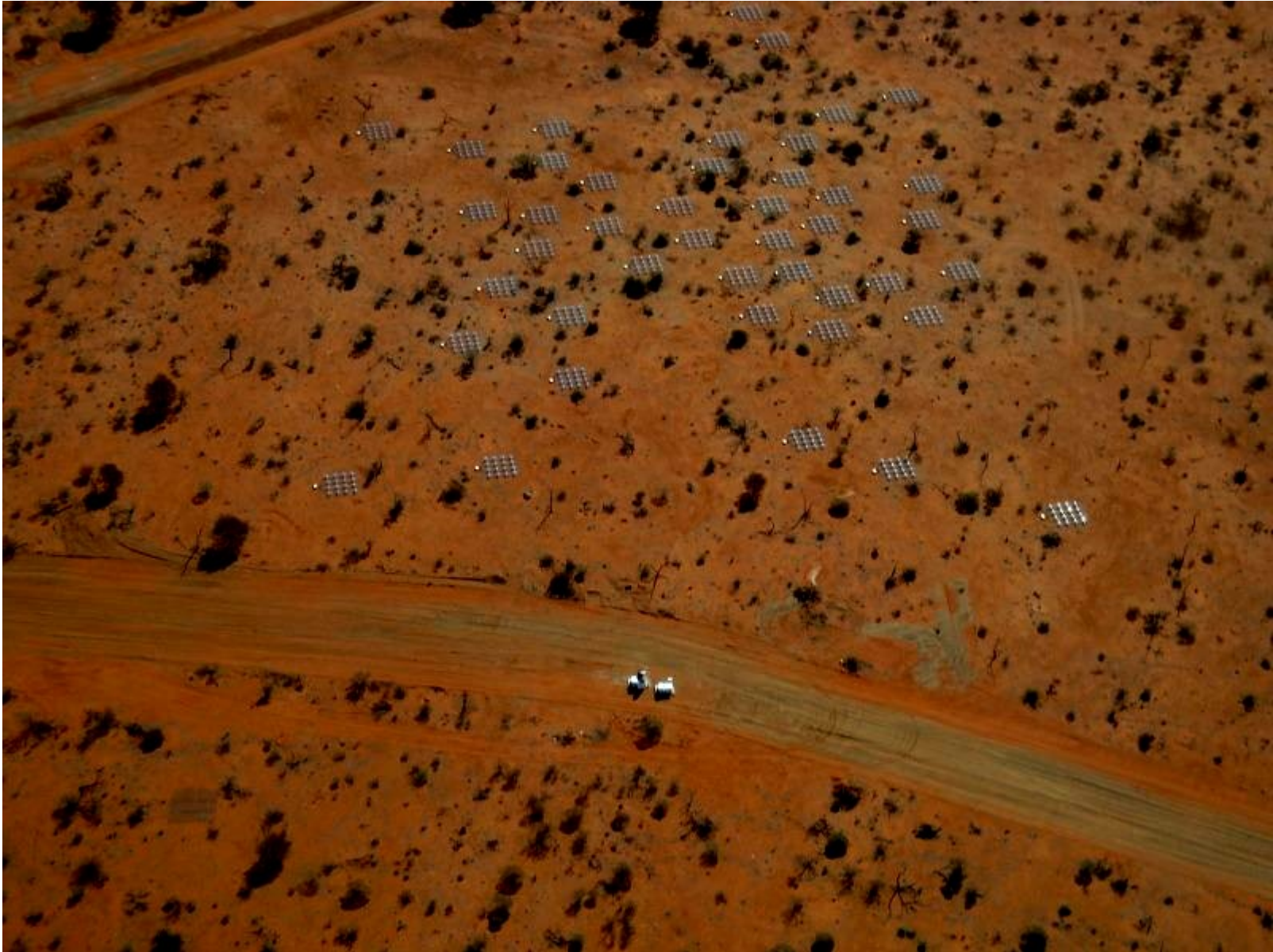
INTERFEROMETRIA

- MWA (Murchison Widefield Array) =laajakulma antenniryhmä
- Länsi-Australiassa
- Toimii prototyyppinä SKA:lle
- Taajuus alue 80MHz..300MHz
- Suunnataan täysin sähköisesti
- Antenniryhmä koostuu ristidipoleista
- “tiili” = $4 \times 4 = 16$ antennia, 4m x 4m
- Tiiliä on 128 kpl
- $128 \times 16 = 2048$ ristidipolia
- 8128 kantaa/baselines
- Tiilen keilaa voi suunnata vaiheistamalla
- Varsinainen keila muodostetaan laskemalla tietokoneella
- Suurin osa tiilistä 1.5km etäisyydellä keskikohdasta, kaukaisimmat 3km päässä
- Joka ristidipolissa on oma etuvahvistin kummallekin polarisaatiolle (=4096kpl)



INTERFEROMETRIA

- MWA Tiiliä ilmasta kuvattuna



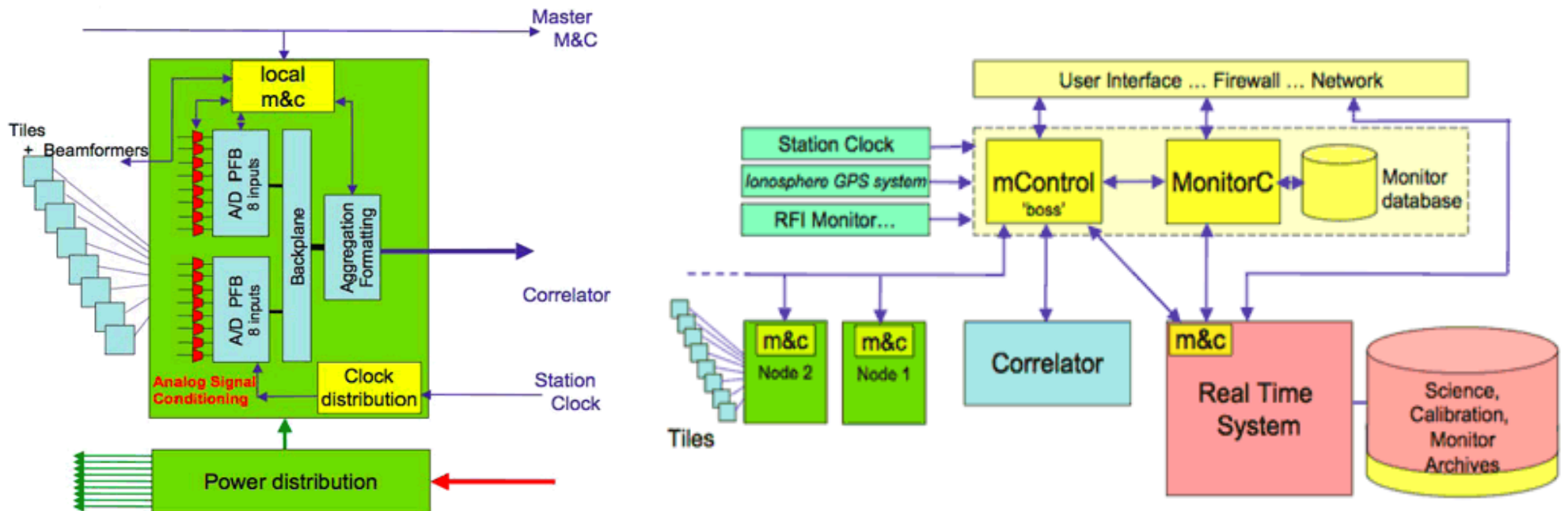
INTERFEROMETRIA

- MWA Tiilen summain ja viivelinjat



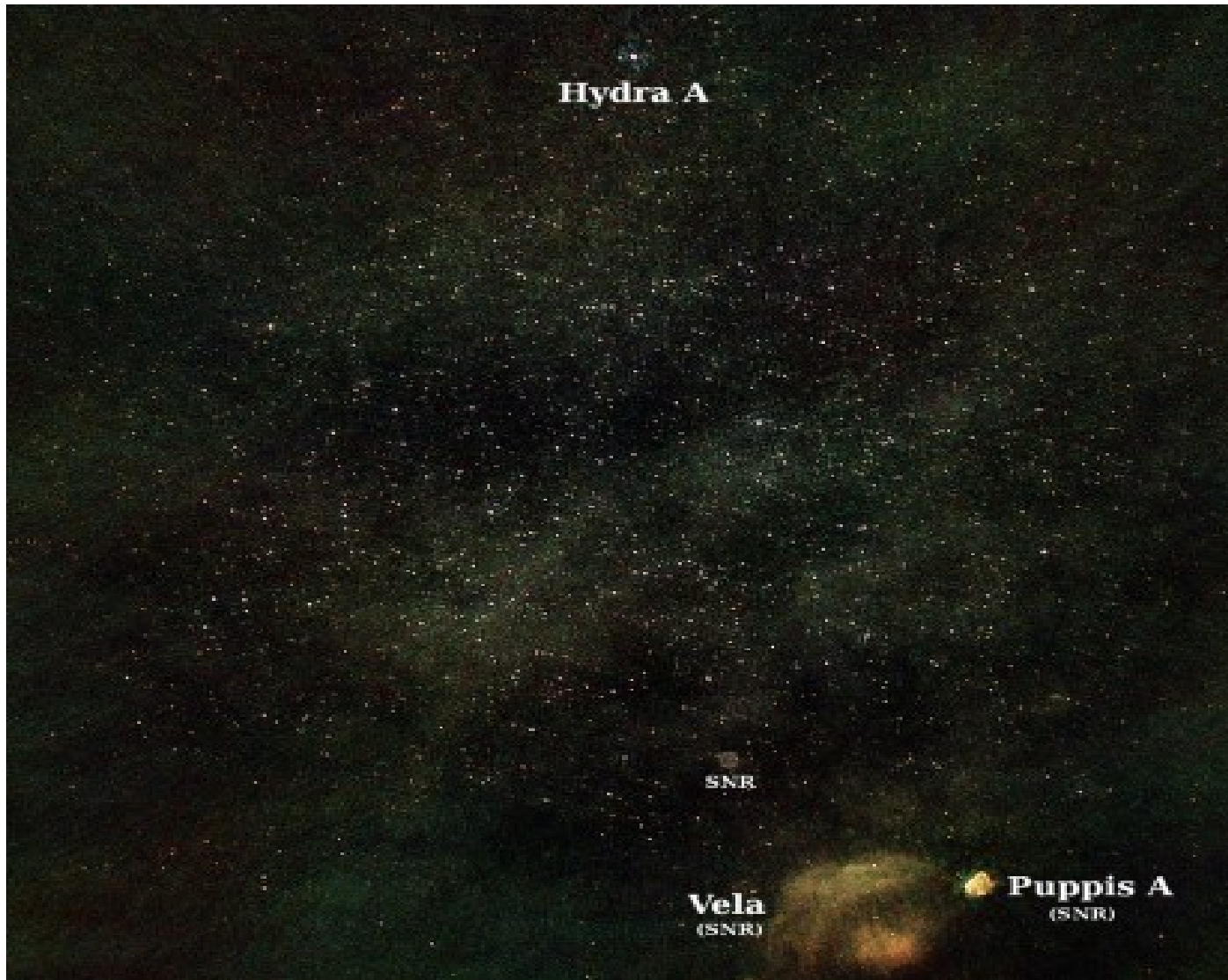
INTERFEROMETRIA

- MWA Signaalinkäsittelyä
- Aikaresoluutio 0.5s
- Kuva joka 8. sekunti
- Katselukulma 15..50 astetta kerrallaan
- Korrelaattori toteutettu FPGA:lla
- Reaaliaikalaskenta tehdään usealla näytönohjain GPU:lla 48x Nvidia Tesla



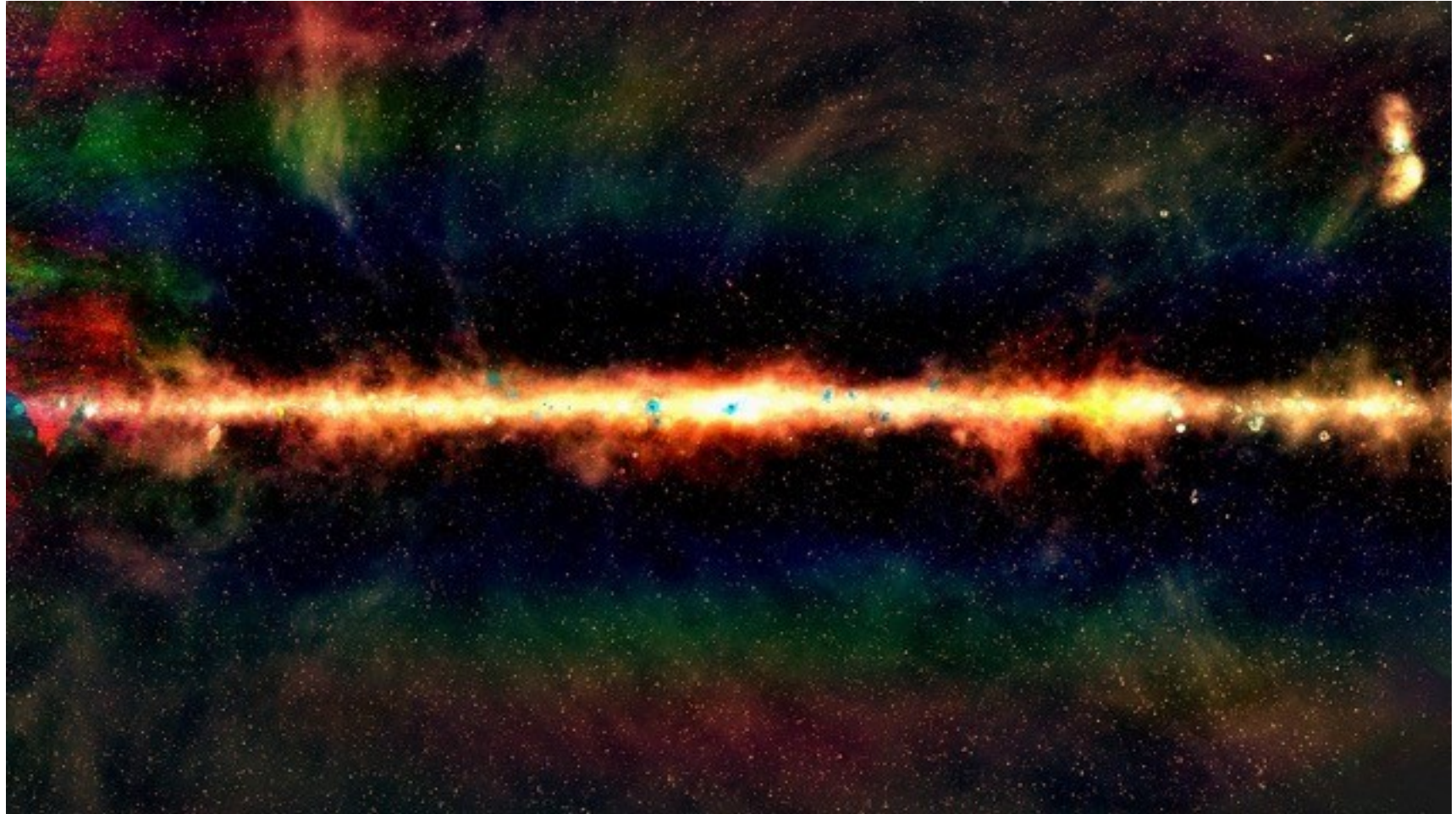
INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, Laajakulma kuva



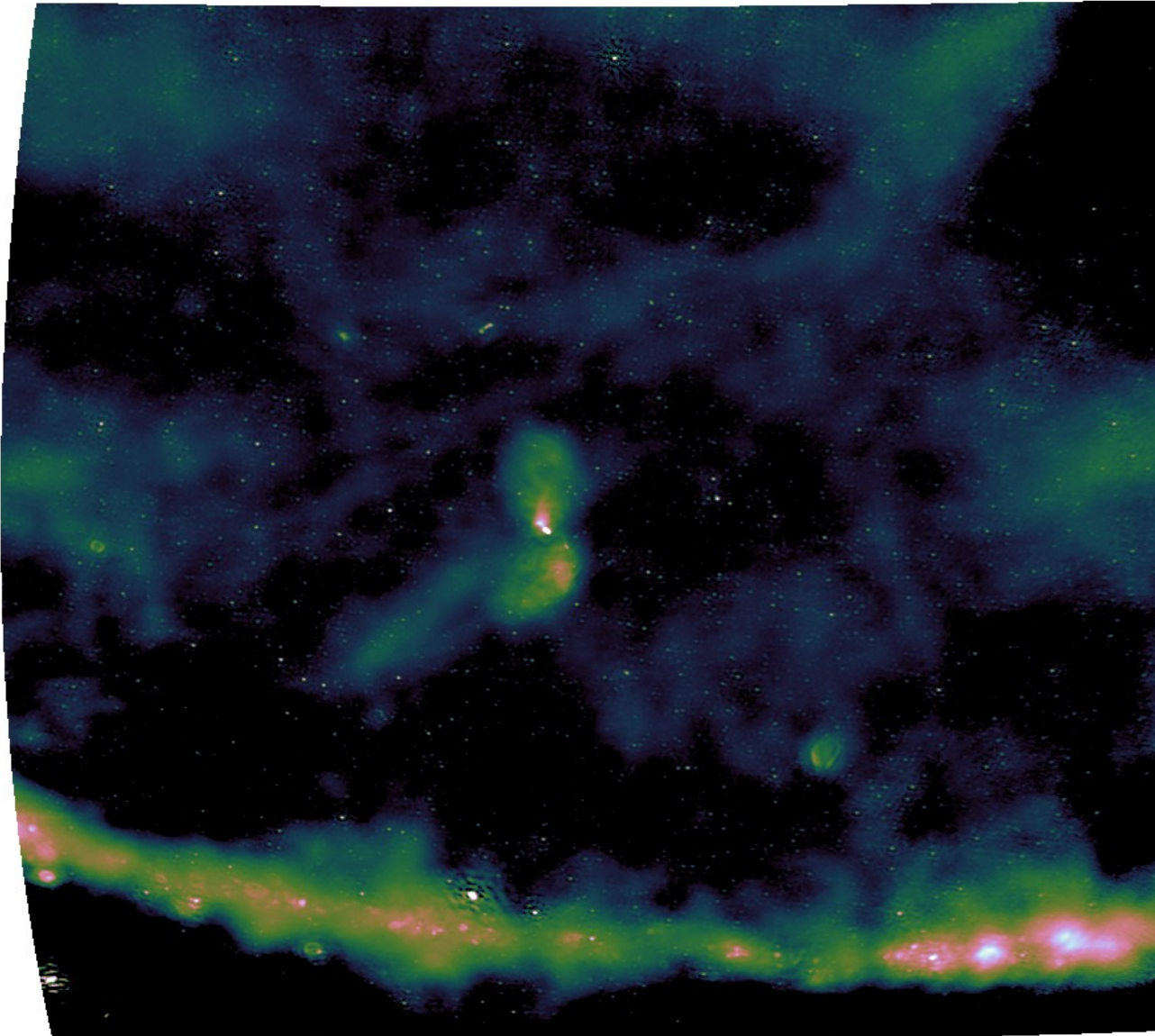
INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, Linnunrata



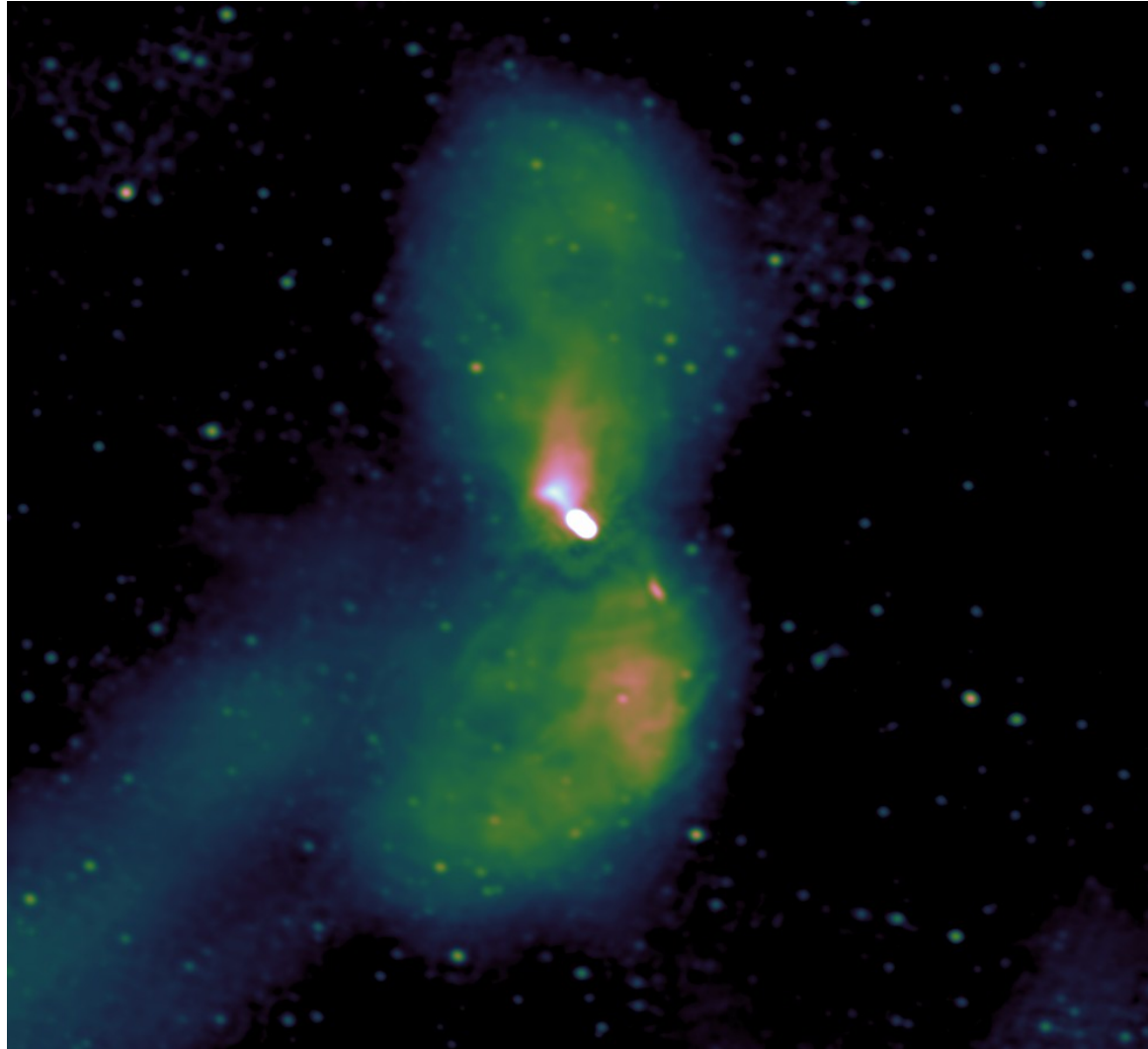
INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, CentauriA radiogalaksi NGC 5128



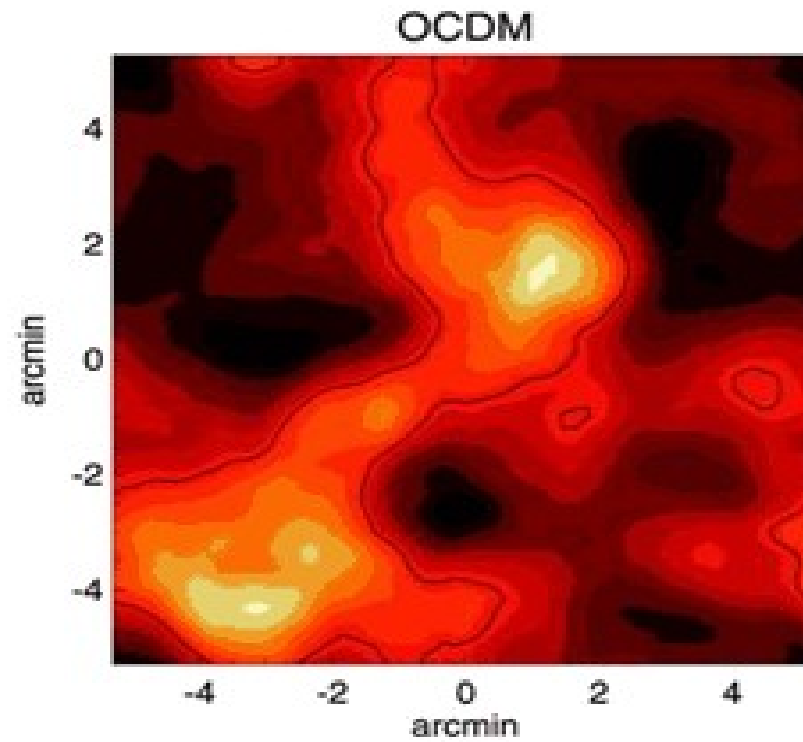
INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, CentauriA radiogalaksi zoom



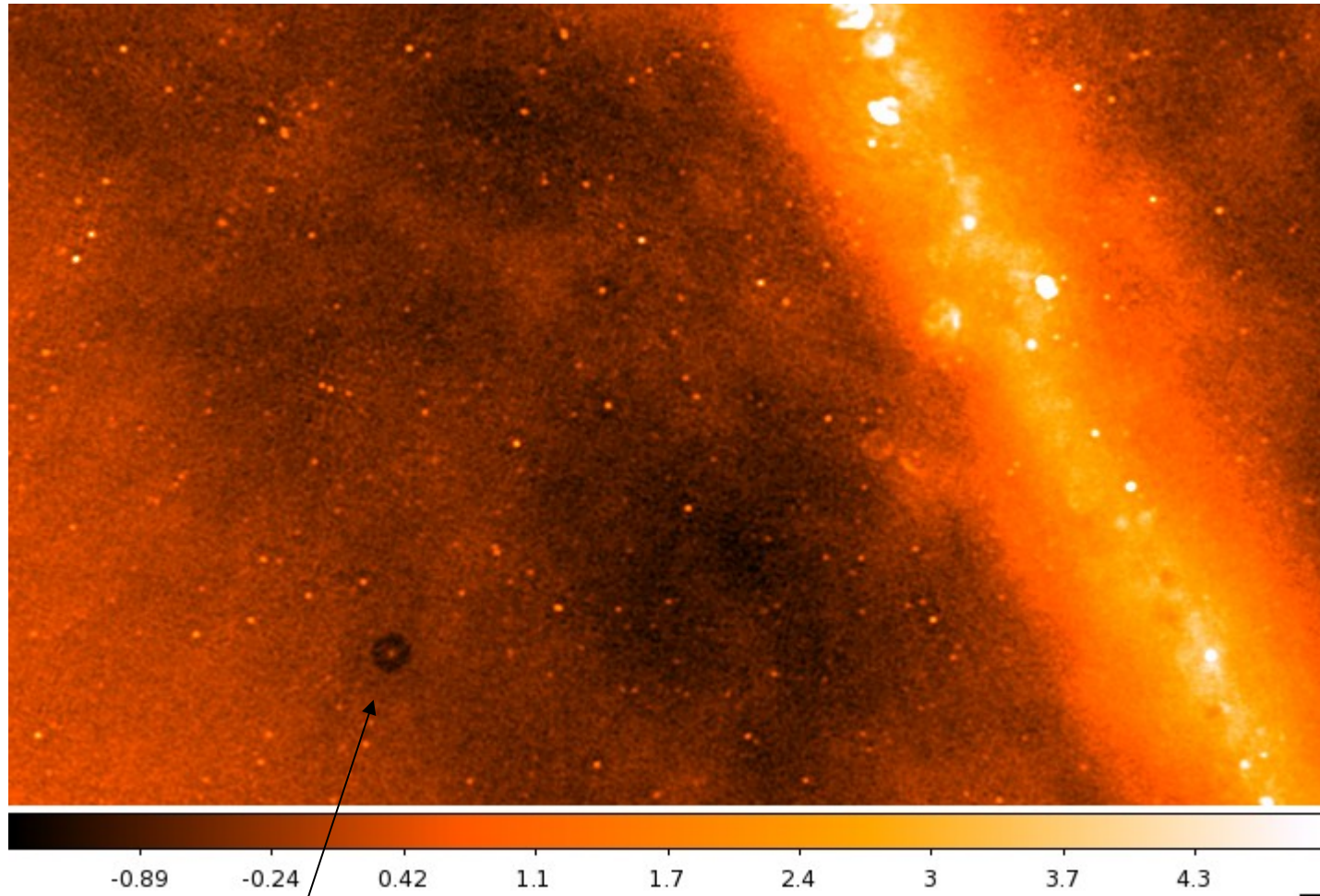
INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, NGC1534



INTERFEROMETRIA

- MWA kuvia, Kuu Linnunradan edessä



Kuu