



# *Radioastronomia*

*wyzwanie dla nauki  
i technologii*

*Andrzej Kus, Torun, Centrum Astronomii, UMK*

*17.05.2012*

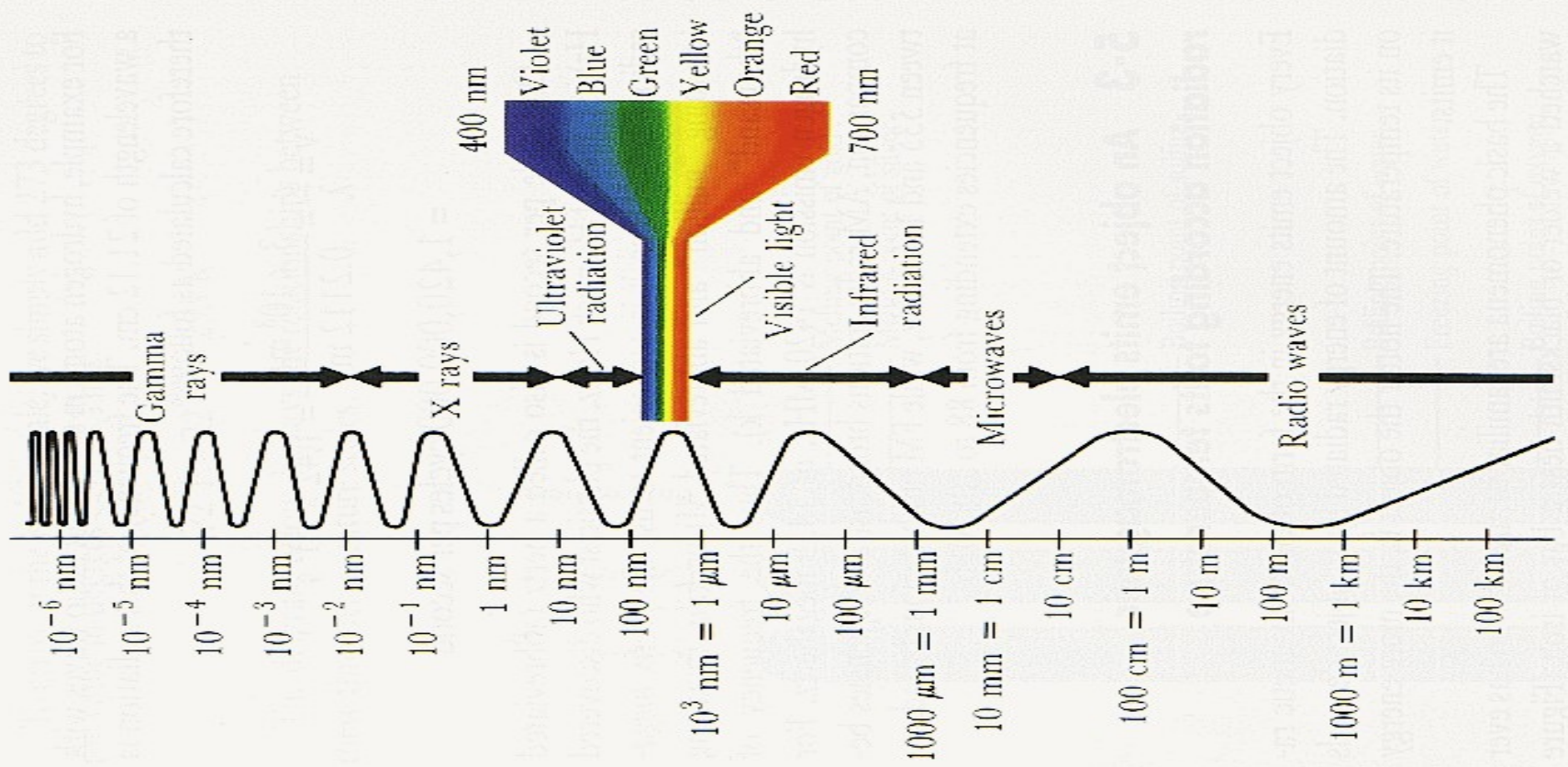


# *Centrum Astronomii UMK*

*Piwnice koło Torunia*

*<http://www.astr.uni.torun.pl>*

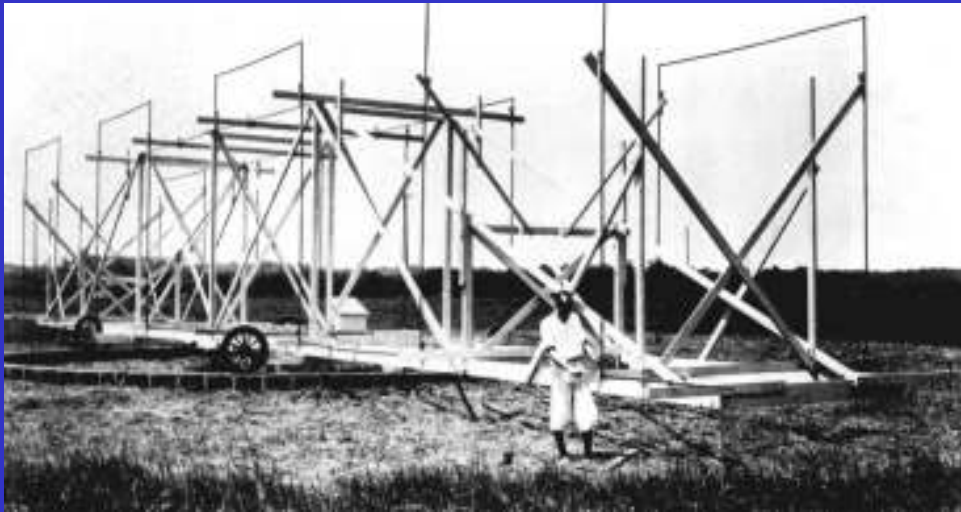




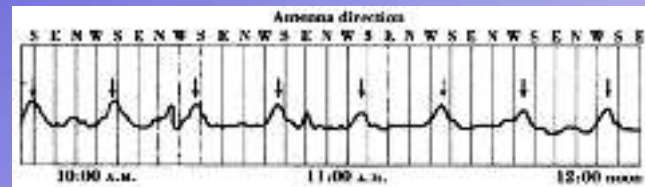
**Short wavelength**  
**High frequency**  
**High energy**

**Long wavelength**  
**Low frequency**  
**Low energy**

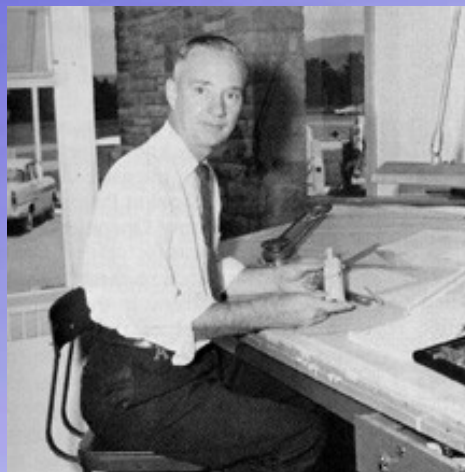




Karl Jansky  
(1901-1984)

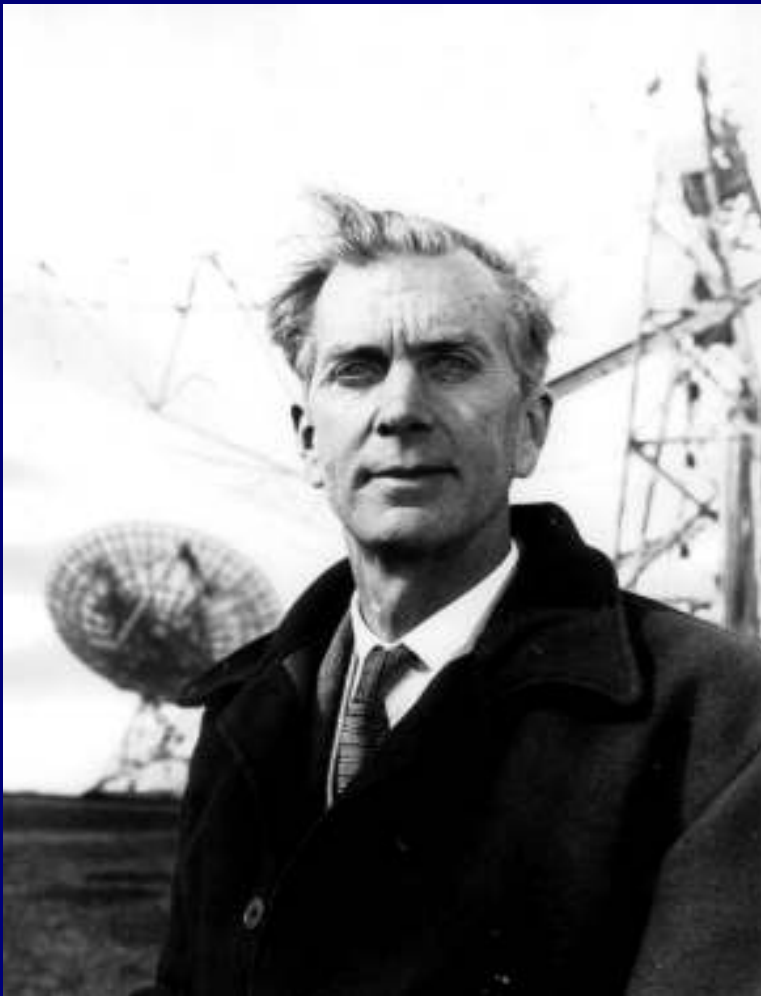


# Pioneers of Radio Astronomy



Grote Reber (1905-2007)





*Sir Martin Ryle*



*Sir Anthony Hewish*

*Mullard Radio Astronomy Observatory, Cambridge University, England*



*Prof. Wilhelmina Iwanowska*  
(1905 – 1999)



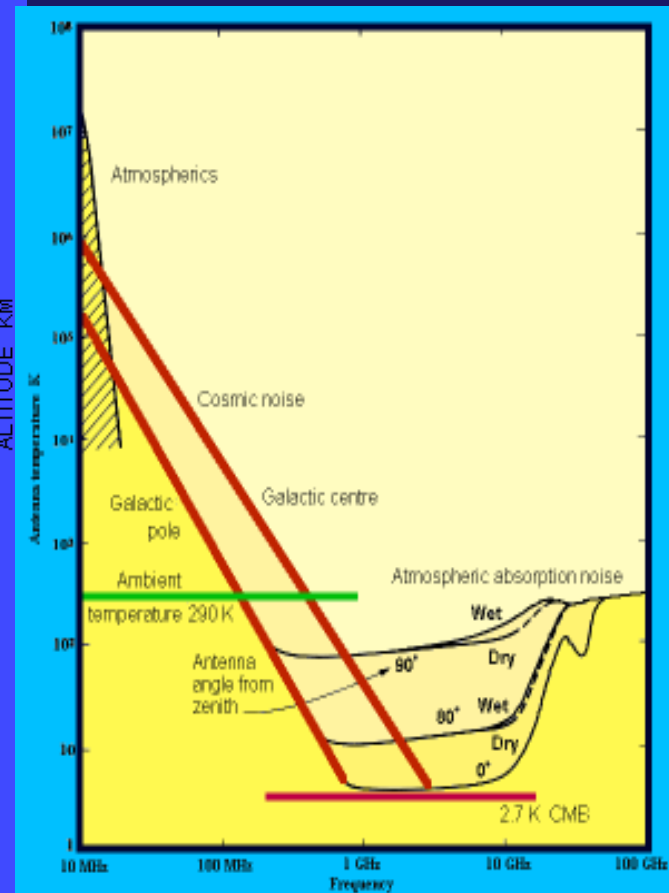
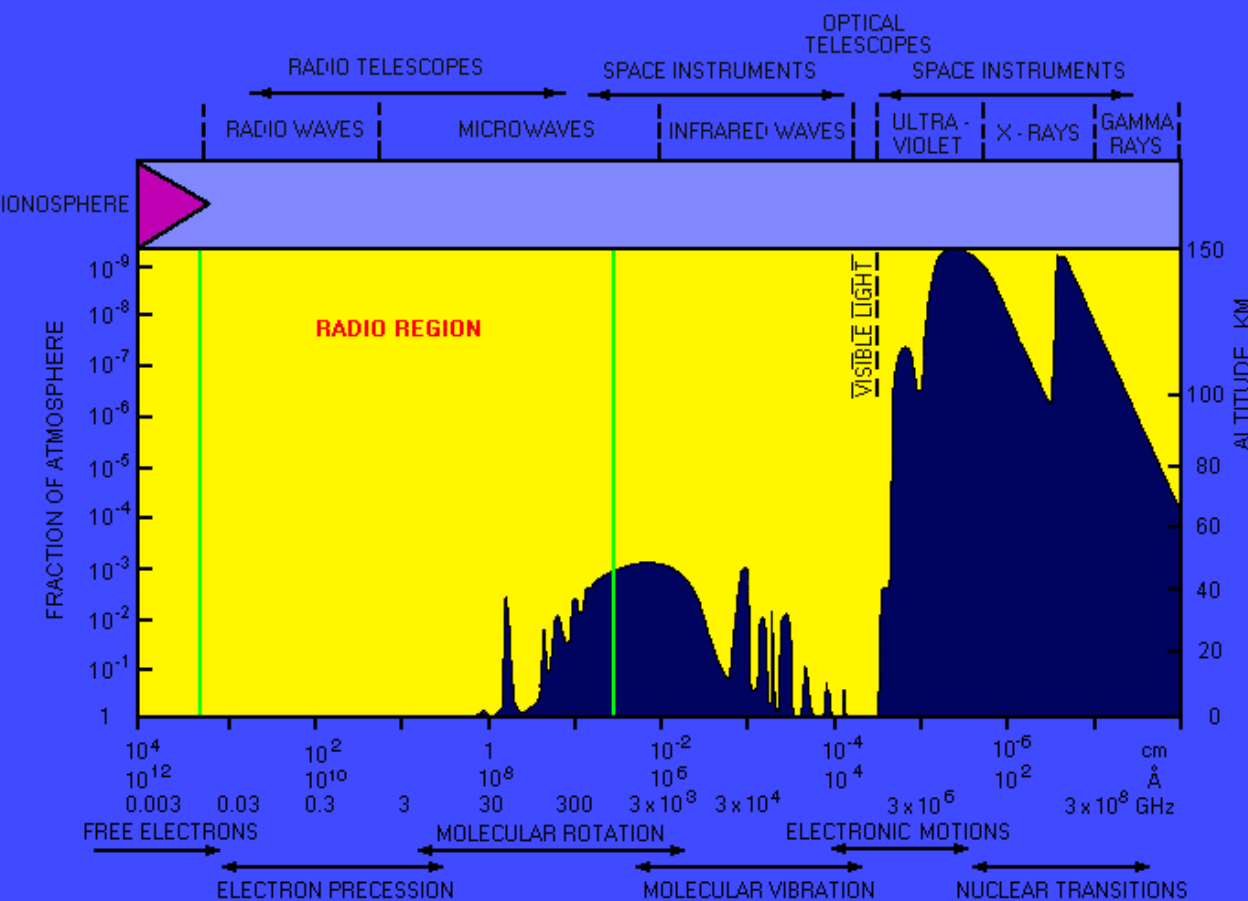
*Prof. Stanisław Gorgolewski*  
(1926 -2011)



# Radioastronomi

a

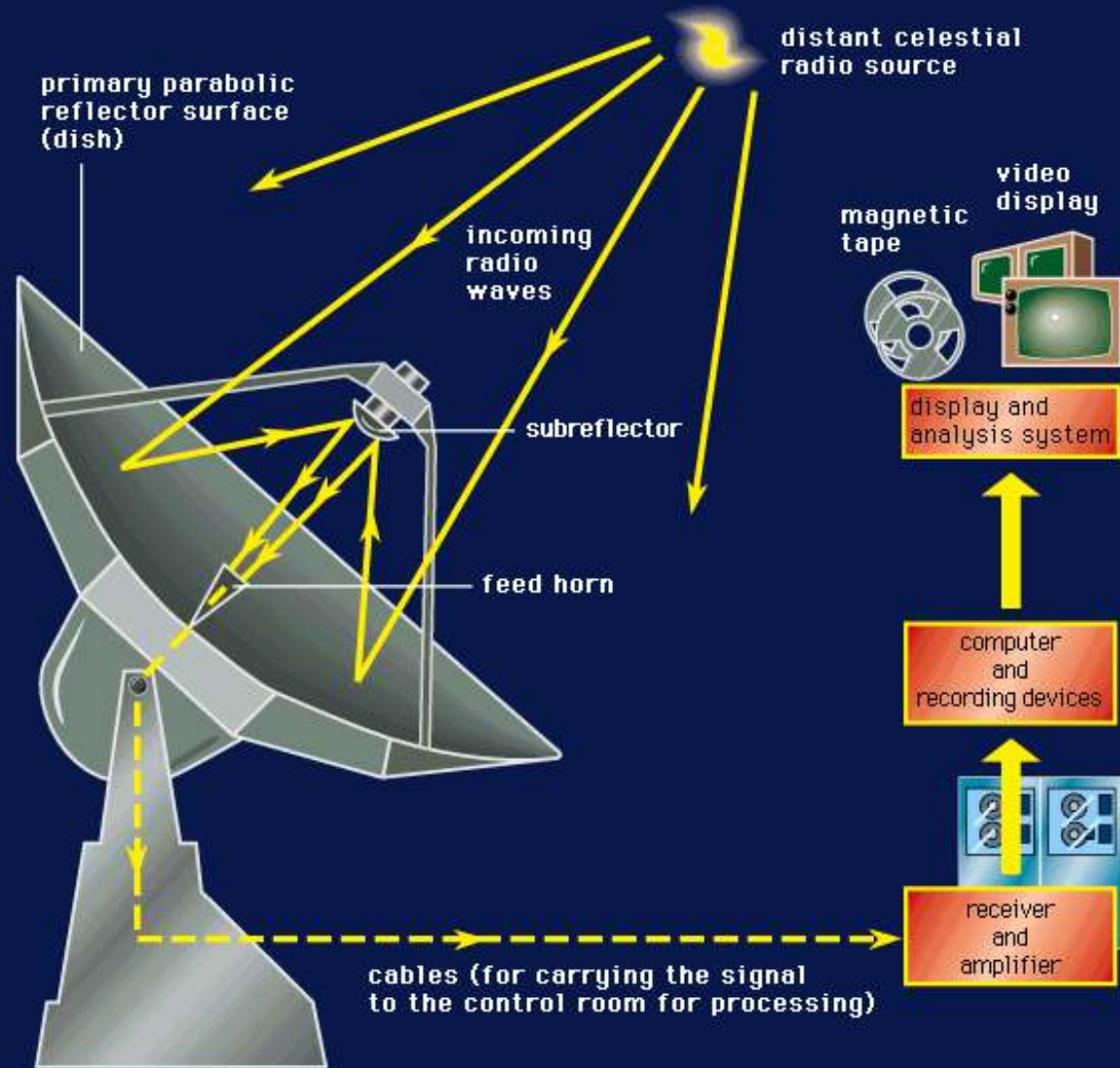
- Widmo sygnału
- ograniczenia



Rozdzielczość kątowa  $\sim 1/D$

Czułość  $\sim D^2$

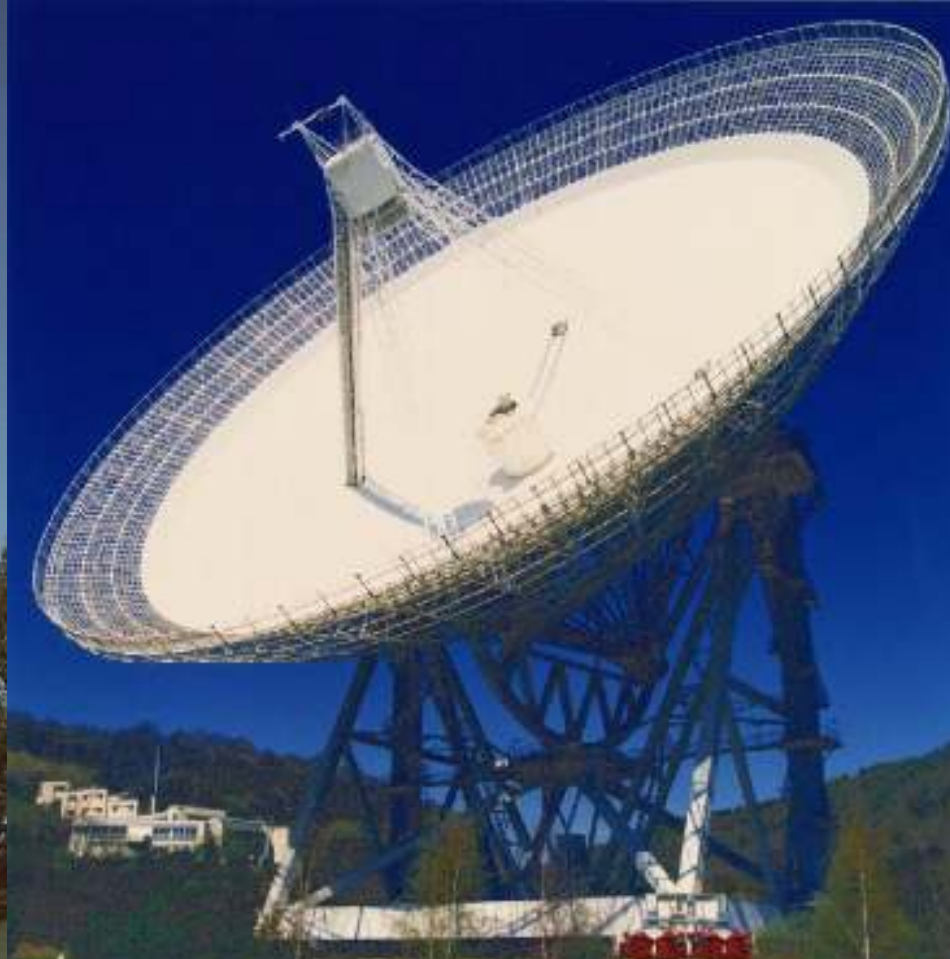
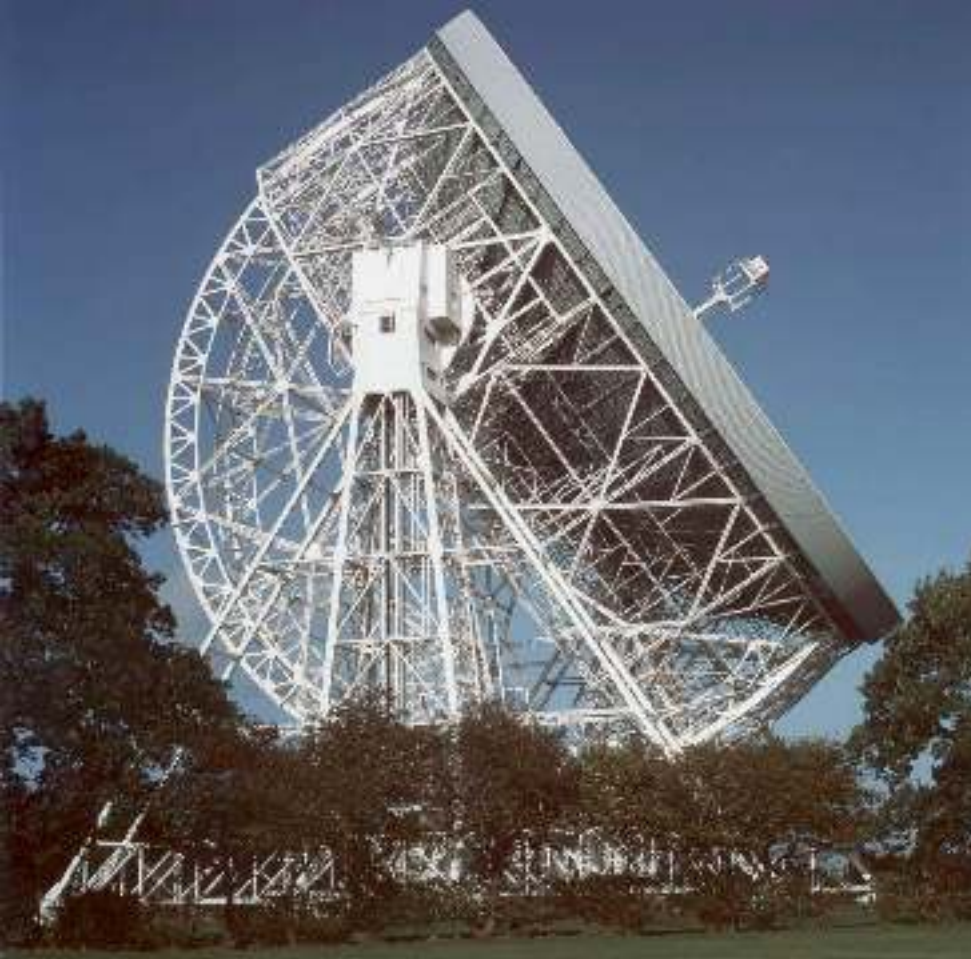
# radioteleskop





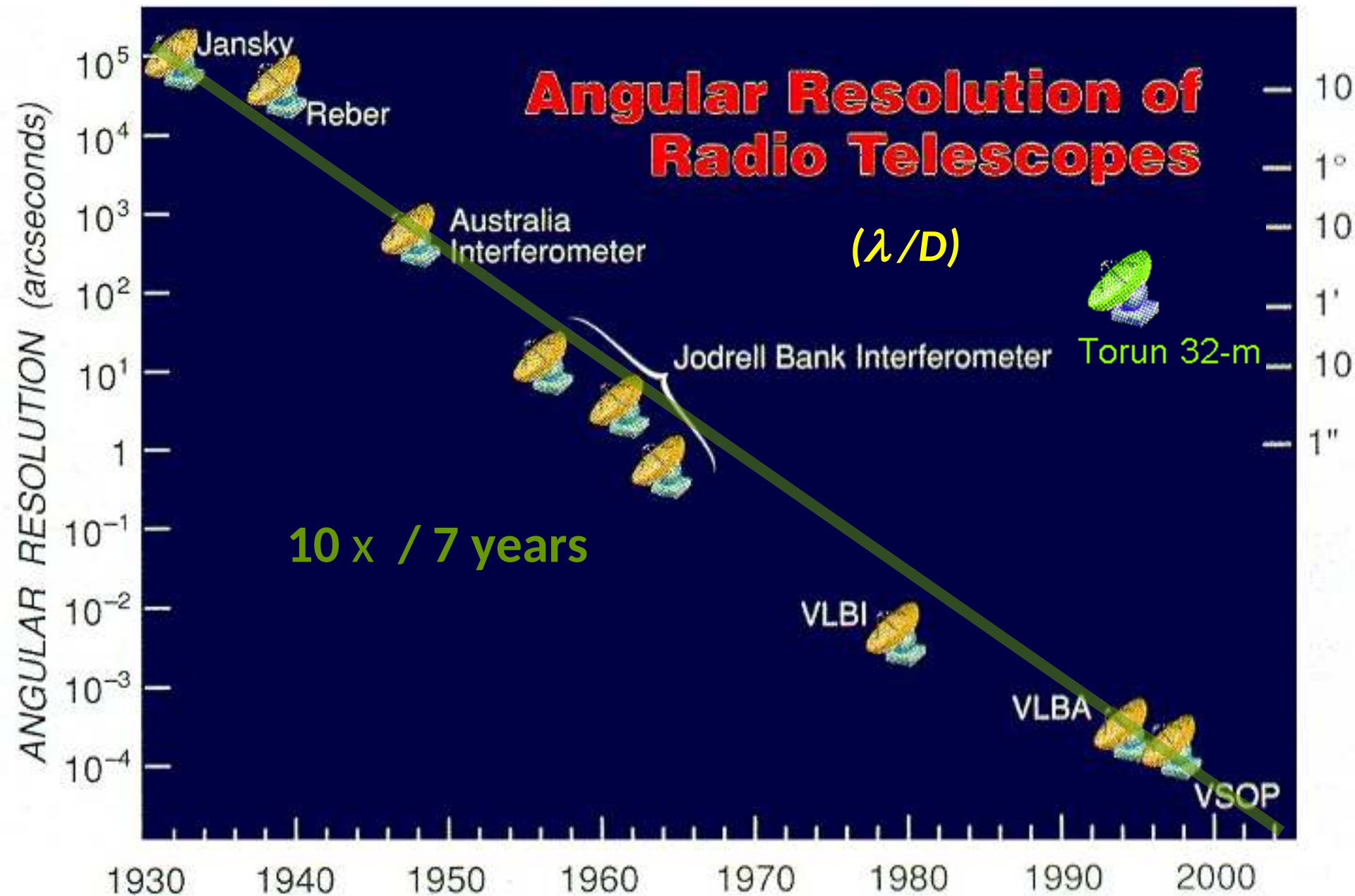




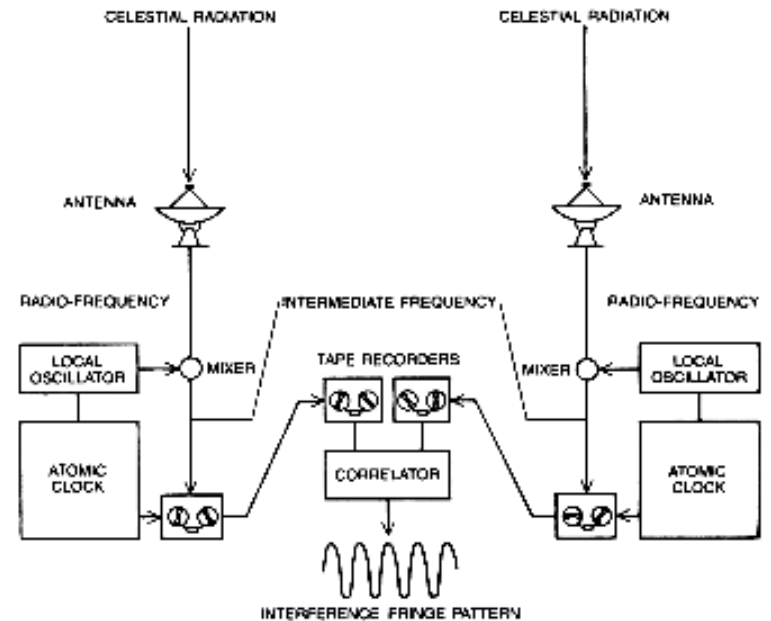
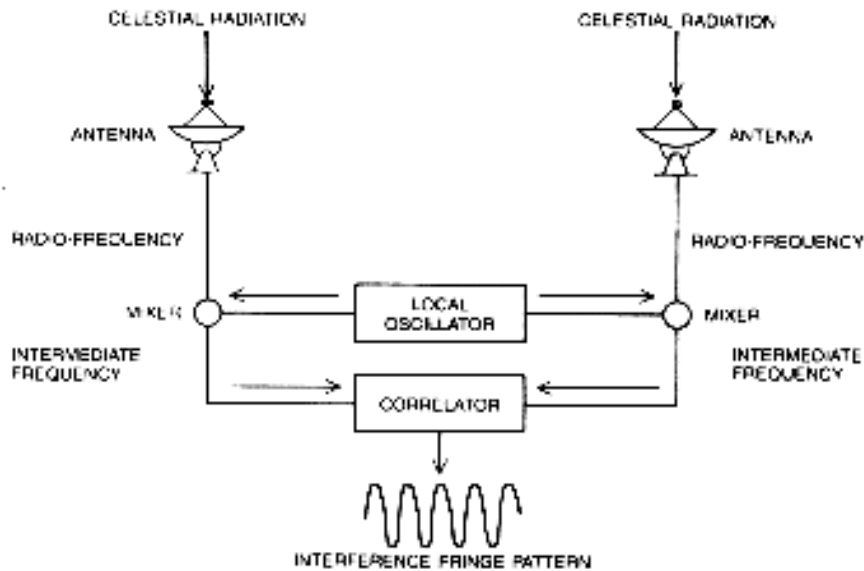
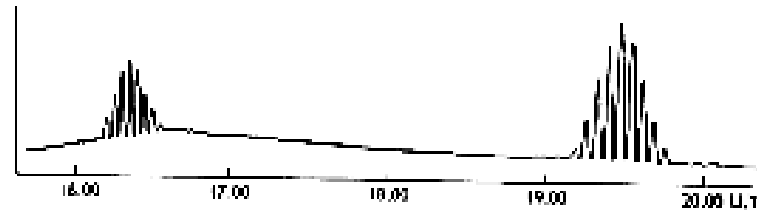
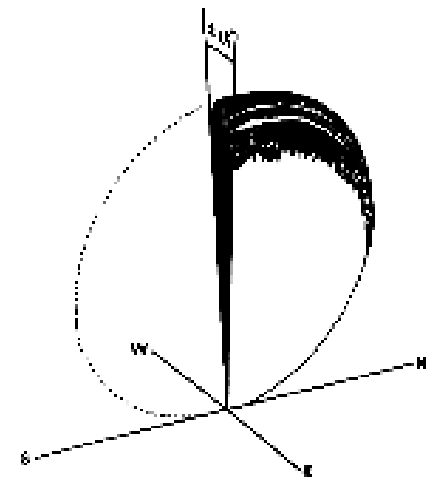
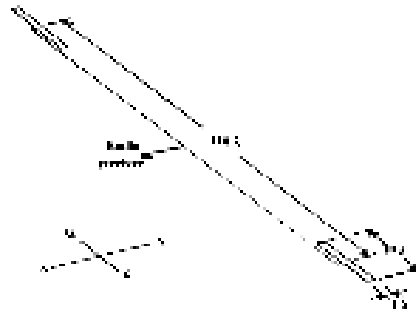
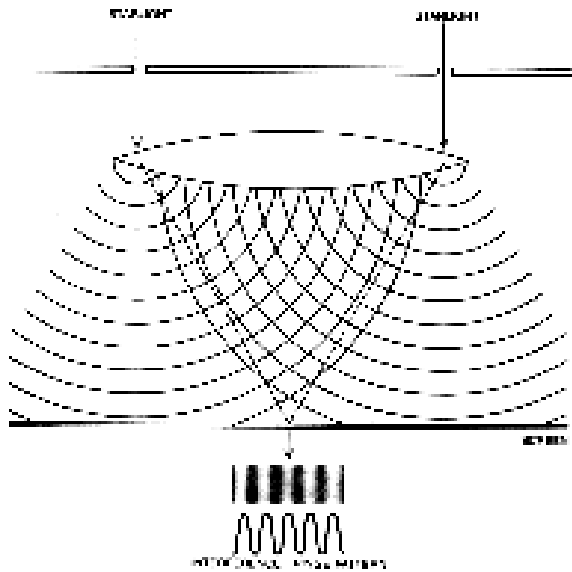




# Rozdzielczość kątowna radioteleskopów



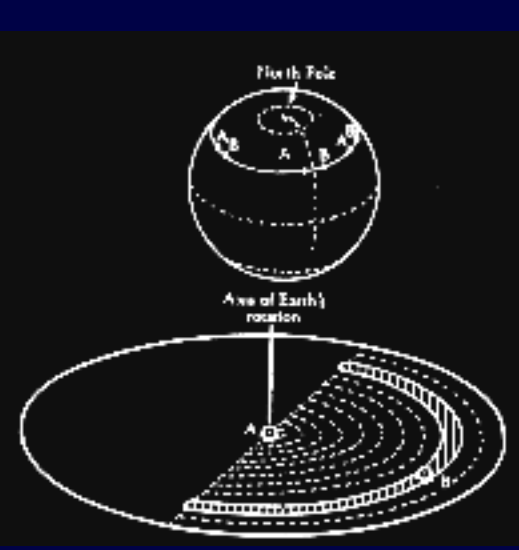
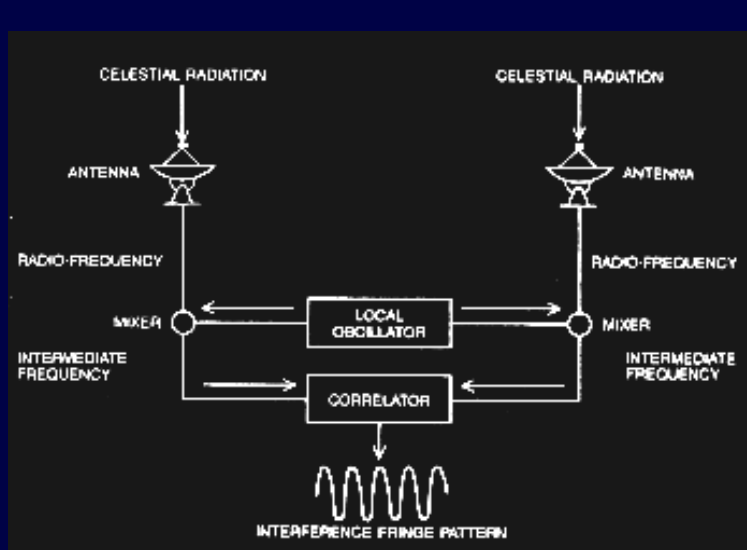
# Podstawy interferometri







WSRT



VLA

Interferometria  
i  
Synteza Apertury





*Very Large Array  
NRAO, Socorro,  
USA*





*Nobeyama Observatory, Japan*

*interferometr słoneczny*

A. R. Thompson, J. M. Moran,  
G. W. Swenson Jr.

WILEY-VCH

# Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy

Second Edition



## Van Cittert–Zernike Theorem

14.1 VAN CITTERT–ZERNIKE THEOREM 595

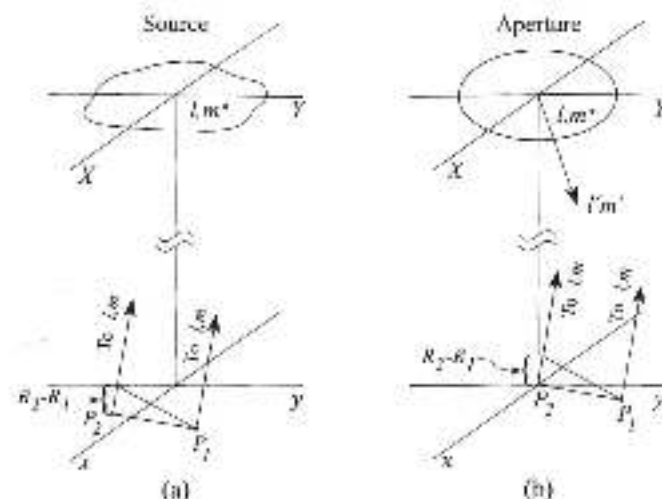
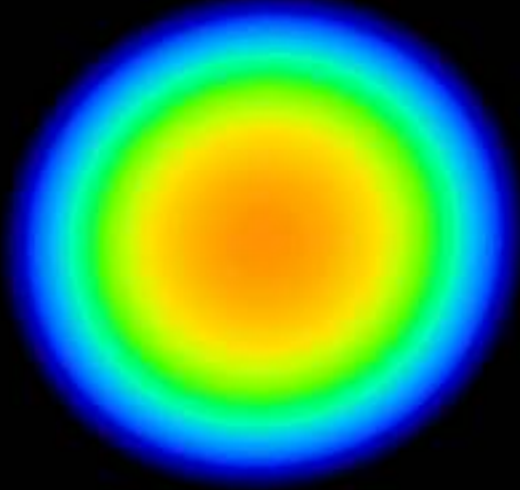


Figure 14.1 (a) Geometry of a distant optically incoherent source and the points  $P_1$  and  $P_2$  at which the mutual coherence of the radiation is measured. The source plane  $(X, Y)$  is parallel to the measurement plane  $(x, y)$  but at a large distance from it. (b) Similar geometry for measurement of the radiation field from an aperture in the  $(X, Y)$  plane that is illuminated from above by a coherent wavefront. The radiated field has a maximum at the points  $P_1$ . Direction cosines  $(l, m)$  are defined with respect to the  $(x, y)$  axes in the measurement plane, and  $(l', m')$  with respect to the  $(X, Y)$  axes in the plane of the aperture.

HPBW 6°  
D = 30 m



1950

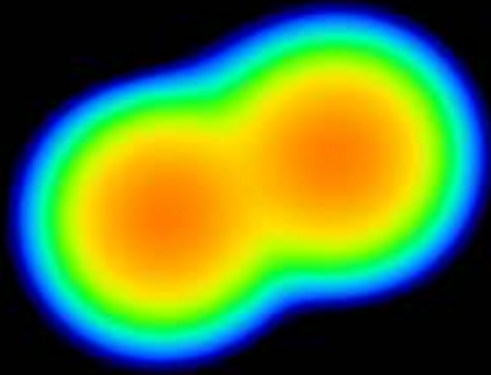


*pojedyncza antena*

*Rozdzielczość  
kątowna*

$$\theta \sim 1/D$$

HPBW 1.1°  
D = 200 m

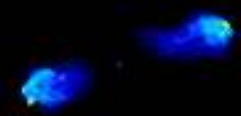


1965



*D*

HPBW ~0.5°  
D = 300 m



1984



*Synteza apertury*

Cyg A 3C405

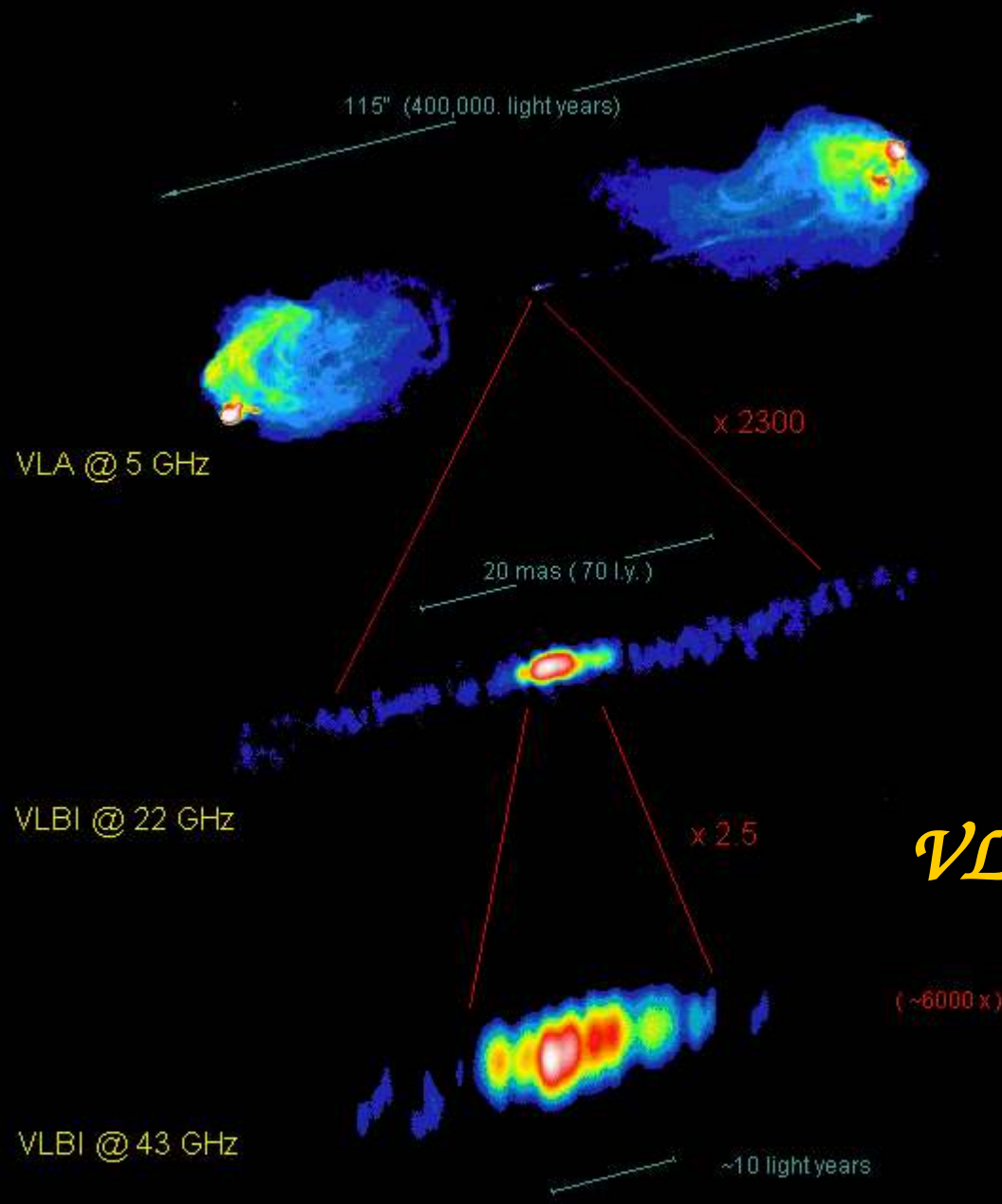
@ 5 GHz (λ = 5 cm)



# CYGNUS A

## Very Long Baseline Interferometry VLBI

## Radiowa Interferometria wielkobazowa





*EVN*

*e-EVN*



USA

China

South Africa



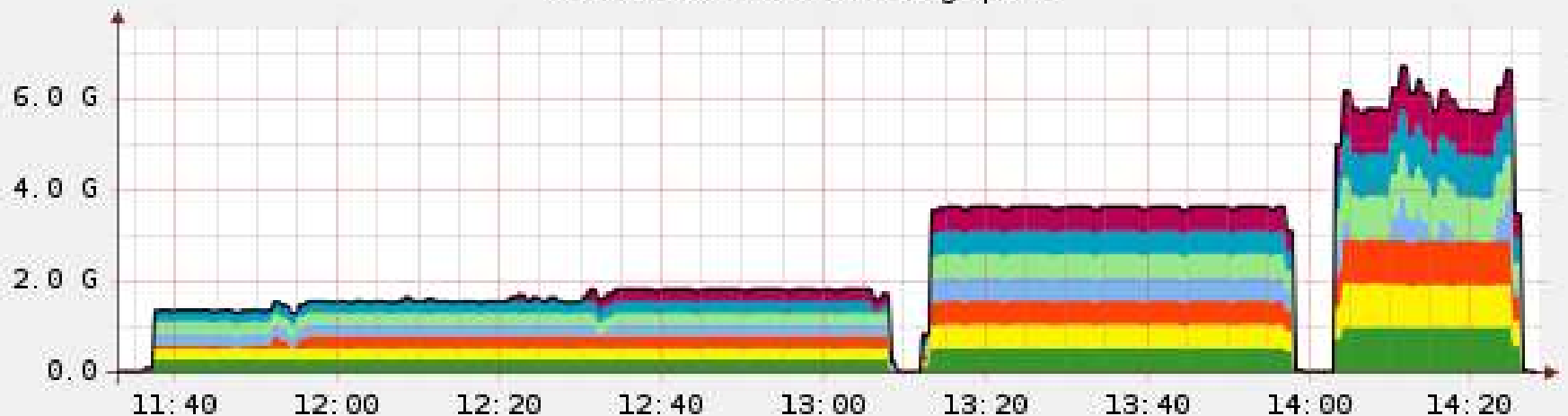
# European VLBI Network

- Polska od 1982 (32m RT4 1986)

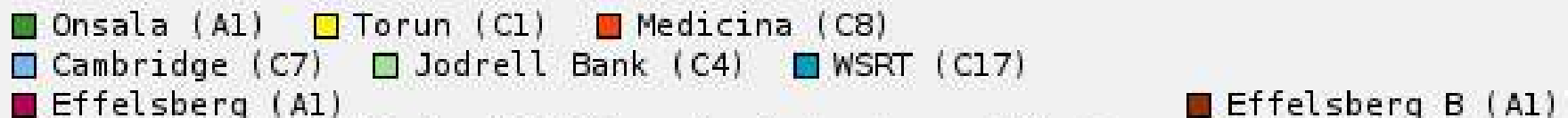
studia AGN-ów i Maserów

- e-EVN od 2004

Total eVLBI throughput



From 2008-04-01 11:32:41 To 2008-04-01 14:28:27



Total eVLBI throughput (max) 6.71 G



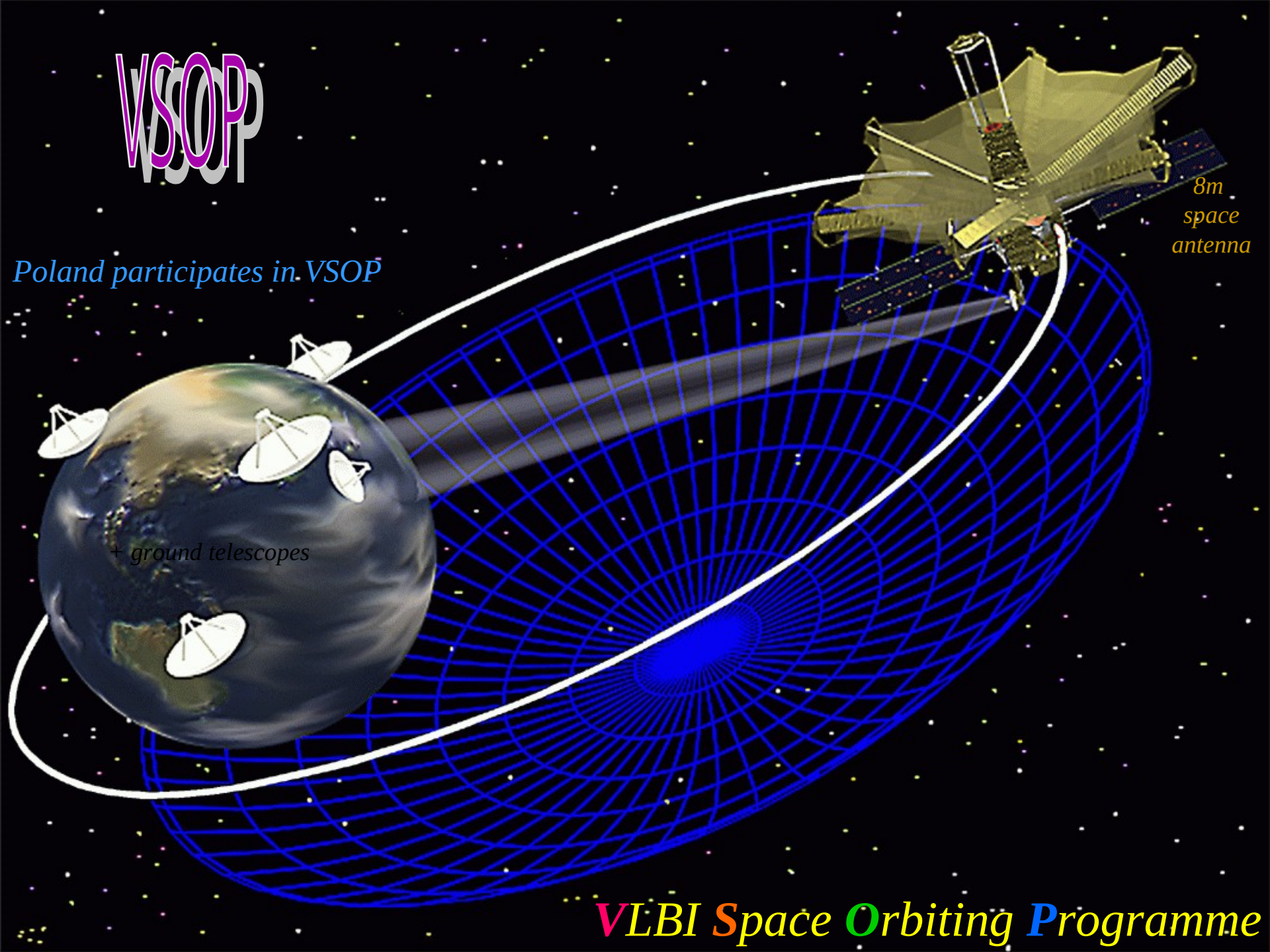
# VSOP

*Poland participates in VSOP*

*+ ground telescopes*

*8m  
space  
antenna*

**VLBI Space Orbiting Programme**

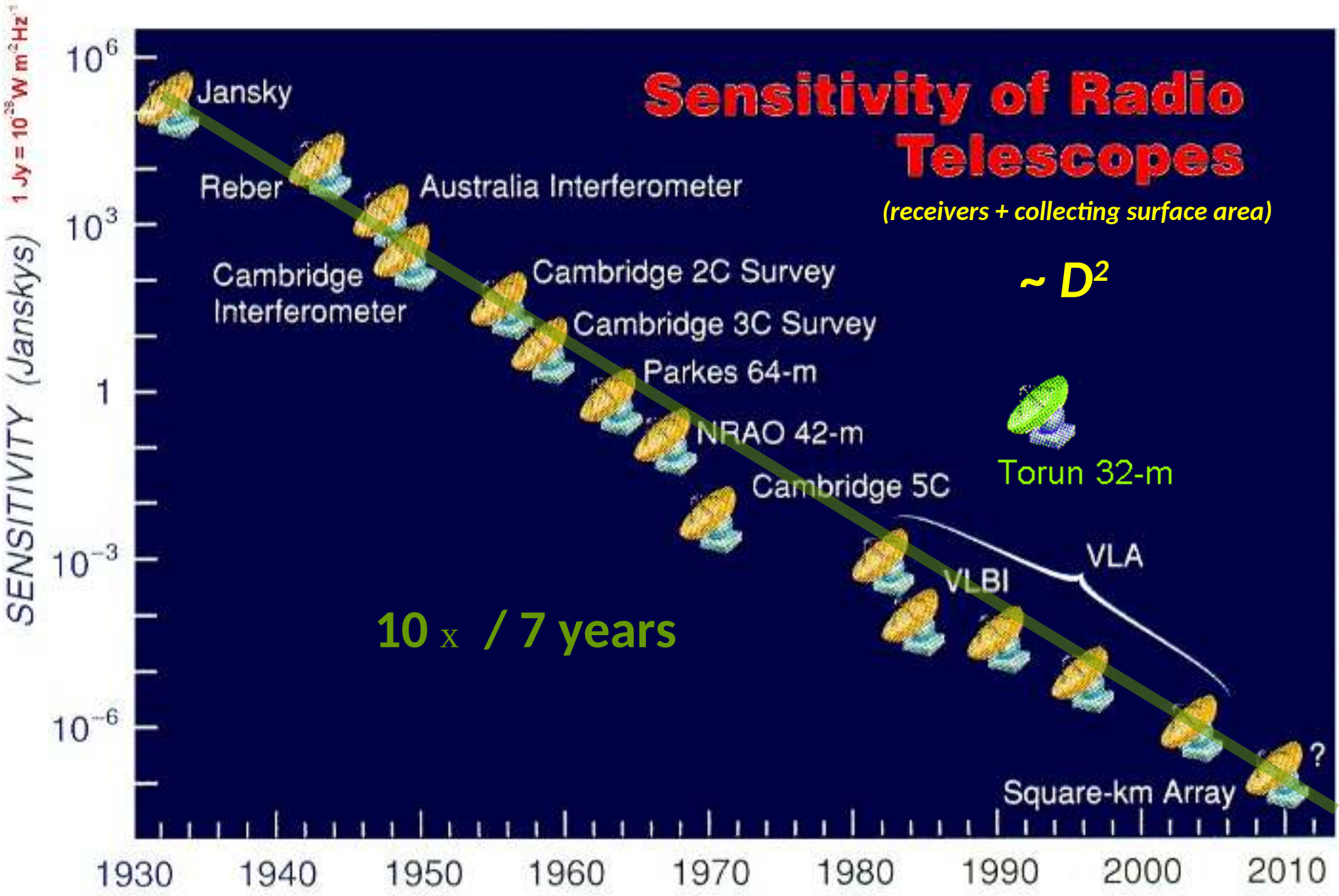


# Sensitivity of Radio Telescopes

(receivers + collecting surface area)

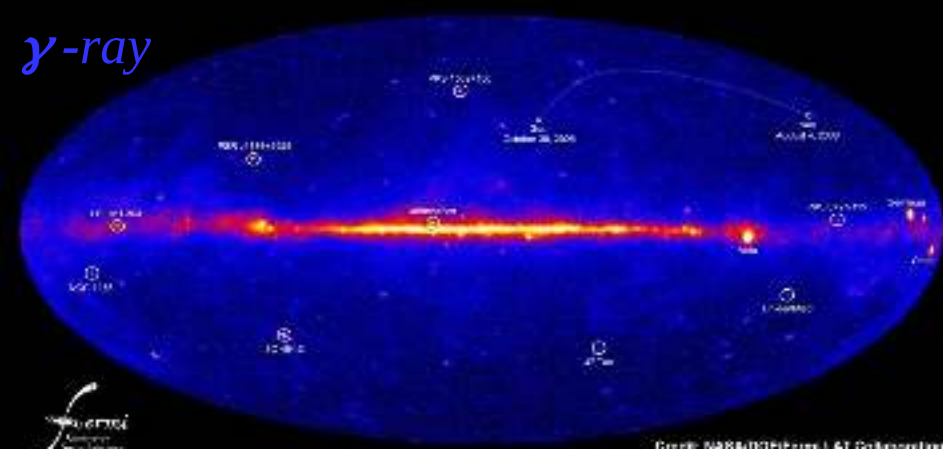
$\sim D^2$

$10 \times / 7 \text{ years}$

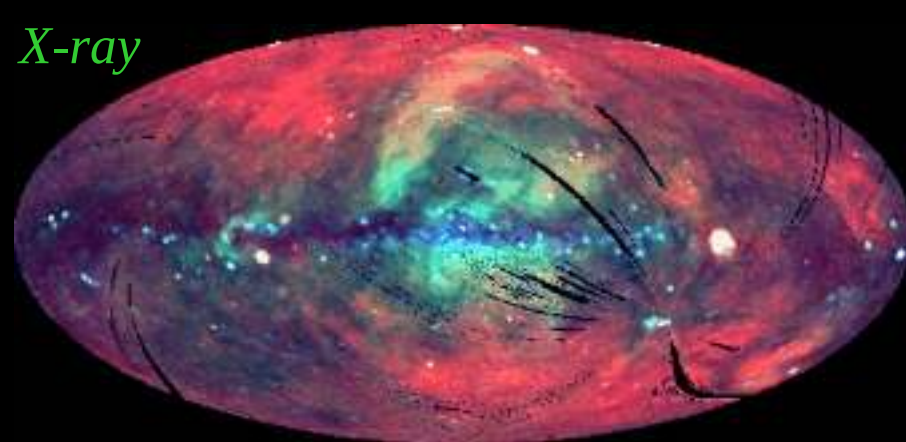




$\gamma$ -ray



X-ray



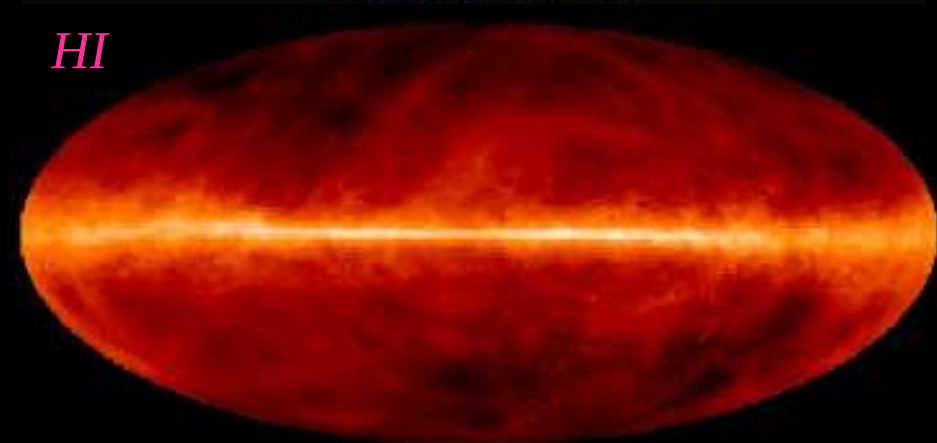
Visible light



IR



HI

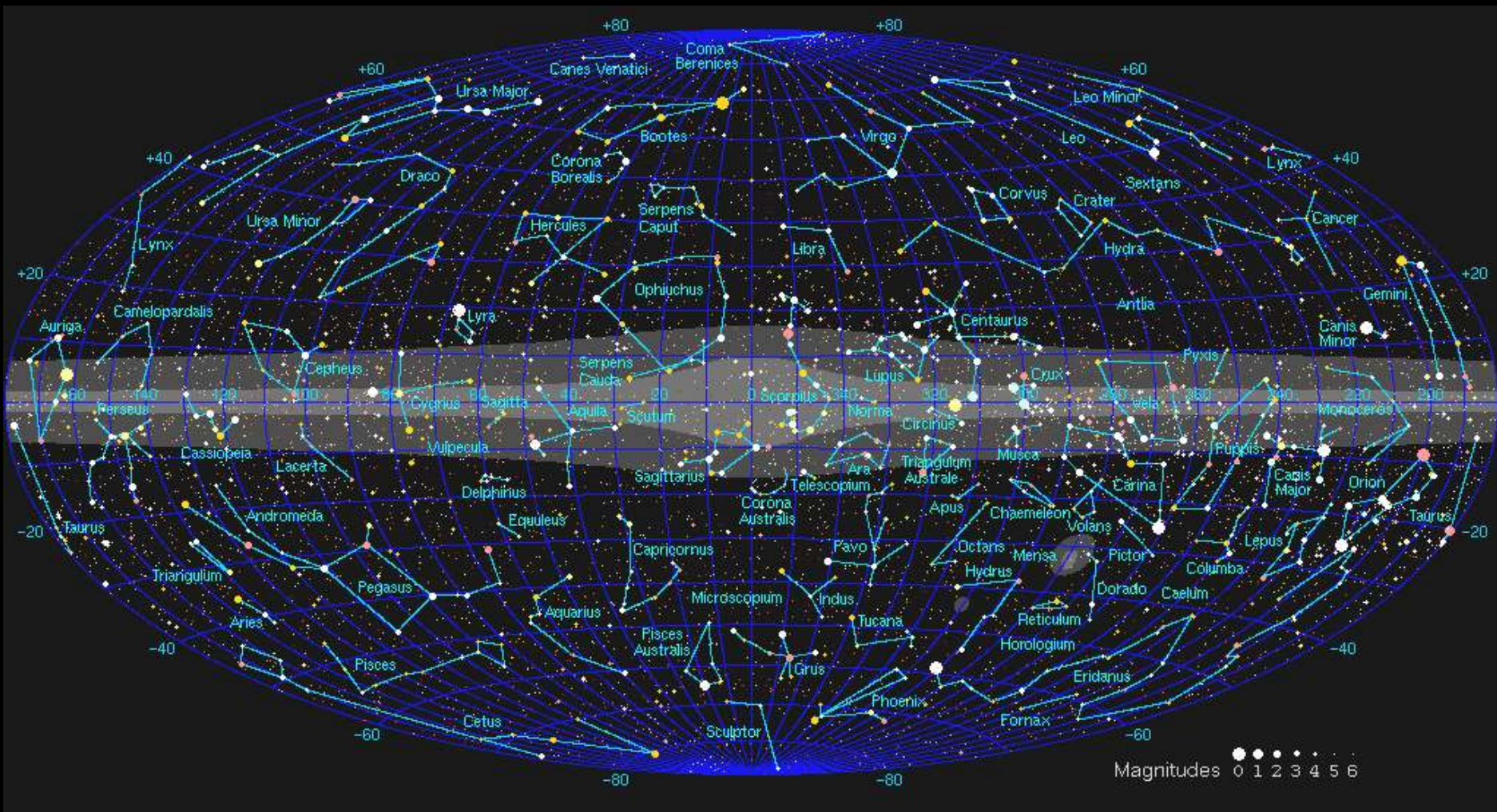


Radio

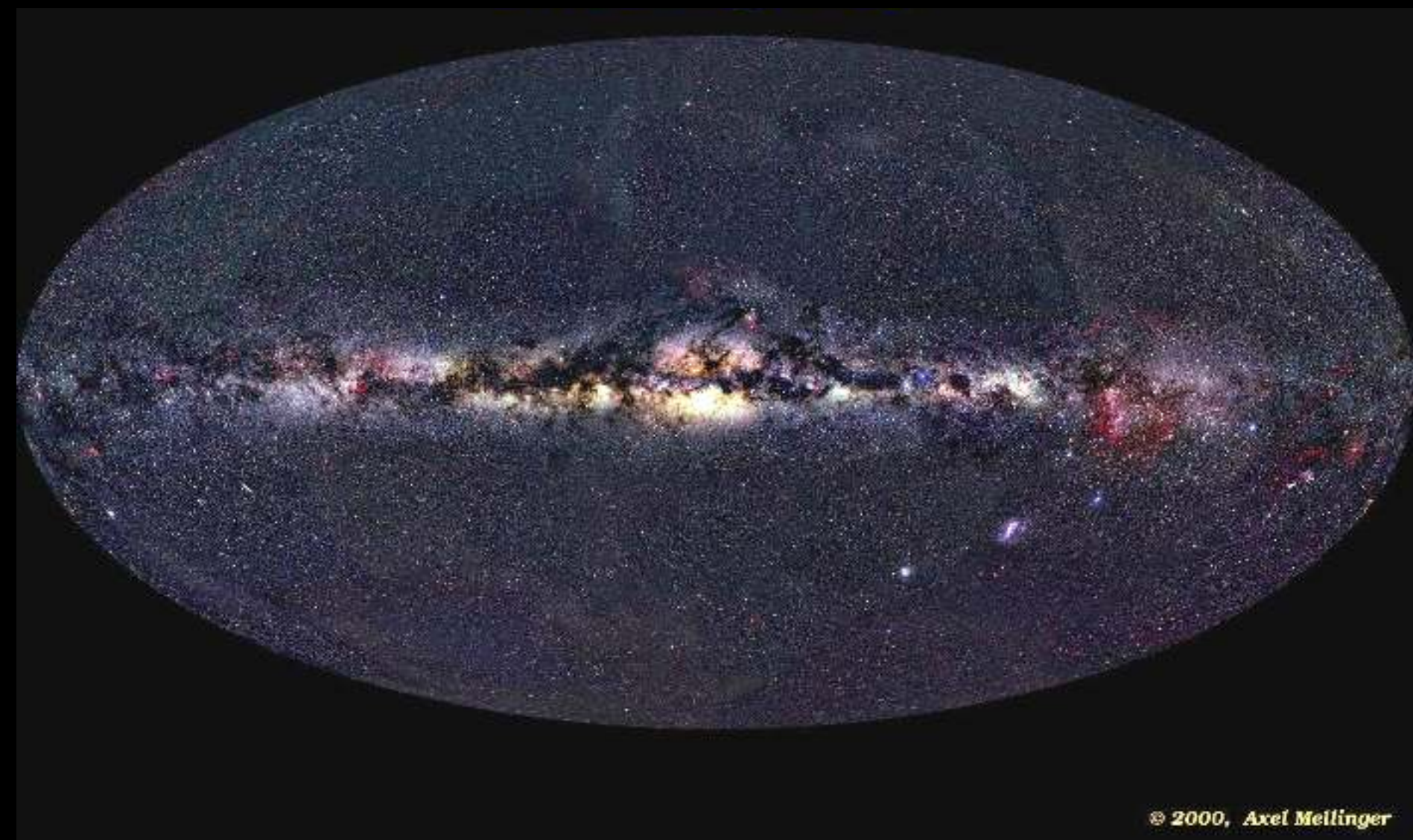




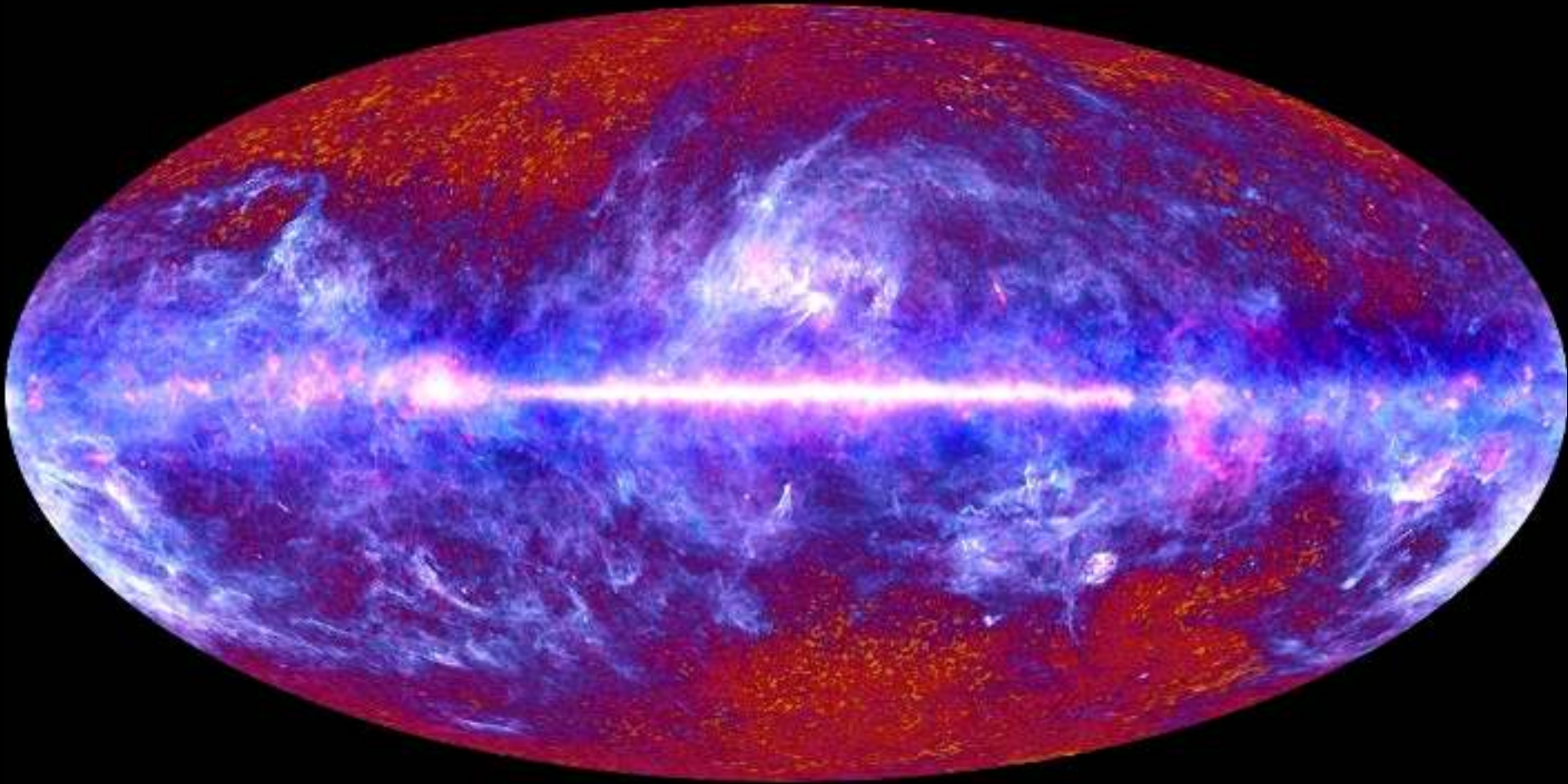




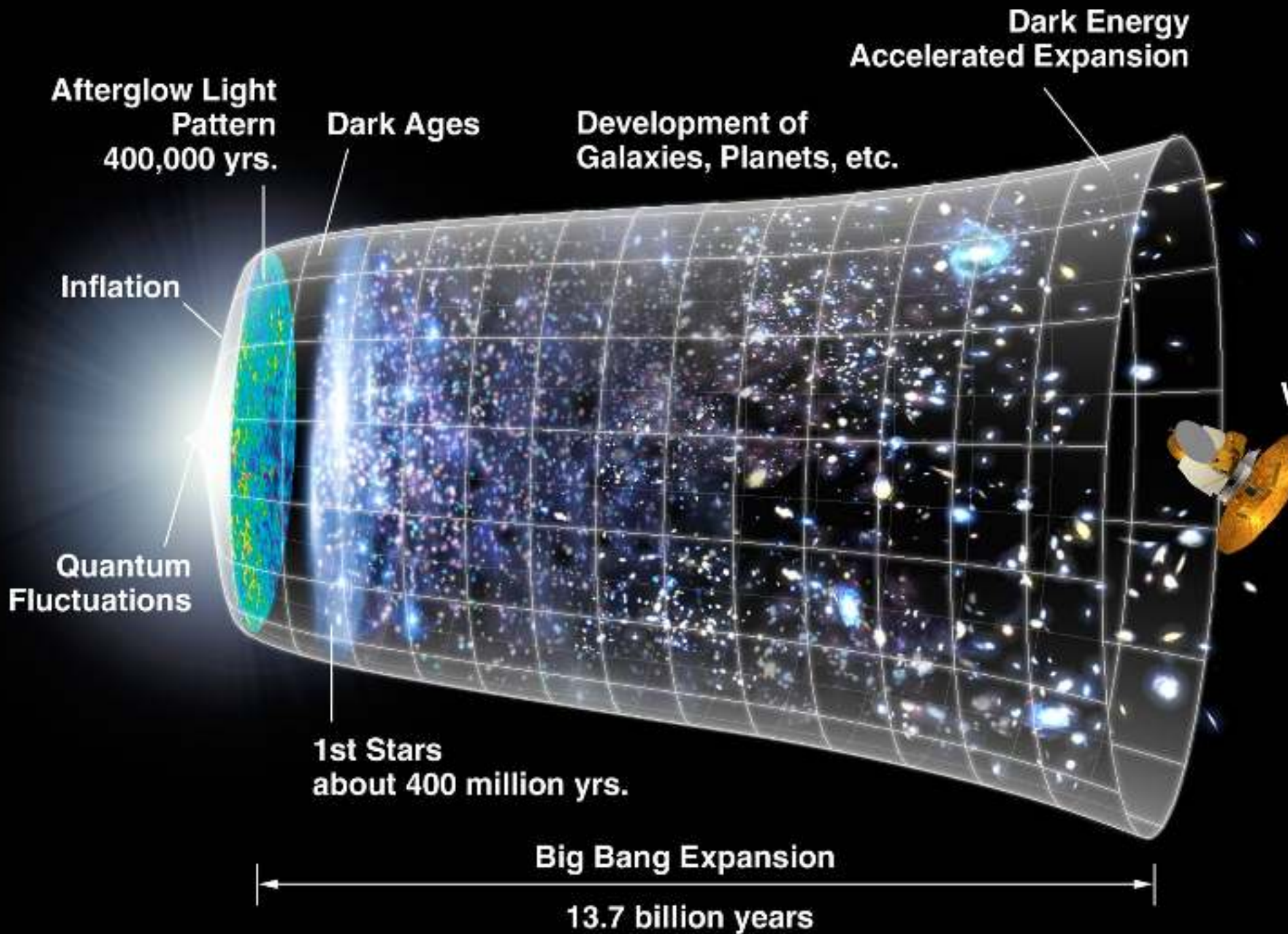




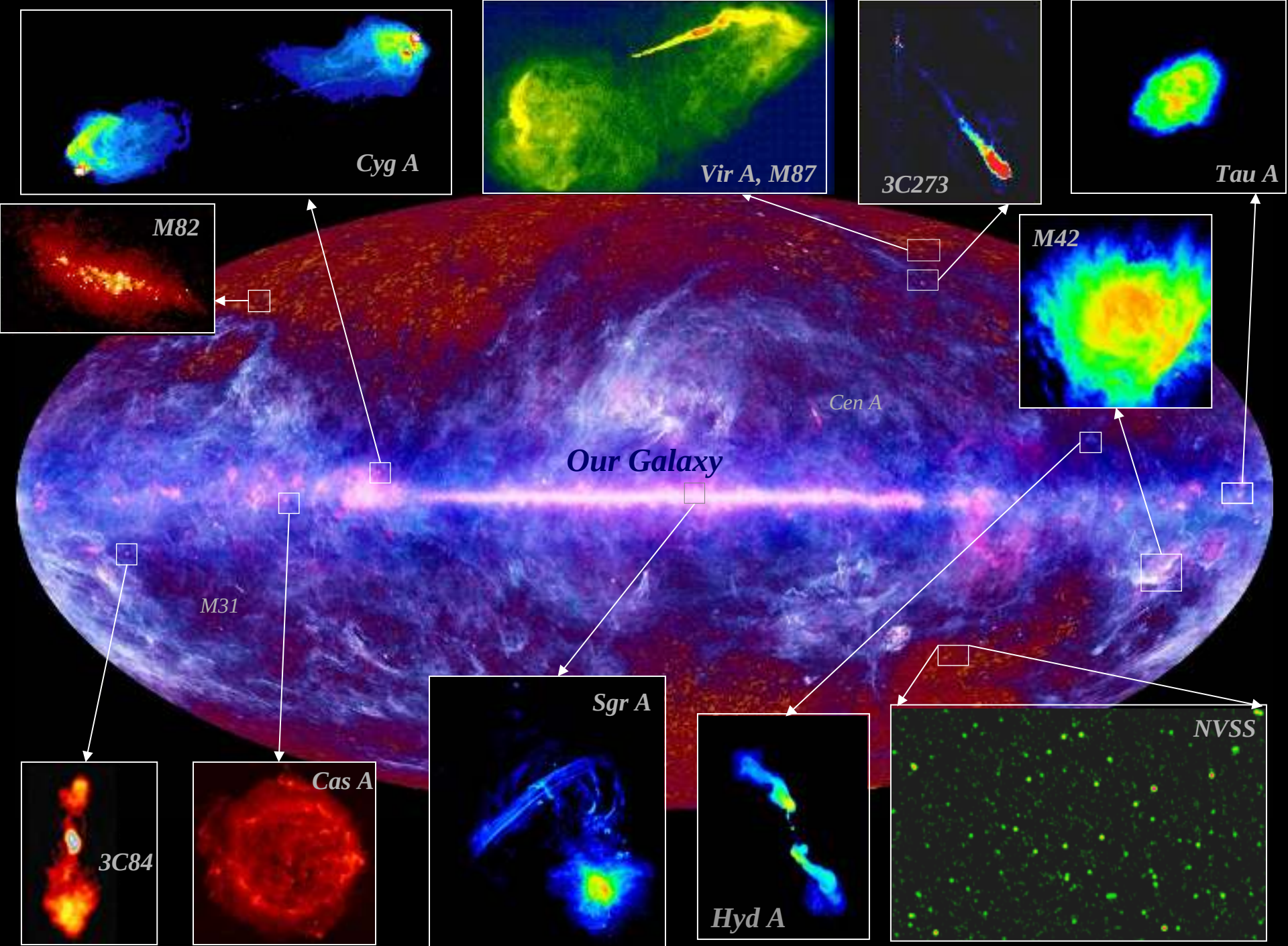




Planck Mission Satellite - all sky map2010, The Galaxy and the CMB







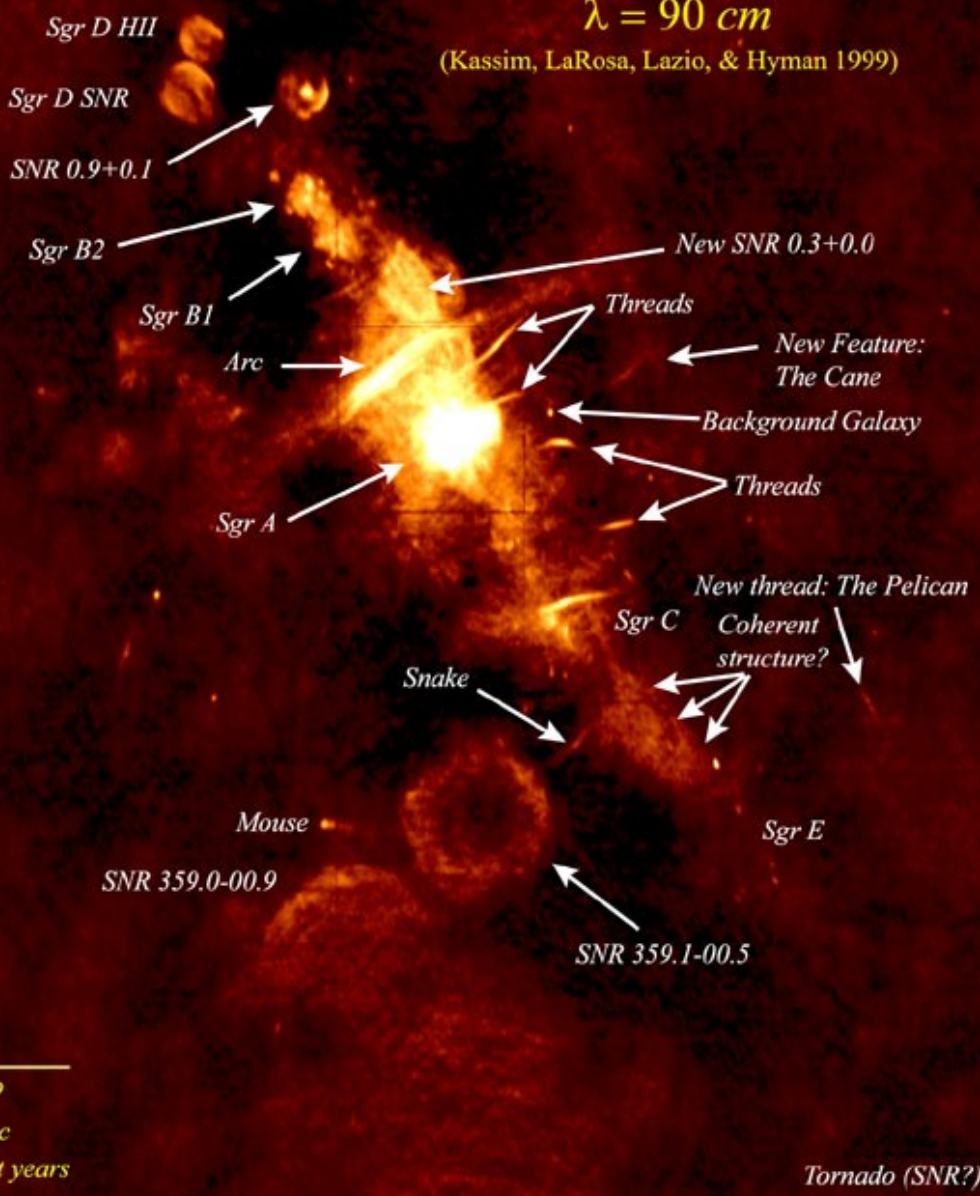




# Wide-Field Radio Image of the Galactic Center

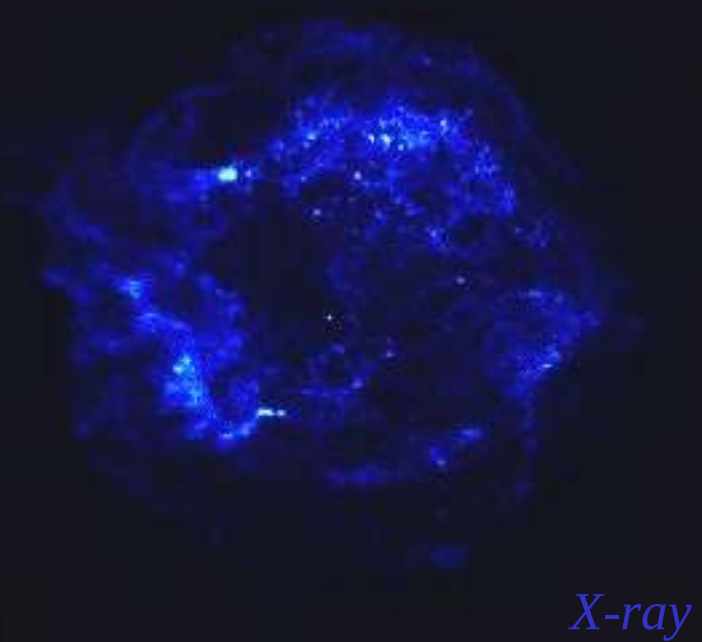
$\lambda = 90 \text{ cm}$

(Kassim, LaRosa, Lazio, & Hyman 1999)



Radio

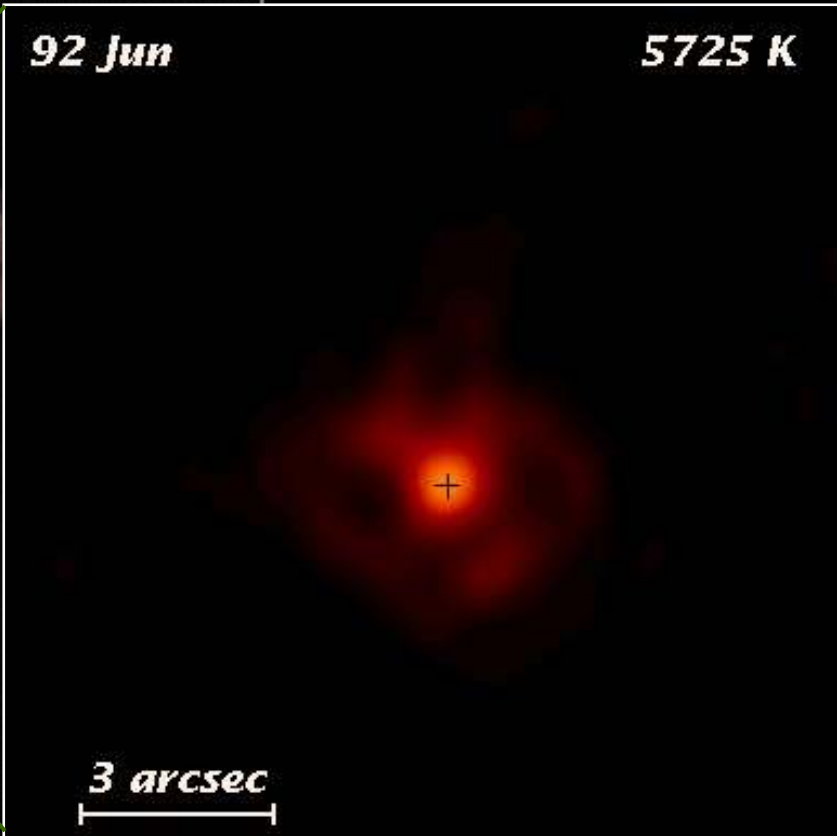
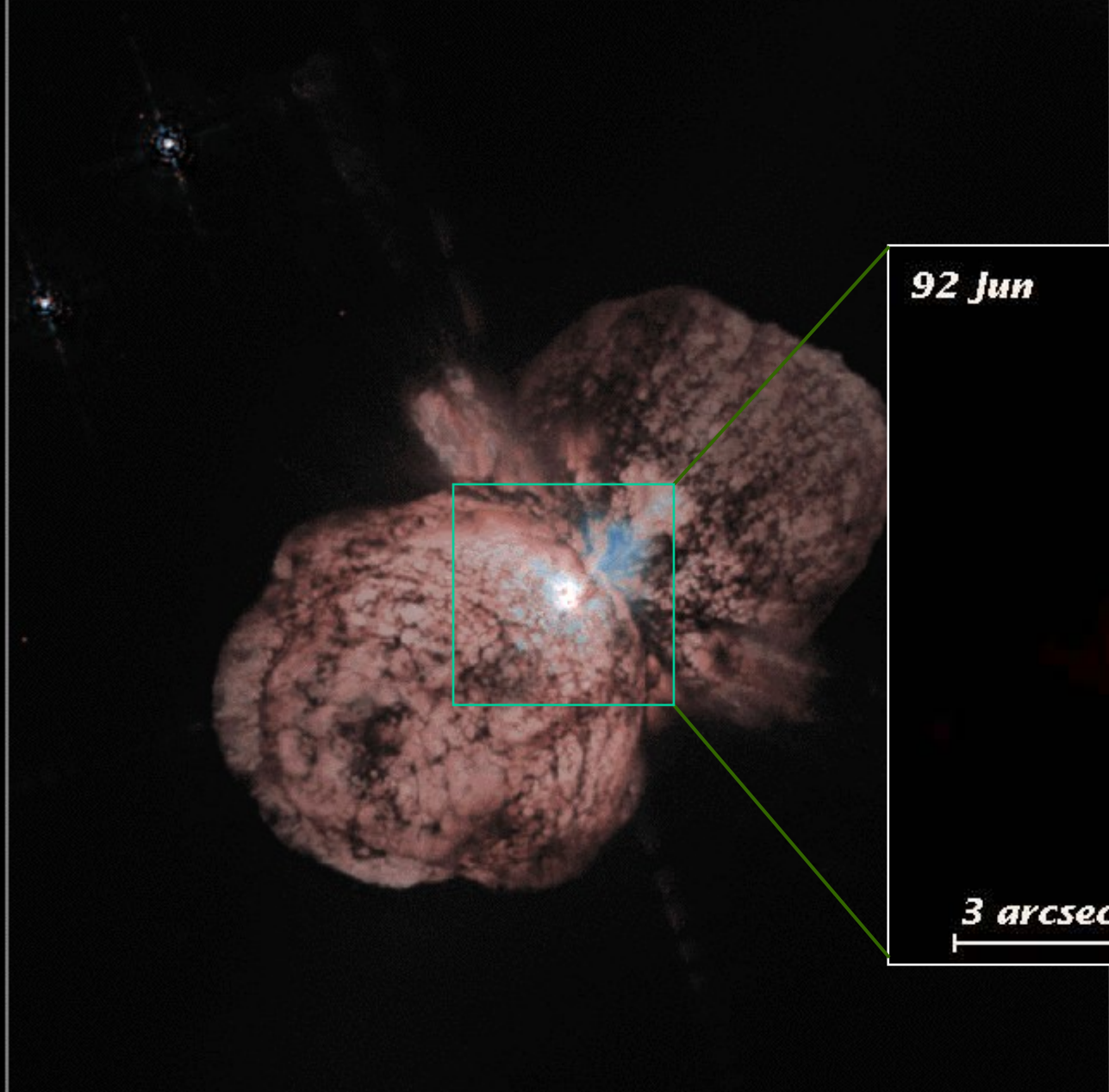
Cas A



X-ray

Image processing at the Naval Research Laboratory using DoD High Performance Computing Resources  
 Produced by N.E. Kassim, D.S. Briggs, T.J.W. Lazio, T.N. LaRosa, J. Imamura, & S.D. Hyman  
 Original data from the NRAO Very Large Array courtesy of A. Pedlar, K. Anantharamiah, M. Goss, & R. Ekers





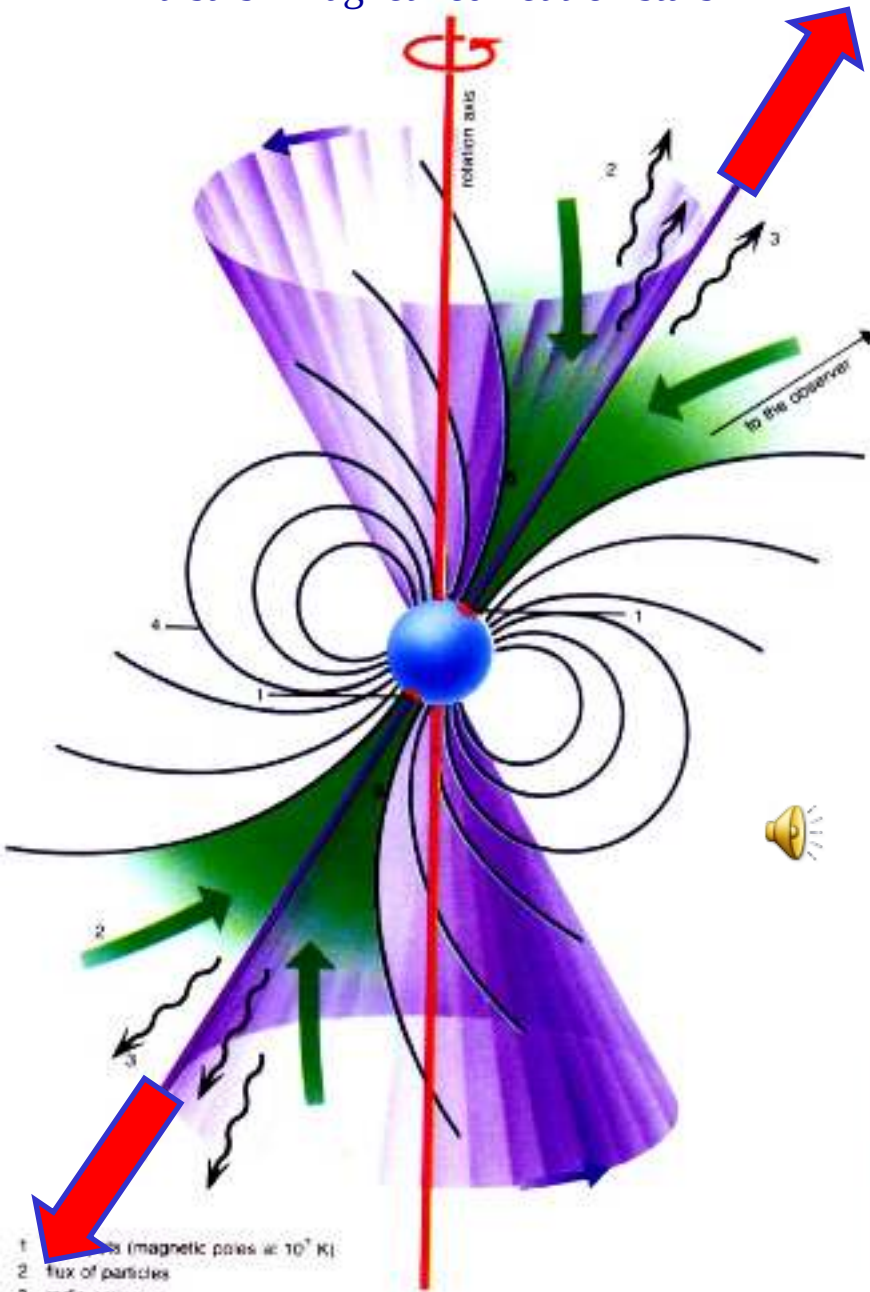
**Eta Carinae**

HST · WFPC2

*Robert Duncan,  
ATNF, Australia*

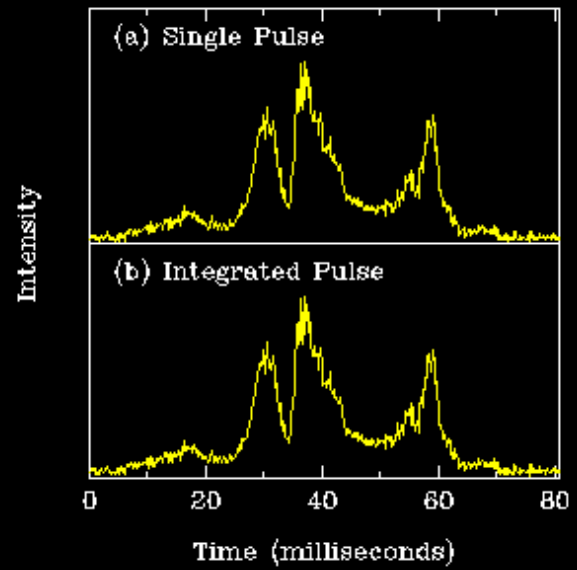
PRC96-23a · ST ScI OPO · June 10, 1996  
J. Morse (U. CO), K. Davidson, (U. MN), NASA

# Pulsars - magnetized neutron stars



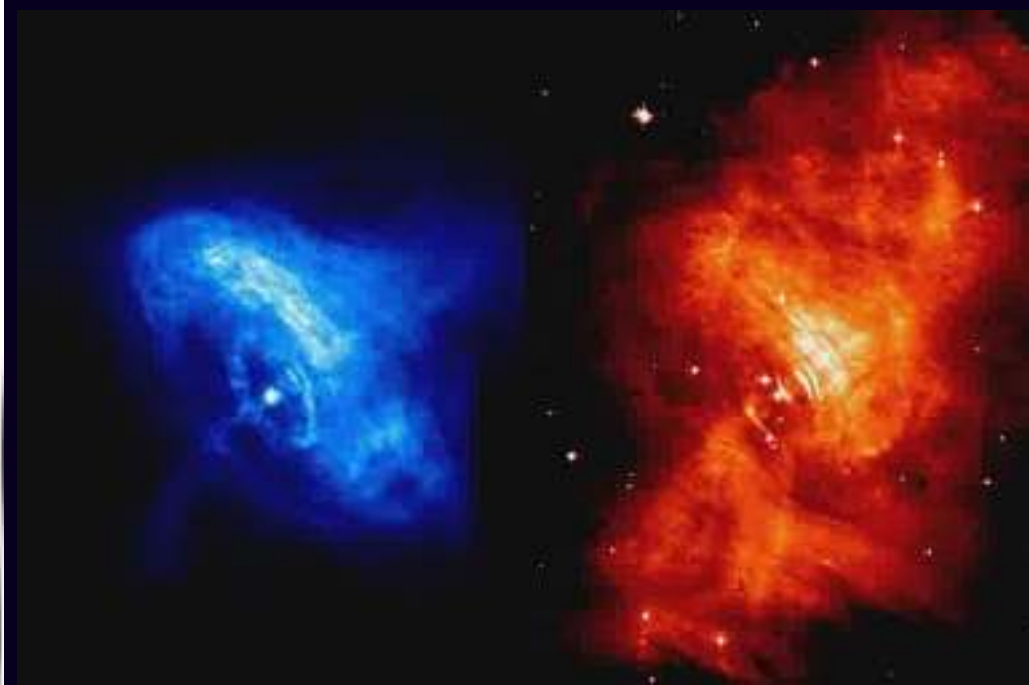
- 1 poles (magnetic poles at  $10^8$  K)
- 2 flux of particles
- 3 radio emission
- 4 magnetic force lines
- 5 accretion column

Pulse number: 1



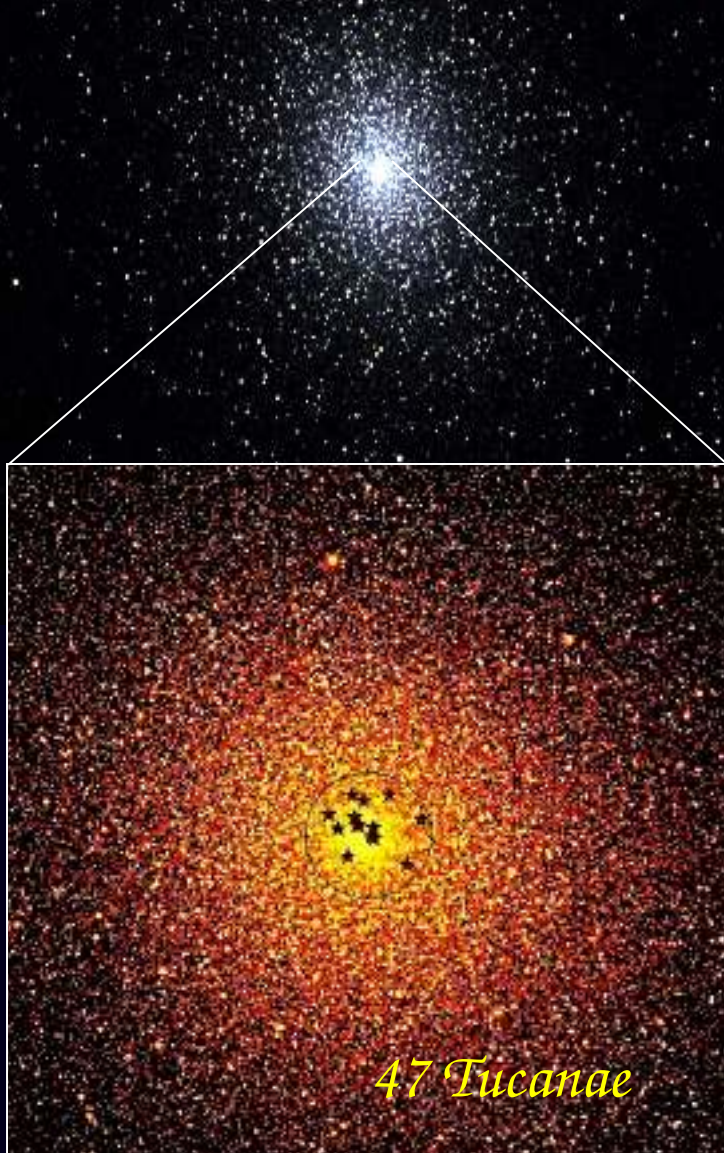
MPIfR data

X-ray image of Crab pulsar envelope

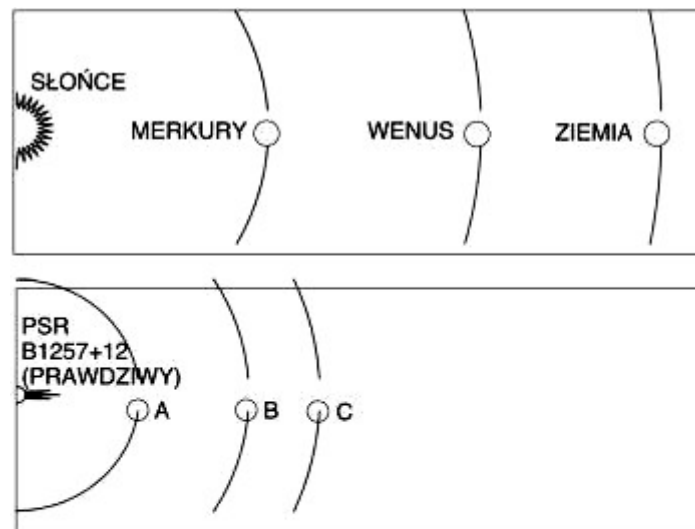




*Millisecond pulsars are  
the most precise  
astronomical clocks*

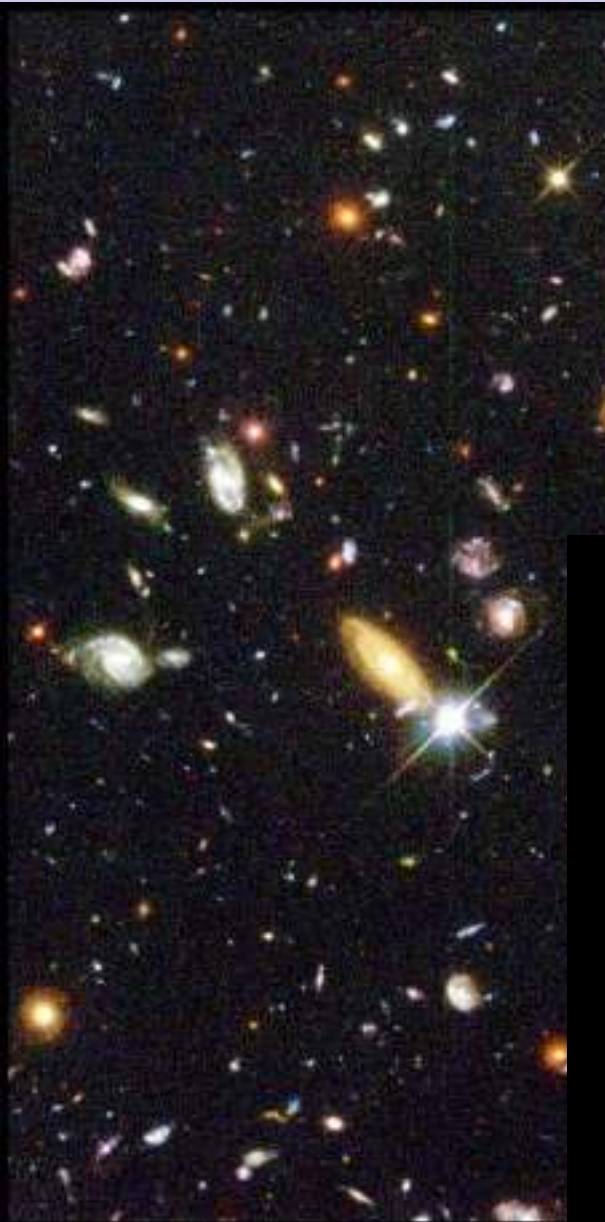


W roku 1992 Aleksander Wolszczan i Dail Frail zauważyli, że ruch PSR 1257+12 ulega zakłóceniom. Aby wyjaśnić nieregularności w ruchu "kosmicznej latarni" sformułowali hipotezę, że na ruch gwiazdy wpływają okrążające ją planety.



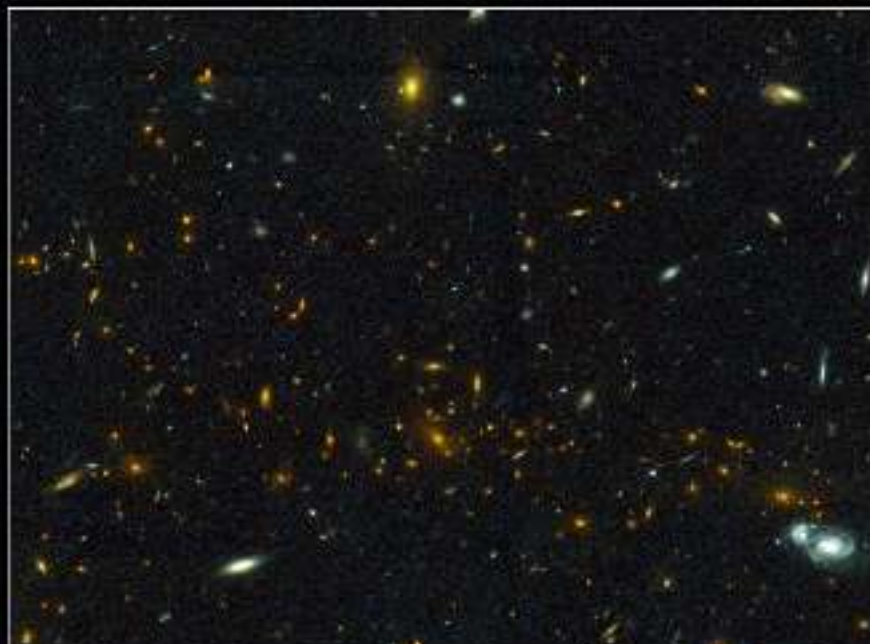


*Bilions of galaxies*

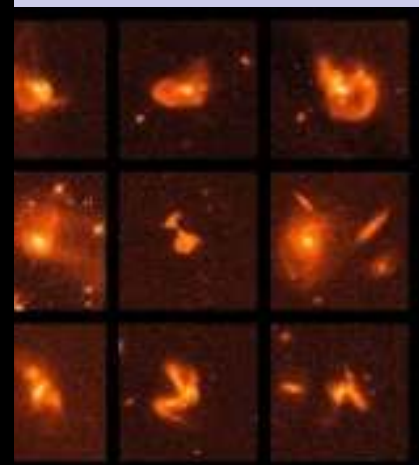


**Hubble Deep Field**

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA



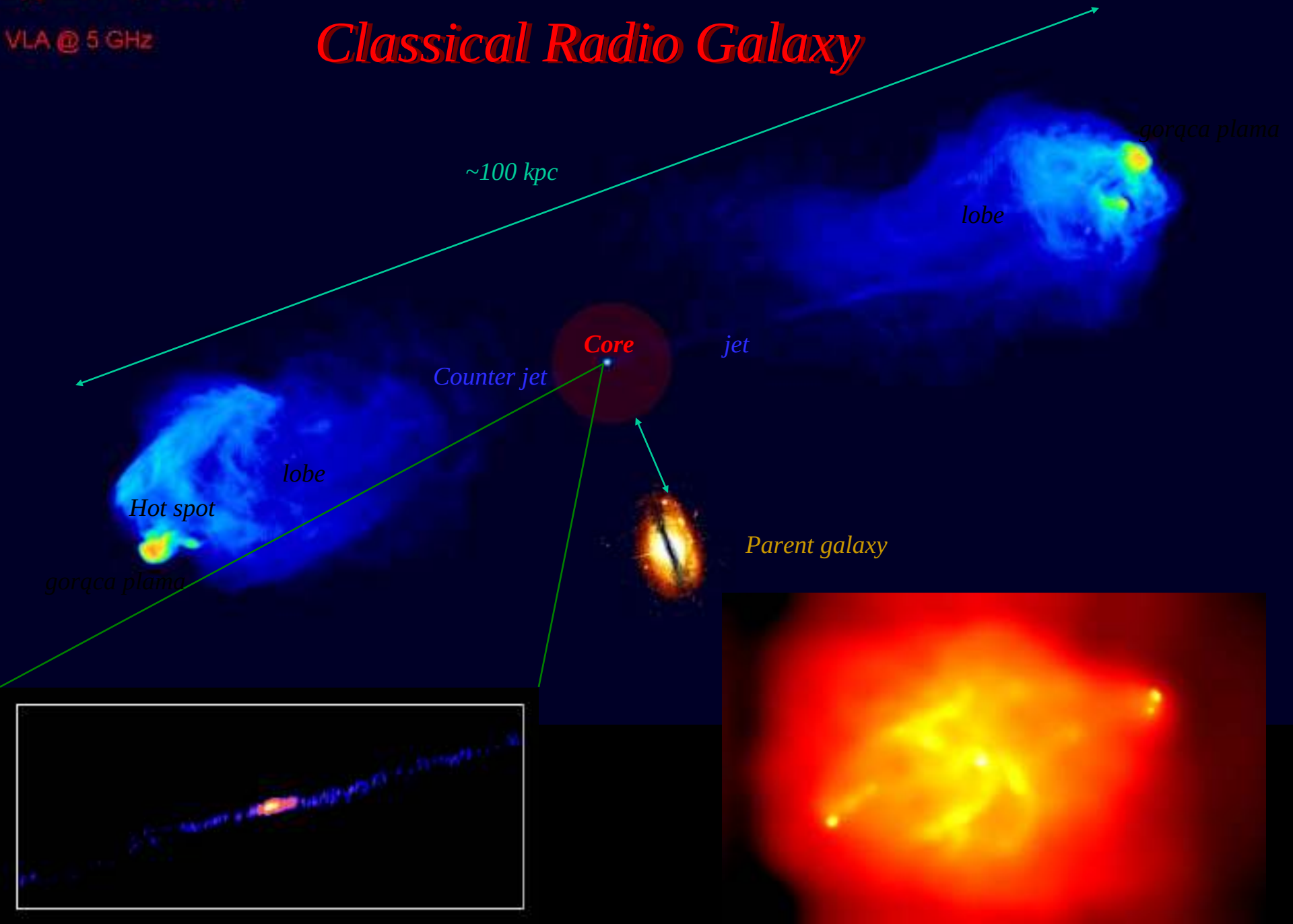
HST · WFPC2



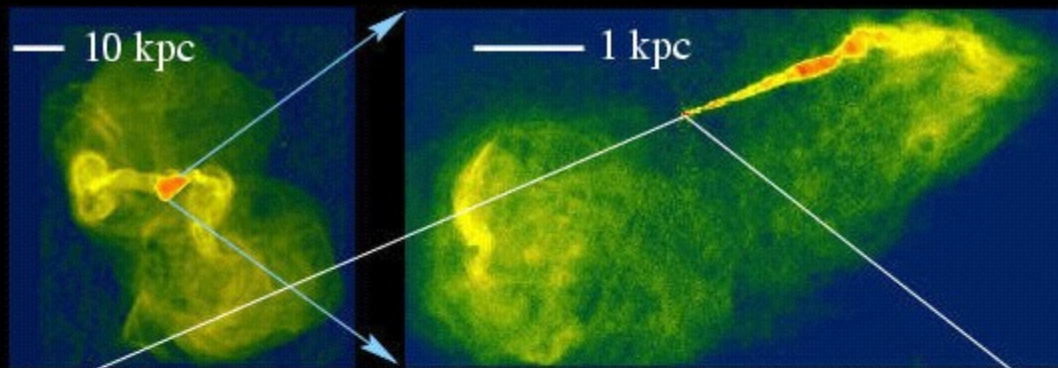
Cygnus A (3C405)

VLA @ 5 GHz

# Classical Radio Galaxy



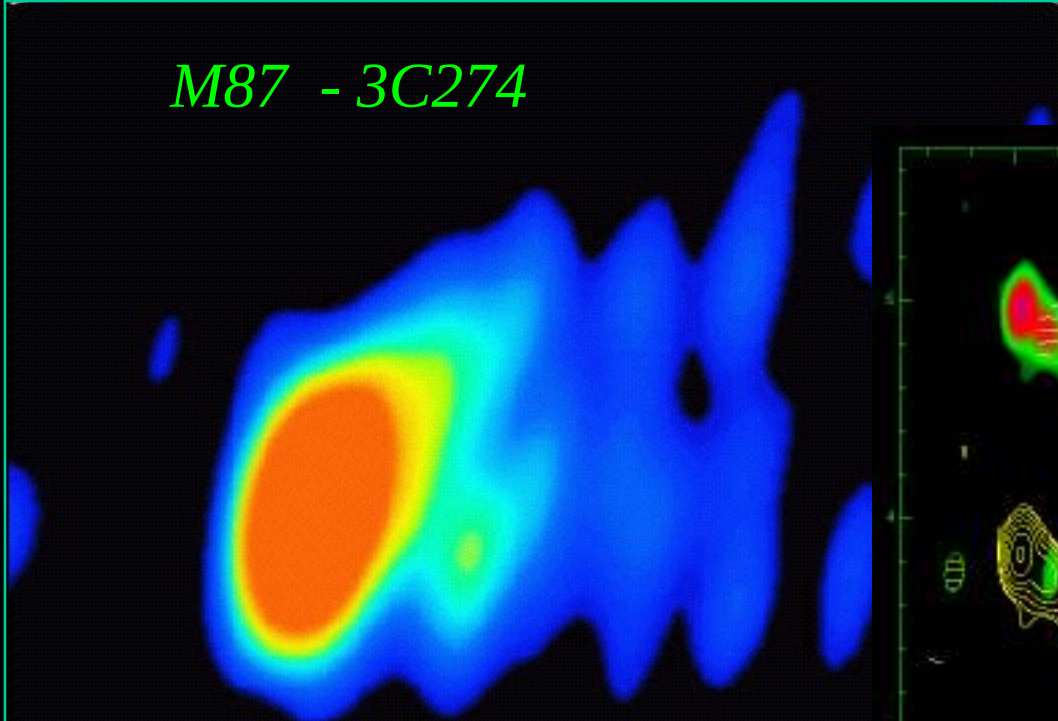




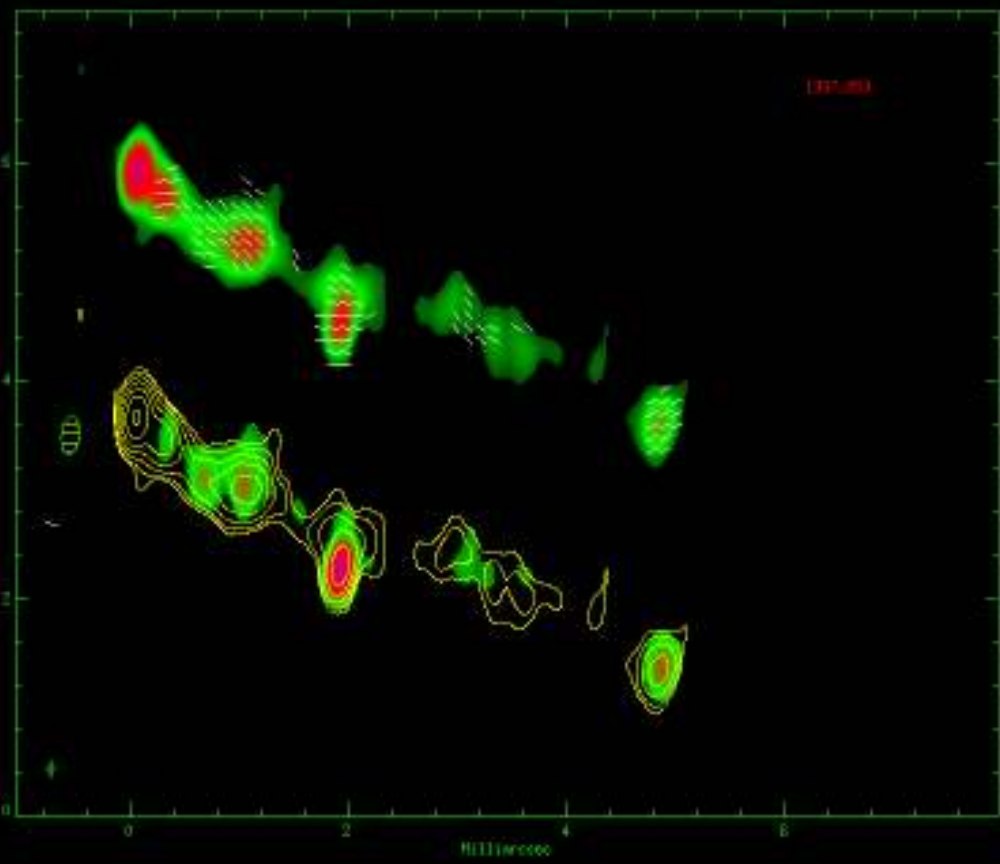
# VLBA 22 GHz Observations of 3C120

- |                                   |                    |
|-----------------------------------|--------------------|
| <i>José-Luis Gómez</i>            | <i>IAA (Spain)</i> |
| <i>Alan P. Marscher</i>           | <i>BU (USA)</i>    |
| <i>Antonio Alberdi</i>            | <i>IAA (Spain)</i> |
| <i>Svetlana Marchenko-Jorstad</i> | <i>BU (USA)</i>    |
| <i>Cristina García-Miró</i>       | <i>IAA (Spain)</i> |

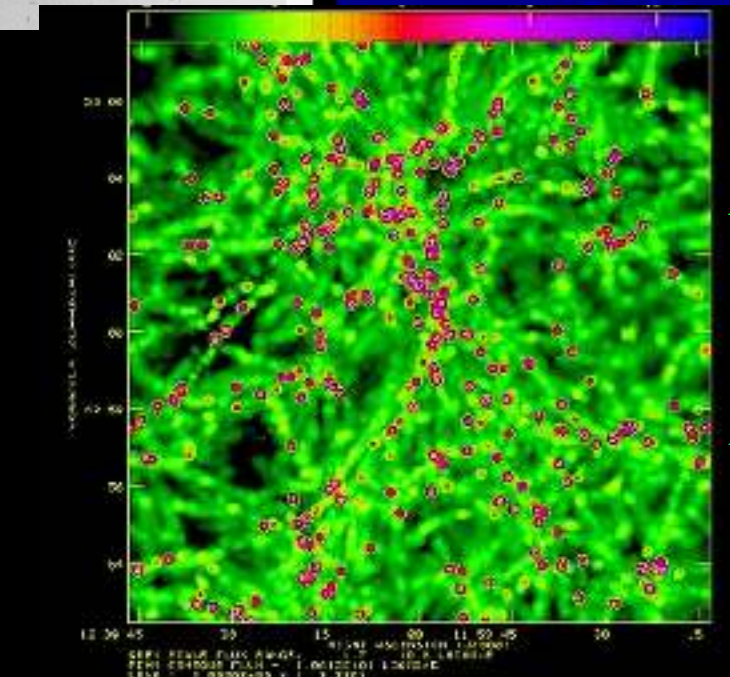
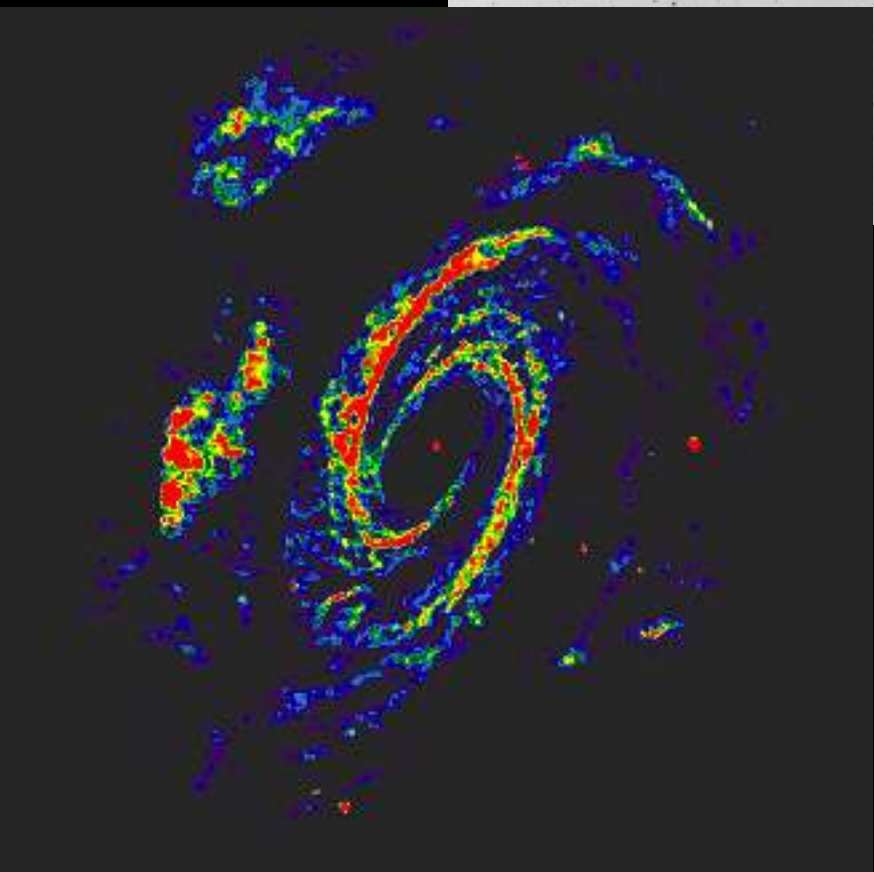
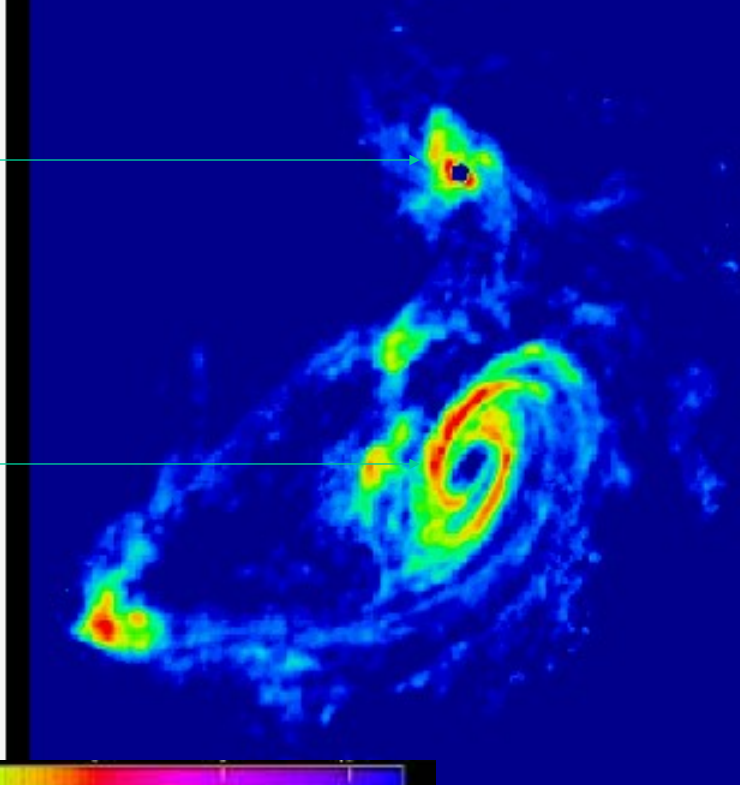
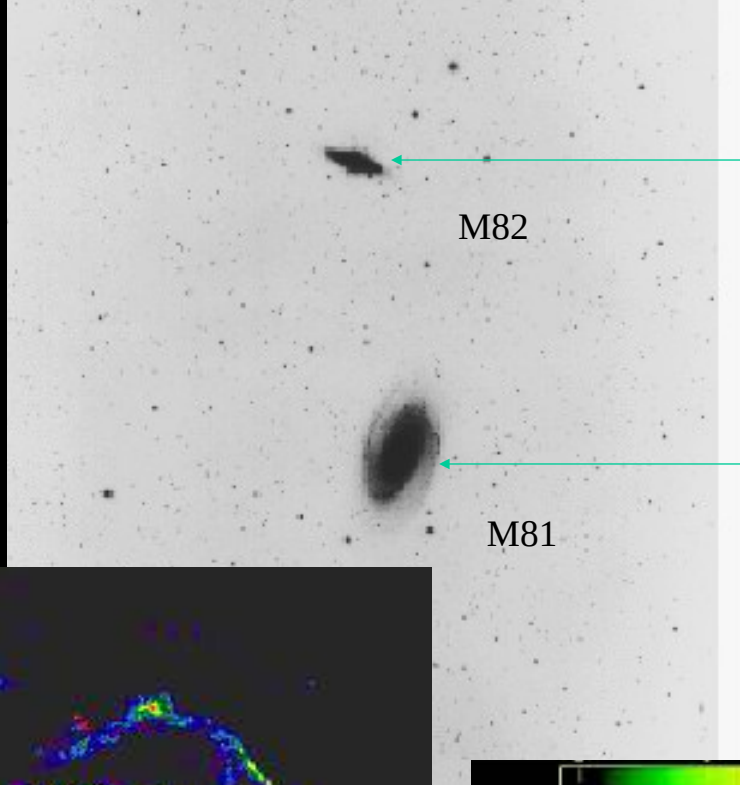
*M87 - 3C274*



*M87 radio jet – VLBI image*



*Neutralny  
wodór wokół  
M81 & M82*

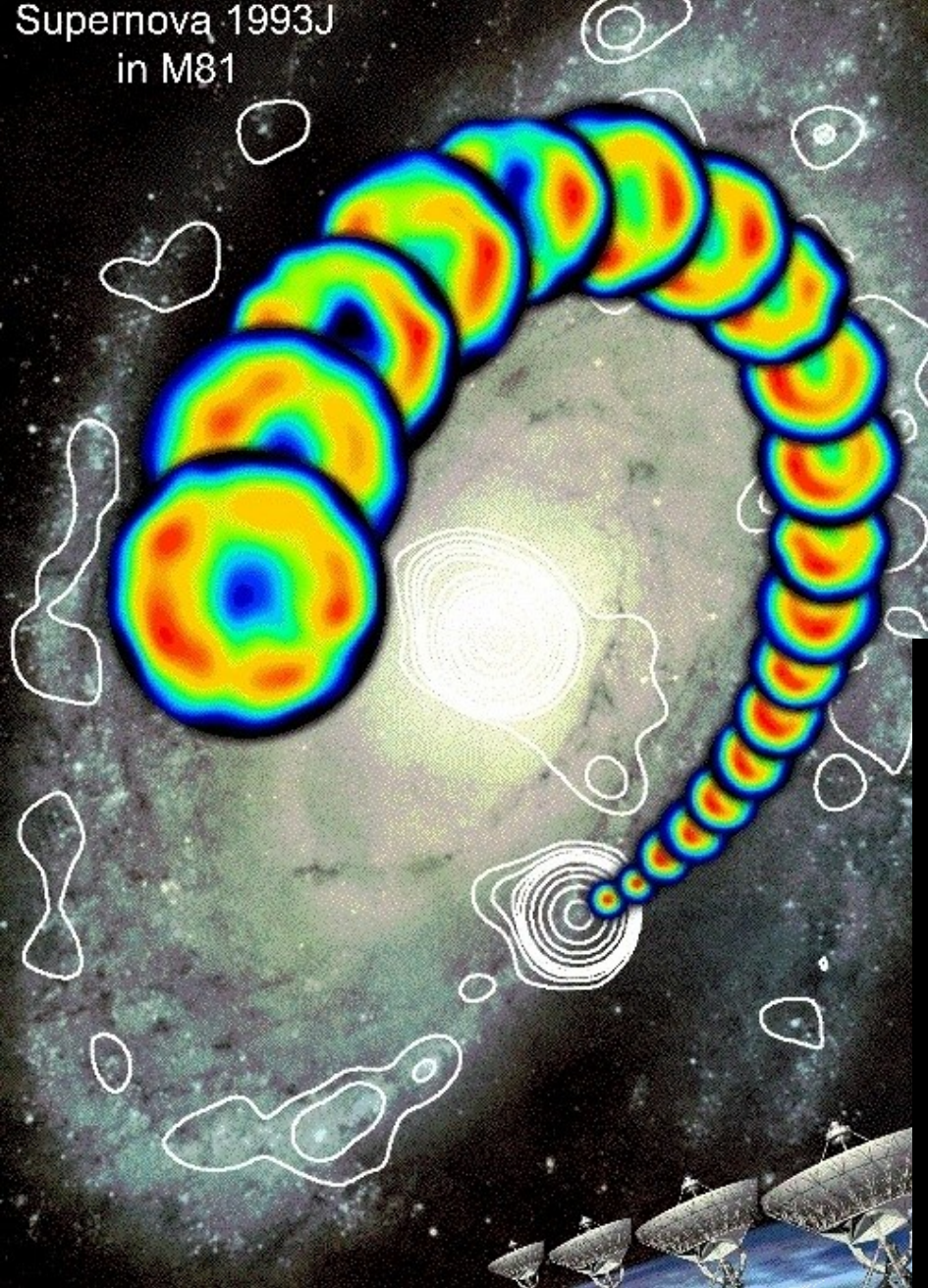


*HI distribution  
simulation  
for  $z = 2$*

*Robert Braun  
NFRA*



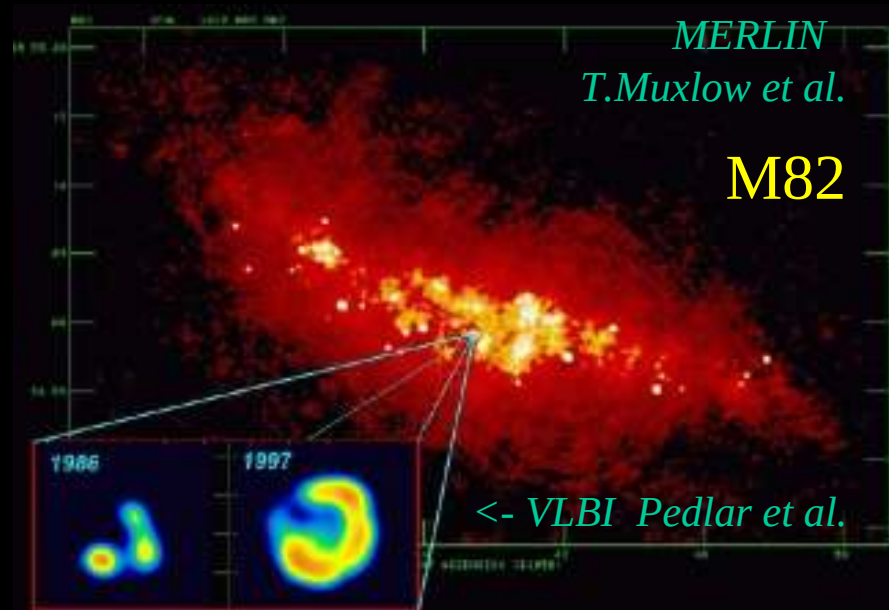
Supernova 1993J  
in M81



SN 1993j, Michael Rupen et al.

MERLIN  
T.Muxlow et al.

M82



## SN1993J in M81 VLBI Observations

J.M. Marcaide, A. Alberdi, E. Ros,  
et al.

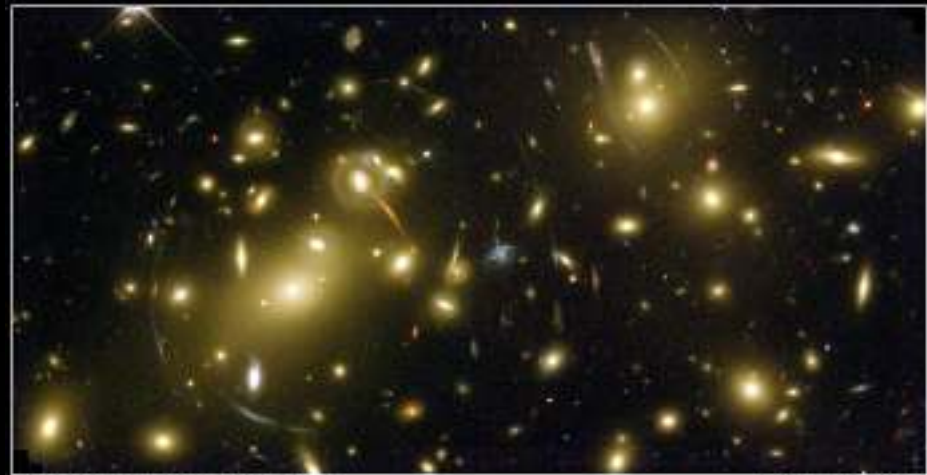
© J.M. Marcaide, Universitat de València, 2000



# Gravitational lensing



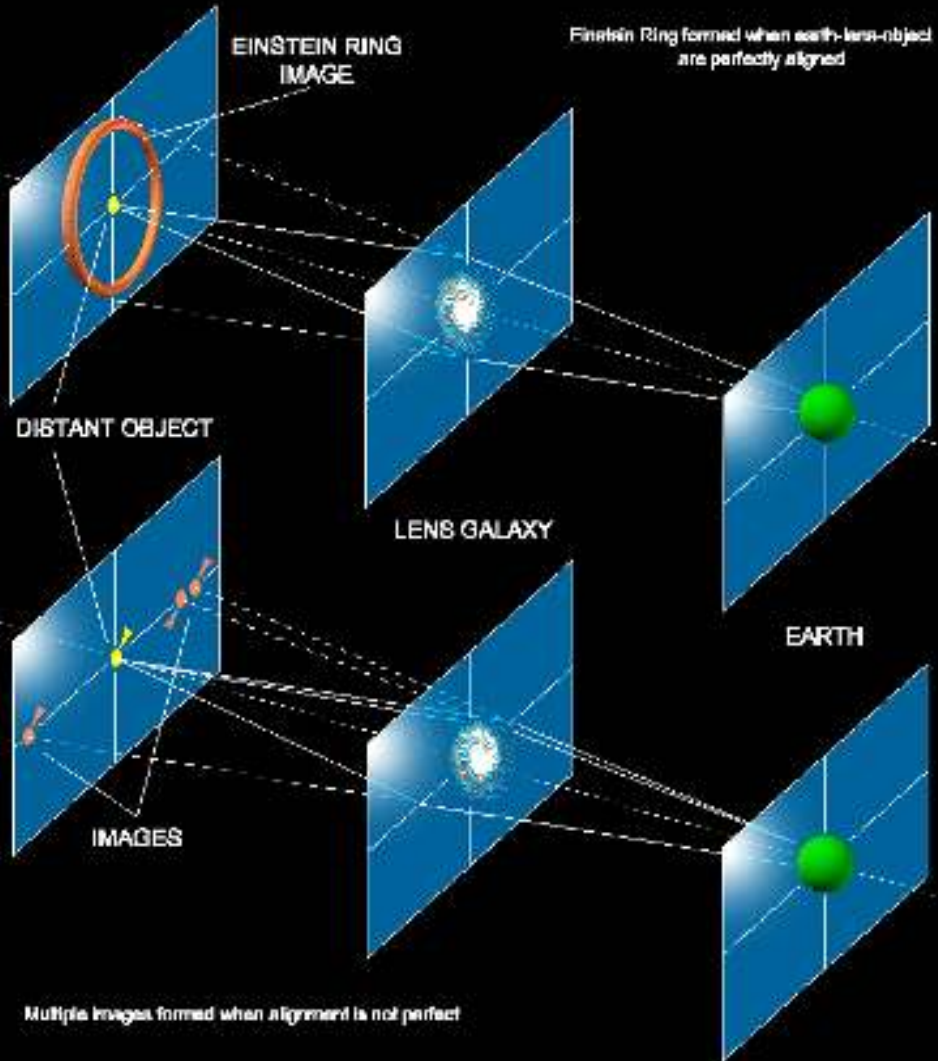
Einstein Ring formed when earth-lens-object are perfectly aligned



Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) + STScI-PROJ01-08

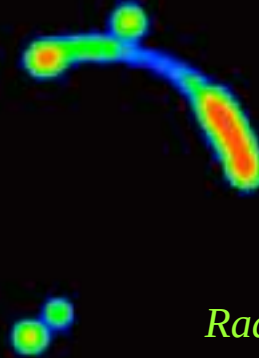


Multiple images formed when alignment is not perfect

Optical image



1938+666  
Einstein ring



Radio image from MERLIN

Winkilson and Browne of Jodrell Bank





# HORN ANTENNA

HAS BEEN DESIGNATED A

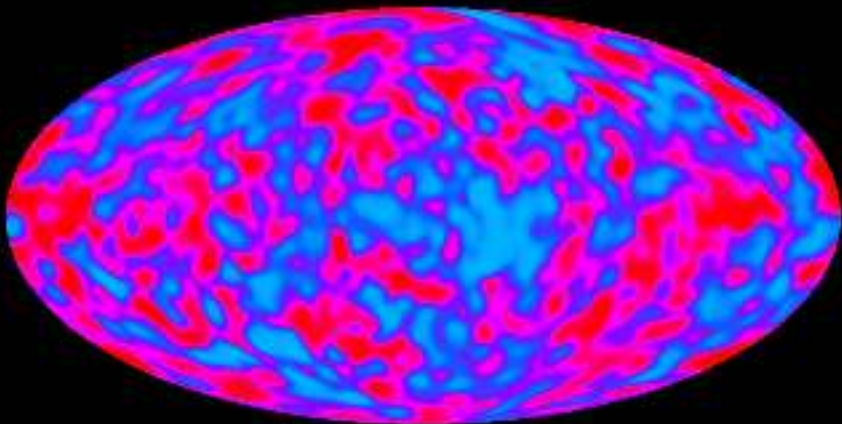
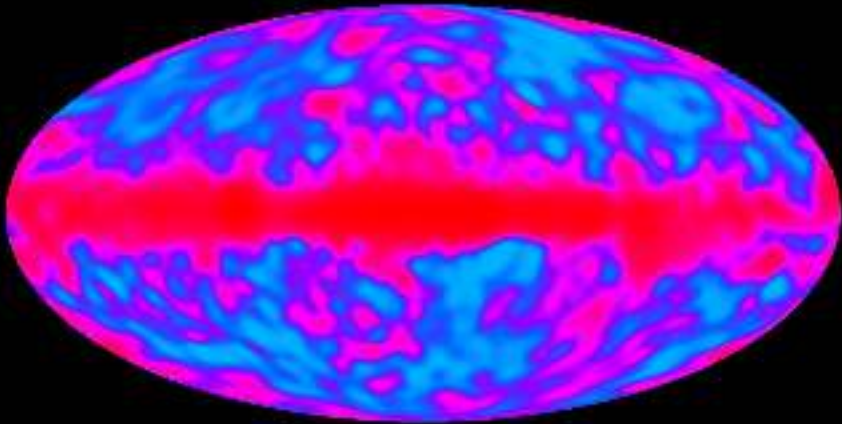
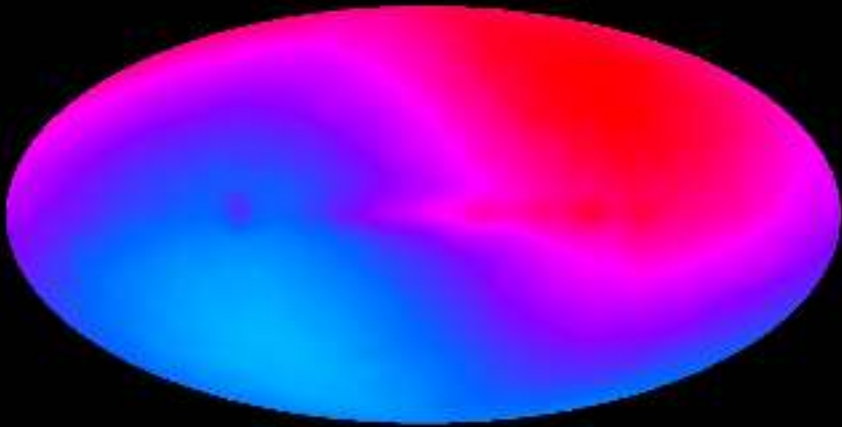
NATIONAL HISTORIC LANDMARK

THIS SITE POSSESSES NATIONAL SIGNIFICANCE  
IN COMMEMORATING THE HISTORY OF THE UNITED  
STATES OF AMERICA. SCIENTISTS ARNO PENZIAS  
AND BOB WILSON WITH THE ANTENNA FOUND THE  
EVIDENCE CONFIRMING THE "BIG BANG" THEORY  
OF THE CREATION OF THE UNIVERSE. FOREVER  
WARDING THE BORDERS OF KNOWLEDGE.

1989

NATIONAL PARK SERVICE  
UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR

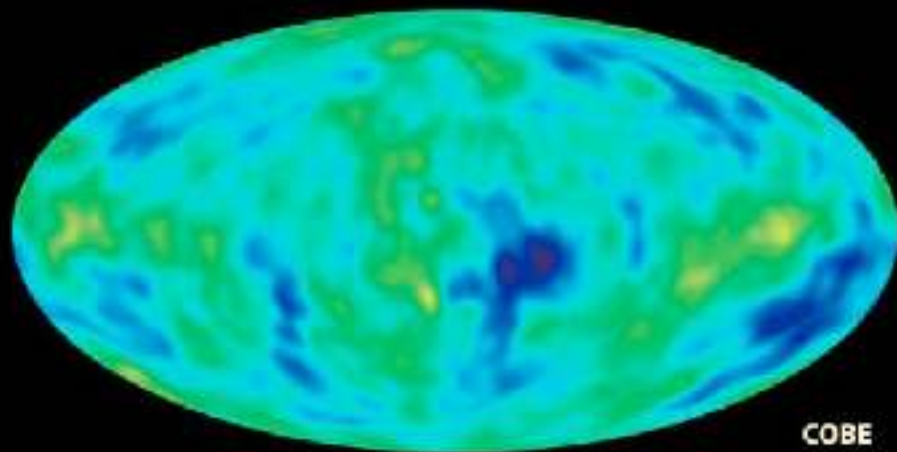
*2.7 K CMB*



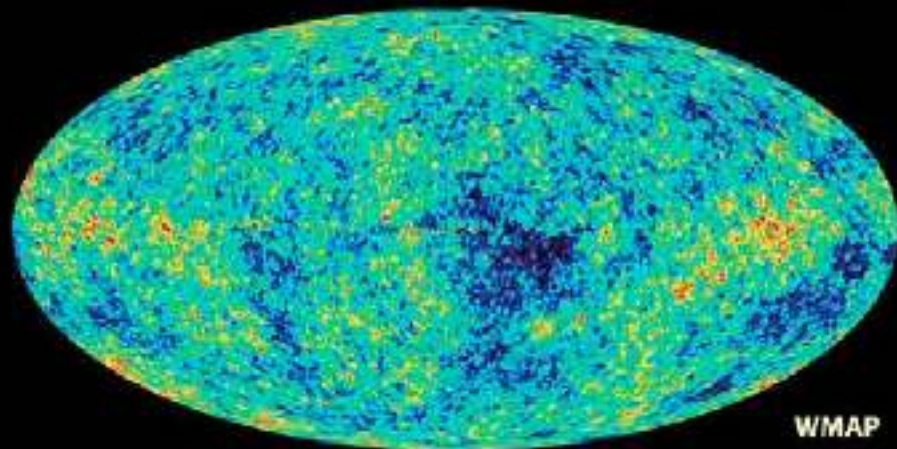
***Big Bang !!!***  
*and formation of galaxies*



# Measuring anisotropies on different scales

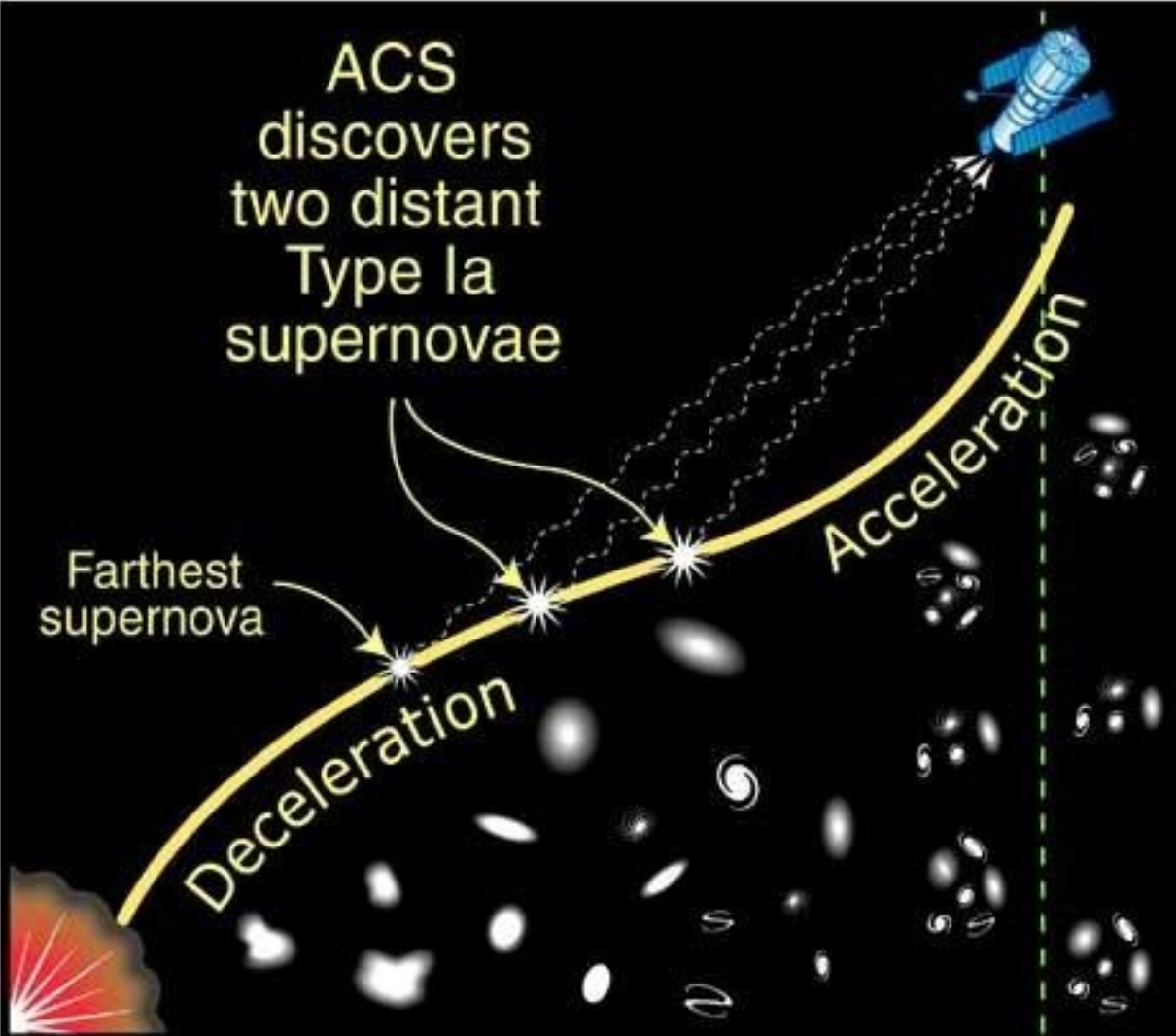


COBE was sensitive to angular scales in the range 10 - 90 degrees

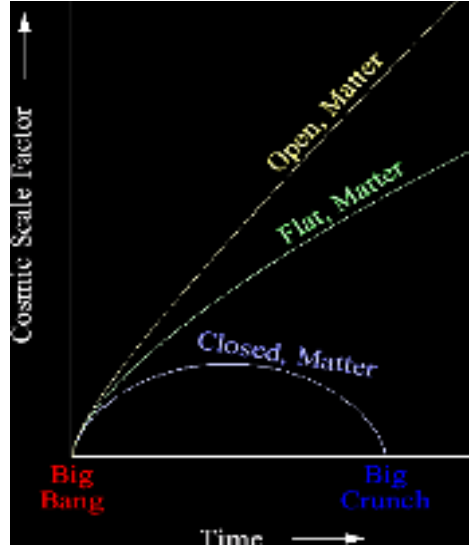


WMAP probed scales as small as 0.3 degrees

Expansion of universe



Big Bang      10 billion years ago      5 billion years ago      Today





# Table 1: Molecules in space

Detected cosmic molecules in interstellar and circumstellar environments (adapted from Wootten 2001).

Diatomic	Triatomic	4 atoms	5 atoms	6 atoms	7 atoms	8 atoms	9 atoms	10 atoms	11 atoms	13 atoms
H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	c-C <sub>3</sub> H	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> H	C <sub>6</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>5</sub> N	HC <sub>9</sub> N	HC <sub>11</sub> N
AlF	C <sub>2</sub> H	l-C <sub>3</sub> H	C <sub>4</sub> H	l-H <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> CHCN	HCOOCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO		
AlCl	C <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> N	C <sub>4</sub> Si	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H	CH <sub>3</sub> COOH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH		
C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> O	l-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> CN	HC <sub>5</sub> N	C <sub>7</sub> H	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH			
CH	CH <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> NC	HCOCH <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> OHCHO	HC <sub>7</sub> N			
CH <sup>+</sup>	HCN	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>3</sub> OH	NH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>		C <sub>8</sub> H <sup>+</sup>			
CN	HCO	CH <sub>2</sub> D <sup>+</sup>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> SH	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O					
CO	HCO <sup>+</sup>	HCCN	HC <sub>3</sub> N	HC <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> CHO					
CO <sup>+</sup>	HCS <sup>+</sup>	HCNH <sup>+</sup>	HC <sub>2</sub> NC	HC <sub>2</sub> CHO						
CP	HOC <sup>+</sup>	HNCO	HCOOH	NH <sub>2</sub> CHO						
CSi	H <sub>2</sub> O	HNCS	H <sub>2</sub> CHN	C <sub>5</sub> N						
HCl	H <sub>2</sub> S	HOCO <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O							
KCl	HNC	H <sub>2</sub> CO	H <sub>2</sub> NCN							
NH	HNO	H <sub>2</sub> CN	HNC <sub>3</sub>							
NO	MgCN	H <sub>2</sub> CS	SiH <sub>4</sub>							
NS	MgNC	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> COH <sup>+</sup>							
NaCl	N <sub>2</sub> H <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>								
OH	N <sub>2</sub> O	SiC <sub>3</sub>								
PN	NaCN									
SO	OCS									
SO <sup>+</sup>	SO <sub>2</sub>									
SiN	c-SiC <sub>2</sub>									
SiO	CO <sub>2</sub>									
SiS	NH <sub>2</sub>									
CS	H <sub>3</sub> <sup>+</sup>									
HF	SiCN									
SH										

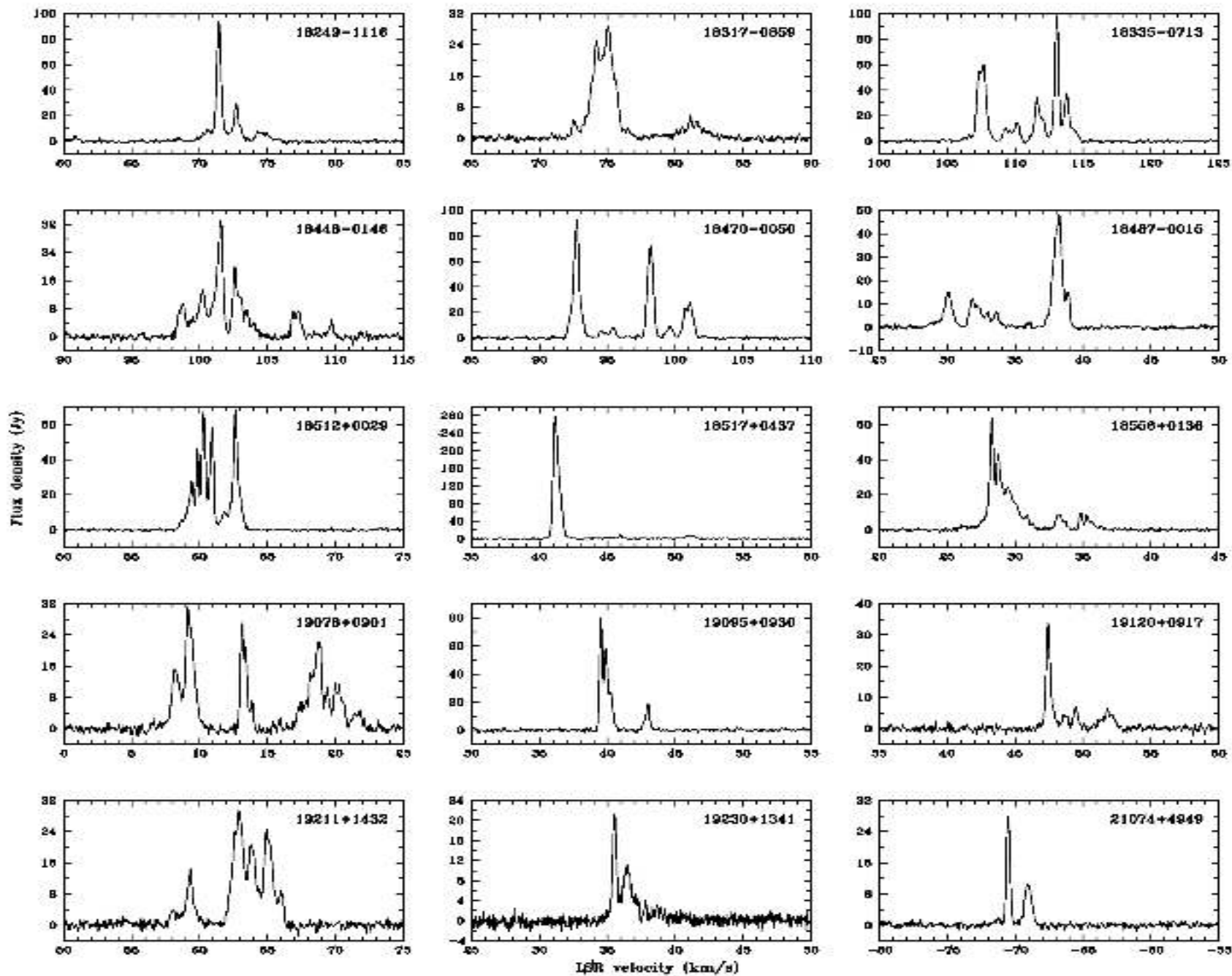
*Kosmiczne Masery*

*OH*

*H<sub>2</sub>O*

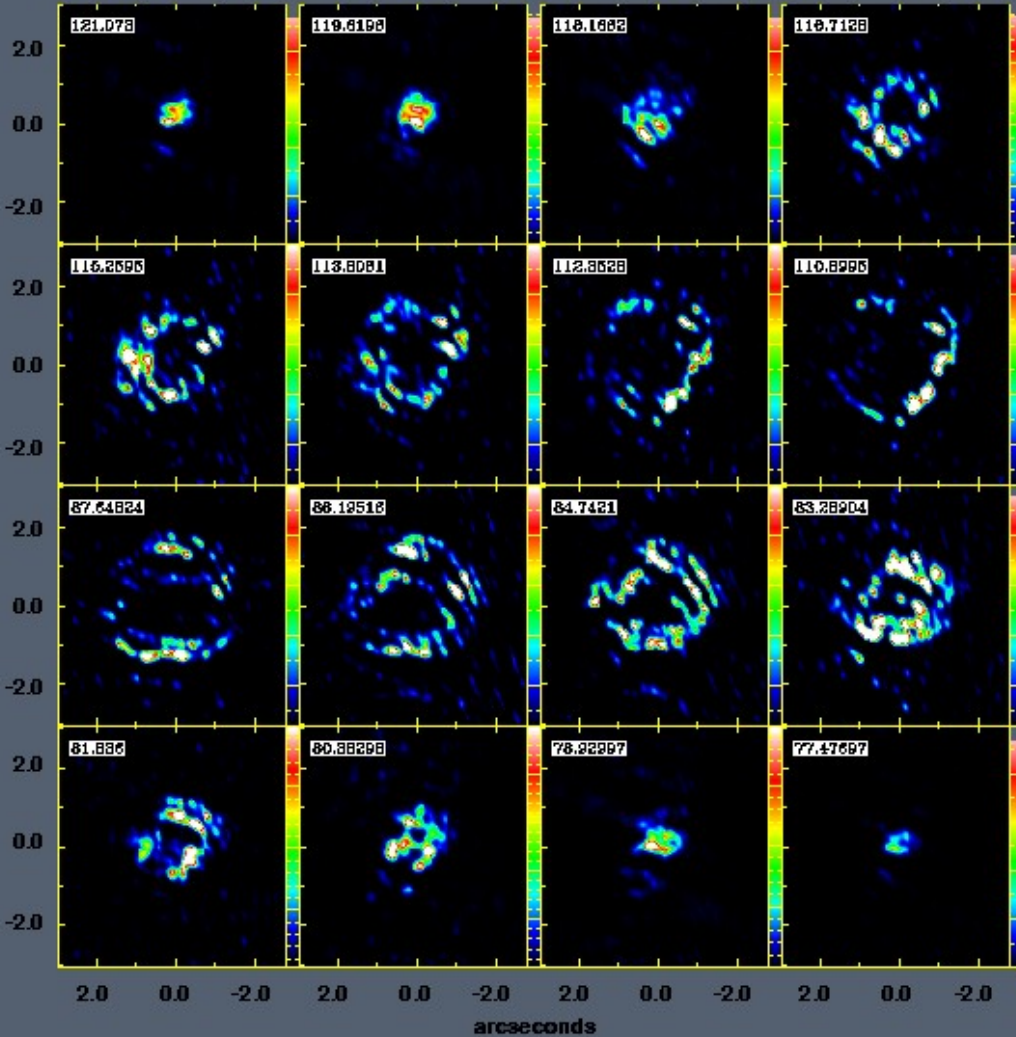
*SiO*

*CH<sub>3</sub>OH*





OH 30.1 18 cm OH Masers MERLIN



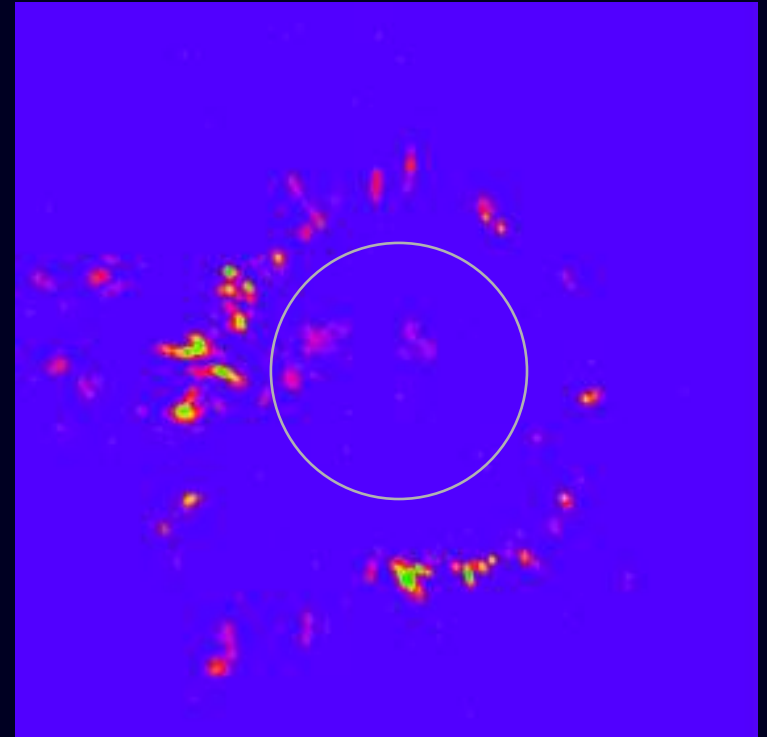
Images made by Chapman (ATNF) at Jodrell Bank with MERLIN telescopes

$OH$

$H_2O$

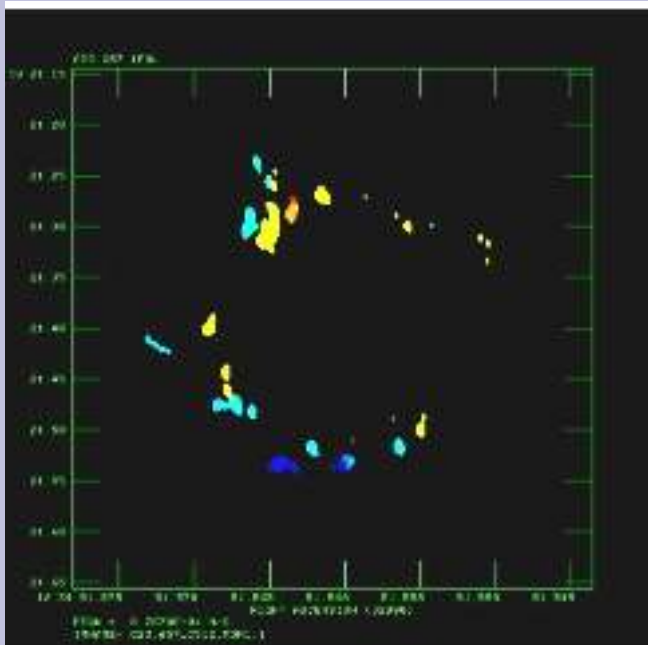
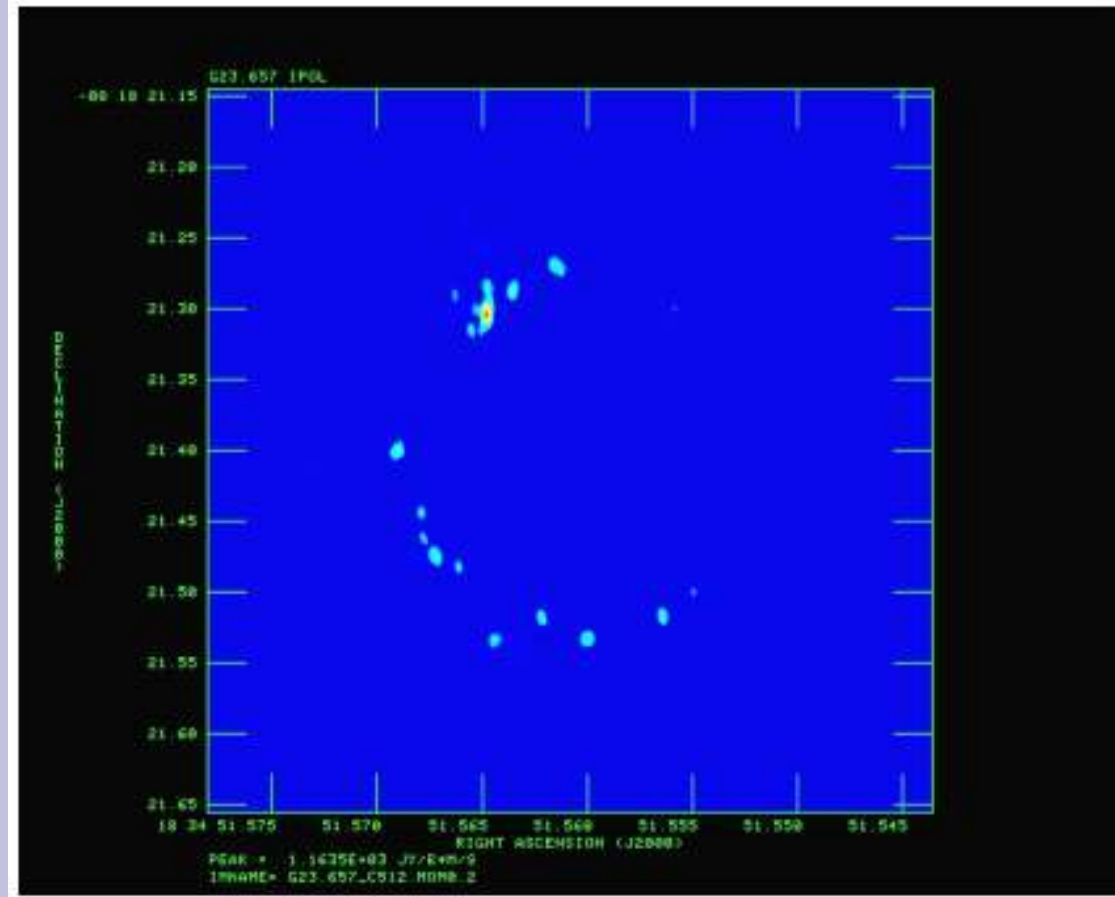
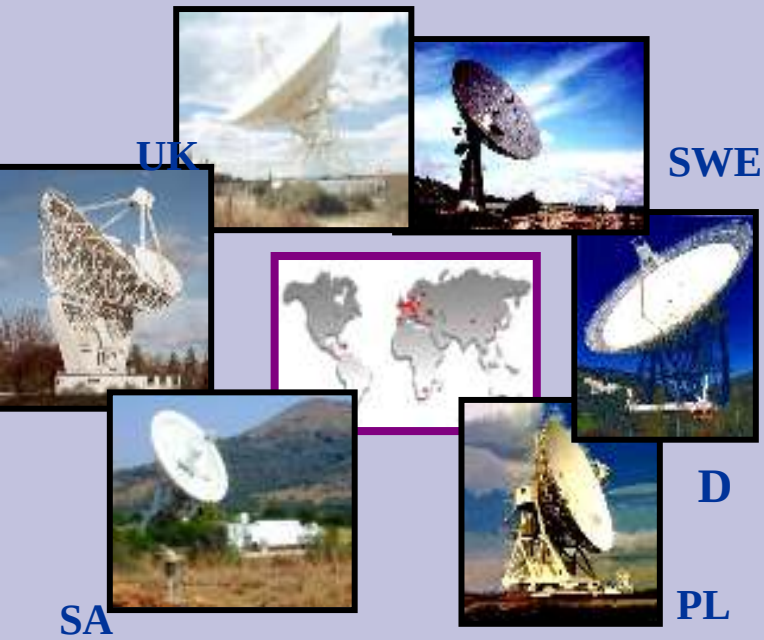
*3D tomografia  
atmosfer gwiazd*

stellar disk



*Evolution of SiO masers in TX Cam  
Diamond and Kambal*

$SiO$

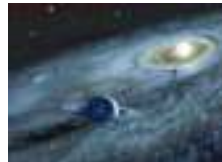


*G23.657 methanol maser*



# Równanie Drake'a

Frank Drake



$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

# of advanced civilizations we can contact

Rate of formation of Sun-like stars

Fraction of stars with planets

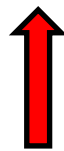
# of Earthlike planets per system

Fraction on which life arises

Fraction that evolve intelligence

Fraction that communicate

Lifetime of advanced civilizations



# *It has a rich history of discovery*

- *Over the past 50yr*

- *Pulsars*



- *Microwave Background*



- *Cosmic Evolution*



- *Dark Matter in galaxies*

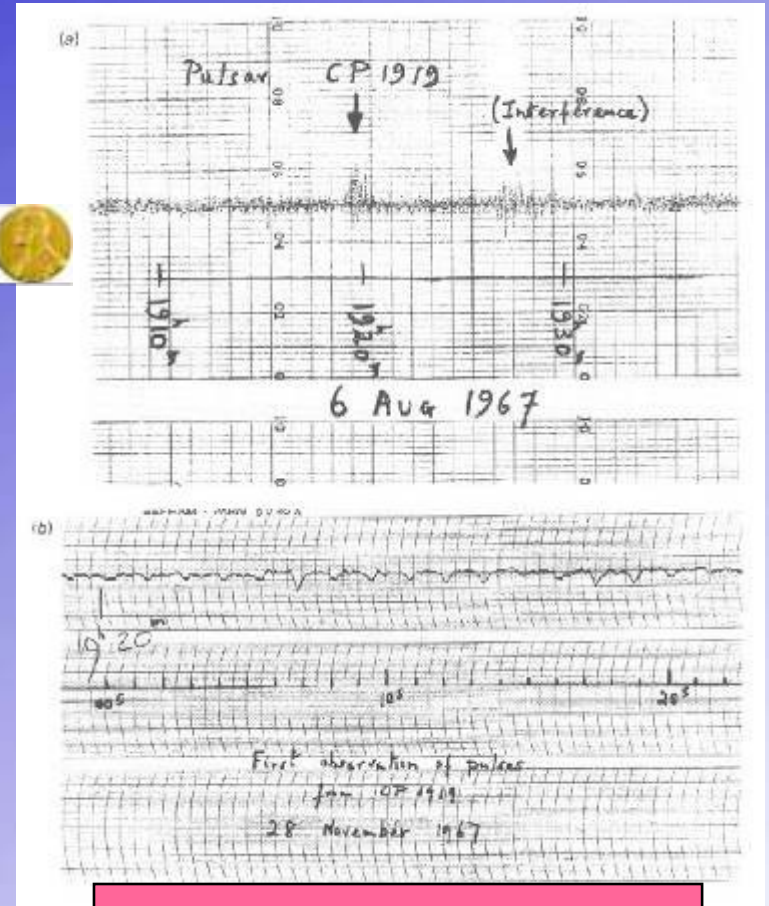
- *Quasars*

- *Jets + Superluminal motion*

- *Gravitational Radiation*

- *Aperture Synthesis*

- *First exoplanets (AW)*



The Discovery of Pulsars



# Nagrody Nobla

- 1974 *M.Ryle, A.Hewish*
- 1978 *A.Penzias, R.Wilson*
- 1983 *S.Chandrasekhar, W.Fowler*
- 1993 *R.Hulse, J.Taylor*
- 2002 *R.Giacconi*
- 2006 *J.Mather, G.Smoot*
- 2011 *S.Perlmutter, B.Schmidt, A.Riess*
- 2013 (?)

Radioastronomia (8)

Astrofizyka, X-ray (6)

# *Praktyczne zastosowania rozwój technologii*

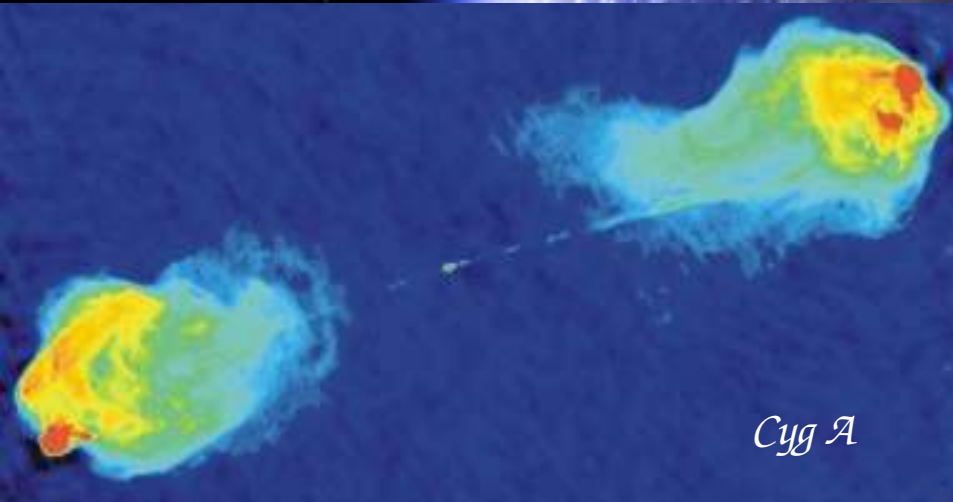
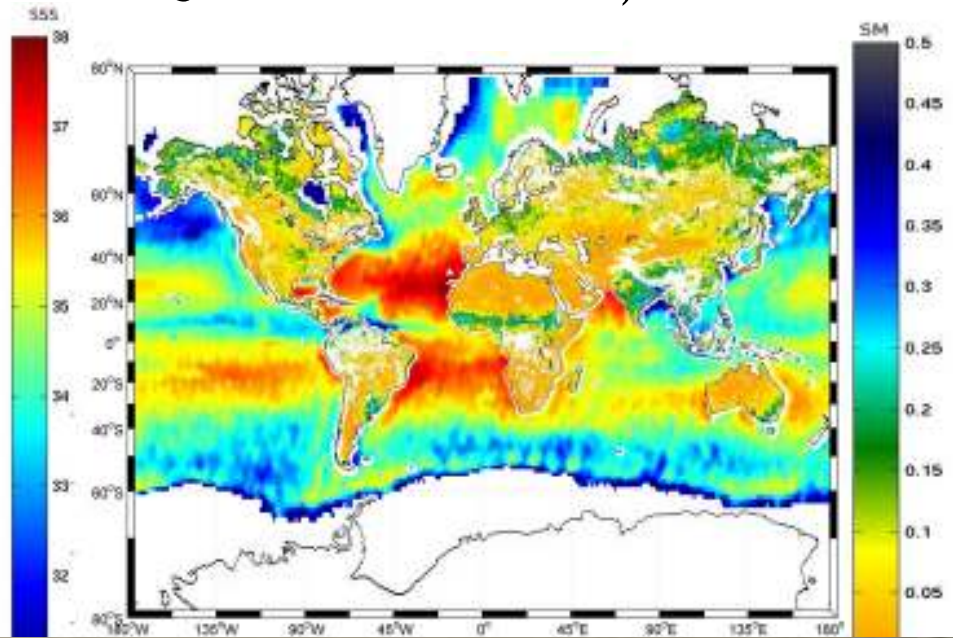
- *Techniki antenowe*
- *Ultra niskoszumowe wzmacniacze*
- *Radiometry*
- *Zdalne pomiary (Remote sensing)*
- *Interferometria IVS (geodezja)*
- *Nawigacja (na Ziemi i w kosmosie)*
- *GPS*
- *Telewizja satelitarna*
- *Przetwarzanie danych, nowe metody*



# Praktyczne zastosowania technik radioastronomicznych



ESA *SMOS*



*Cyg A*

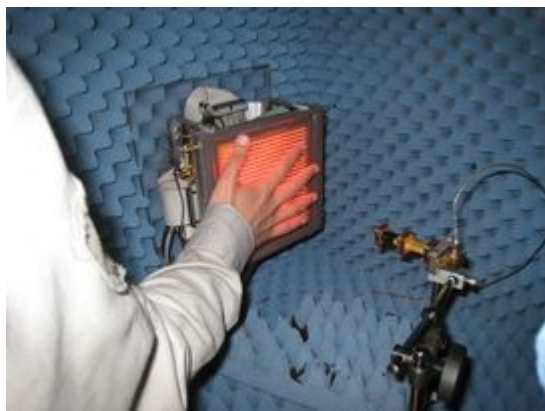


*VLA* USA



# *Practical applications of radio astronomy techniques*

*camery mikrofalowe, skanery, radiometry,  
Telekomunikacja, TV-sat*



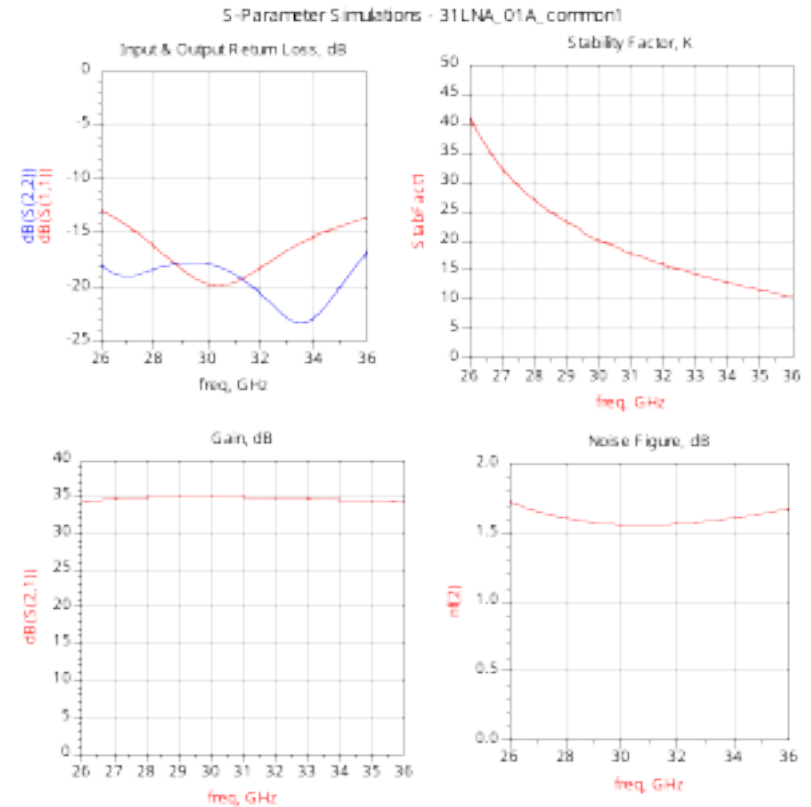
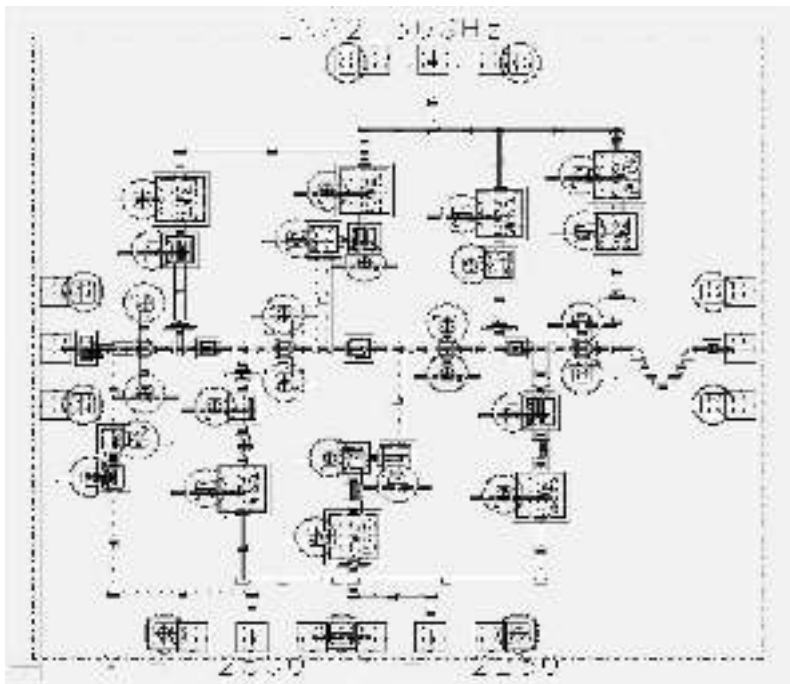


*matryca OCRA-f*



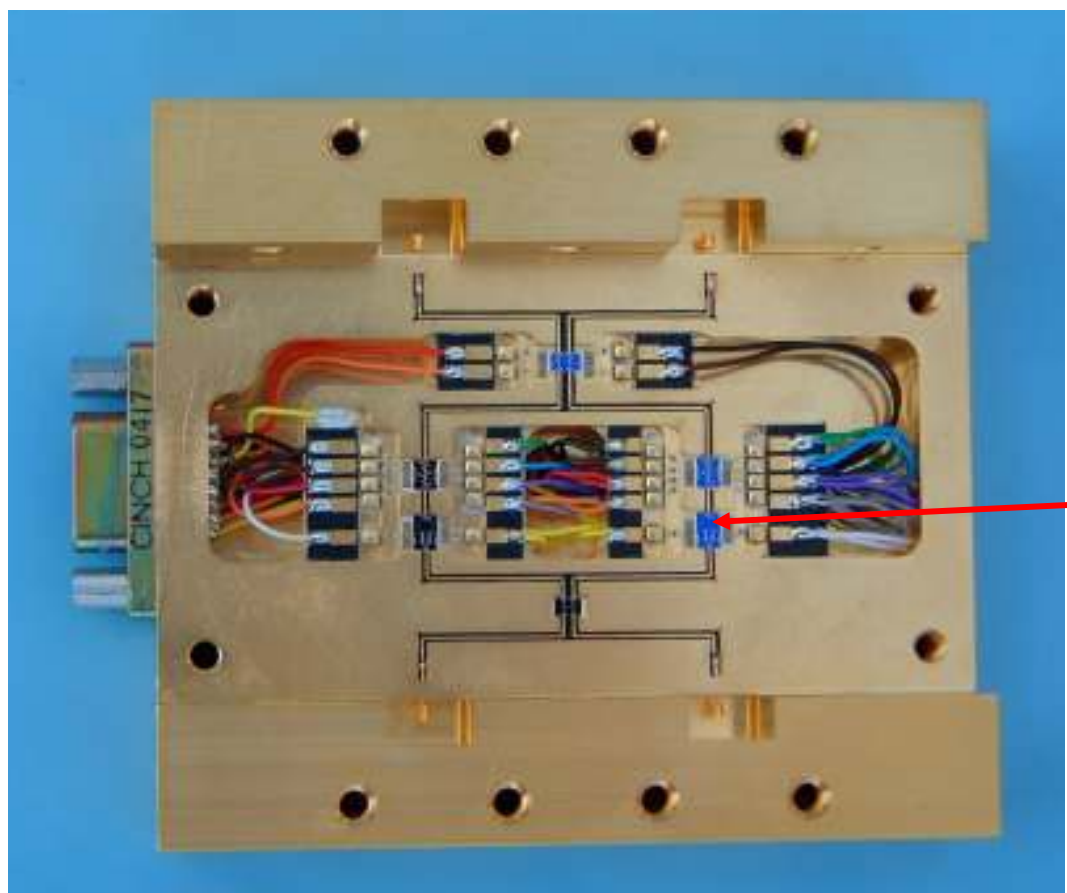
# Chip designs for 2<sup>nd</sup> wafer run.

## 30 GHz LNA common bias





*Prototypowy  
front-end-module*



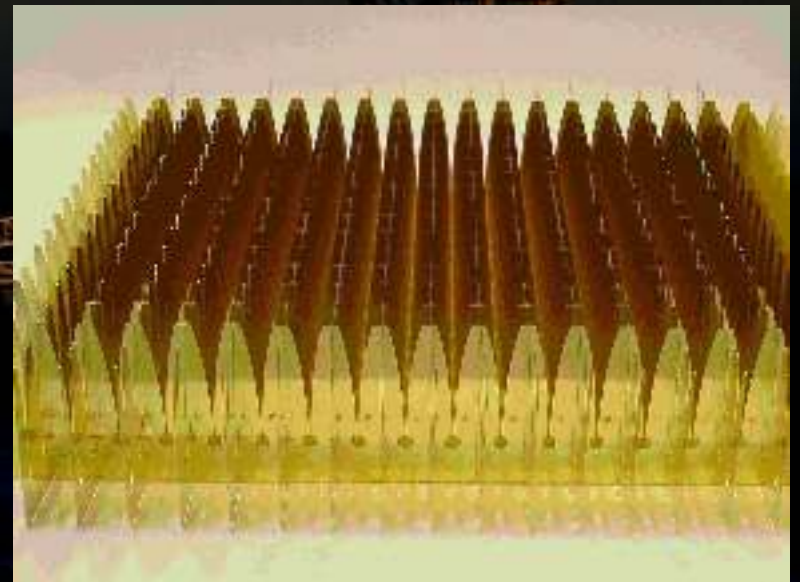
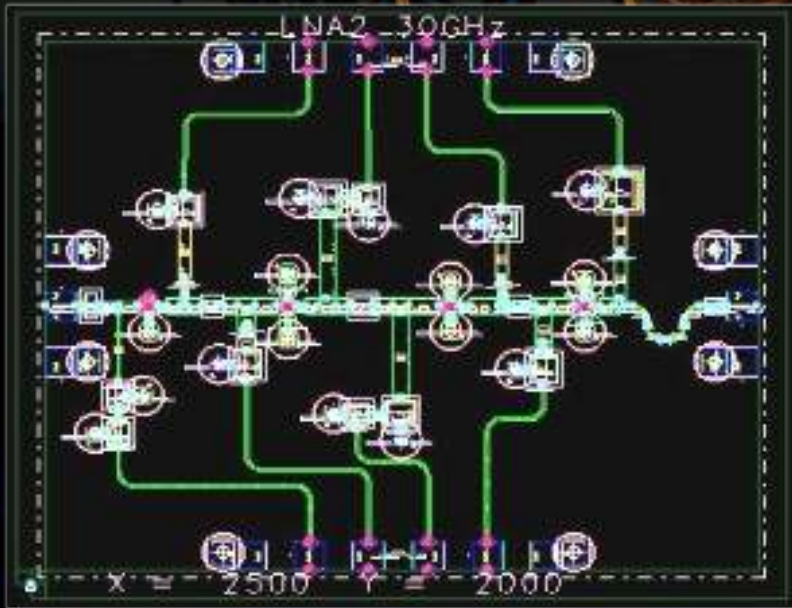
MMIC



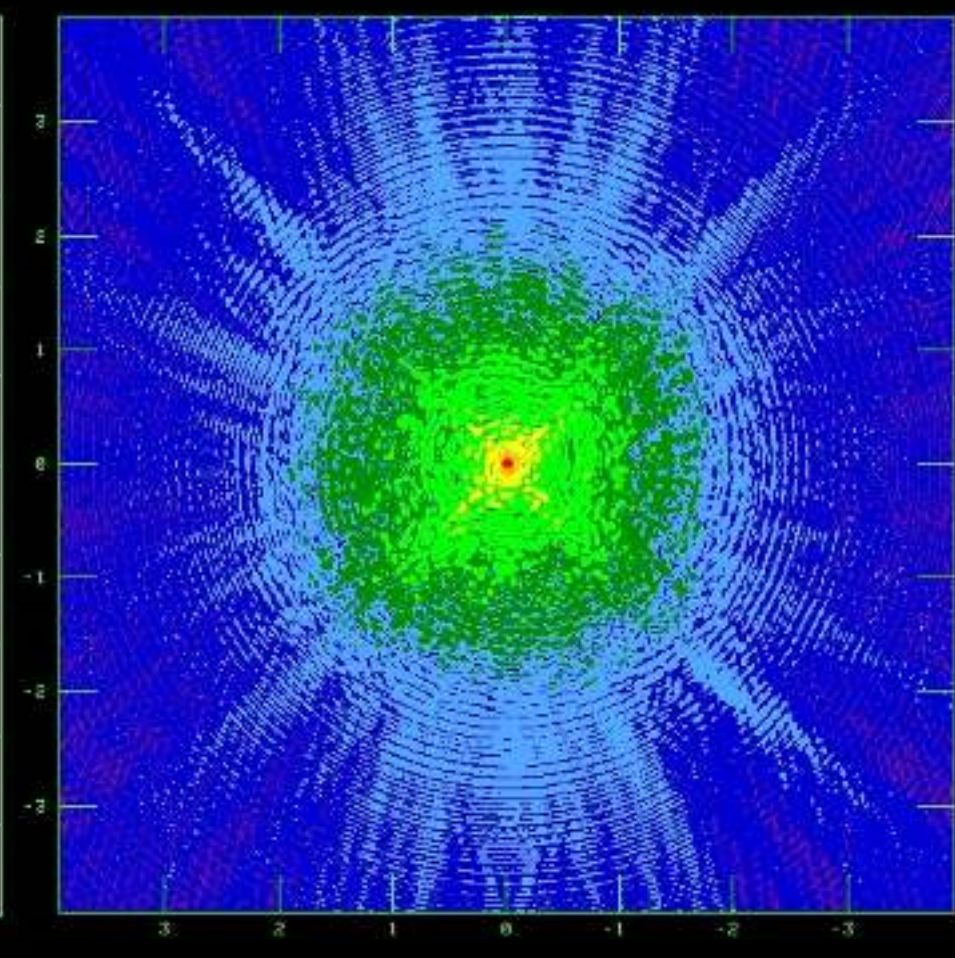
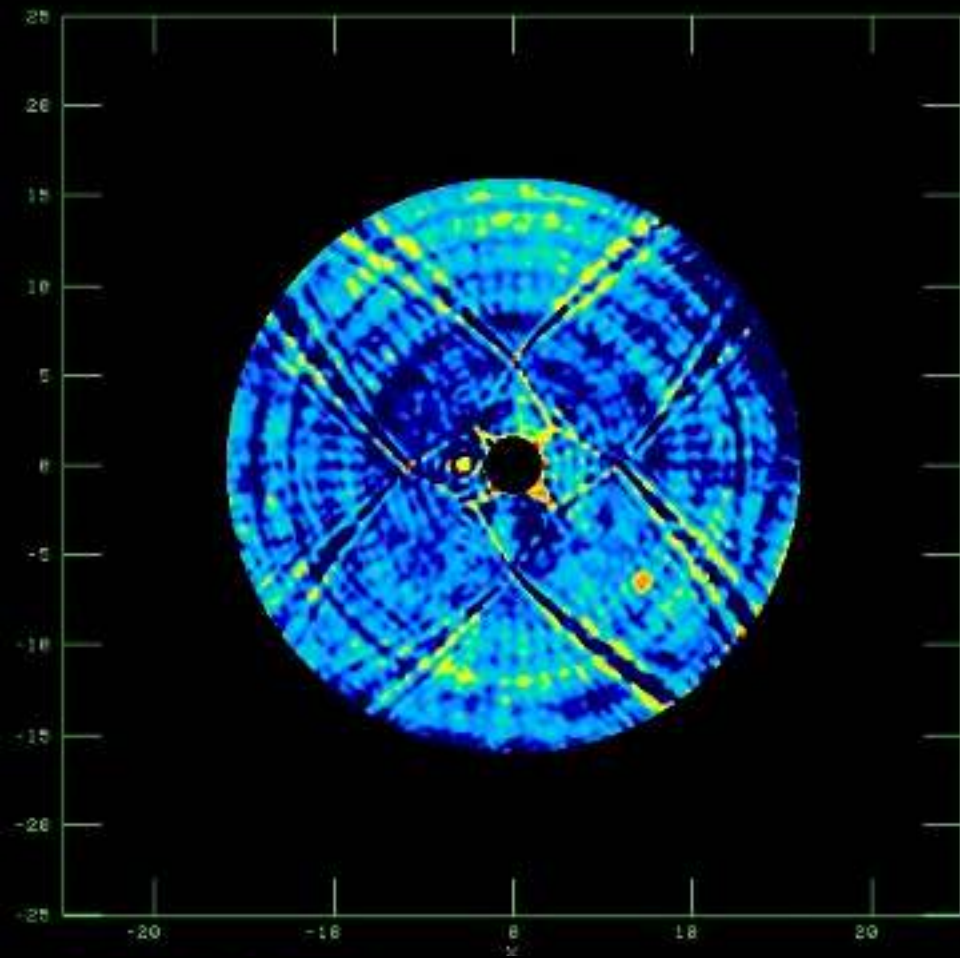
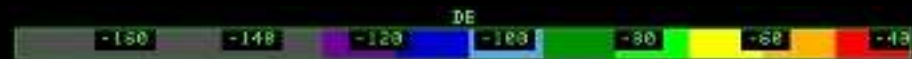
# *PHased Arrays for Reflector Observing Systems*

*PHAROS (FARADAY)*

*VI PREU*







Surface errors [mm]

Point source PSF



*w radioastronomii dalszy postęp możliwy*

*– poprawimy czułość -> SKA*

*– jeszcze zwiększymy rozdzielczość kątową - VLBI  
(interferometria)*

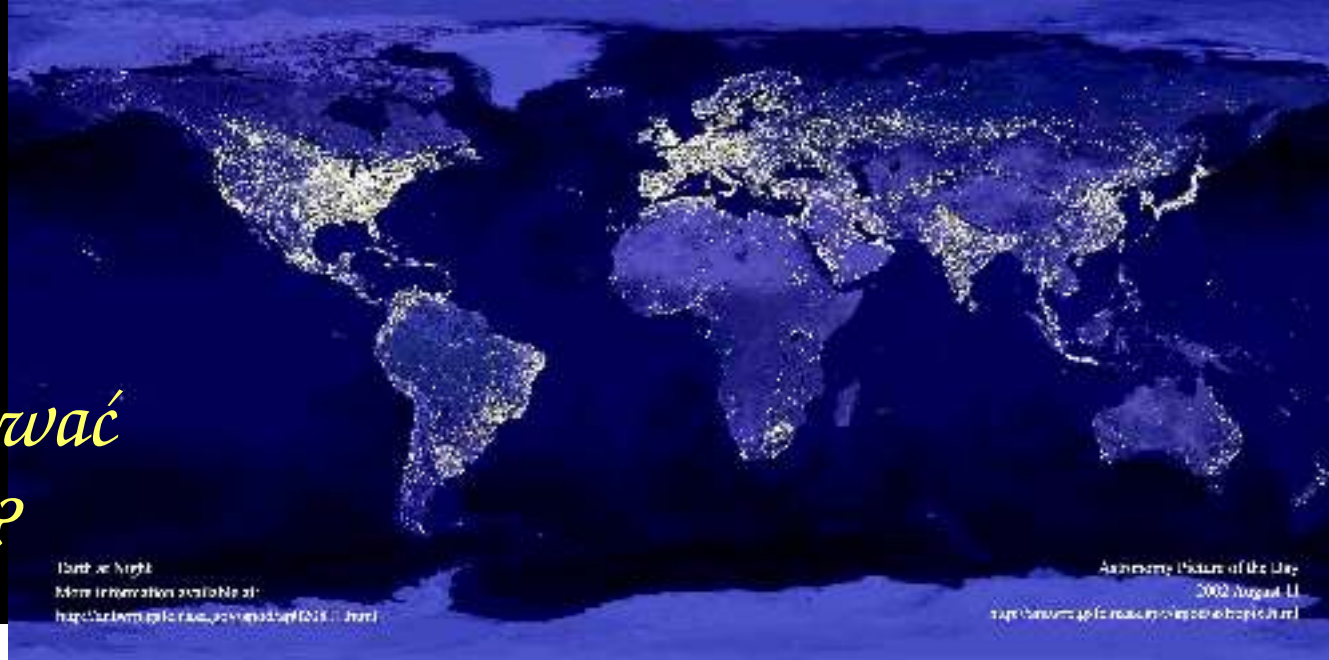
*- nowe pasma fal radiowych (mm - submm) -> ALMA*

*- odkryjemy nowe źródła promieniowania*

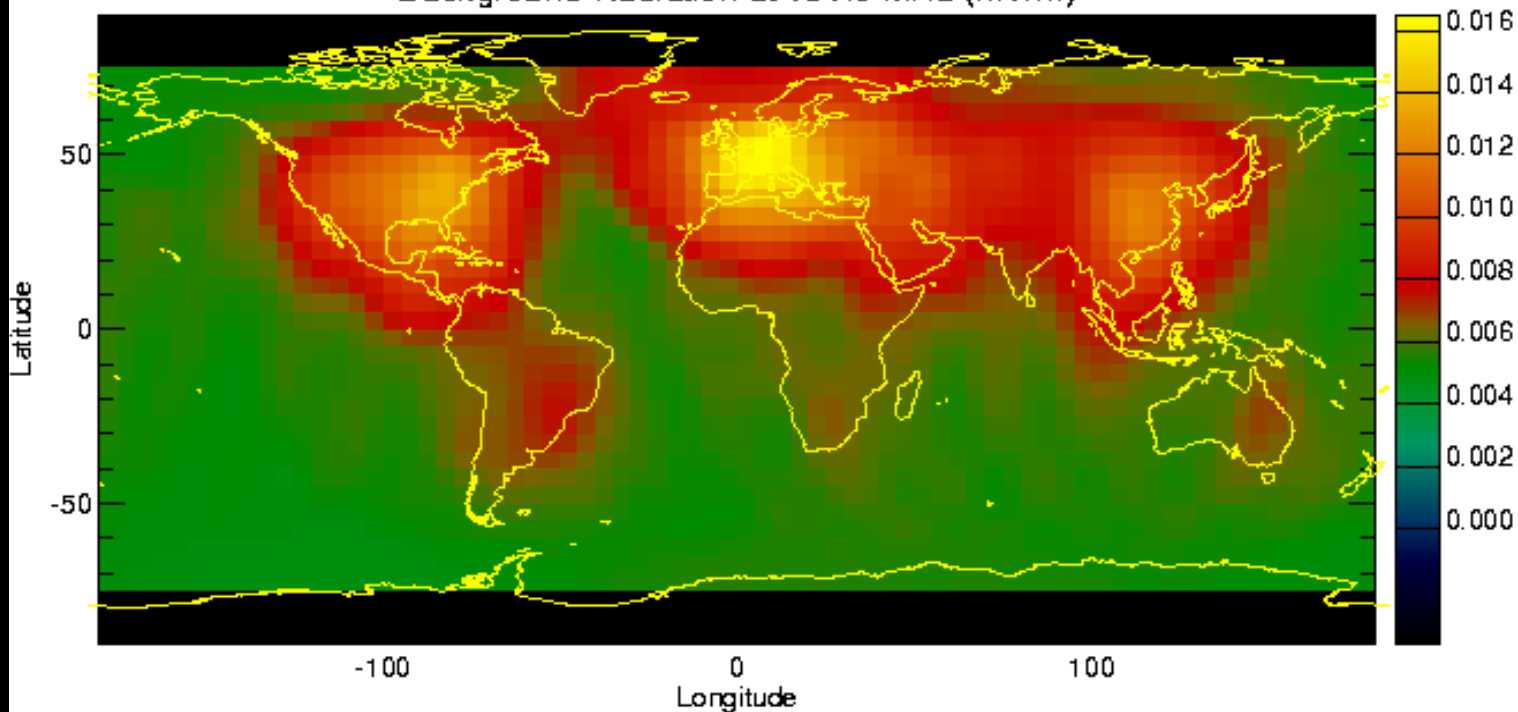
*Ale .... Dramatycznie rośnie poziom zanieczyszczenia  
środowiska naturalnego radio i światło !!!*



*Obserwacje  
naziemne  
Gdzie budować  
teleskopy ?*



Background Radiation at 131.0 MHz (mV/m)



-135

-90

-45

0

45

90

135

South

**L-band**

*Poziom zakłóceń w paśmie 1.4 – 1.8 GHz*

*CA UMK Piwnice - Obserwatorium*

1.8

1.7

1.6

1.5

1.4

1.8

1.7

1.6

1.5

1.4

Frequency [GHz]

South

-135

-90

-45

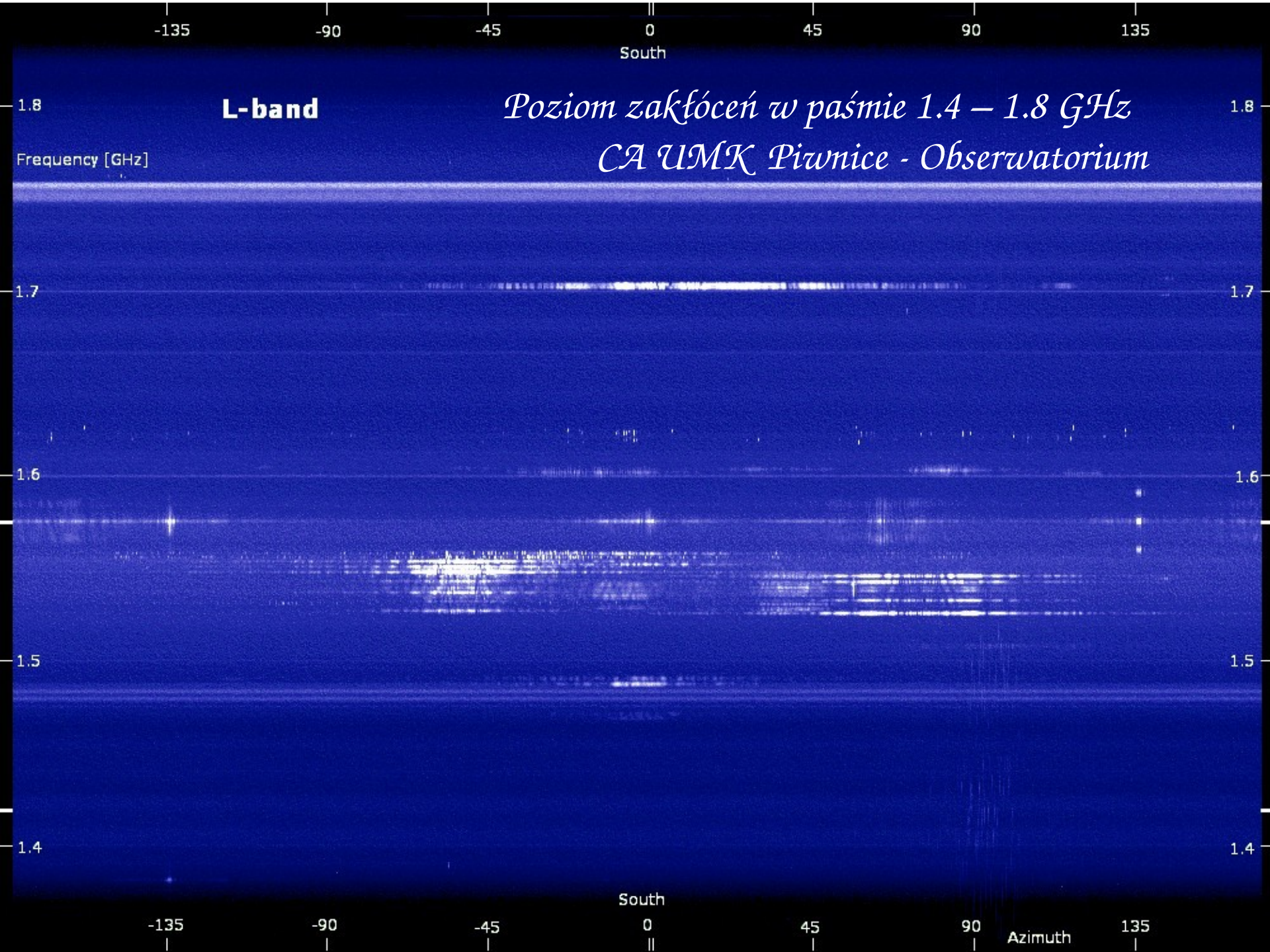
0

45

90

135

Azimuth





# Beginnings of Radio Astronomy in Poland

## Cracow Observatory

- 1954 first observations of solar radio emission O.Czyżewski, A.Strzałkowski J.Demezer, Kozieł, Masłowski
- 5m antenna at  $\lambda$  90 cm
- 1970 15m antenna
- Solar Radio Emission
- Extragalactic polarization studies
- 2014 LOFAR

## Torun Observatory

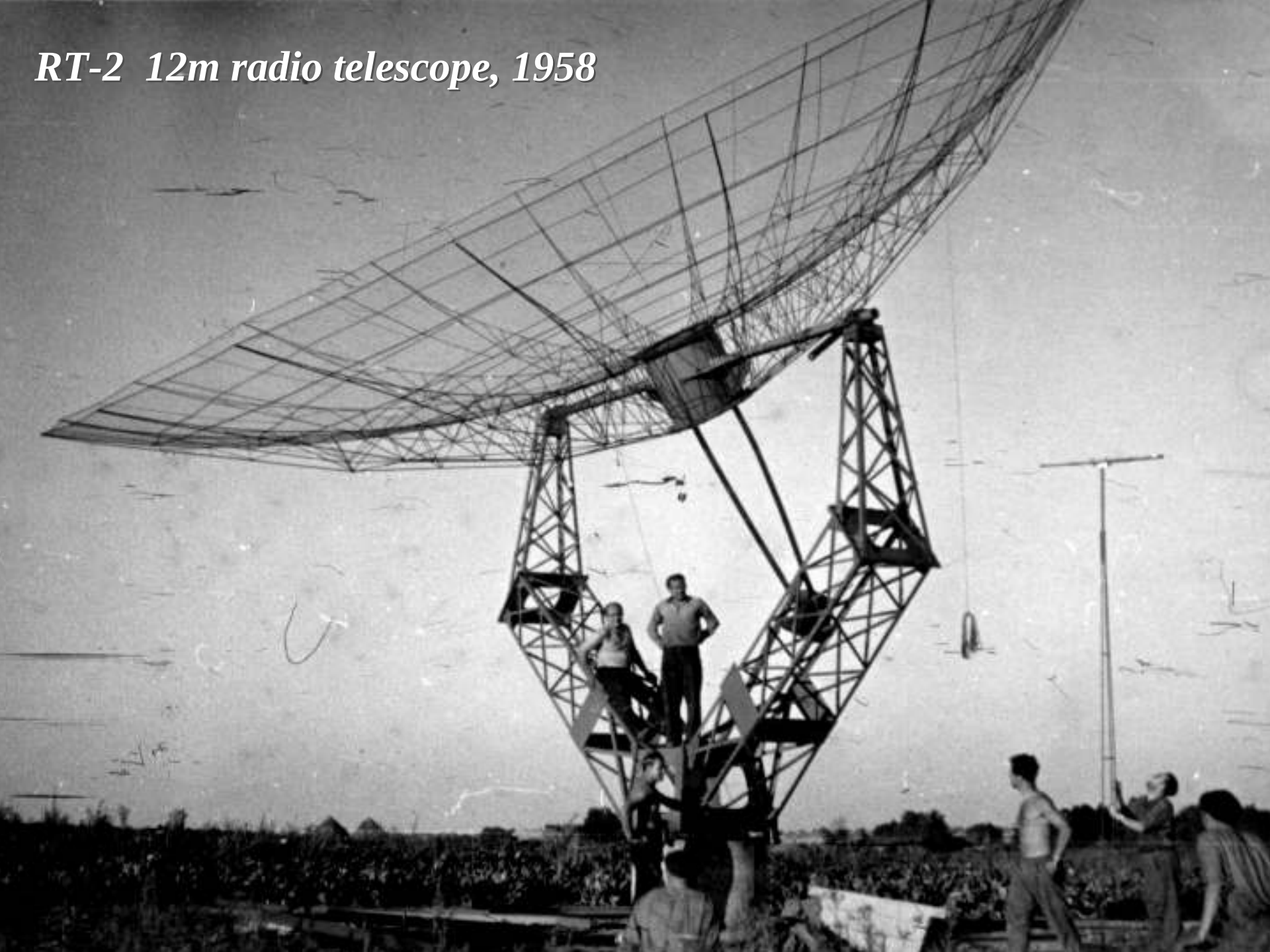
- 1958 first successful solar observations, 12m antenna
- S.Gorgolewski, A.Manczalski, J.Groszkowski,
- 1977 15m antenna
- 1994 32m antenna
- VLBI, pulsars, spectroscopy, polarimetry
- 2014 ~90m antenna

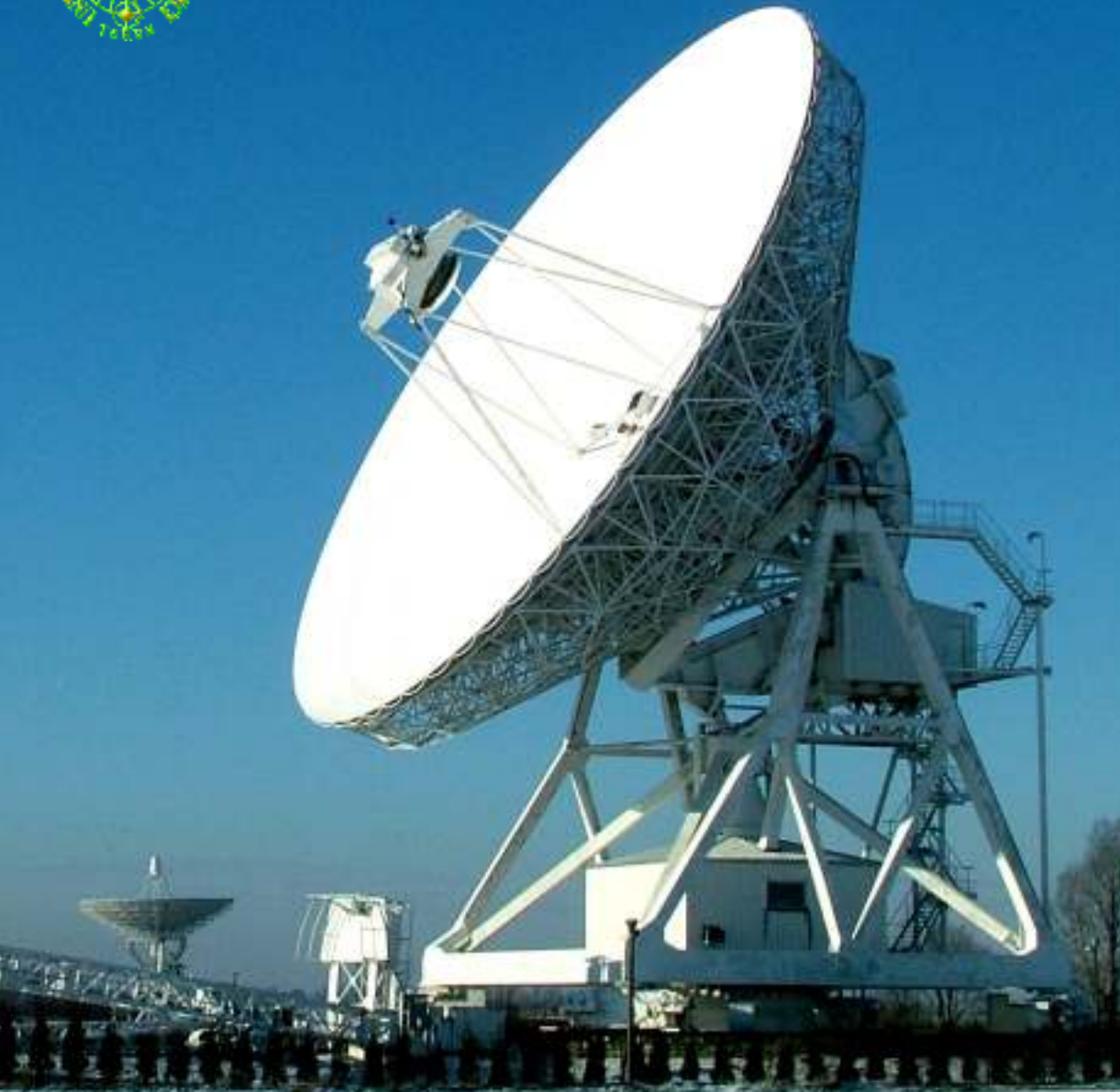
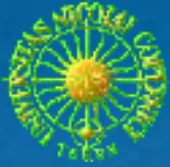


***RT-1 30x12m  
and its crew***



*RT-2 12m radio telescope, 1958*





## ***Basic information on RT4***

- *Designed and built in Poland*
- *Homology design – „self correcting”*
- *Completed in '94, operation since '96*
  
- *Diameter 32m*
- *Cassegrain with 3.2m secondary*
- *Surface accuracy 0.4 mm RMS*
- *Pointing and tracking ~10 arcsec*
- *Total weight 600 Mg*
- *Motors in Az and El up to 30 deg/min*
- *Control fully computerized*
  
- *Radio receivers cover*

<i>750-1100 MHz</i>	<i>(30cm)</i>
<i>1400-1800 MHz</i>	<i>(20cm)</i>
<i>4400-5100 MHz</i>	<i>(6cm)</i>
<i>6100-7000 MHz</i>	<i>(5cm)</i>
<i>26000-34000 MHz</i>	<i>(1cm)</i>
  
- *VLBI terminal (MkIV => MkVa)*
- *Pulsar machine*
- *Autocorrelation spectrometr*
- *Polarymeter*
- *Hydrogen maser frequency standard*
- *OCRA – multi beam system*

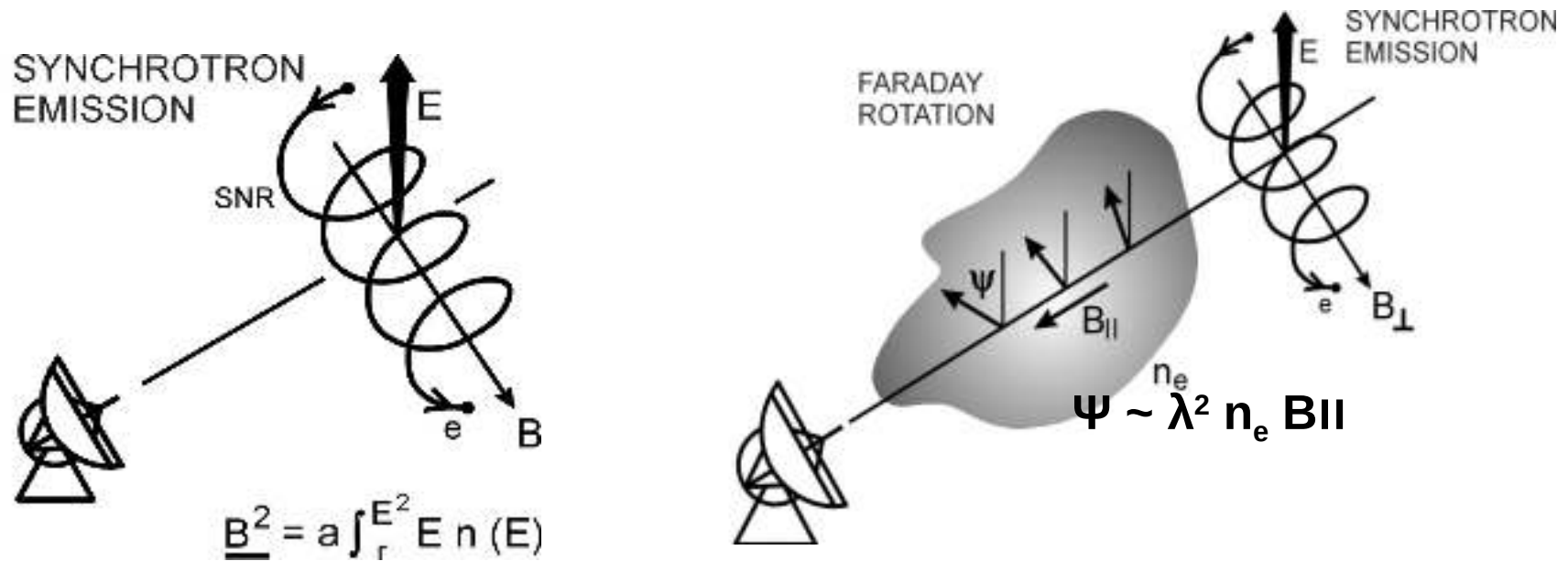




## *Projekty badawcze na RT4*

- *EVN*
- *Pulsary*
- *Radio spektroskopia*
- *Polarymetria*
- *OCRA – kamera radiowa*
- *edukacja*

# *Radio polarimetry – a method of measuring cosmic magnetic fields*

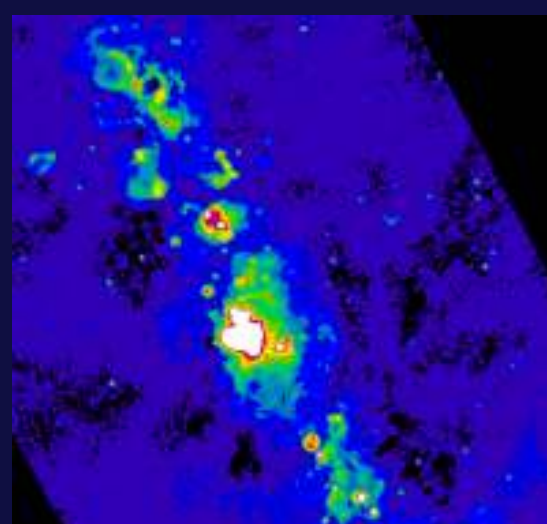
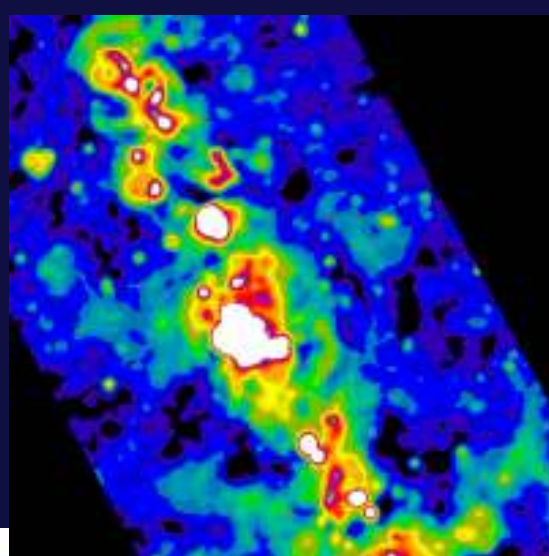
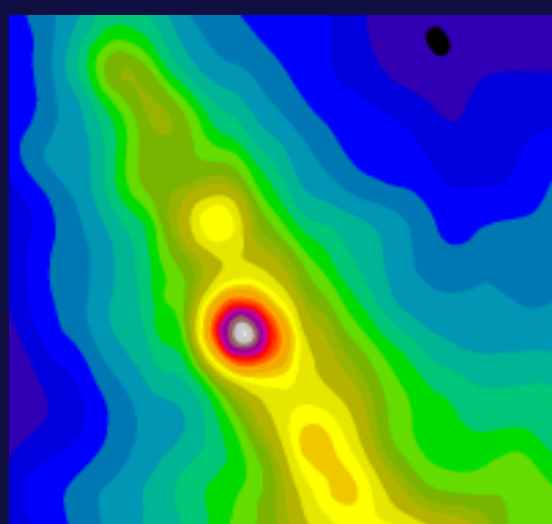


Radio waves emerge polarized from magnetic field regions

Radio waves suffer rotation in the interstellar medium

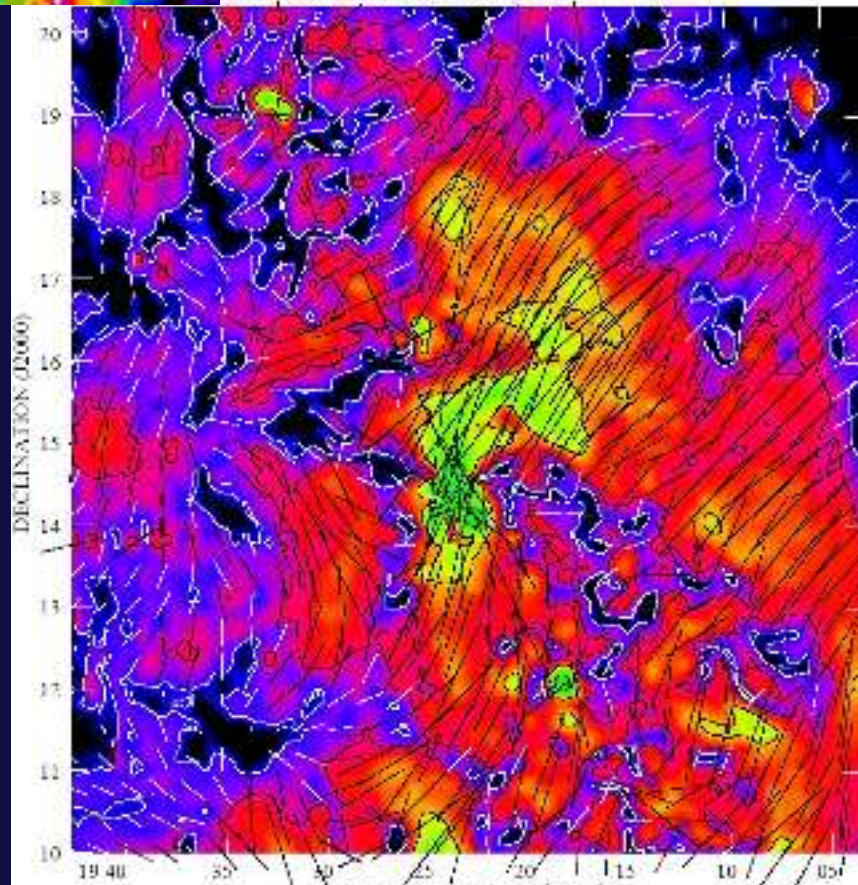
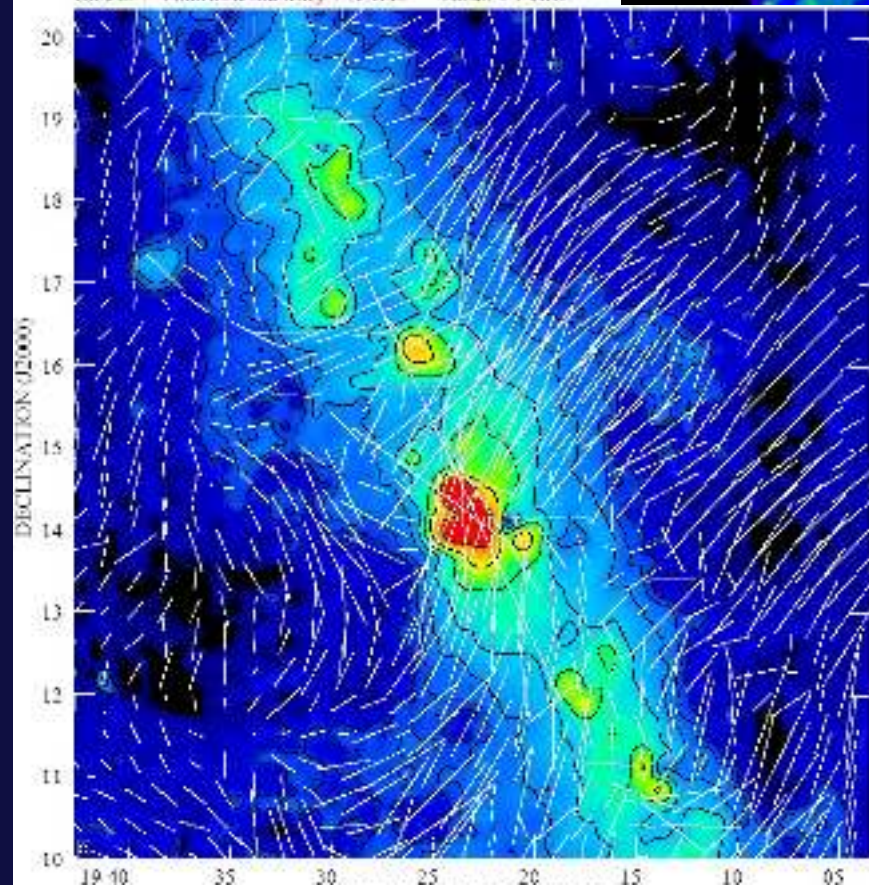
The measurement of polarization gives us information about the cosmic magnetic fields





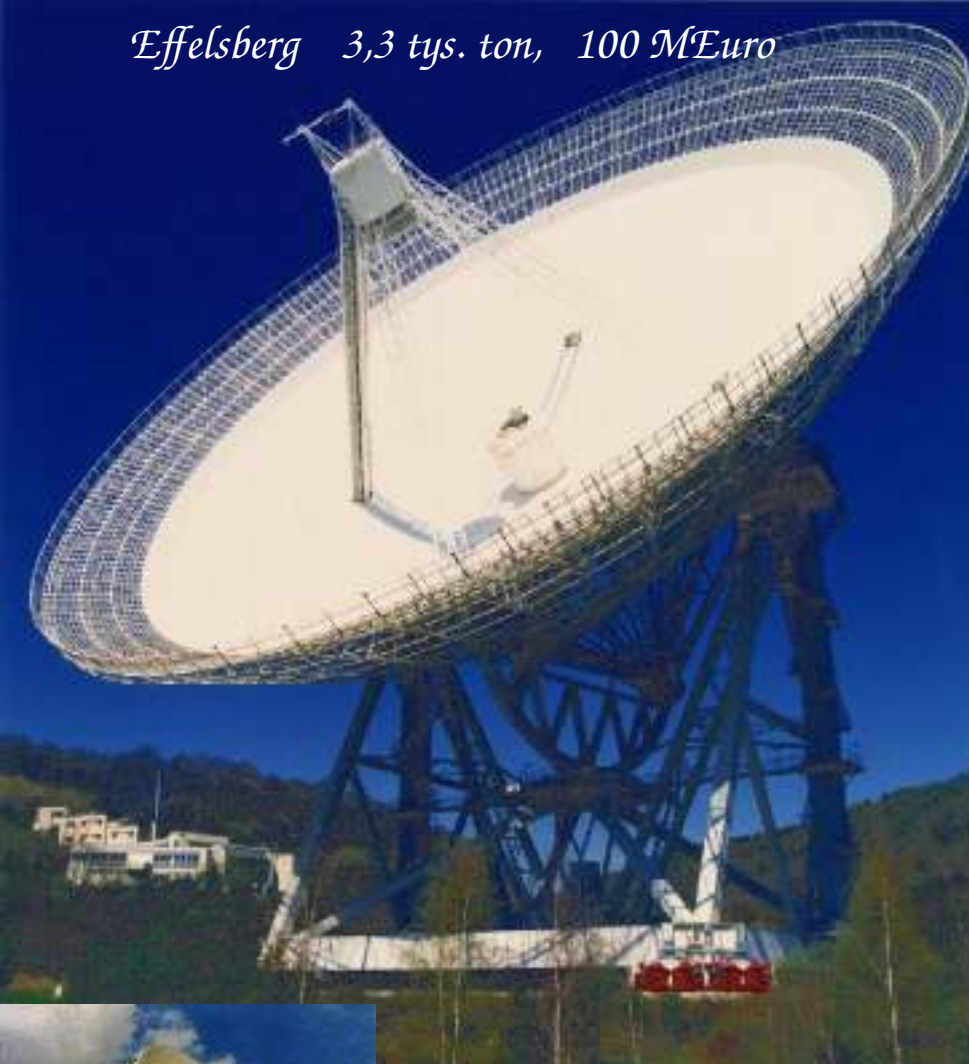
Orion - Polarized Intensity + B-vec. Torus 4.7 GHz

Orion - Pol Int. B-vec. Torus 4.7 GHz





*Effelsberg 3,3 tys. ton, 100 M€uro*



*GBT 9 tys. ton, ~250 M\$*



*RT4, weight 600 ton  
cost ~8 M€uro*



# *Sardinia Radio Telescope (2012)*



60 MEuro

64 m SRT

New large radio telescopes



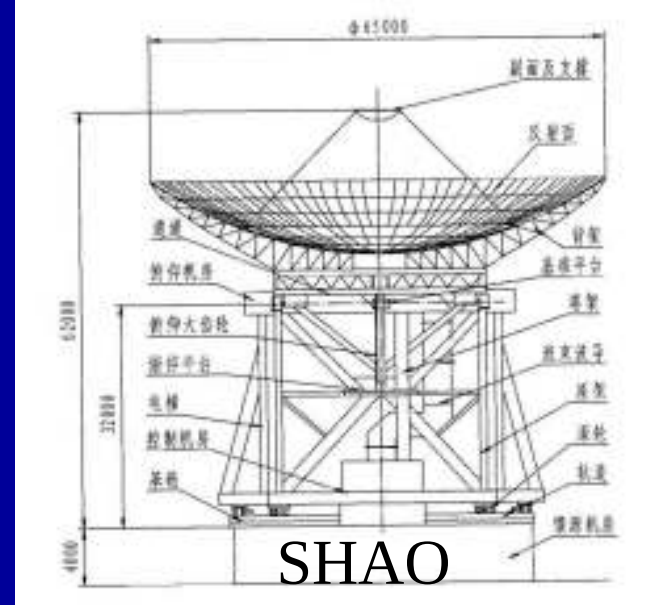
~30 MEuro

Yebes Spain 40m

frequency cover up to 100 GHz



Miyun  
50m



Urumqi 80+m

*Urumqi, Shanghai, NAOC*

China Radio Telescopes

50m 65m 80, 120m



# *Five hundred meter Aperture Spherical Telescope*

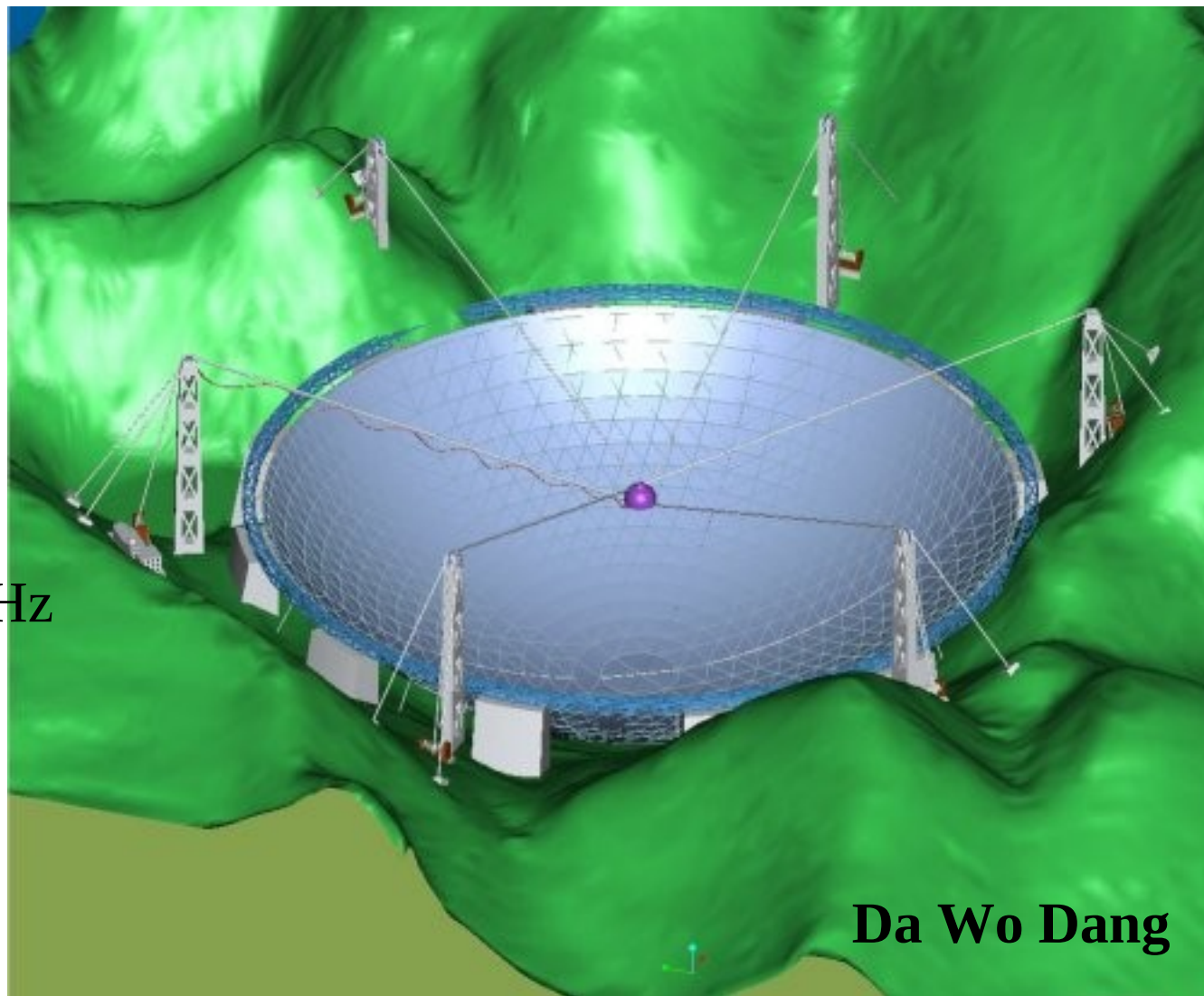
## *FAST in China (2015)*

- 2x Arecibo
- 5x larger field-of-view than Arecibo

500 m diameter  
300 m active surface  
+/- 30° sky coverage  
130 MHz – 2(8.8) GHz  
4" pointing

4x FAST => SKA

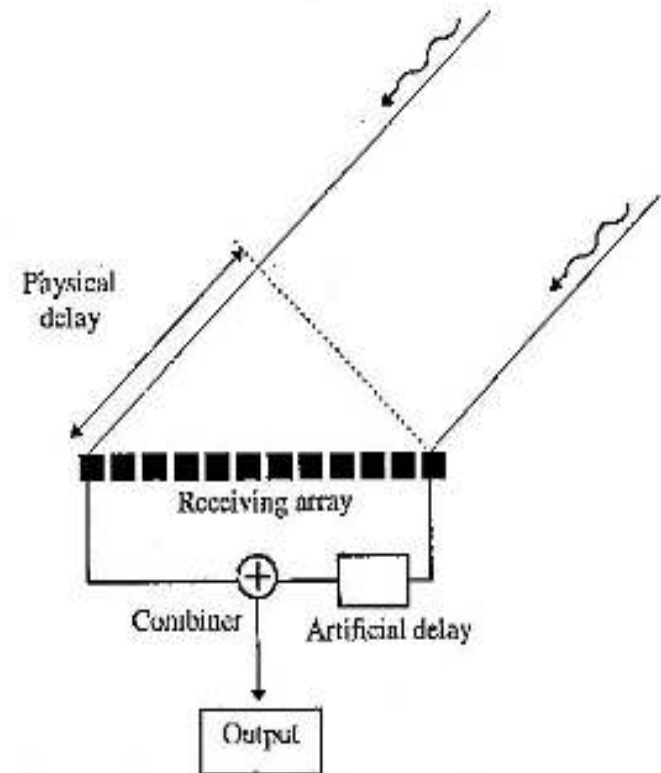
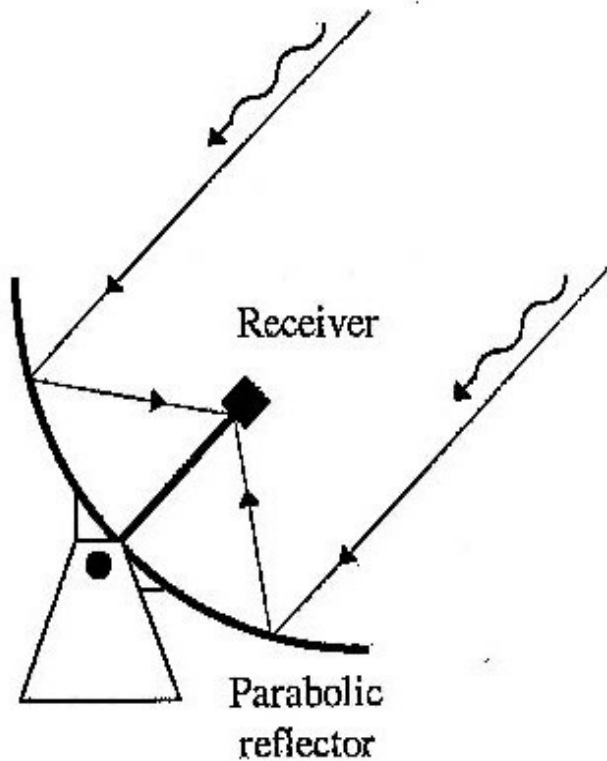
Cost ~100 M \$



**Da Wo Dang**

# Phased array concept

**Basic idea:** replace mechanical pointing & beam forming by electronic means





*VLA/e-VLA 2012*

*Very Large Array  
NRAO, Socorro,  
USA*

*Built in 1972-1980  
78 millions \$ (1975)*



# *ALMA - Atacama Large Millimeter Array*

**International project (ESO, USA, Japan)**

***~50 antennae, each ~ 12m diameter***

**Configuration 0.15-10 km**

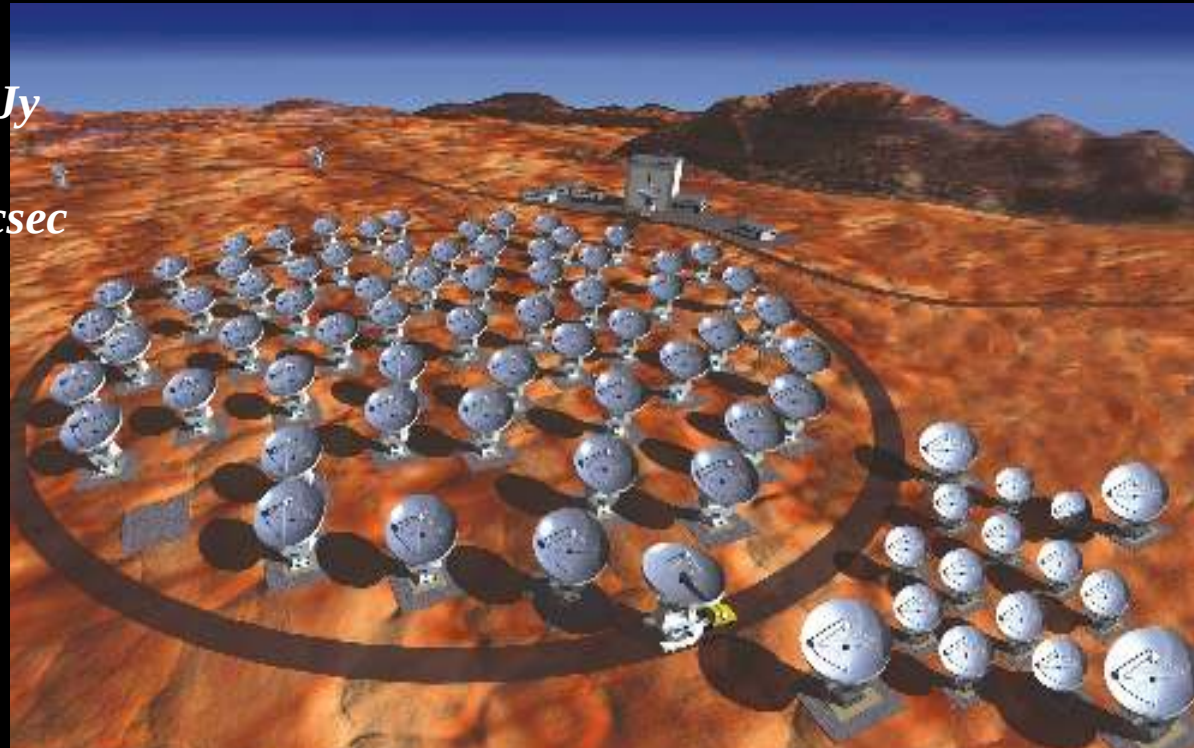
**Wave length 10-0.35 mm**

**Sensitivity 15 microJy – 100 mJy**

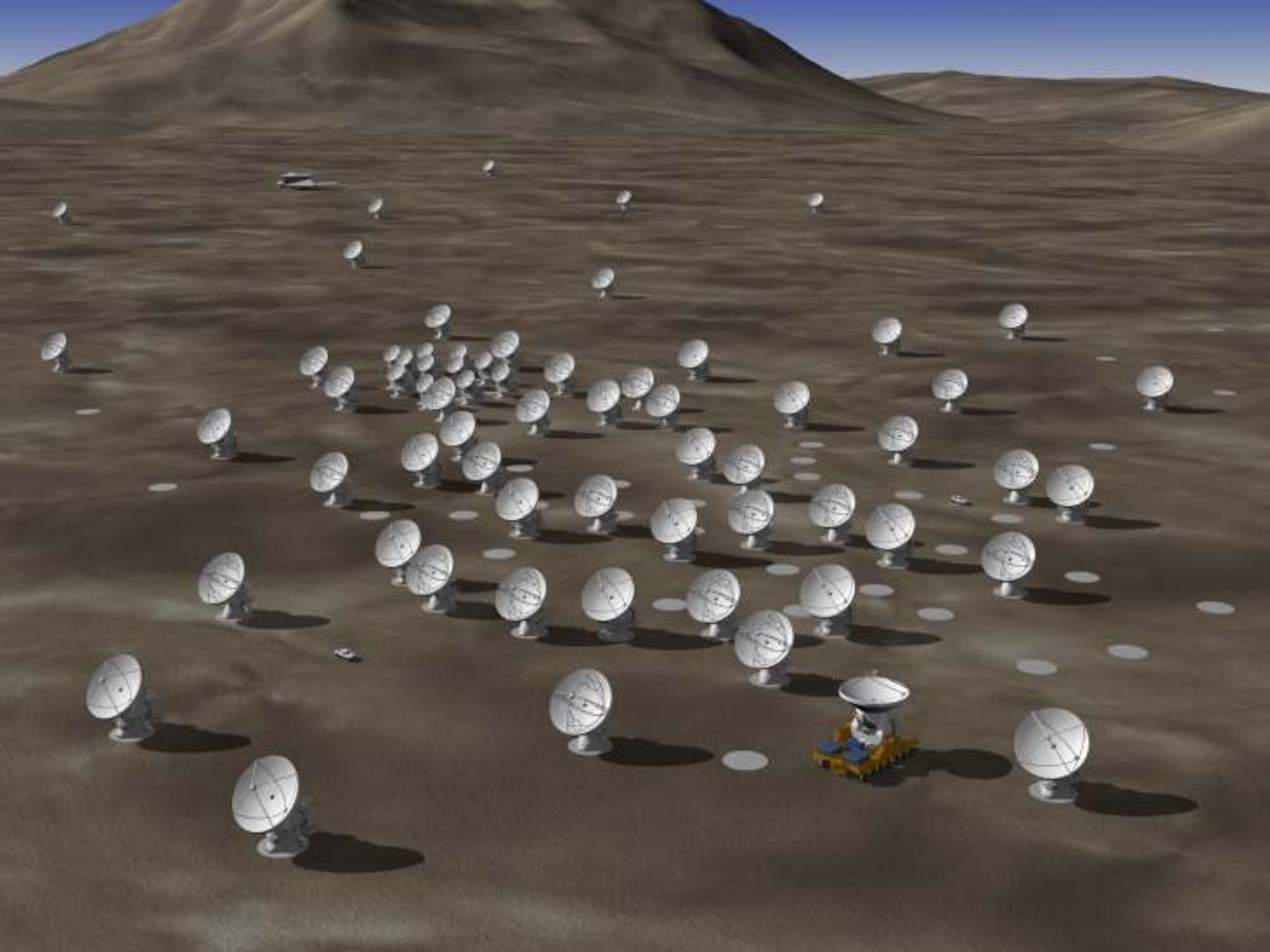
**Angular resolution 10 milli arcsec**

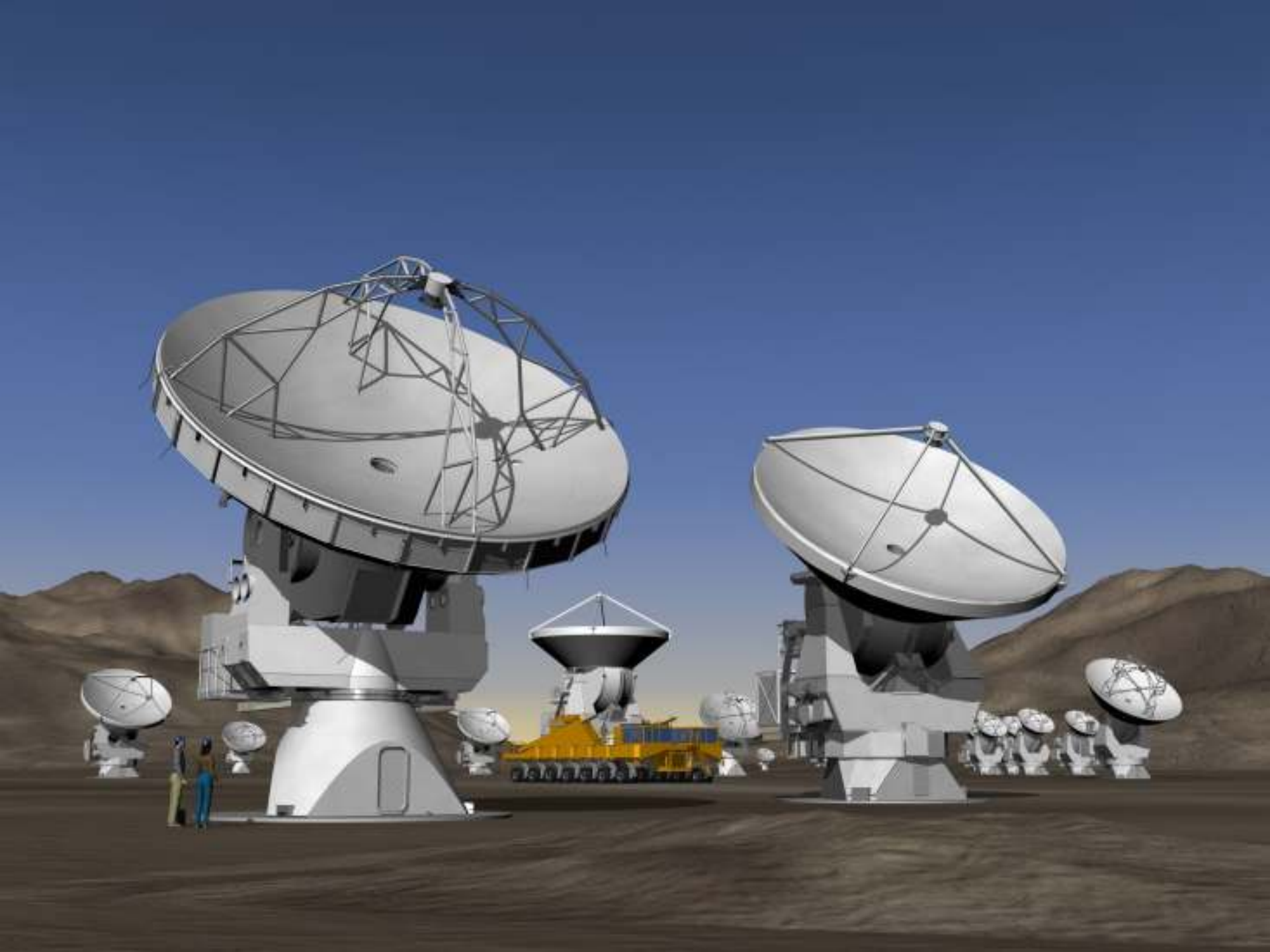
**Operation from 2012**

**Cost ~> 1 G Euro !**







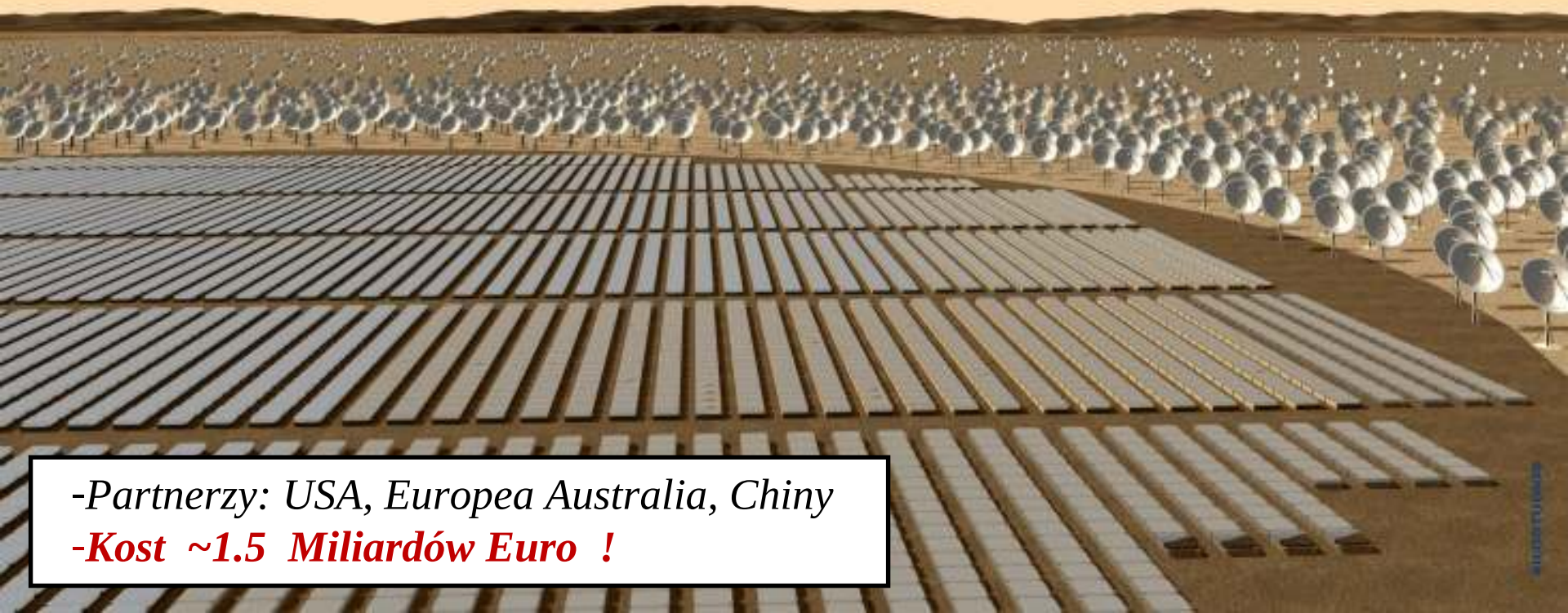




# *The Square Kilometre Array (2025)*

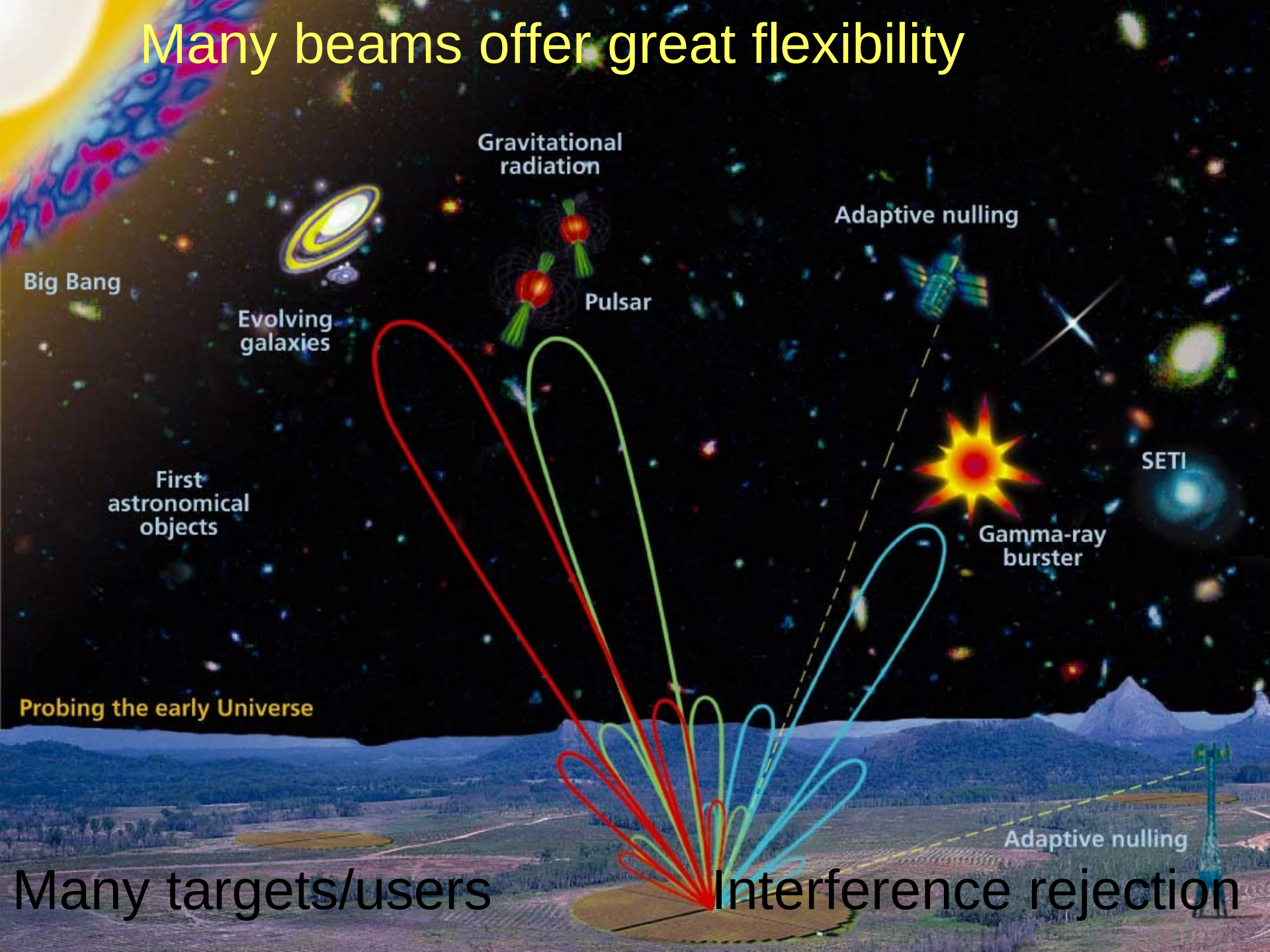
*1500 anten każda o średnicy 15m w części centralnej (5km) plus kolejne 1500 w grupach w odległości 5 km do 3000+ km*

*Podłączone do superkomputera – ultra szybkiego procesora danych – światłowodami*



**-Partnerzy: USA, Europea Australia, Chiny**  
**-Kost ~1.5 Miliardów Euro !**

# Many beams offer great flexibility



Big Bang

Evolving galaxies

First astronomical objects

Probing the early Universe

Gravitational radiation

Pulsar

Adaptive nulling

Gamma-ray burster

SETI

Adaptive nulling

Many targets/users

Interference rejection



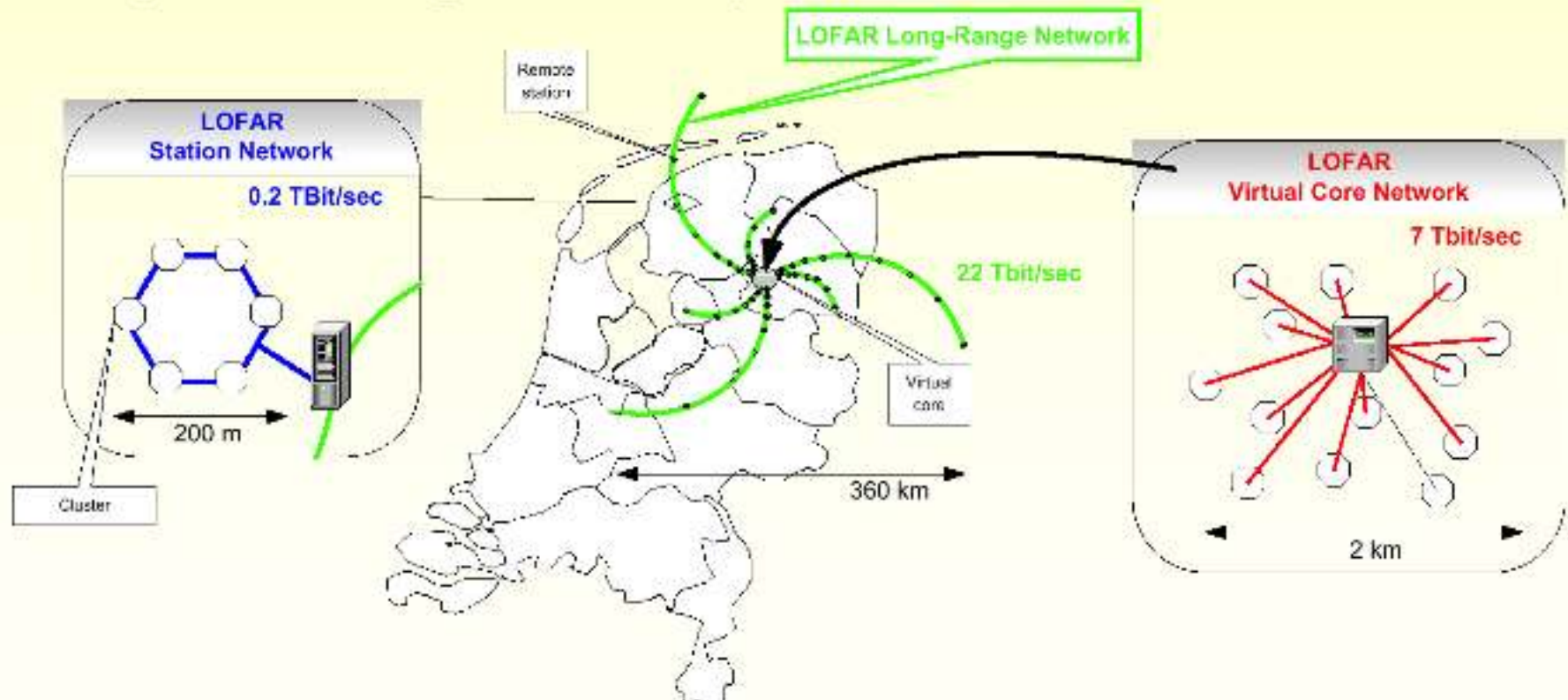
*Not a single 1 km square aperture !*



# The LOFAR instrument

- 13,000 antenna's
- Distributed over 100 stations
- producing ~20 Tbps raw data

*30-250 MHz*







*Polish extension of LOFAR - POLFAR*



*LBA*





*UBA*

*90m radioteleskop*



*Polska nie uczestniczy w tworzeniu nowych  
światowych projektów takich jak ALMA i  
SKA*

*NIE POSIADA*

- odpowiednich środków finansowych*
- zaplecza technologicznego*
- zespołów*

*pomimo tych niedostatków ma jednak nadzwyczaj  
dobrą pozycję w VLBI*



*EVN*

*e-EVN*



USA

China

South Africa



# Polityka rozwoju naukowego Polski

Czy integrować się z nauką światową i pominąć rozwój bazy instrumentalnej w kraju ?

W jakich obszarach badań inwestujemy ?

W jakich dziedzinach nauka uprawiana w Polsce ma szanse wygrywania w silnej międzynarodowej konkurencji ?

Czy mamy szanse na rozwój astronomii w naszym kraju ?

## *Projekt powołania KCIK (NCRa) i budowy 90 m radioteleskopu*

- *NCRa jest wspólną inicjatywą kilku jednostek krajowych i zagranicznych*
- *Jeśli mamy ambicje posiadania na swoim terytorium instrumentu badawczego na poziomie światowym będącego integralną częścią europejskiej i światowej infrastruktury nauki, to jest to możliwe w dziedzinie radioastronomii*
- *W badaniach radioastronomicznych jesteśmy obecni i silni, mamy własny potencjał i realny wpływ na rozwój tej dziedziny*
- *Mamy szansę stworzyć nowoczesny ośrodek badawczy w skali dotychczas nie zrealizowanej w naszym kraju*



RT3  
1978



RT4  
1994



RT5  
2014



# *Nowy duży radioteleskop - parametry*

- 1. Średnica 90+ m (symetryczna paraboloida)*
- 2. System Cassegrain'a typu **R-C** ( $f/D$  i  $D/d$  jak dla **RT4**)*
- 3. Zakres ruchu: Wysokość < 20-90>; Az. < +/- 270 deg.>*
- 4. Zakres częstotliwości 0.1 - 22 GHz (max 30 GHz)*
- 5. Pasmo całkowite 16 GHz (w ~4-8 podpasmach)*
- 6. Wielowiązkowy system <50 – 100 > (**APRICOT FP7**)*
- 7. Cyfrowe, ogólnego zastosowania back-ends (**UNIBOARD FP7**)*
- 8. Połączenie światłowodowe, szerokie pasmo (**PIONIER**)*
- 9. Zdalne sterowanie i funkcjonowanie*
- 10. Minimalizacja kosztów utrzymania*

**Badania** => instrument do przeglądów nieba („Radiowe OGLE”)

## *Wymagania dotyczące lokalizacji*

*Niski poziom RFI, strefa ochronna*

*Proponowana lokalizacja – Bory Tucholskie*





Optyka: Cassegrain, offset ?, Ritchey-Chretien ?

Optymalizacja: duże pole widzenia, czułość, spill-over

Montaż: Alt-Az (inne np. napędy hydrauliczne ?)

Precyzja: panele 0.5 mm RMS, pozycjonowanie <10"

Odbiorniki: ultra-szerokopasmowe,  $T_{sys} < 30K$

Back-ends: techniki cyfrowe (4-10 Gb/s)





*Matryca odbiorcza OCRA  
na RT32m, pasmo 30 GHz*

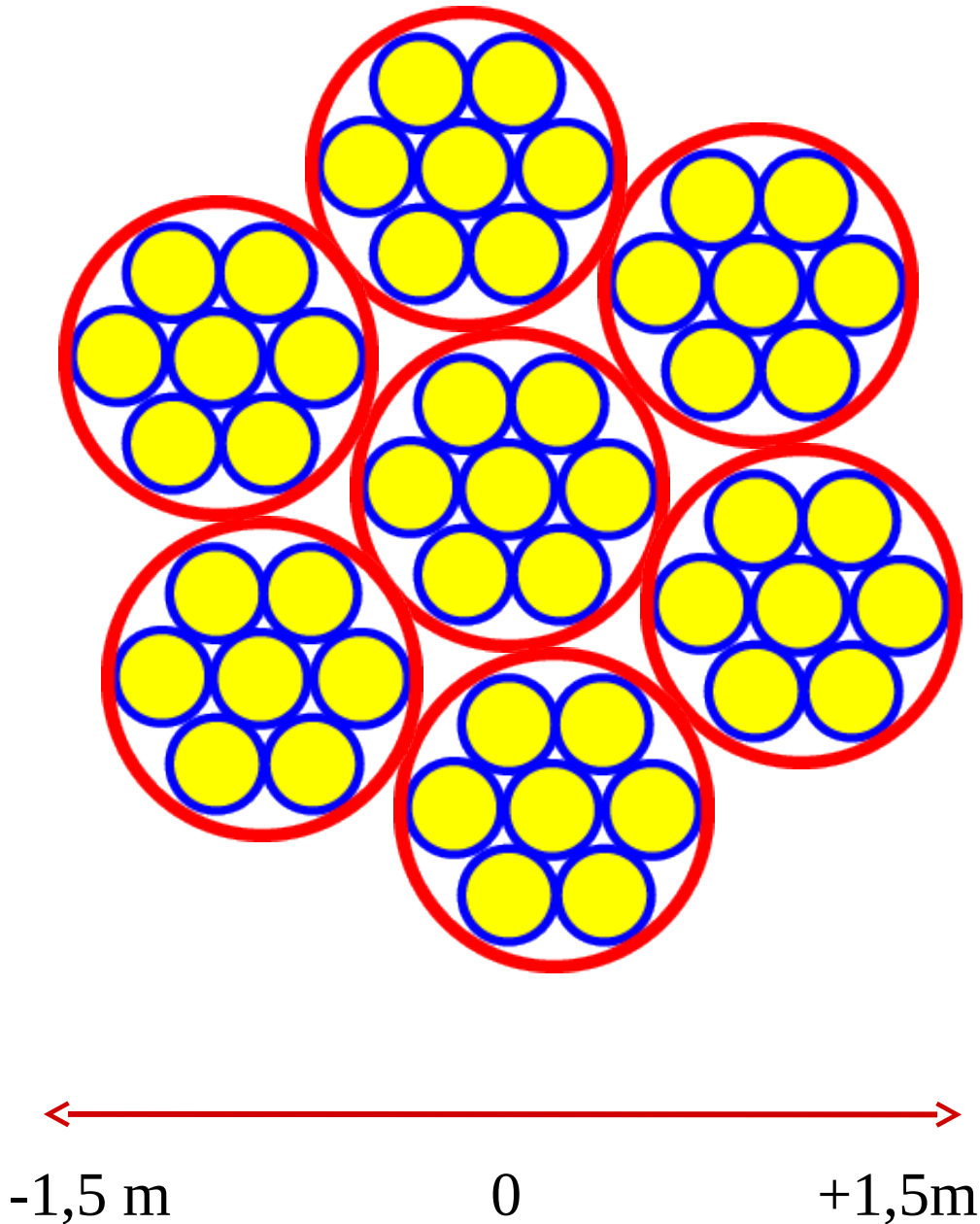


BW 5-21 GHz  
POL LHC & RHC  
Sub-Bands 2 GHz

Digital Back-ends

Radiometry  
Polarimetry  
Spectroscopy  
PSRs  
Transients

41 wyjść x 2 pol x  
16 (1 GHz) pod-pasm=>  
1312 kanałów z  $\sim 1$  kHz  
rezdzielczością  
**surowe dane  $\sim 5$  TB / s**



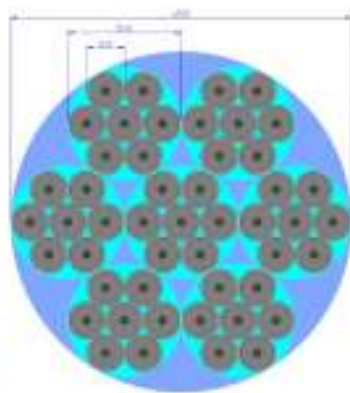
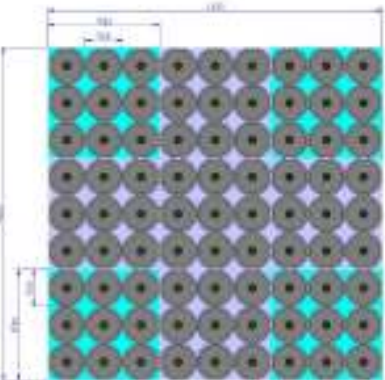
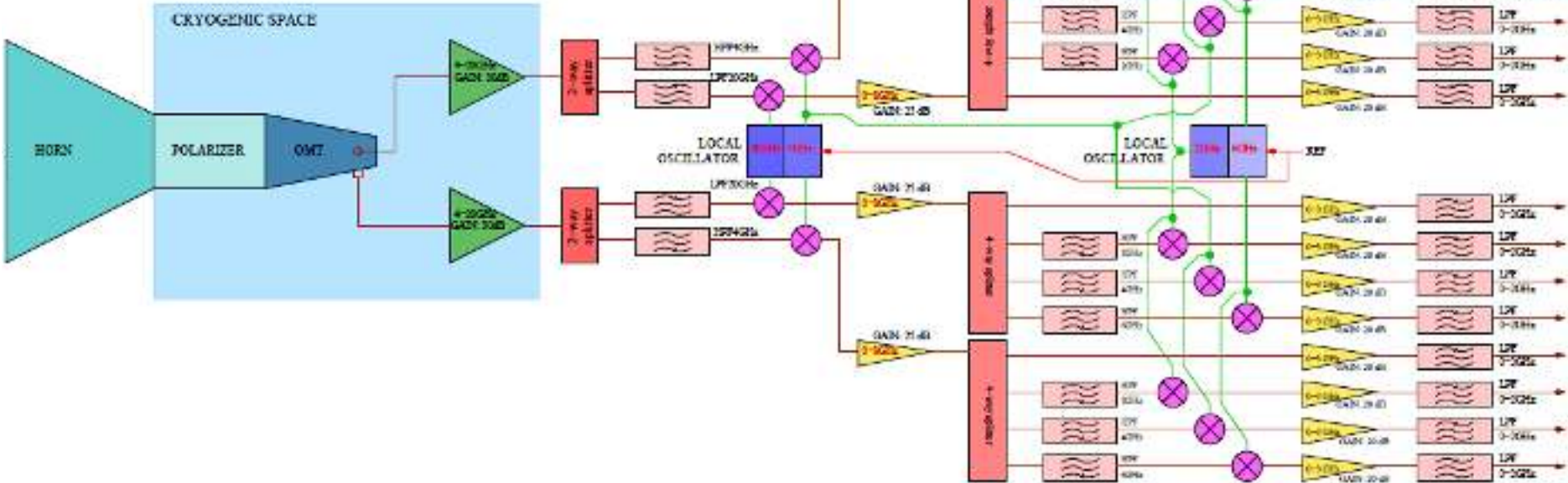


# Projekty systemów odbiorczych i cyfrowych back-end'ów FPGA

RT-5 single feed receiver schéma

Section 1

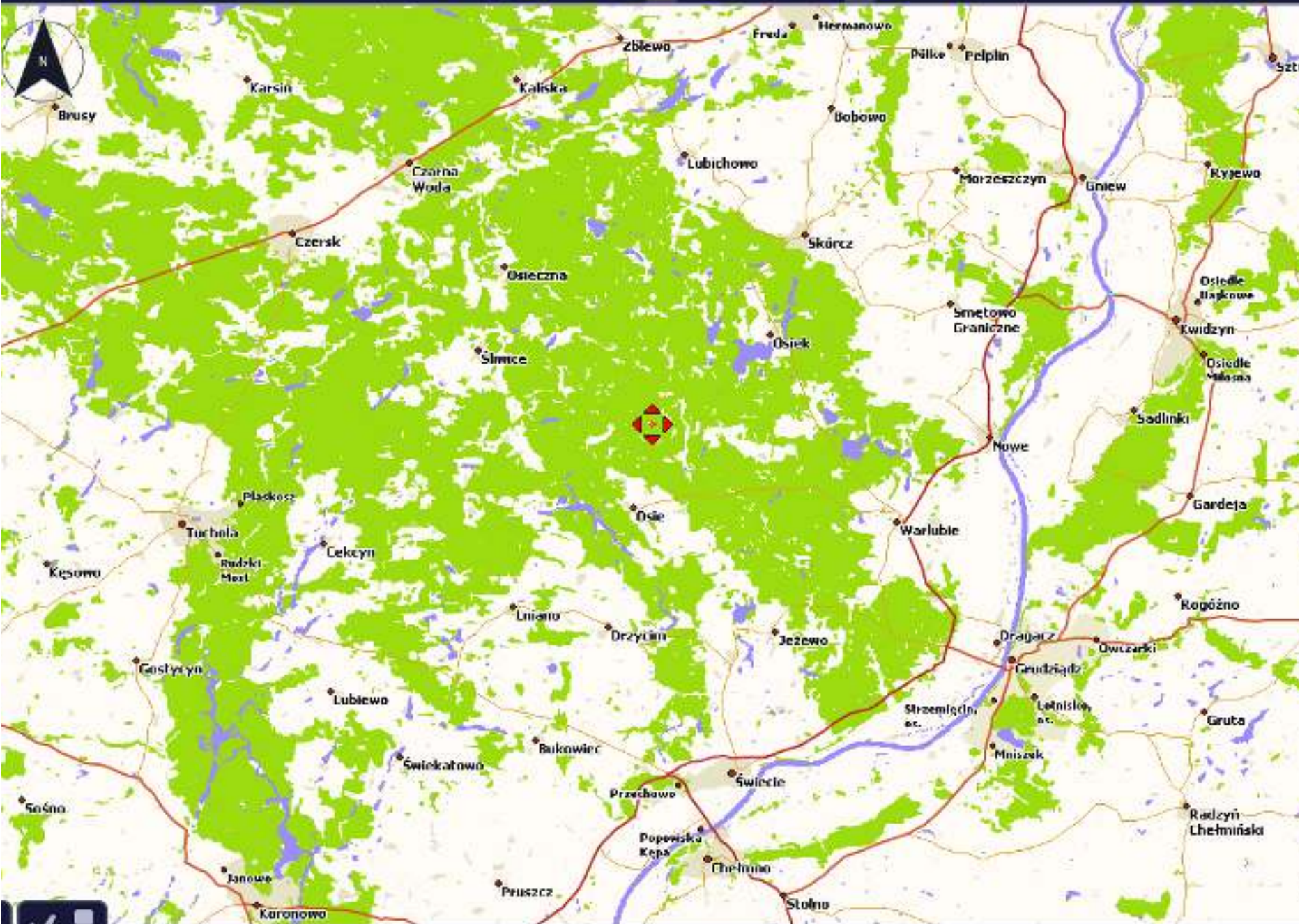
LFF - Low Pass Filter  
HPF - High Pass Filter  
BPF - Band Pass Filter  
OMT - OrthoMode Transducer







N 53°39'28.87" E 18°21'52.48"



Leśniczówka Dębowiec, PL



Siwice

RT5 Dębowiec

Osie

214

238

© 2008 BPWK  
Image © 2008 DigitalGlobe  
© 2008 Tele Atlas  
Image © 2008 TerraMetrics

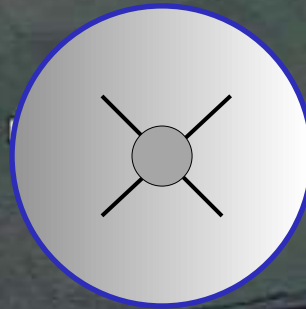
©2008 Go





bowiec





RT5

*Inwestycja pod nazwą „90m Radioteleskop”  
Wpisana jest do dokumentu rządowego  
„Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030”*

*Jest na „Mapie Drogowej Polskiej Infrastruktury Badawczej”*

Zatwierdzam

  
 prof. Barbara Kudrycka

Warszawa, 23 lutego 2011 r.

## Lista projektów umieszczonych na Polskiej Mapie Drogowej Infrastruktury Badawczej

Badania naukowe w coraz większym stopniu będą się skupiać na poszukiwaniu odpowiedzi na globalne, długoterminowe wyzwania, przed którymi stoją społeczeństwa Polski i Europy. Do tych wyzwań należą między innymi: społecznie akceptowalna jakość życia, zmiany demograficzne, zrównoważony rozwój i ochrona środowiska naturalnego i środowiska człowieka, bezpieczeństwo energetyczne i dostęp do surowców oraz rozwój nowych technologii.

Obiekty nowoczesnej infrastruktury badawczej o dużej skali, zdolne skupiać potencjał naukowy danego kraju, regionu a nawet całej Europy stają się coraz ważniejszymi narzędziami służącymi do formułowania tych odpowiedzi. Znaczące zaangażowanie Polski w budowę infrastruktury badawczej jest zatem naszą rozwojową koniecznością.

Poniższa lista przedstawia wybrane w wyniku konkursowej procedury projekty umieszczone na Polskiej Mapie Drogowej Infrastruktury Badawczej, uszeregowane według strategicznych obszarów badań zdefiniowanych pod kątem oczekiwanych społecznie rezultatów. Obszary te dotyczą działań nakierowanych na rozwój nauki, a także nawiązujących do przedstawionych powyżej globalnych wyzwań.

### 1. Rozwój nauki poprzez badania podstawowe (astronomia, fizyka).

Wnioskodawca / Koordynator	Tytuł projektu	Charakter projektu
Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu	90 m Radioteleskop - Narodowe Centrum Radioastronomii	Krajowy ośrodek badawczy (astronomia)
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie	CTA – Obserwatorium astronomii gamma TeV	Polski wkład w projekt międzynarodowy z mapy drogowej ESFRI (astrofizyka)
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie	FAIR – Ośrodek Badań Antyprotonów i Jonów	Polski wkład w projekt międzynarodowy z mapy drogowej ESFRI (fizyka)
Uniwersytet Warszawski	NLPQT - Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych	Krajowy ośrodek badawczy (fizyka)

pomiędzy  
 Politechniką Gdańską (PG) z siedzibą w Gdańsku, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk,  
 którą reprezentuje:

**JM Rektor prof. dr hab. inż. Henryk Krawczyk**

a

Uniwersytetem Mikołaja Kopernika (UMK) z siedzibą w Toruniu, ul. Gagarina 11, 87-100 Toruń,  
 który reprezentuje:

**JM Rektor prof. dr hab. Andrzej Radziwiński**

### Preambuła

W dniu 9 maja 2011 roku odbyło się spotkanie zorganizowane przez **Marszałka Województwa Kujawsko-Pomorskiego Piotra Całbeckiego**, w którym udział wzięli:

Mieczysław Struk – Marszałek Województwa Pomorskiego,

Prof. Andrzej Radziwiński – Rektor UMK,

Prof. Jan Godlewski – Prorektor ds. Infrastruktury i Organizacji PG,

dr Jacek Gierliński – Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego,

Prof. Eligiusz Mieloszyk - PG,

Prof. Zbigniew Sikora - PG,

Prof. Michał Hanasz - UMK,

Prof. Andrzej Kus - UMK,

Prof. Marian Szymczak - UMK

Dr hab. Maciej Mikołajewski – Polskie Towarzystwo Astronomiczne,

Czesław Ficner – Urząd Marszałkowski, Woj. Kujawsko-Pomorskie.

Działając w duchu tego spotkania Politechnika Gdańska i Uniwersytet Mikołaja Kopernika zwane dalej Stronami ustalają co następuje.

### § 1

Strony deklarują chęć nawiązania współpracy mającej na celu wspólną realizację umieszczonego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego dnia 23 lutego 2011 roku na tzw. Polskiej Mapie Drogowej Infrastruktury Badawczej, projektu pn. „**90m Radioteleskop – Narodowe Centrum Radioastronomii**”, o charakterze krajowego ośrodka badawczego.

### § 2

W dążeniu do powyższego celu, Strony będą zabiegały o utworzenie ośrodka naukowo – badawczego pod roboczą nazwą **Centrum Inżynierii Kosmicznej (CIK)**, którego podstawową bazą będzie radioteleskop z anteną o średnicy co najmniej 90m (**RT Hevelius**). Ośrodek będzie działał na rzecz całego polskiego środowiska naukowego, na podstawie porozumienia konsorcyjnego uzgodnionego pomiędzy zainteresowanymi jednostkami.

### § 3

Strony wyrażają wolę współpracy i koordynacji swoich działań w zakresie:

-przygotowania koncepcji, struktury i organizacji CIK, ze szczególnym uwzględnieniem RT Hevelius i innych obiektów inżynierskich,

- określenia propozycji lokalizacji poszczególnych obiektów,

- ustalenia resortów, do których należy skierować stosowne zapytania oraz określić ich treść, -wstępnego określenia poziomu zakłóceń radiowych i identyfikacji ich źródeł dla wariantów lokalizacji RT Hevelius,

- zbadania możliwości utworzenia strefy ciszy radiowej dla proponowanych lokalizacji RT Hevelius,

- wyboru lokalizacji optymalnych dla poszczególnych obiektów;

-wstępnego określenia wielkości środków niezbędnych do realizacji przedsięwzięcia i jego utrzymania, oraz źródeł ich pozyskania,



# *Inne ważne cele inwestycji RT90*

*PROMOCJA NAUKI i technologii,*

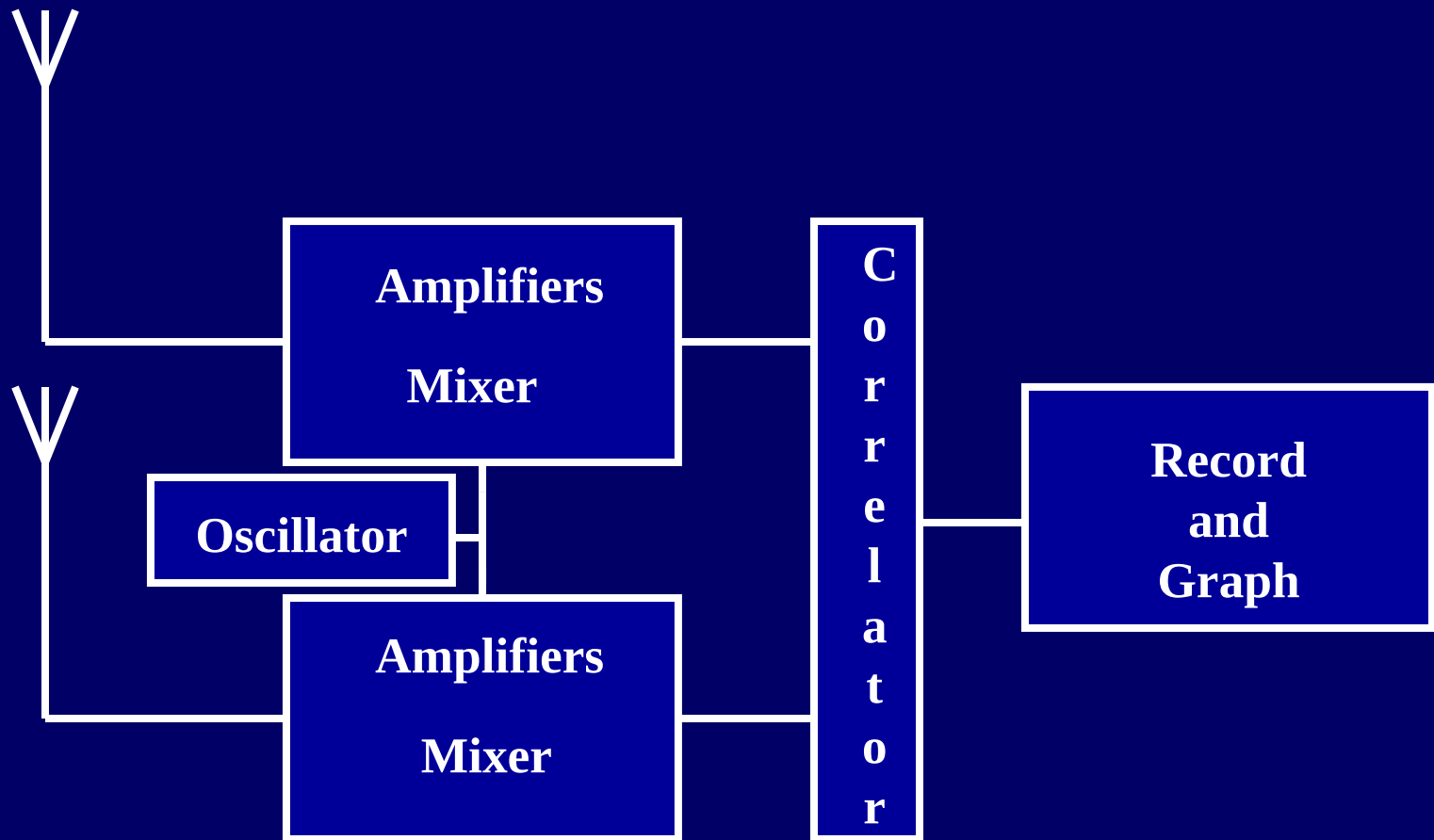
*nadzwyczajne znaczenie „propagandowe”*

*popularyzacja nauk ścisłych i techniki*

*promocja edukacji*

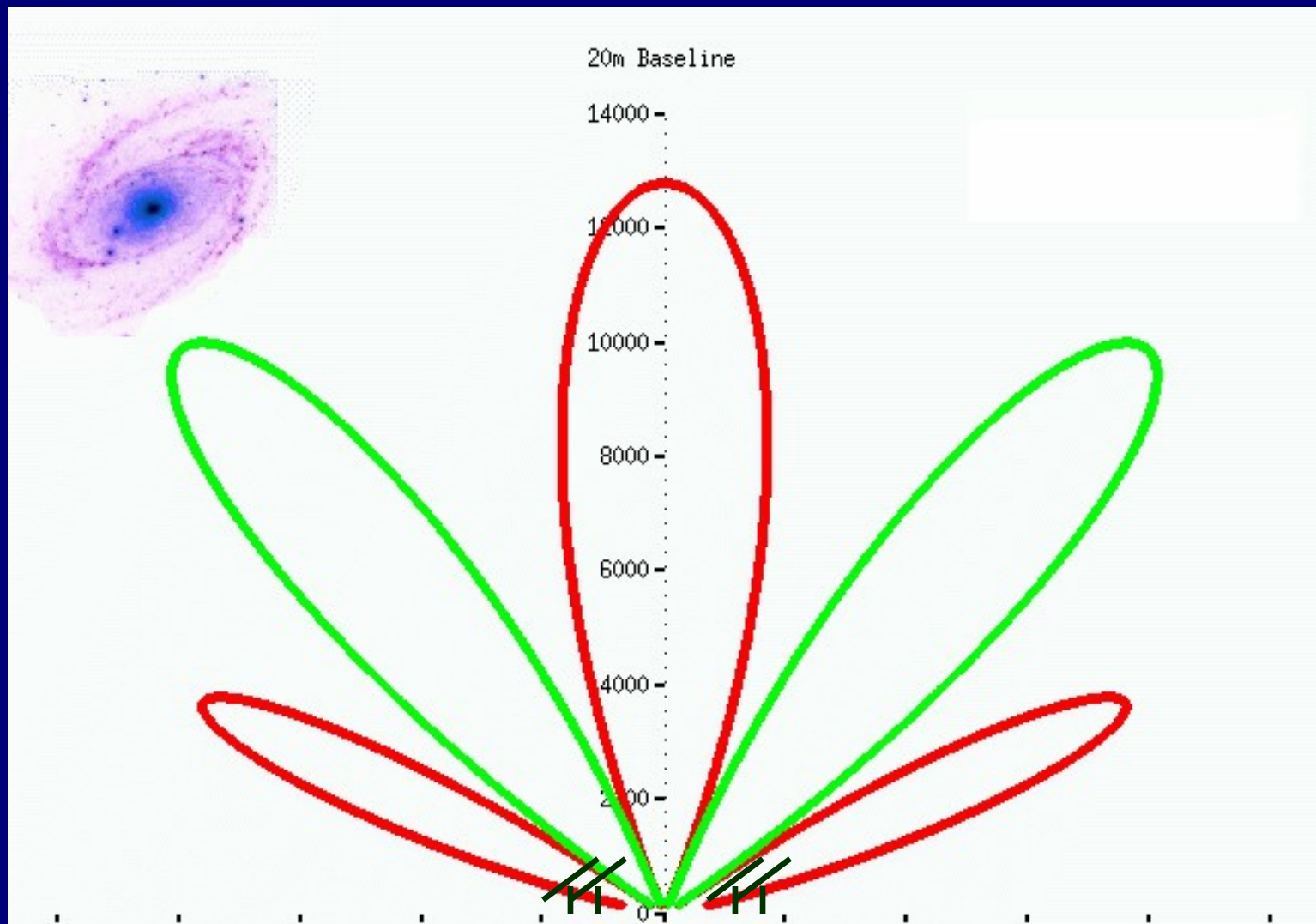
*Budowa wizerunku i pozycji Polski w Europie i świecie jako kraju nowoczesnego, o znaczącym potencjale gospodarczym, naukowym i technologicznym, kraju ludzi wyedukowanych, otwartych na nowe idee, ludzi kreatywnych.*

# Radio Astronomy – a Simple approach

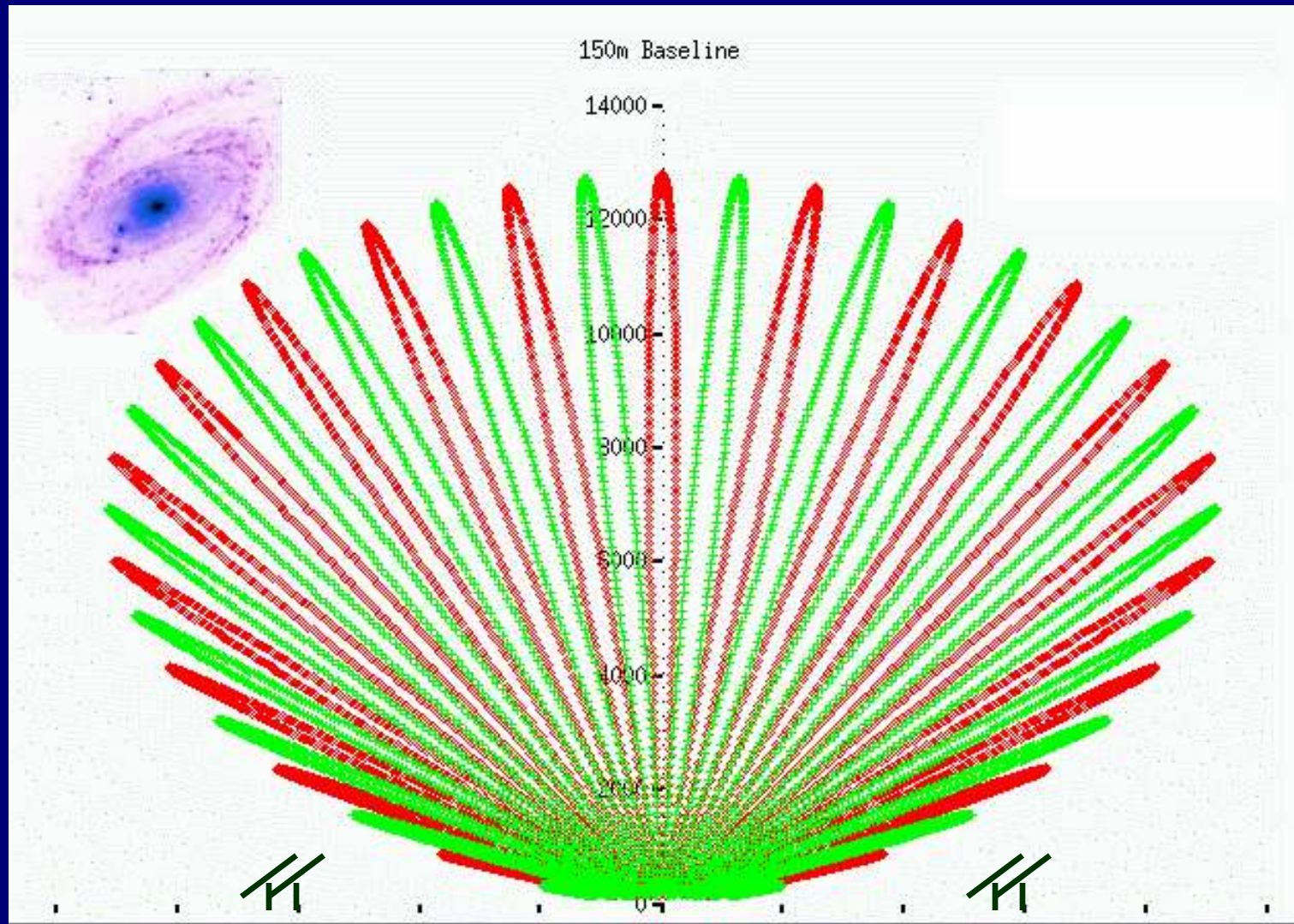




# *Krótkie bazy = szerokie listki*



# *Długie bazy = wąskie listki*

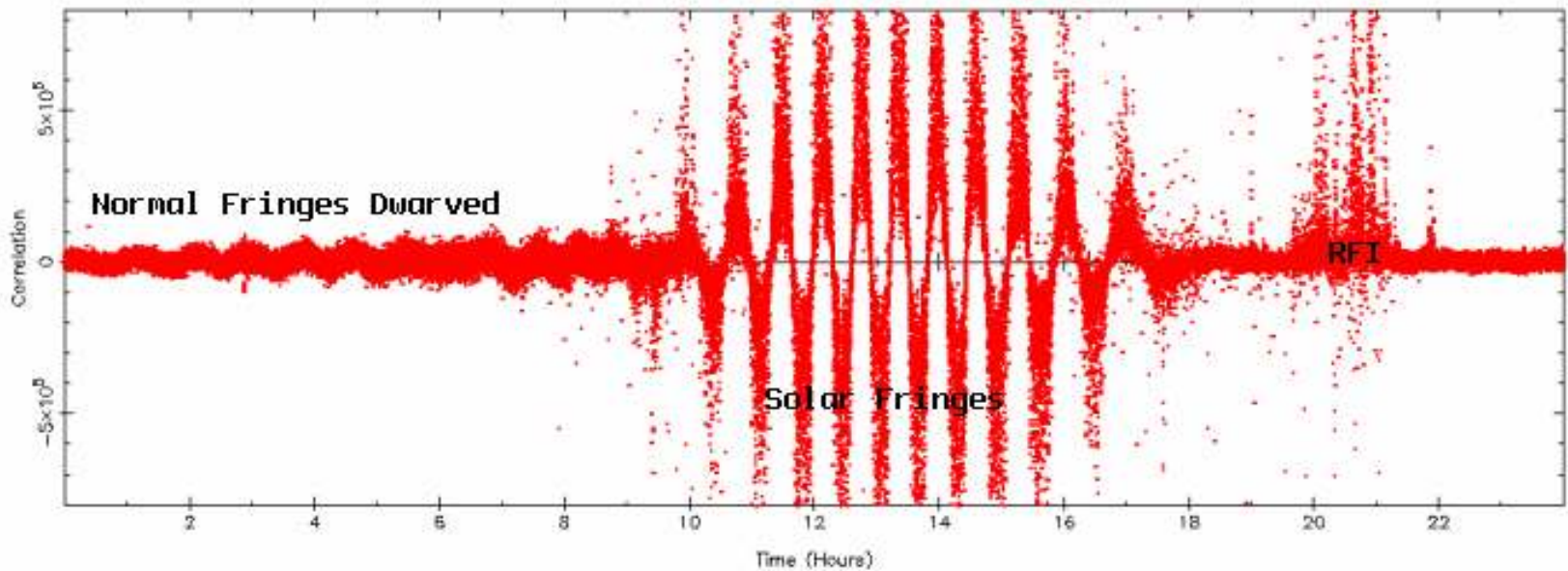
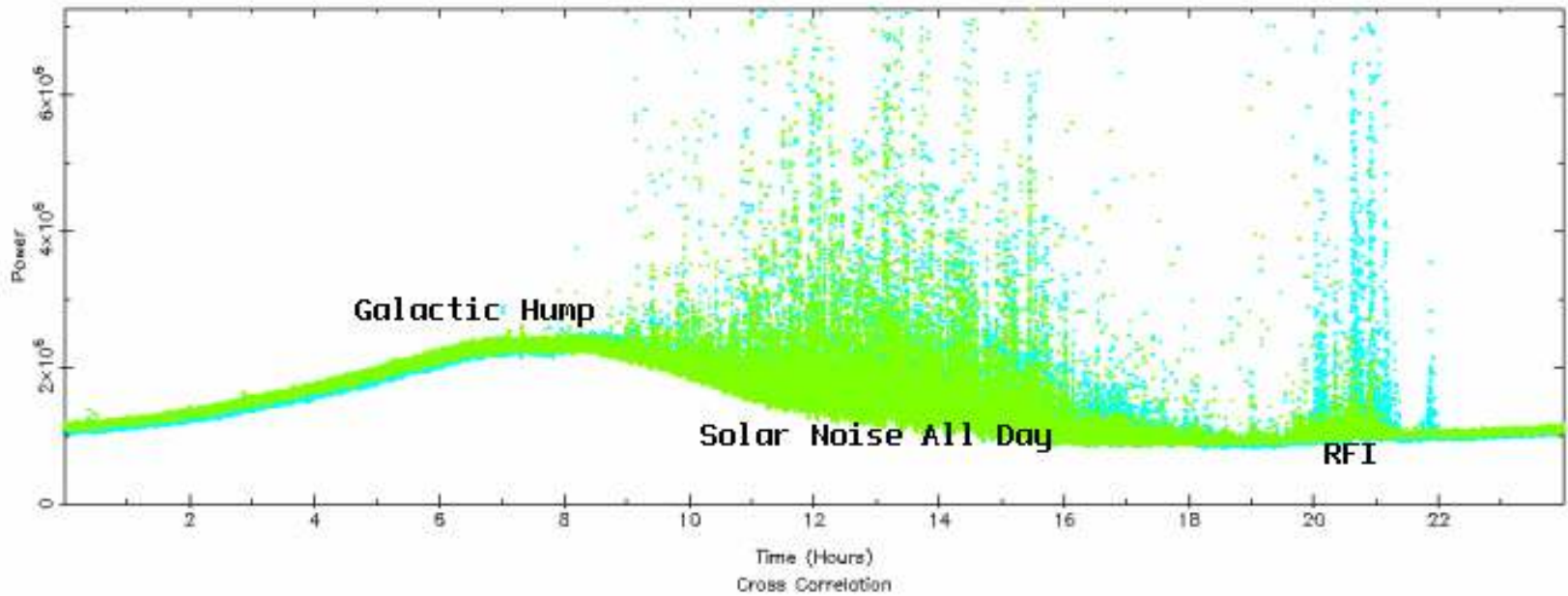




Radio-Active Sun 2004/03/05

Input Powers

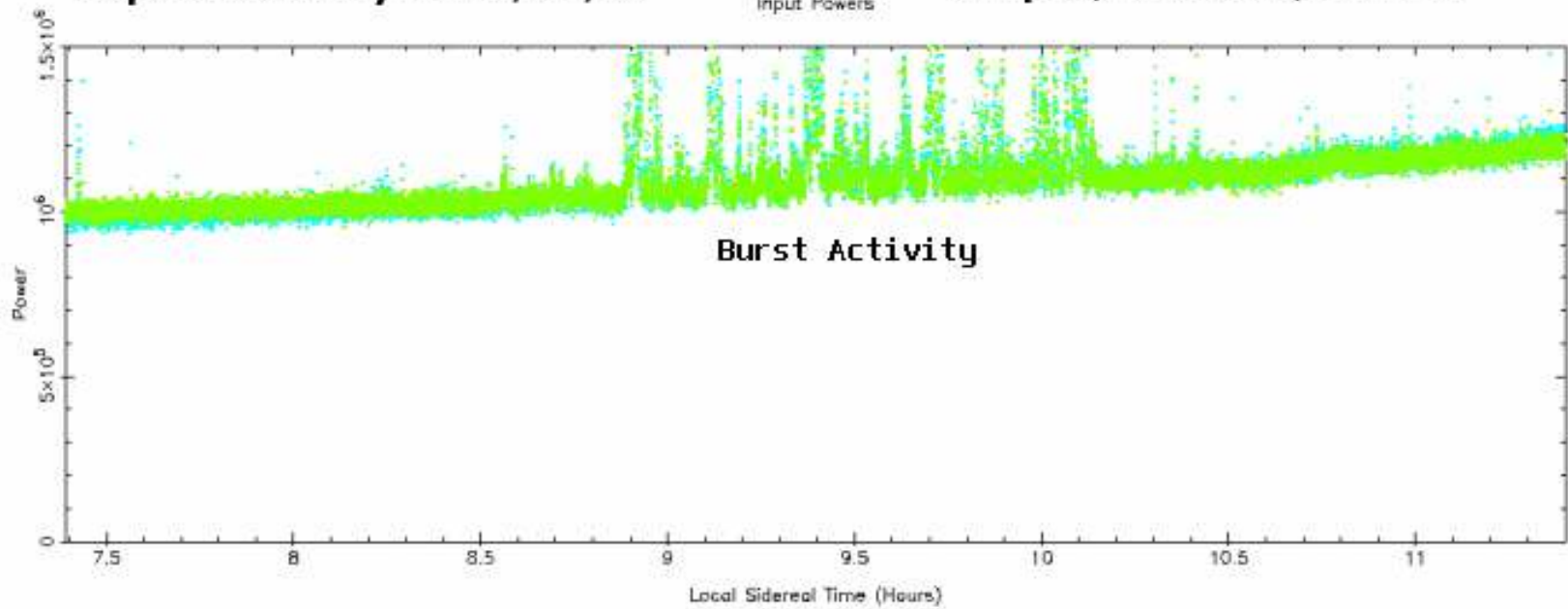
Simple, Narrabri, 30S/150E



# Jupiter Activity 2004/02/27

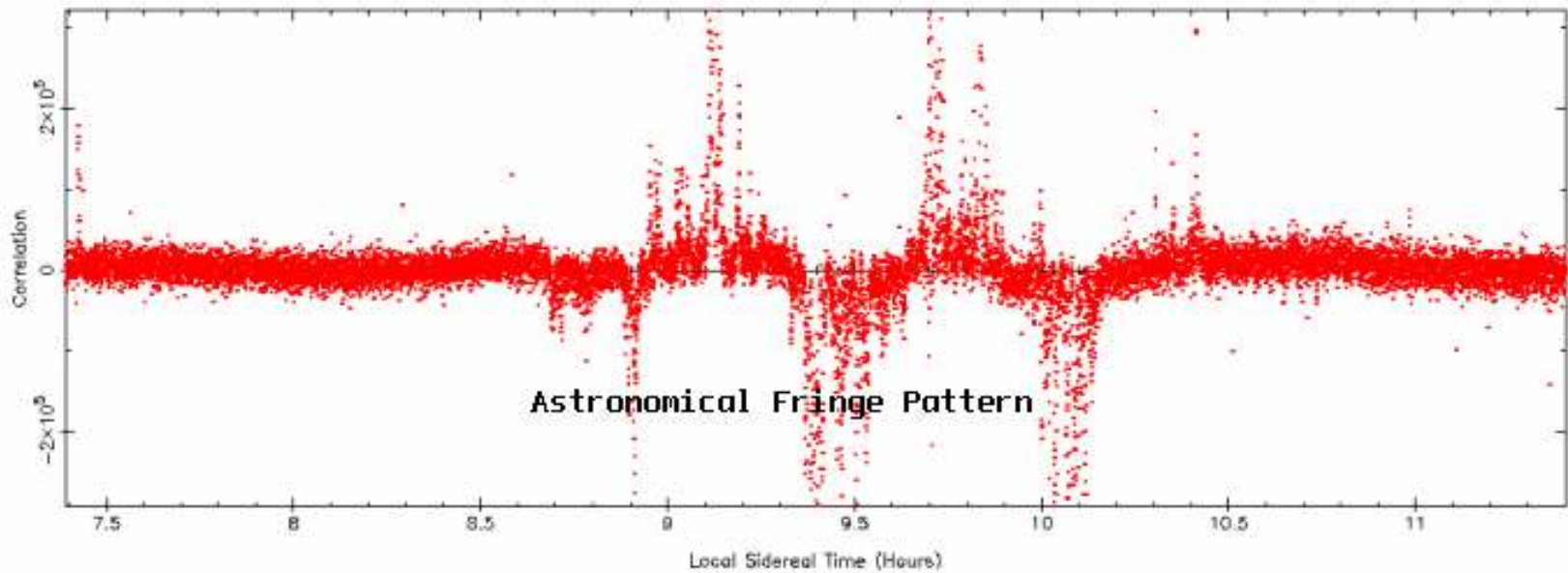
# Simple, Narrabri, 20MHz

Input Powers



Local Sidereal Time (Hours)

Cross Correlation



Astronomical Fringe Pattern

Local Sidereal Time (Hours)



# Słuchamy kosmosu-1

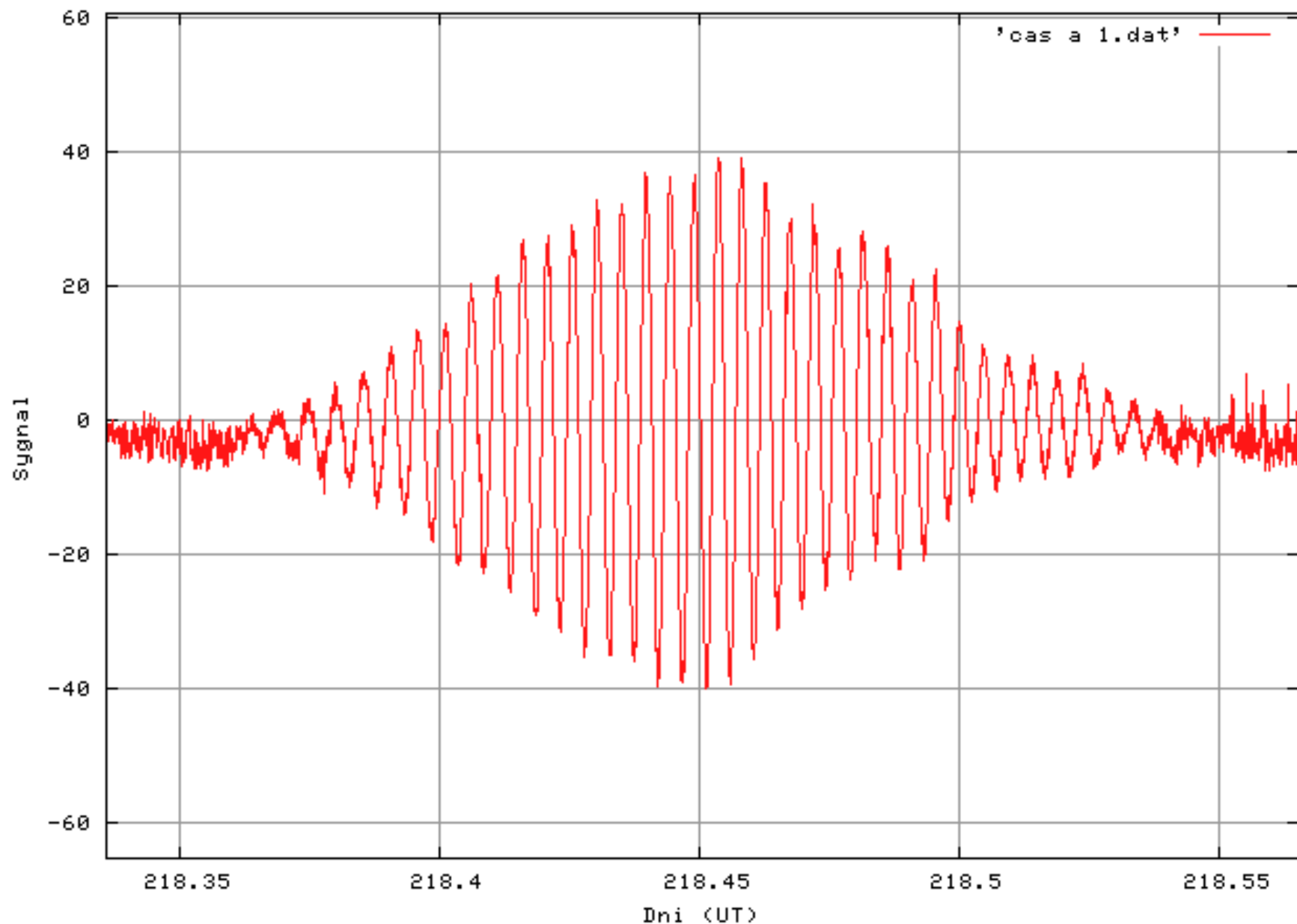








Interferometr 680 MHz. Baza 16 m. Listki interferencyjne od Slonca.



Sun Aug 07 17:20:00 2005

*Koniec*



*Dziękuję za uwagę*







