

# *Radioastronomia*

*Zulema Abraham*

A radioastronomia estuda a emissão dos distintos componentes do Universo em ondas de rádio.

As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda grande ou frequência pequena:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

# THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

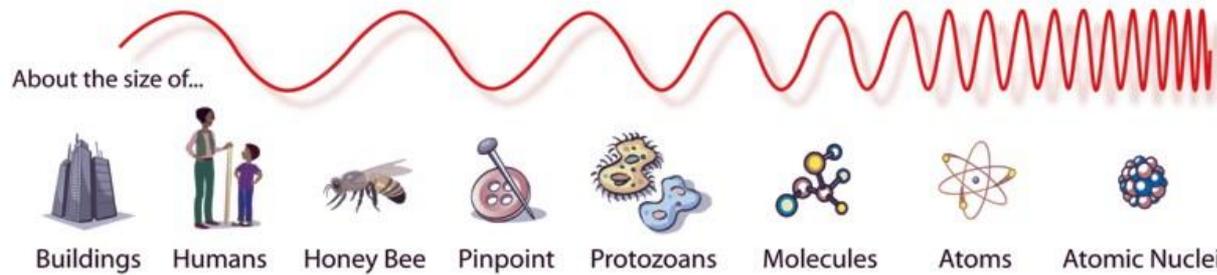
Penetrates Earth Atmosphere?



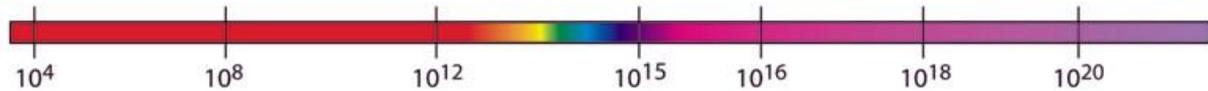
Wavelength (meters)



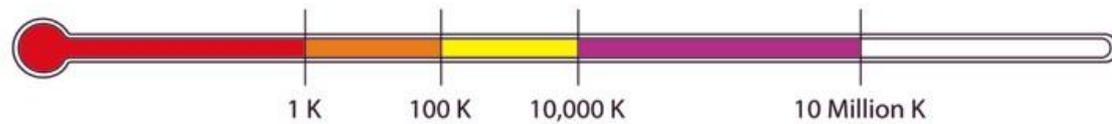
About the size of...



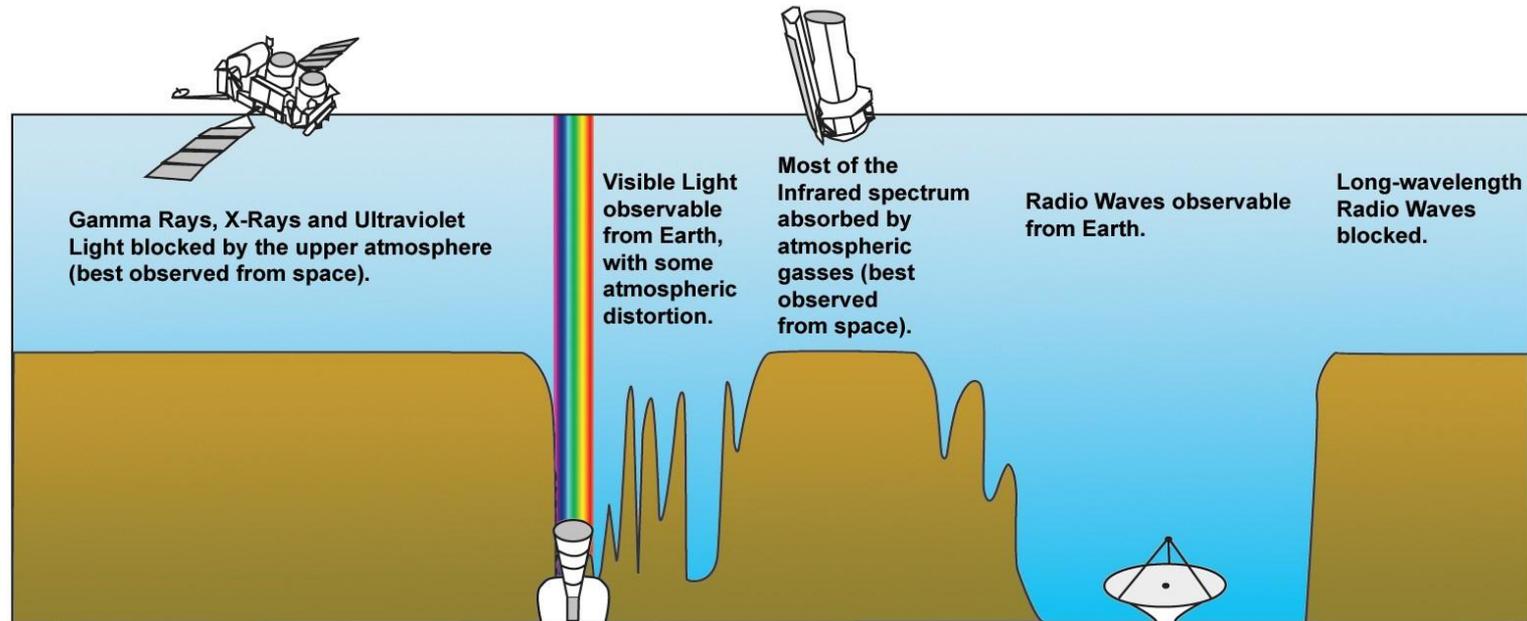
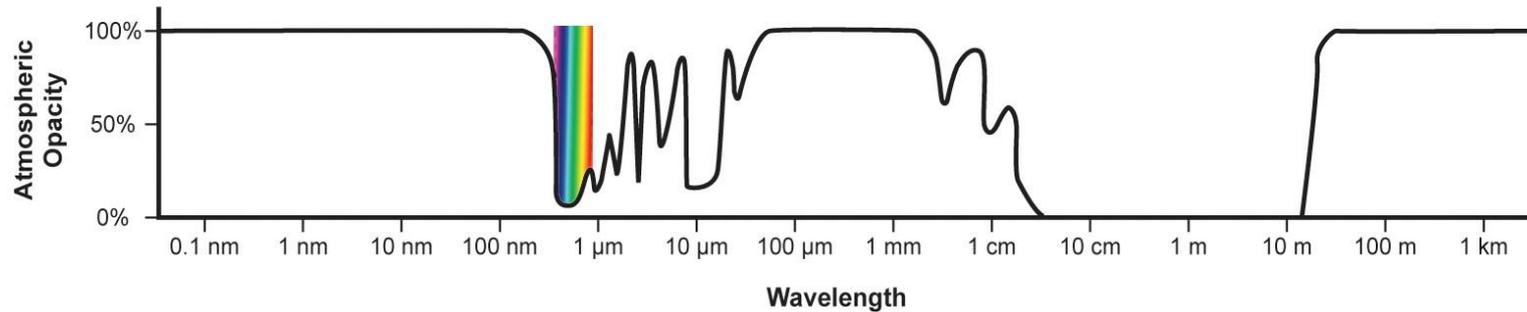
Frequency (Hz)



Temperature of bodies emitting the wavelength (K)

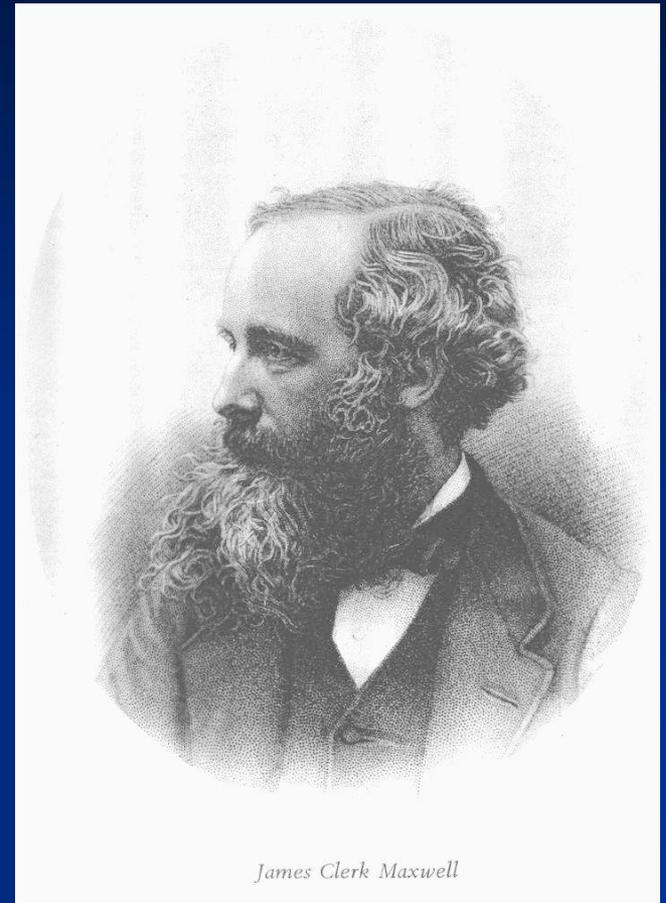


# Opacidade Atmosférica

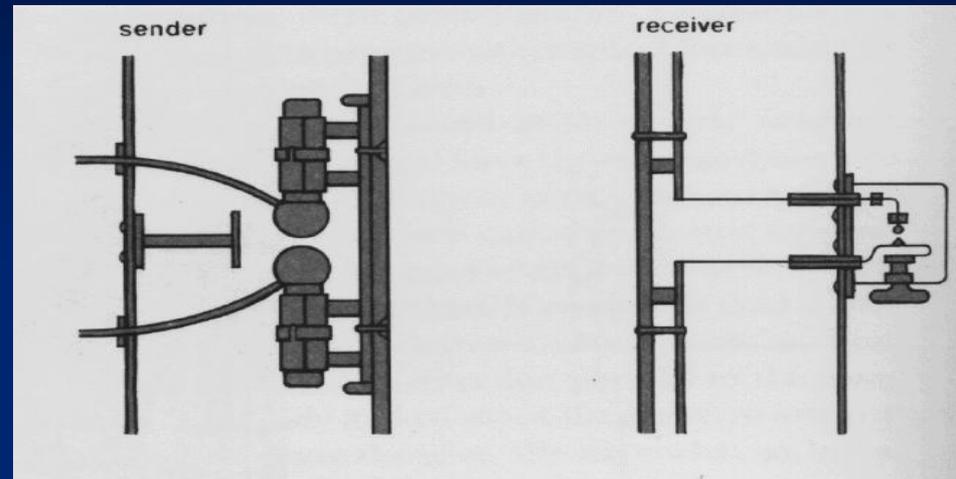


A radioastronomia é uma ciência moderna, desenvolvida no século XX

Foi em 1870 que James Clark Maxwell postulou que a radiação é formada por ondas eletromagnéticas.

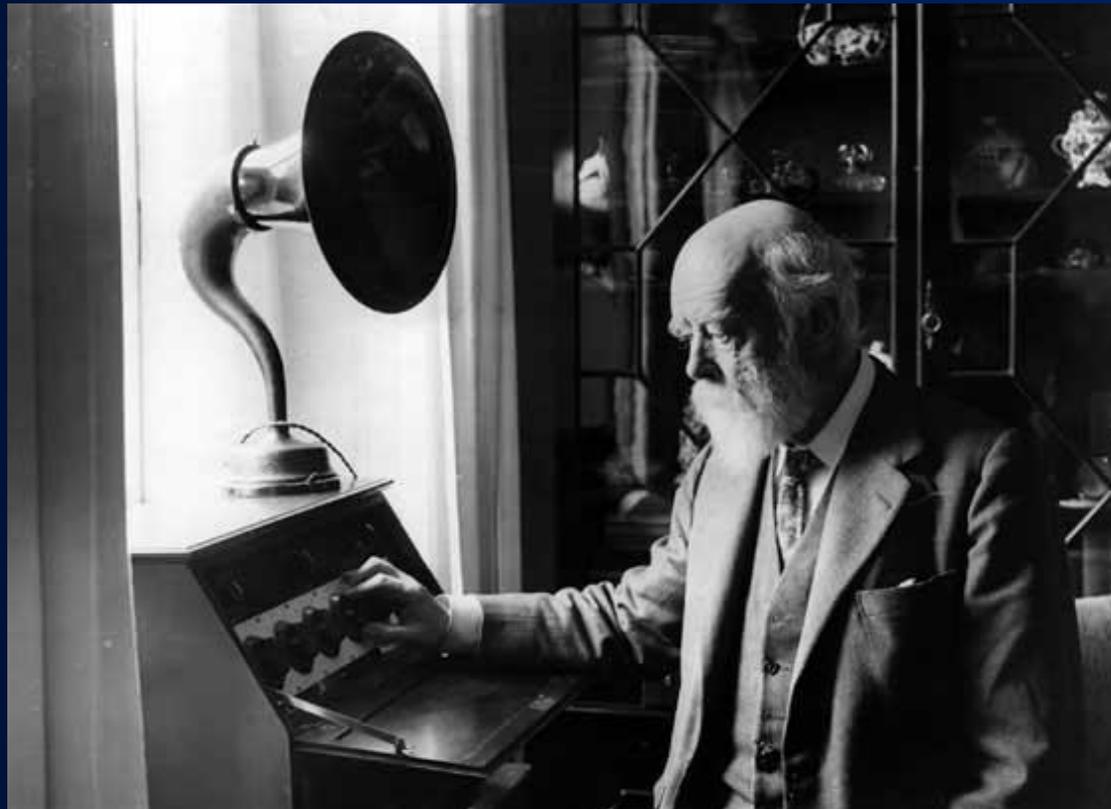


Em 1888, Heinrich Hertz fabricou um aparelho que transmitia e recebia ondas electromagnéticas de 5 m de comprimento de onda



Ele mostrou que as ondas estavam polarizadas e podiam interferir.

Em 1900, Sir Oliver Lodge melhorou os detectores de rádio, introduzindo circuitos sintonizados. Ele inventou também os altofalantes.



Com a descoberta das ondas de rádio, começaram as primeiras tentativas para detectar ondas de rádio do Sol.

Thomas Alva Edison descreveu um experimento destinado a detectá-las, mas não chegou a construir o aparelho.

Em todo caso, ele seria muito pouco sensível, e o comprimento de onda muito longo seria bloqueado pela ionosfera terrestre.

Sir Lodge também tentou detectar o Sol sem resultado. O aparelho era sensível a ondas centimétricas, mas a sensibilidade era baixa e as interferências em Liverpool grandes.

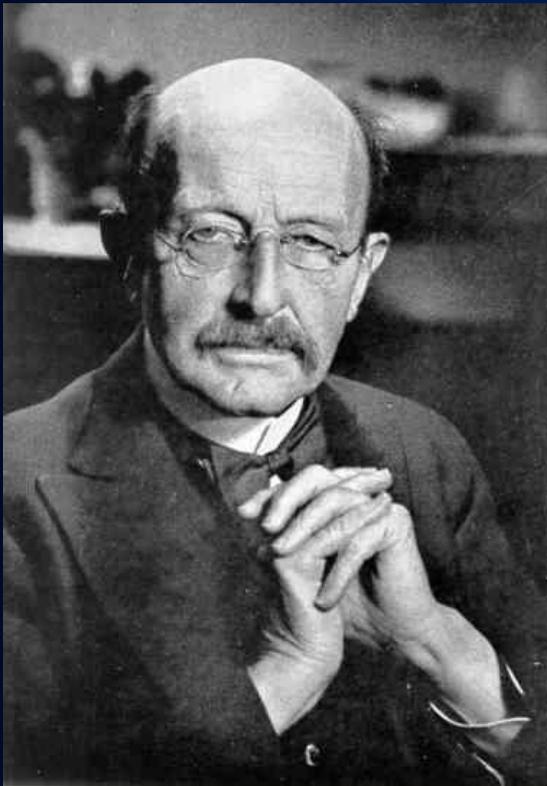
Wilson e Scheiner foram os primeiros astrônomos a publicar um trabalho em revista científica relacionado com a detecção de ondas de rádio do Sol.

Como não conseguiram nenhuma detecção, deduziram, incorretamente, que a radiação devia ser absorvida pela atmosfera terrestre.

Em 1900, Charles Nordman, um estudante de pós-graduação, decidiu colocar um instrumento no Mont Blanc, a 3100 m de altura.

O aparelho era sensível a emissão de “bursts” solares em ondas centimétricas, mas era a época do Sol calmo e nada foi detectado.

Todas as observações foram feitas sem se ter uma ideia da intensidade esperada.

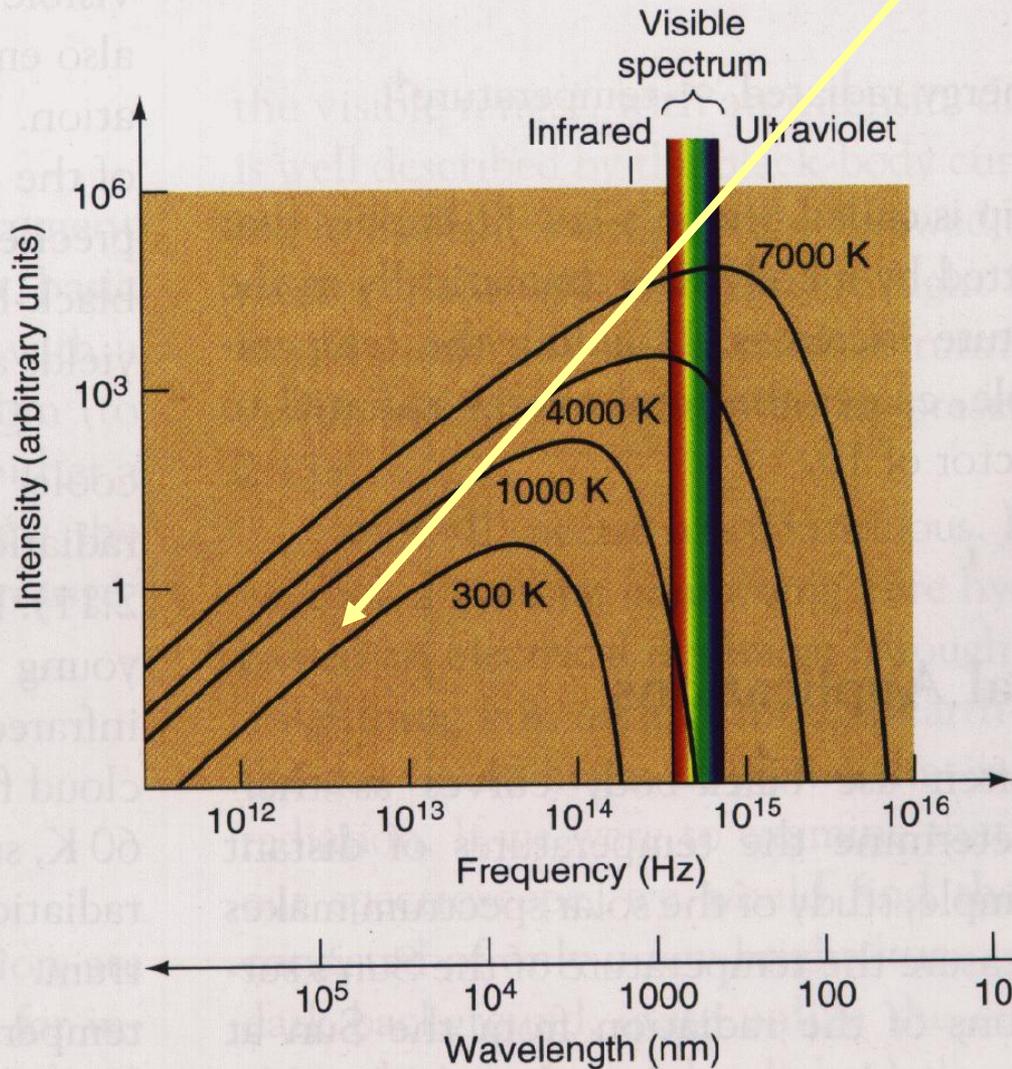


Max Plank estabeleceu a relação entre a intensidade e a frequência da radiação, para um corpo negro de temperatura  $T$

$$I_{\nu} \Delta \nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \Delta \nu$$

$$I_\nu \Delta\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \Delta\nu$$

$$I_\nu = 2kT \frac{\nu^2}{c^2}$$



Em 1902, Oliver Heaviside postulou a existência de uma camada de gás ionizado na parte superior da atmosfera.



Ele sugeriu que a camada seria conveniente para as comunicações de longo alcance, já que a radiação poderia se refletir nesta camada.

A existência da ionosfera foi comprovada em 1920.

Posteriormente foi demonstrado que a ionosfera só afeta as frequências menores que 20 MHz.

Gugliermo Marconi foi responsável por melhorar os receptores de ondas de rádio.

Em 1901, ele conseguiu a primeira transmissão através do oceano, estimulando o desenvolvimento da telefonia comercial.



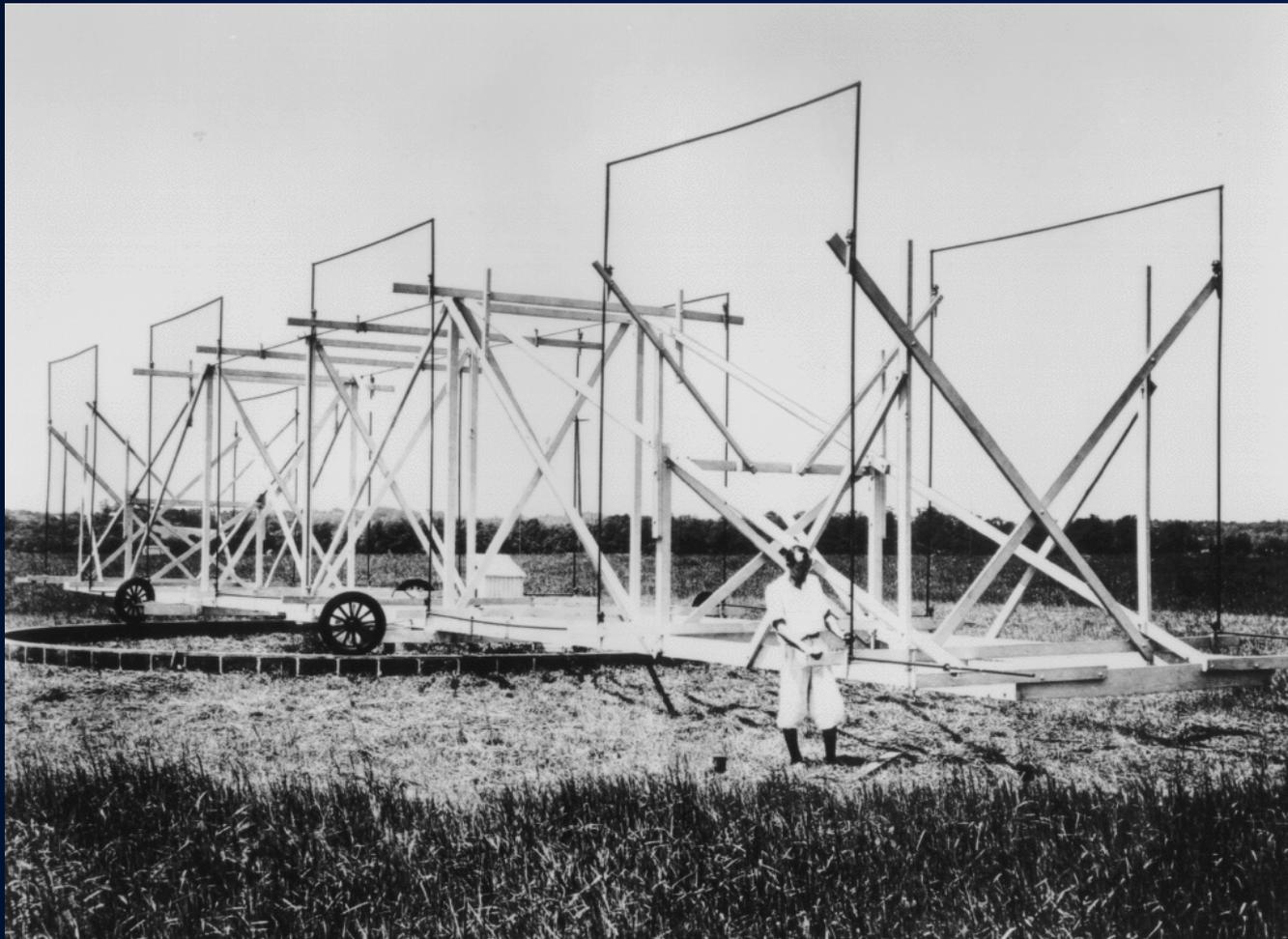
Junto com a telefonia comercial, surgiram os radio amadores.

A telefonia comercial utilizava ondas longas e para os radioamadores so era permitido o uso de ondas curtas.

Eles aperfeccionaram os receptores de ondas curtas, que resultaram ser muito melhores que os de ondas longas, alem de utilizar muito menos energia.

Depois de ser demonstrado que elas favoreciam as comunicações intercontinentais, foram adotadas pela telefonia comercial

Em 1930 a Bell Telephone Company encomendou a Karl Jansky o estudo das possíveis fontes que pudessem interferir nas comunicações em ondas curtas.



Ele identificou 3 fontes de interferência a 20.5 MHz (14.5 m):

1. Tormentas próximas

2. Tormentas afastadas

3. Fonte desconhecida, que resultou se repetir diariamente, com um intervalo de 23<sup>h</sup> 56<sup>m</sup>.

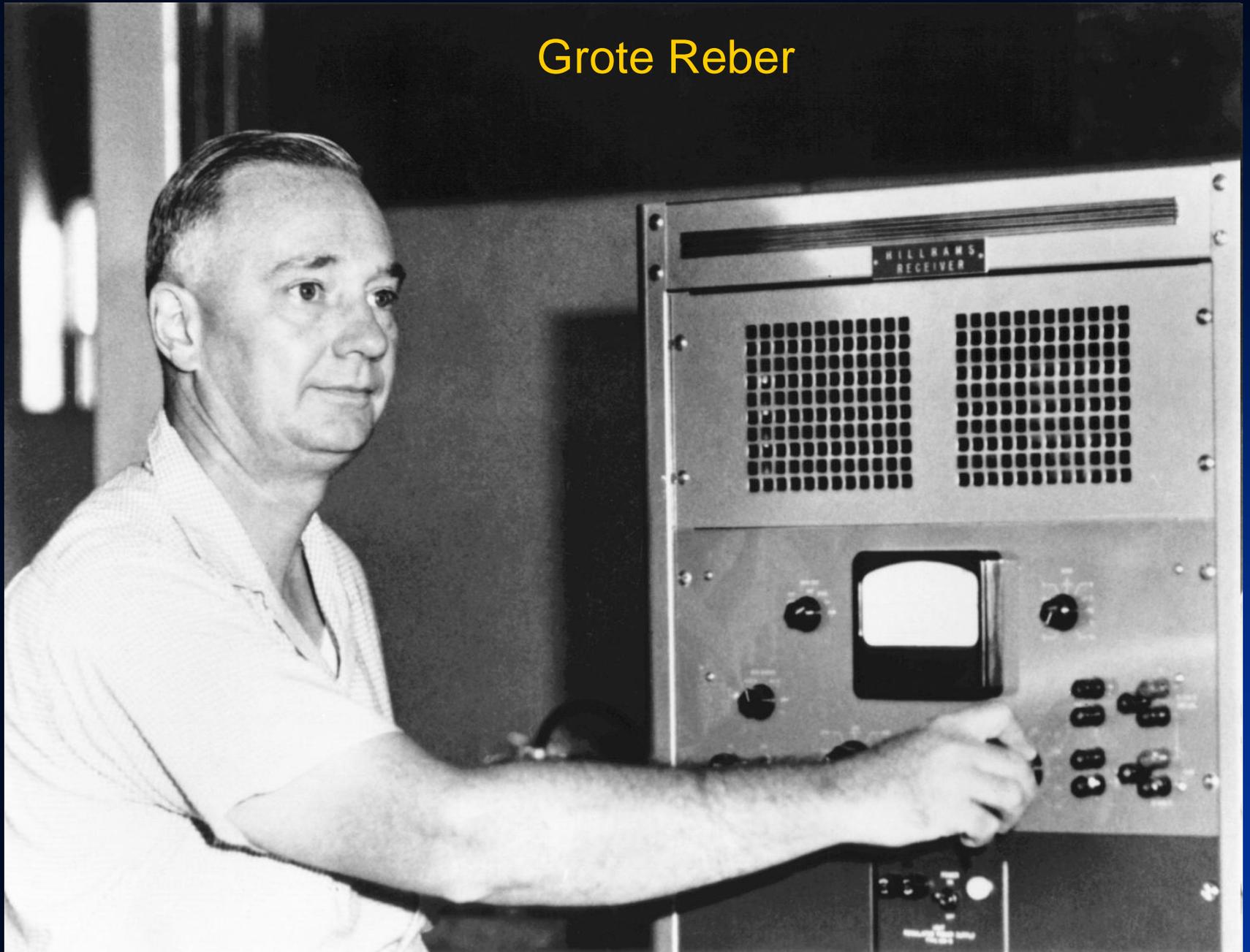
Esta radiação resultou ser proveniente da constelação de Sagitarius, era o Centro de nossa Galáxia.

Karl Jansky

Resultados foram  
publicados no  
New York Times



Grote Reber



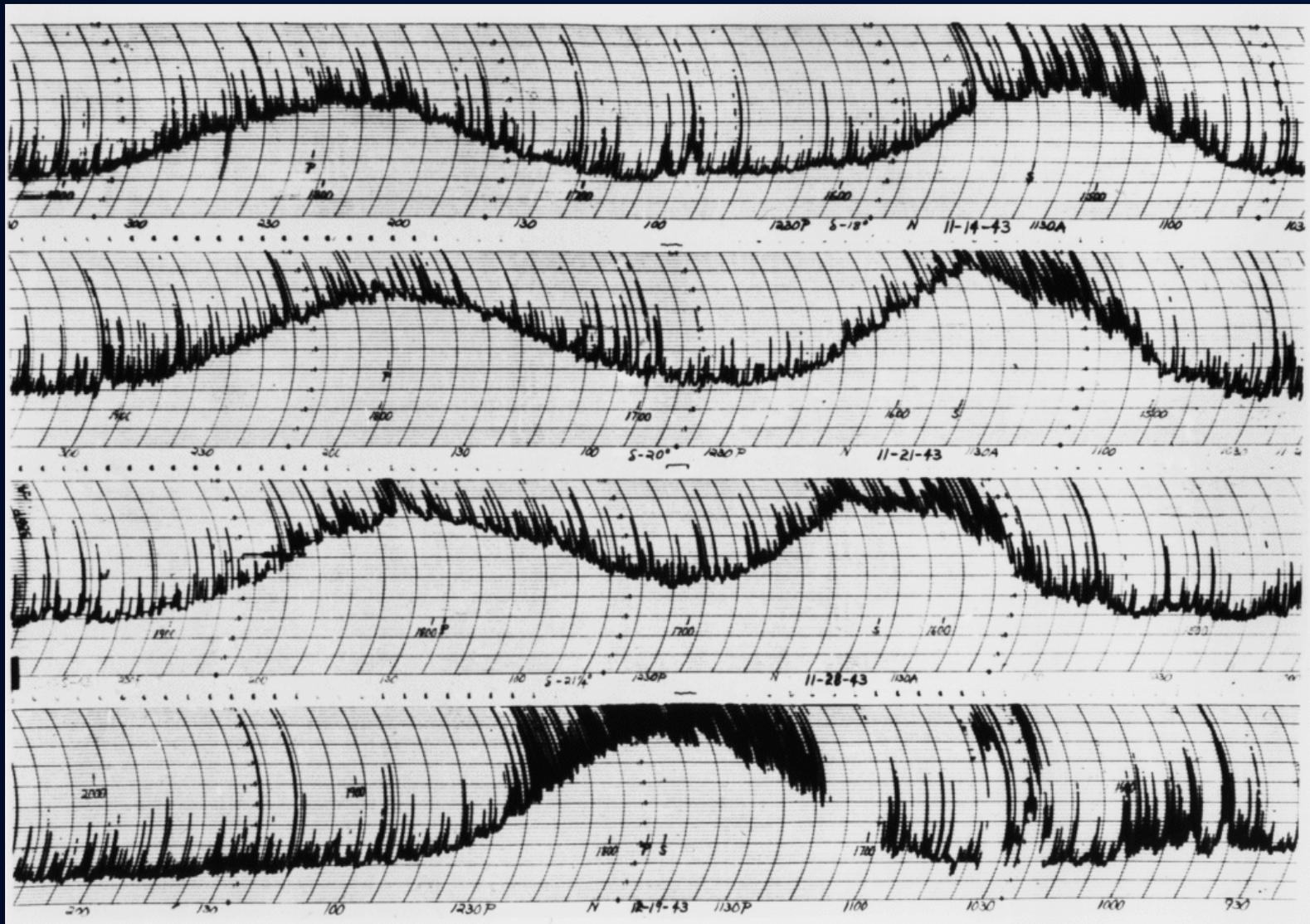
Radiotelescópio  
construído no  
quintal por Reber

Antena de 10 m  
de diâmetro

Receptor: dentro  
de um cilindro a  
6 m acima do solo



# Sinais detectados por Reber: CG, Sol, interferências



# Mapa da Galáxia feito por Reber em 160 e 480 MHz

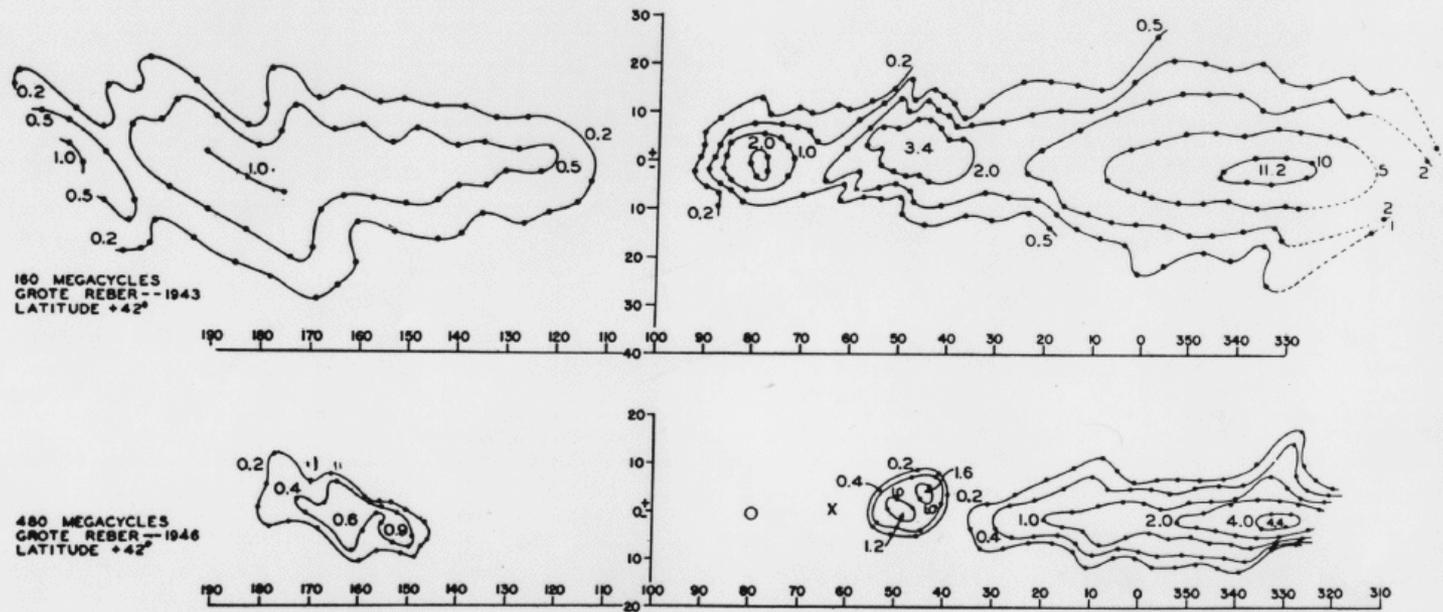


FIG. 7—Contours of constant intensity at 160 MHz and 480 MHz, taken at Wheaton, Illinois.

## Início da Radioastronomia na Inglaterra

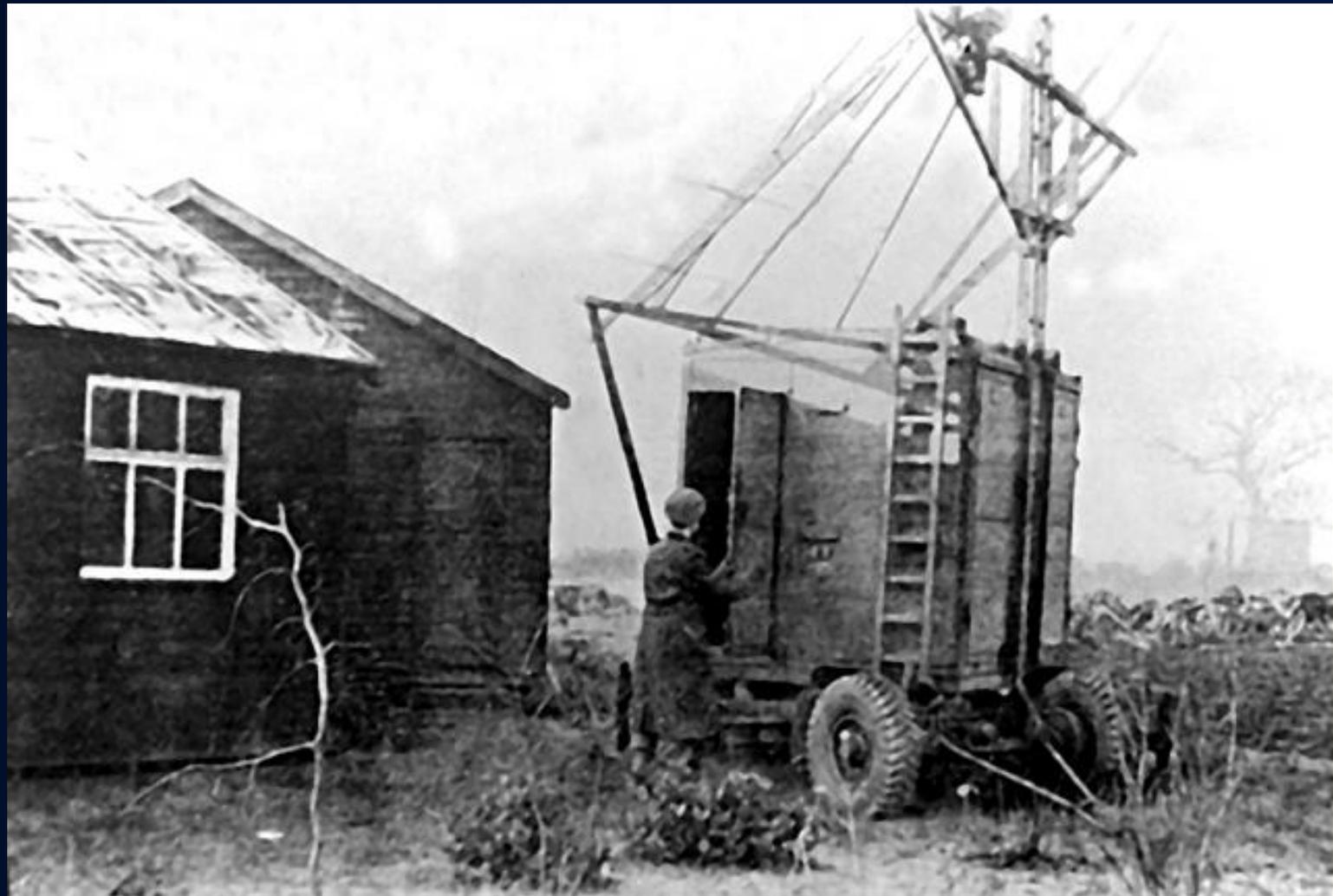
Antes de Segunda Guerra Mundial, Bernard Lowell estudava em Manchester os Raios CósMICOS.



Durante a Guerra trabalhou no desenvolvimento de radares.

Ele detectou “echos” de origem desconhecida, que pensou poderiam ser devidos aos raios cósmicos (na realidade, eram meteoros).

Radiotelescópio adaptado de um radar, comprado por Lowell depois da Guerra, instalado em Jodrell Bank



Telescópio construído  
por Lowell em 1947.

Foram descobertas:

A Grande Nebulosa  
em Andrômeda

Remanescente da  
supernova de Tycho,  
que explodiu em 1572



Radiotelescópio Mk I, em Jodrell Bank: acompanho a trajetória do Sputnik I.



Sala de controle do radiotelescópio MK I: os movimentos eram controlados por computadores analógicos.

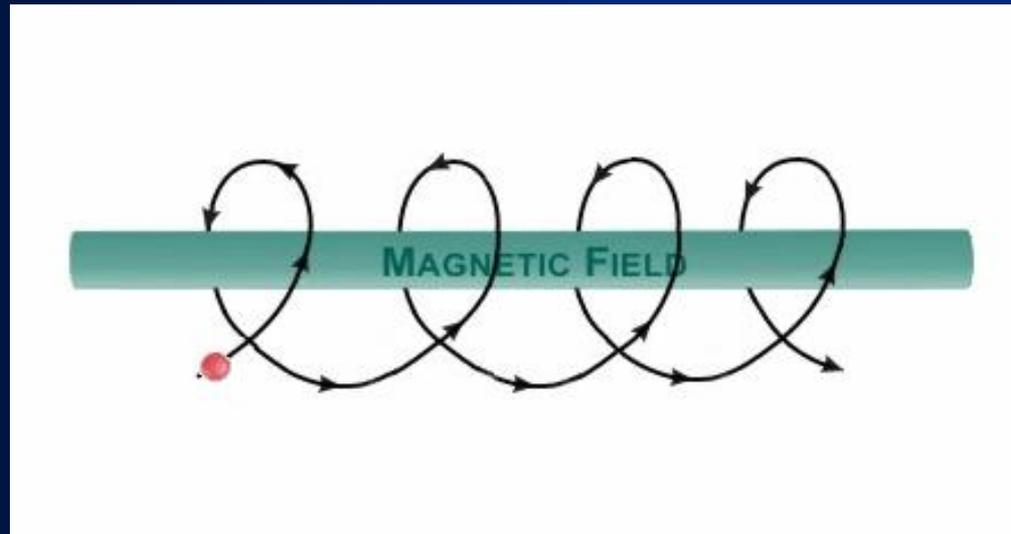


# Origem das ondas de rádio

Radiação térmica: contrário ao observado  
( $I$  aumenta com  $\nu$ )

$$I_{\nu} = 2kT \frac{\nu^2}{c^2}$$

Radiação síncrotron (proposta por Ginzburg em 1950)



## Início da Radioastronomia na Holanda

Jan Oort estudava a estrutura da Galáxia a partir de estrelas e nebulosas.

As distâncias não eram muito grandes devido à absorção da radiação óptica pela poeira.

Era necessário encontrar linhas em ondas de rádio.



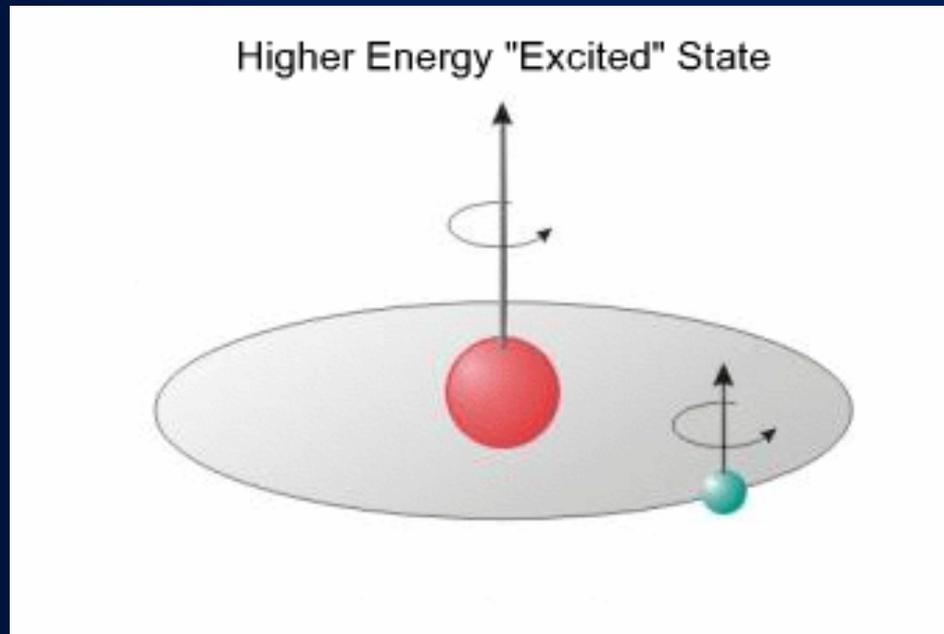
As linhas são necessárias porque permitem calcular a velocidade do material que as emite, através do efeito Doppler.

$$\lambda_{obs} = \lambda_{em} \left[ \frac{1+v/c}{1-v/c} \right]^{1/2} \quad v_{obs} = v_{em} \left[ \frac{1-v/c}{1+v/c} \right]^{1/2}$$

No caso não-relativístico:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} = \frac{v}{c}$$

van der Hulst, aluno de Oort, calculou a frequência da linha hiperfina do H neutro, resultante da transição entre os spins do próton e elétron de paralelo para anti-paralelo.

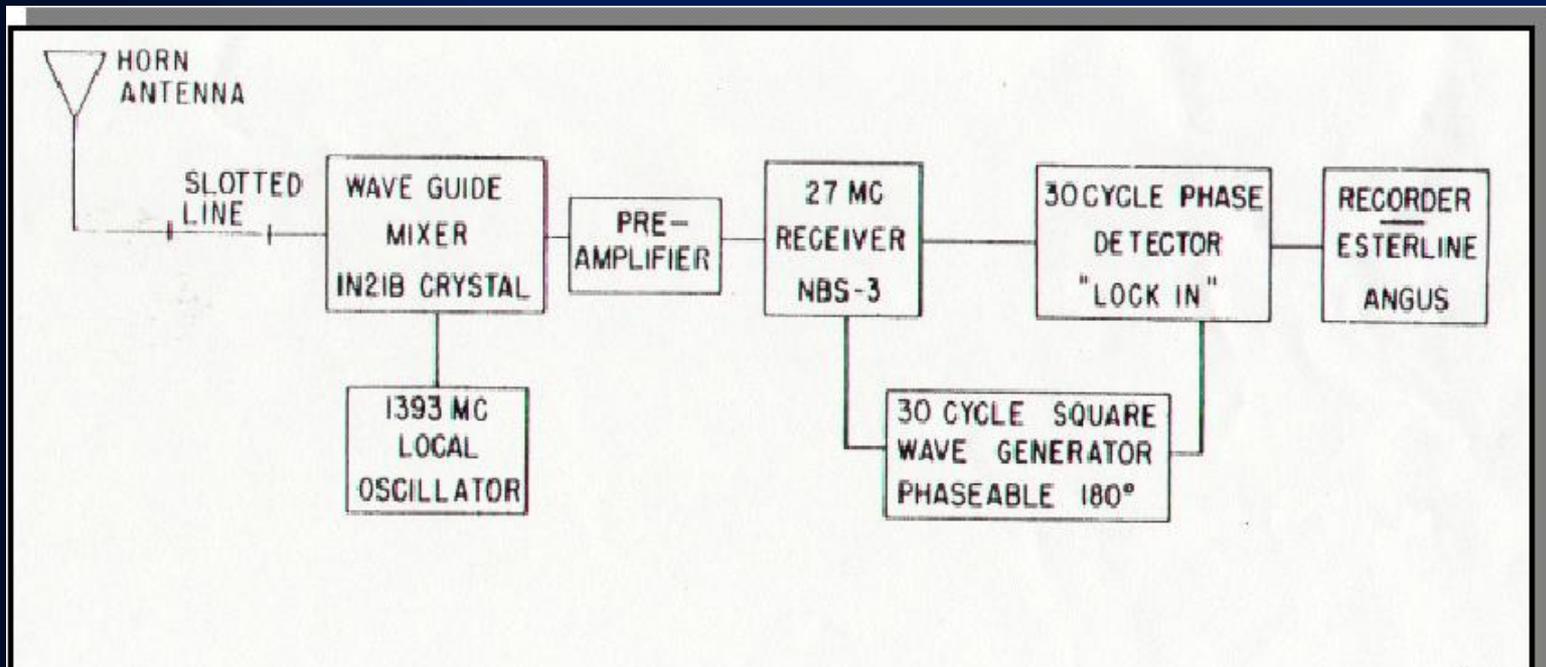


A frequência é de 1420 MHz ou 21 cm

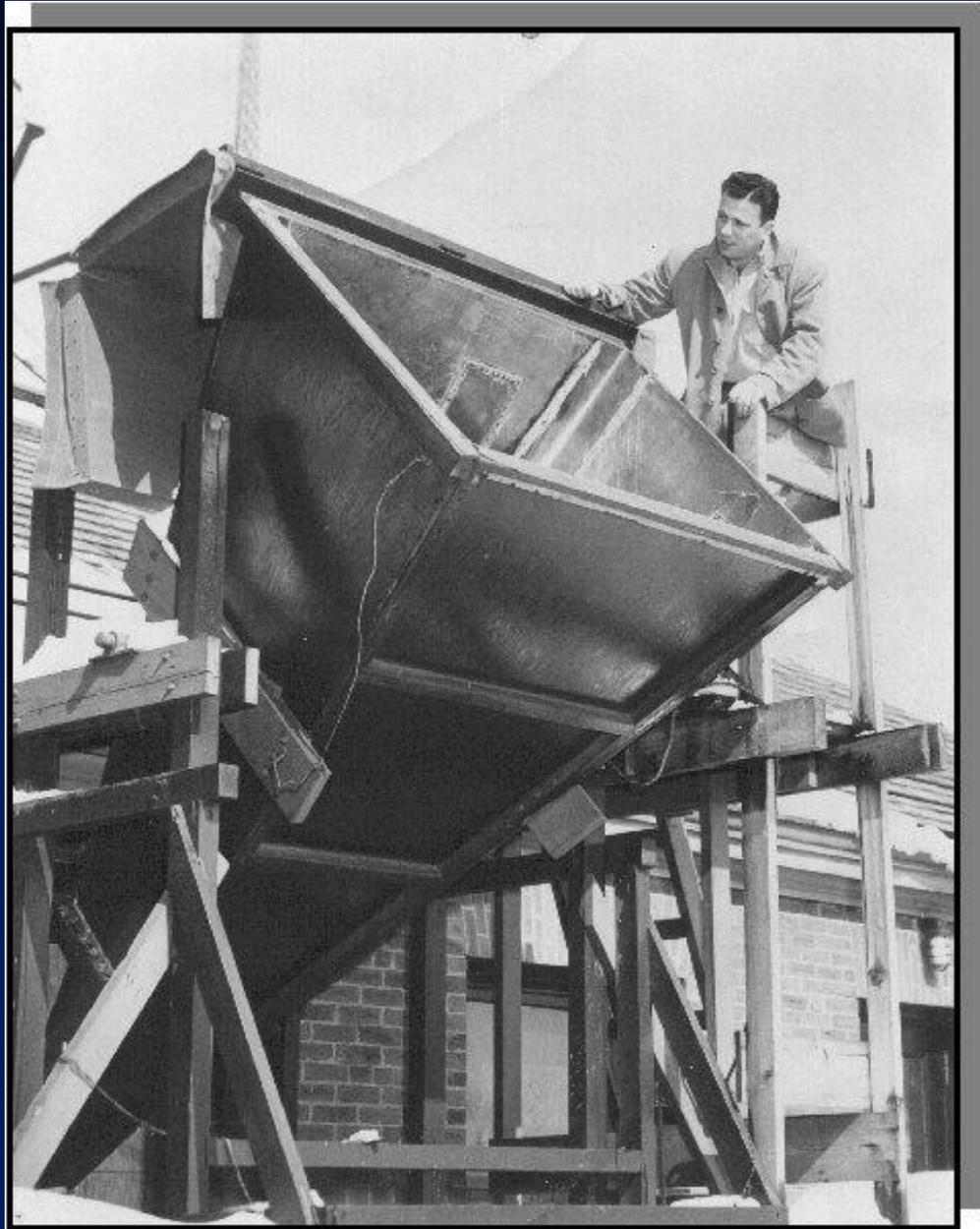
A linha foi detectada pela primeira vez por H. I. Ewen e M. Purcell em Harvard, Massachusetts em 1951.



Esquema do receptor: o chaveamento em frequência eliminava as interferências.



A corneta estava  
acoplada a janela da  
sala do receptor.



# Radioastronomia Moderna

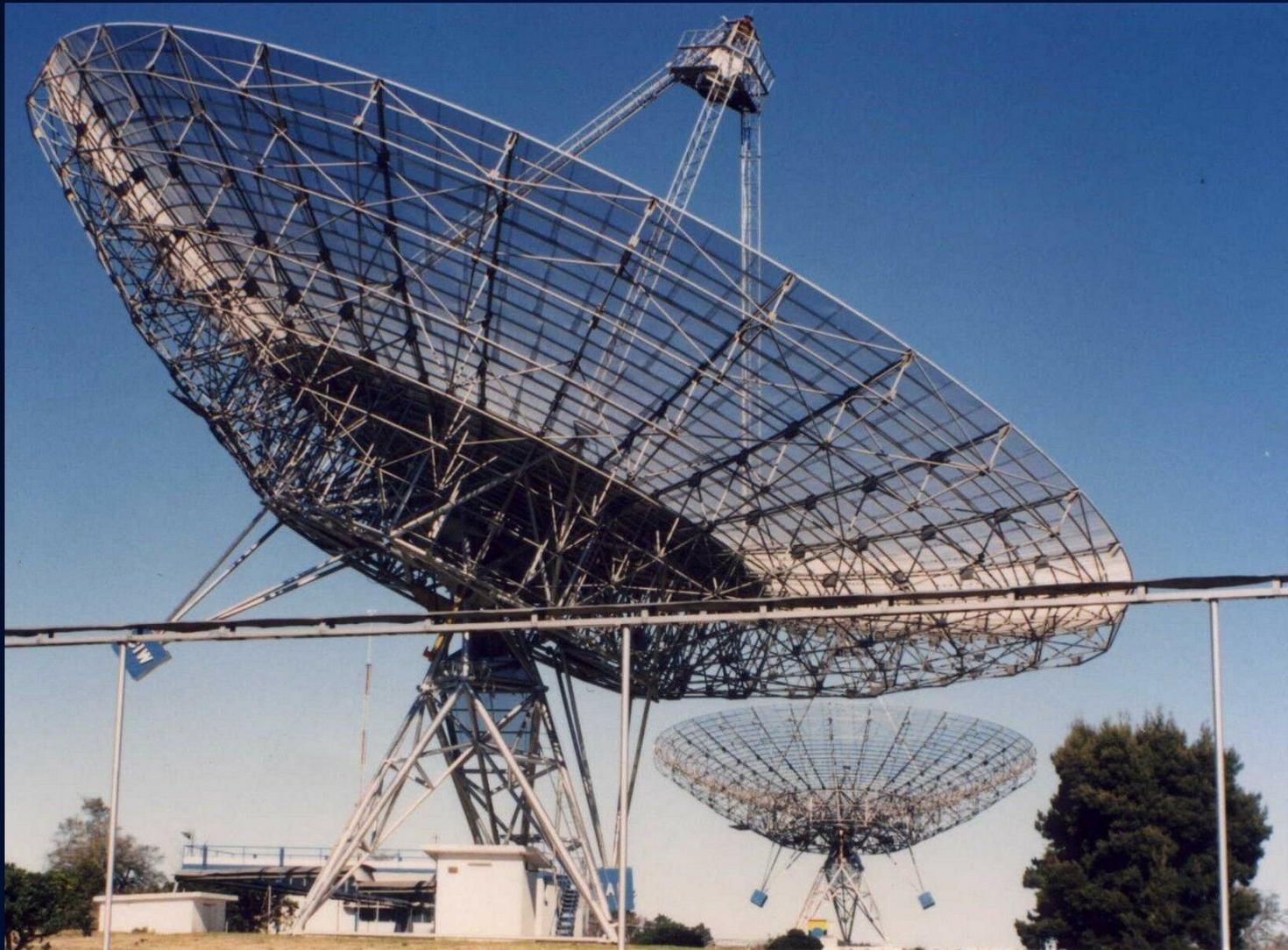
Existem vários tipos de radiotelescópios, mas todos requerem:

1. Uma área coletora grande
2. Receptores sensíveis.

São utilizados amplificadores e no caso de radiação contínua, uma banda de frequências larga.

Deven ser colocados em lugares isolados para evitar interferências e altos, no caso de ondas milimétricas.

IAR: Argentina, montagem equatorial, foco primário.  
30 m de diâmetro, 21 cm e 2 cm (superfície aberta e fechada)

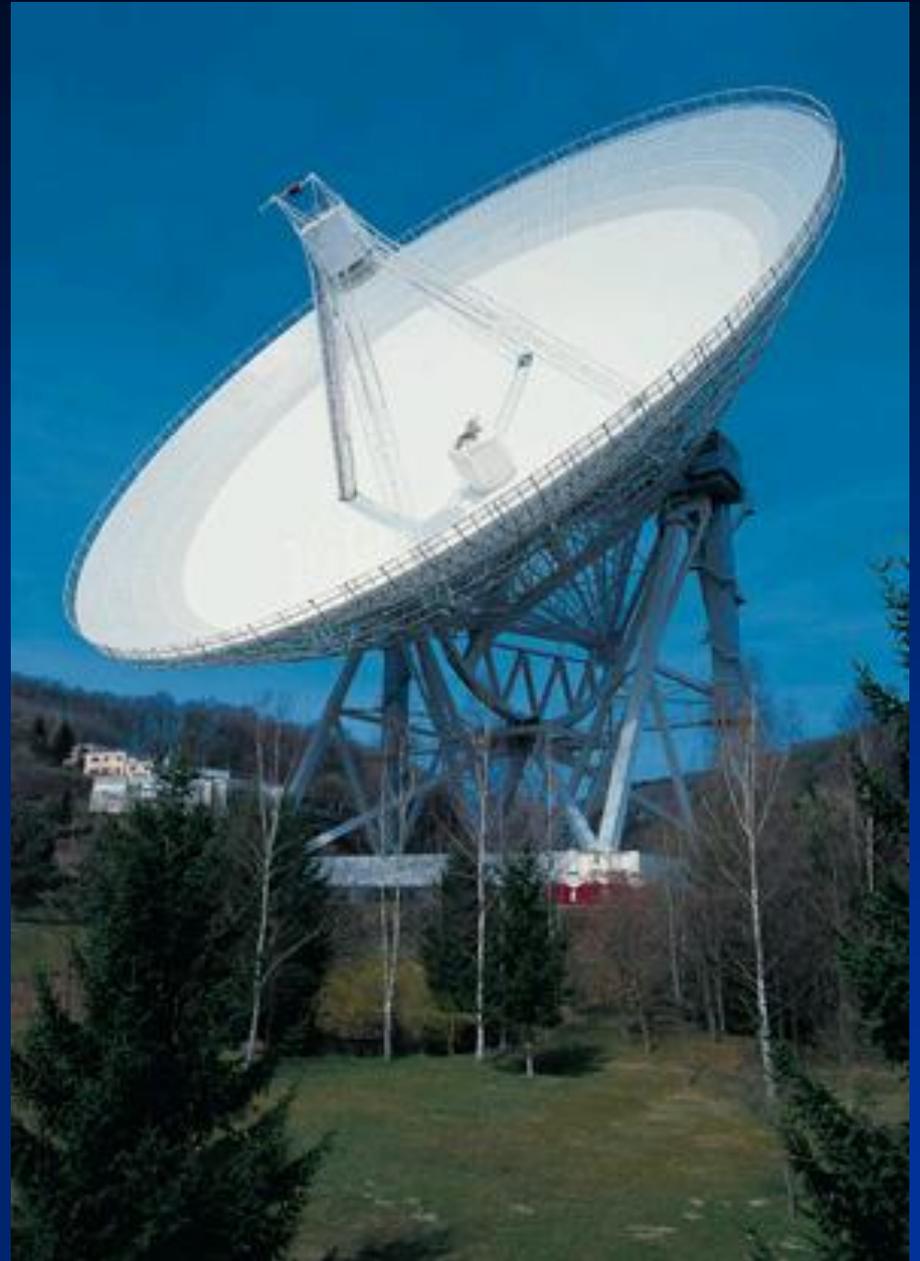


# Parkes, 64 m, Austrália.



Effelsberg, Max Plank,  
Alemanha

100m, foco primário

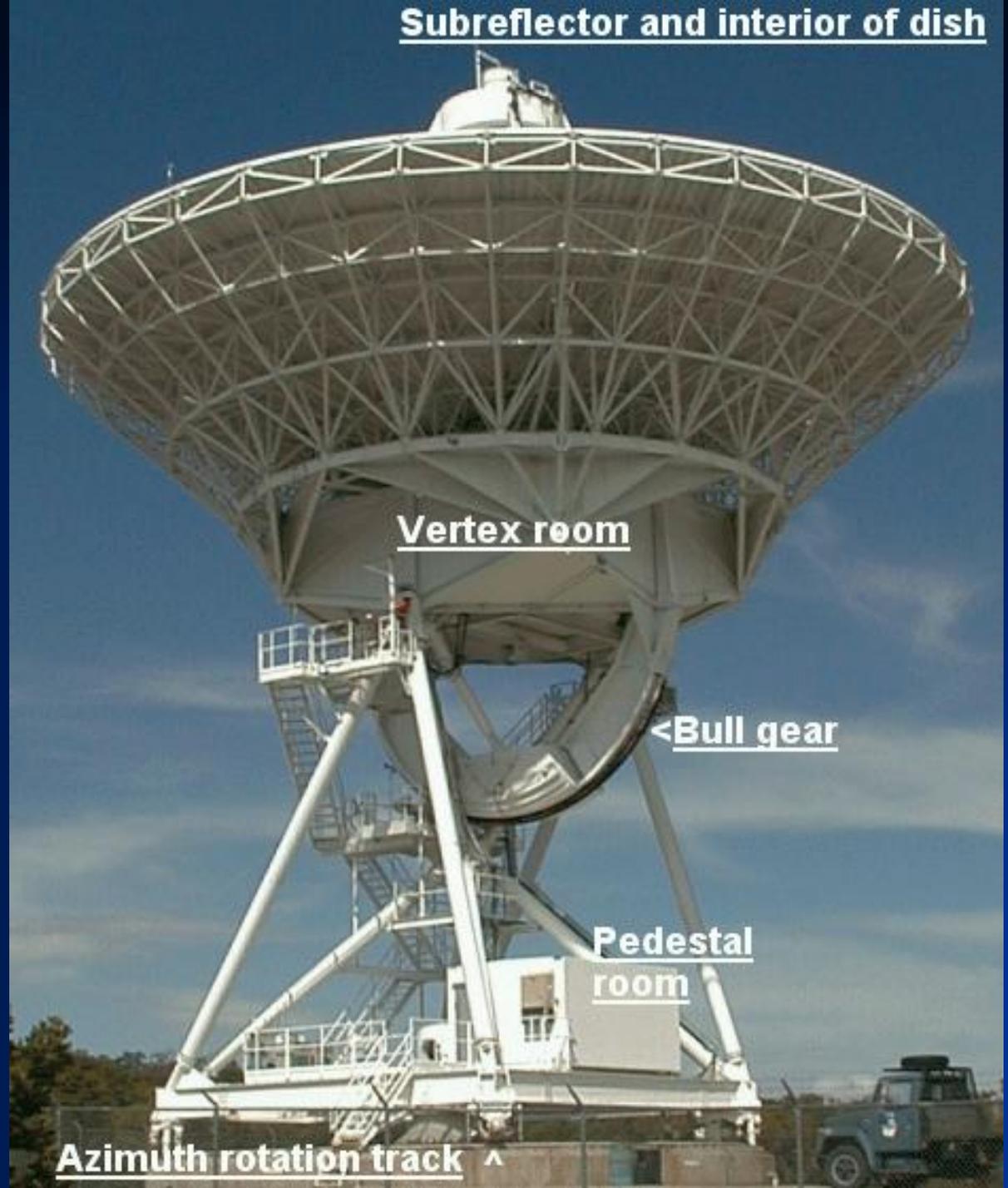


Subreflector and interior of dish

Antena do VLBA

foco Cassegrain

25 m



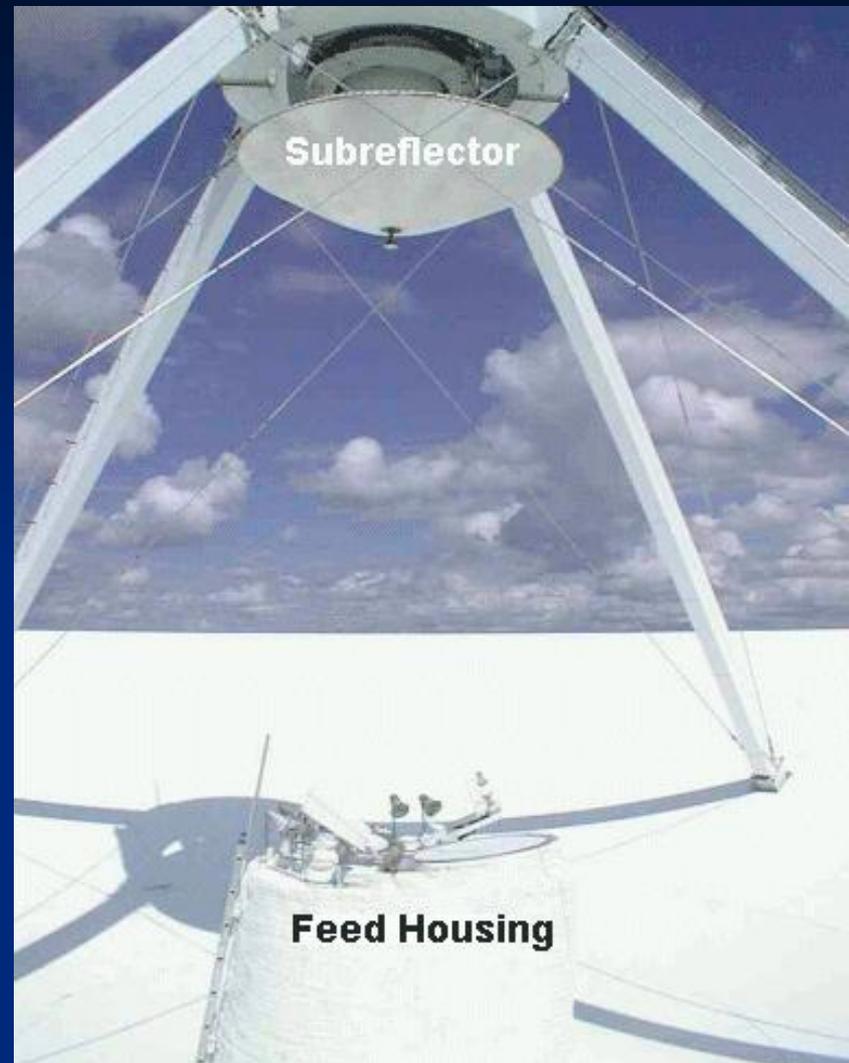
Vertex room

Bull gear

Pedestal room

Azimuth rotation track ^

# Subreflector





Radiotelescópio do Itapetinga, Cassegrain,  
diâmetro 13,7 m, 18-48 GHz, coberto por redoma





# Tamanhos

Superfície coletora grande:

- aumenta a sensibilidade
- aumenta a resolução angular

$$R \propto \frac{\lambda}{D}$$

Tamanho máximo de telescópio móvel:

- 100 m devido à deformações
- menor para aumentar a precisão da superfície

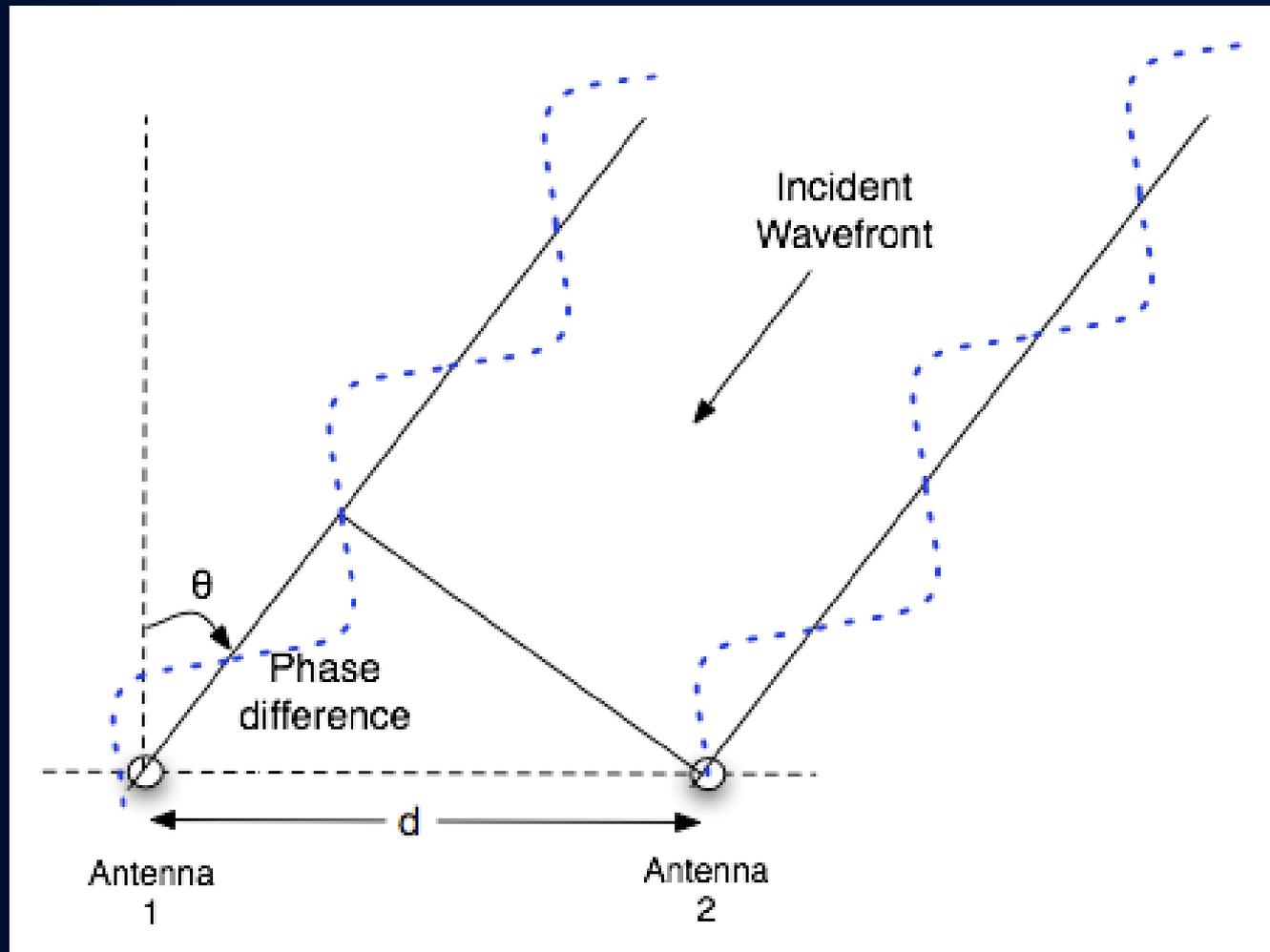


**Arecibo (Puerto Rico)**

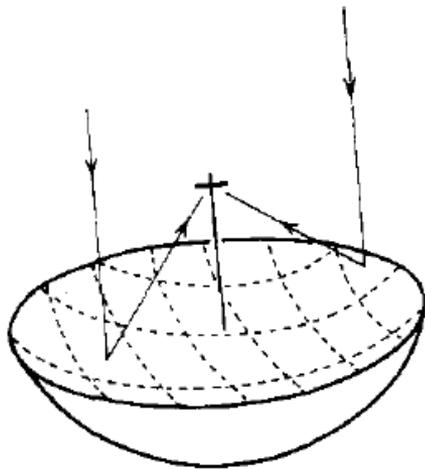
**Diâmetro 305 m**



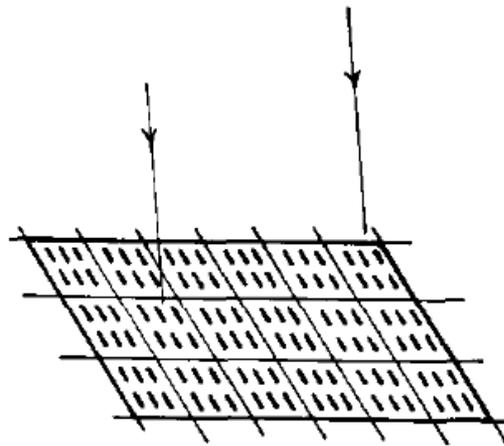
# Interferometria: sinal proveniente de duas antenas:



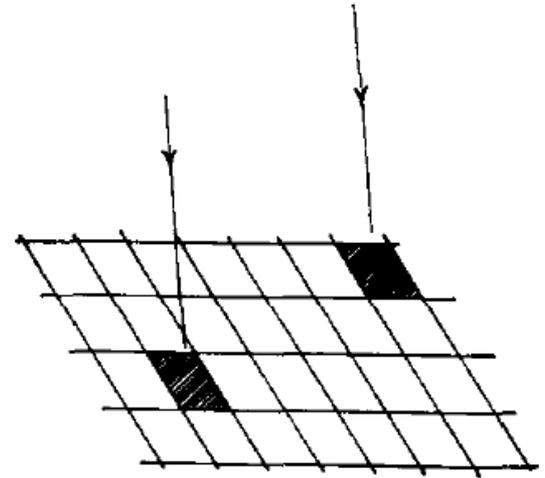
Em 1954, Martin Ryle descreveu pela primeira vez, os princípios do interferômetro de Síntese de Abertura.



(a)



(b)



(c)

Cambridge (Inglaterra)  
Low-frequency  
Synthesis Telescope

Freqüências 151 MHz  
38 MHz

Extensão 4.6 km

Catálogos 7C e 8C



Westerbork  
Holanda

14 antenas

Diâmetro 25 m

10 fixas, 4 móveis

Extensão 2.7 km  
(leste-oeste)

Freqüências  
500 MHz-10 GHz



# VLA (New Mexico, USA)



**27 antenas móveis**

**D=25 m**

**Frequências até 43 GHz**

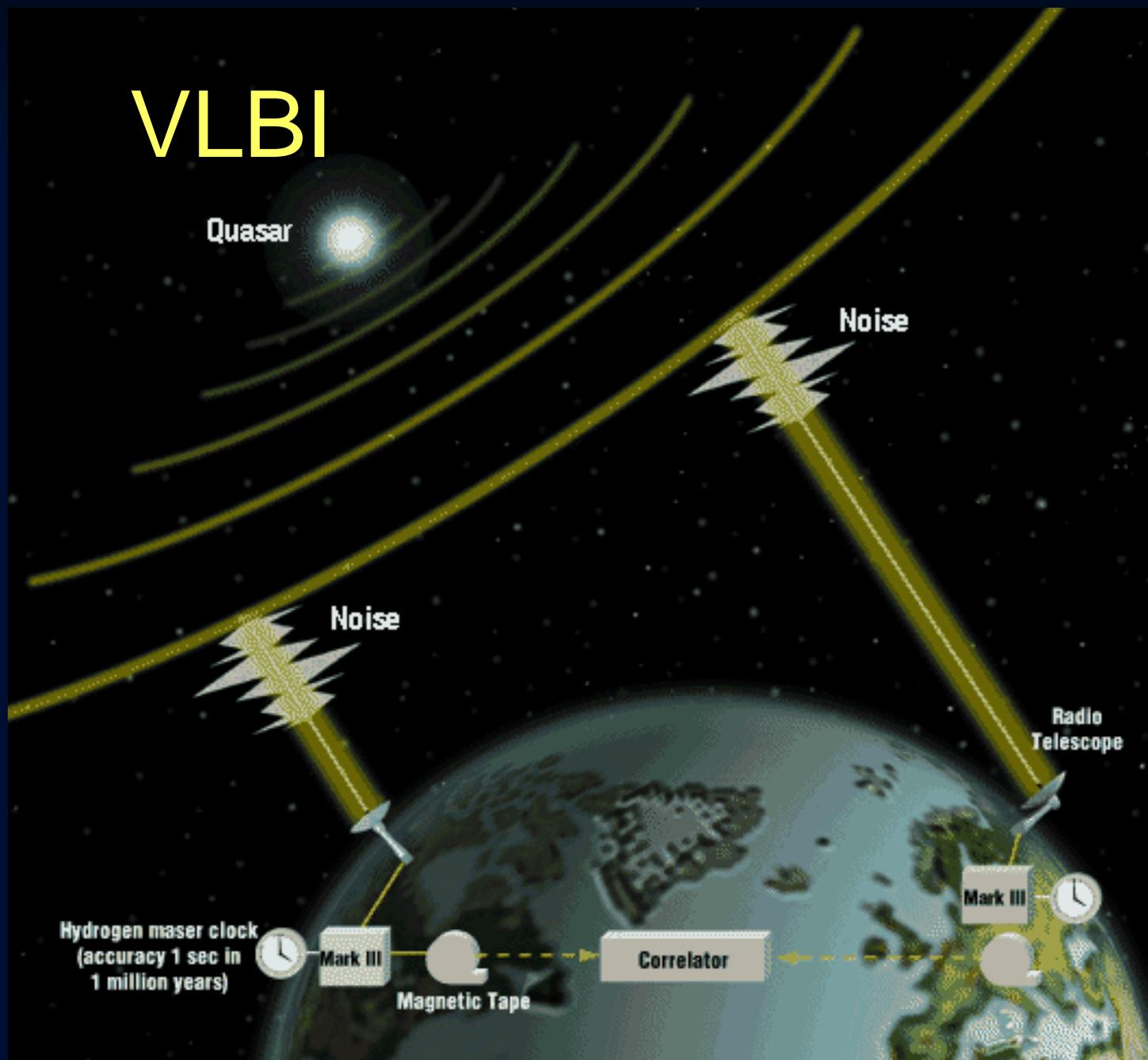


# ATCA, Austrália





# VLBI



# VLBA



Mauna Kea  
Hawaii



Owens Valley  
California



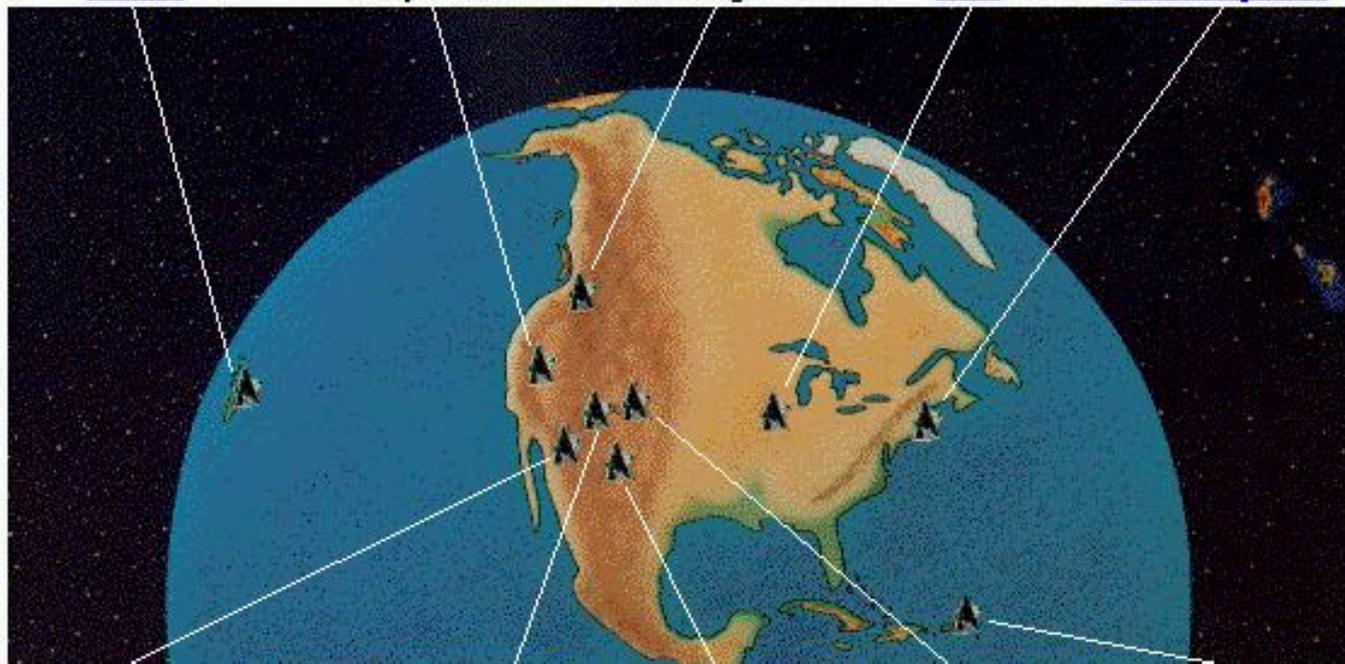
Brewster  
Washington



North Liberty  
Iowa



Hancock  
New Hampshire



Kitt Peak  
Arizona



Pie Town  
New Mexico



Fort Davis  
Texas

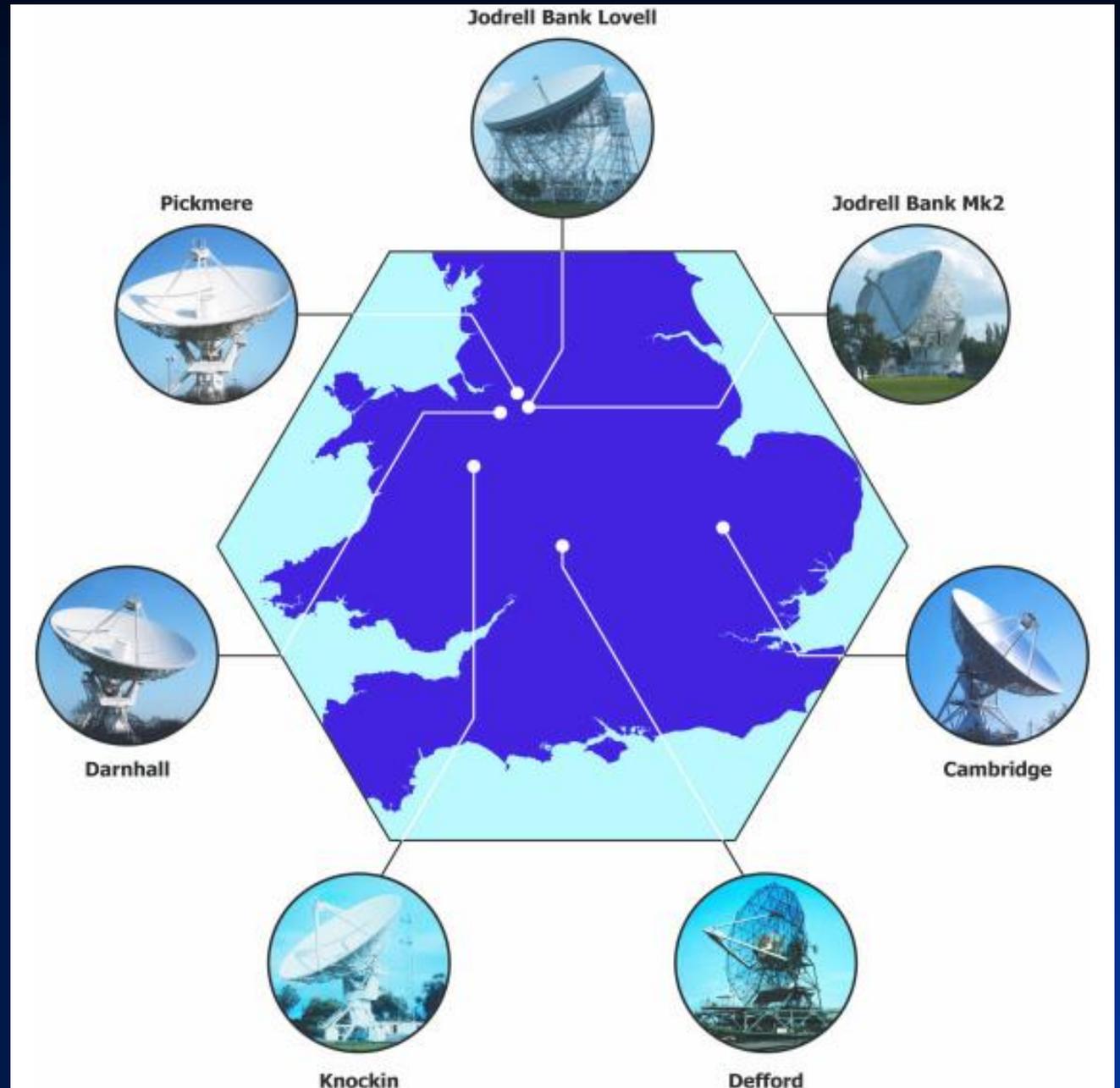


Los Alamos  
New Mexico

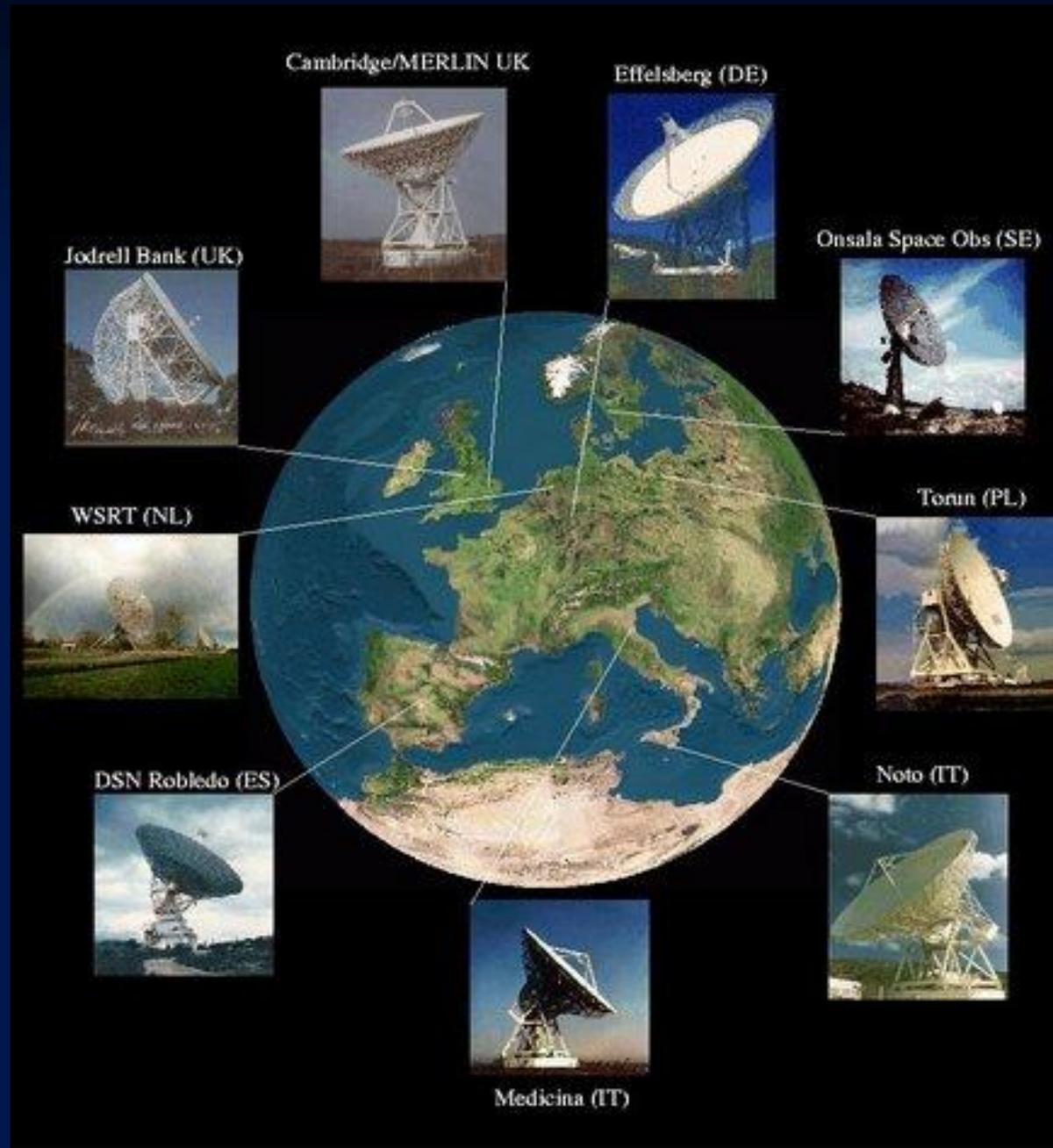


St. Croix  
Virgin Islands

# MERLIN



# EVA



Futuro: ALMA, Atacama  
66 antenas operando entre 43 e 900 GHz





# *Porque é Importante a Radioastronomia?*

A radiação não é absorvida pela poeira

Alguns processos físicos são detectados principalmente em ondas de rádio

Radiação síncrotron, produzida por elétrons girando em torno de um campo magnético

# *Porque é Importante a Radioastronomia?*

Alguns constituintes do Universo só emitem em ondas de rádio

Átomos em nuvens frias

Moléculas (orgânicas e inorgânicas)

Radiação cósmica de fundo (fótons com espectro de corpo negro a 2.7 K)

# *Porque é Importante a Radioastronomia?*

Algumas técnicas observacionais foram introduzidas em radioastronomia

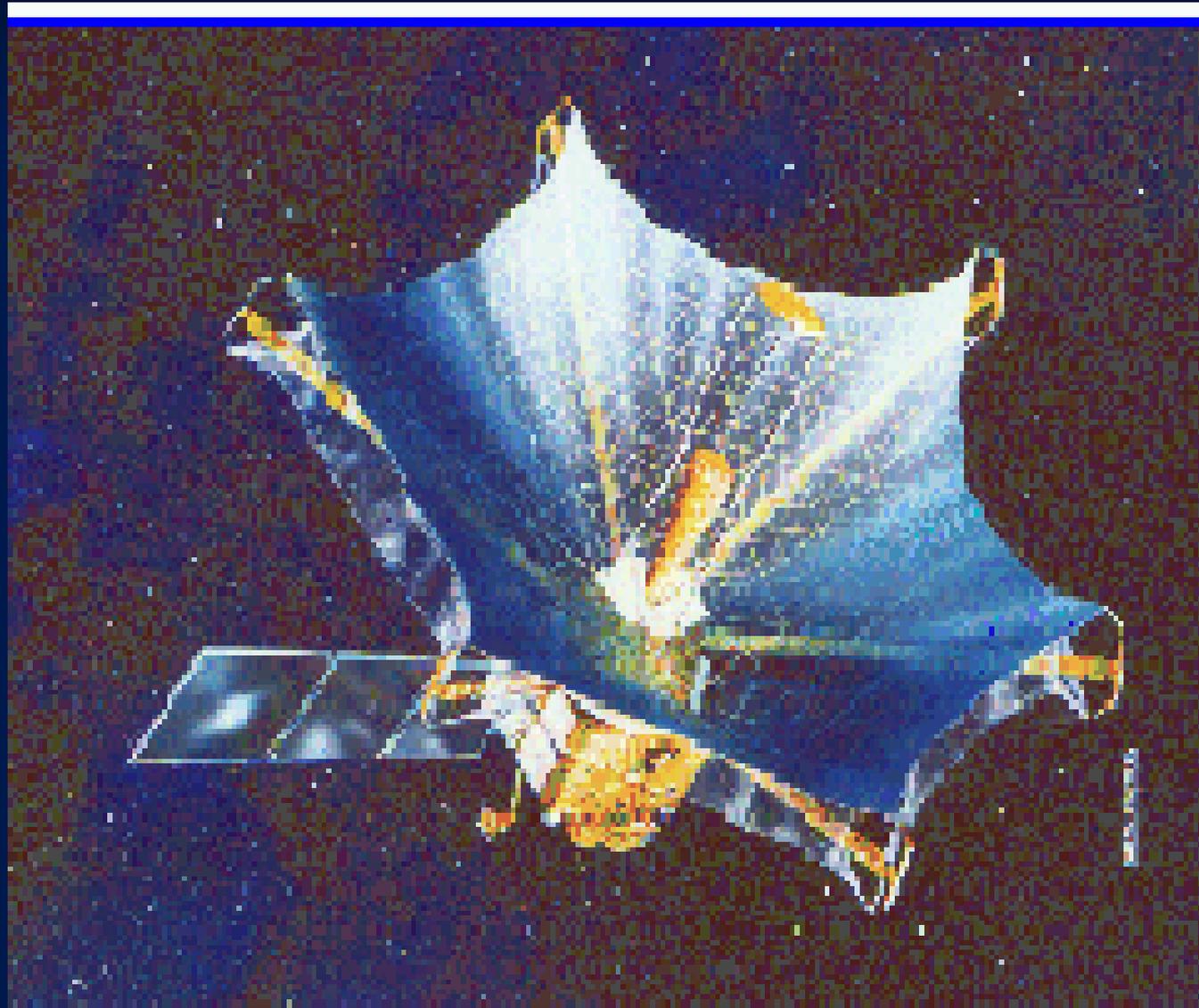
VLBI: “Very Long Baseline Interferometry”

A interferometria aumenta o poder de resolução de um telescópio, permitindo separar os objetos.

$$\theta \propto \frac{\lambda}{D}$$

# VSOP Radiotelescópio em órbita

VLBI  
Espacial

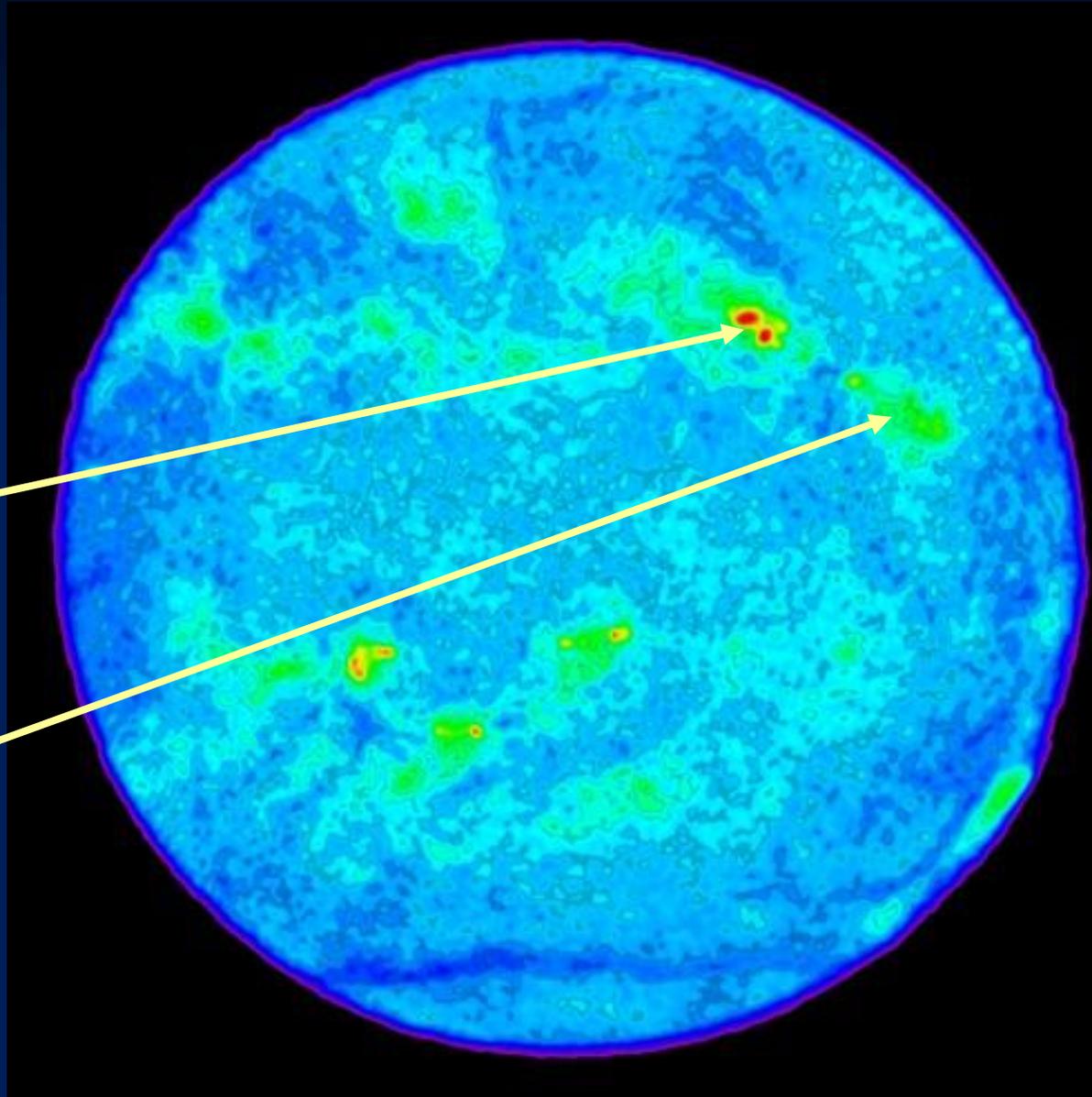


# Sol

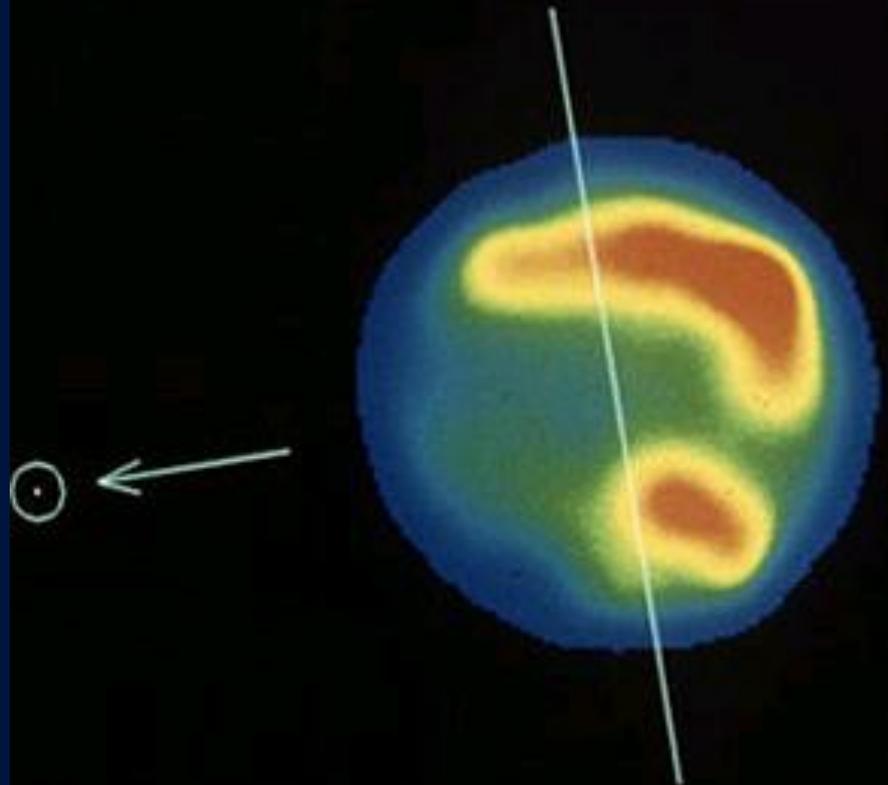
4.6 GHz  
VLA

manchas solares  
 $T = 10^6 \text{ K}$

alta densidade  
 $T = 30.000 \text{ K}$



VENUS - 3 MM CONTINUUM EMISSION



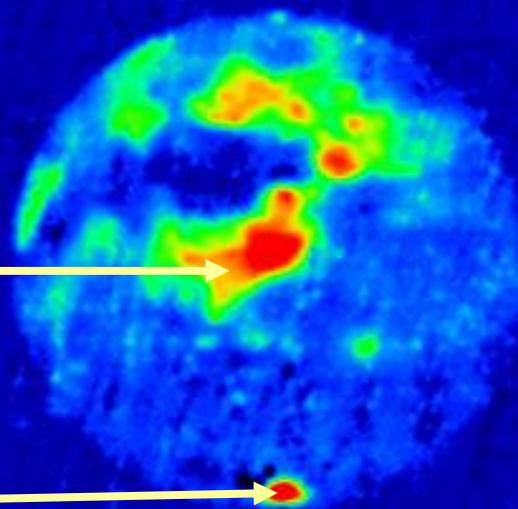
HAT CREEK RADIO OBSERVATORY

# Marte

Radar  
Goldstone-VLA

maior  
refletividade

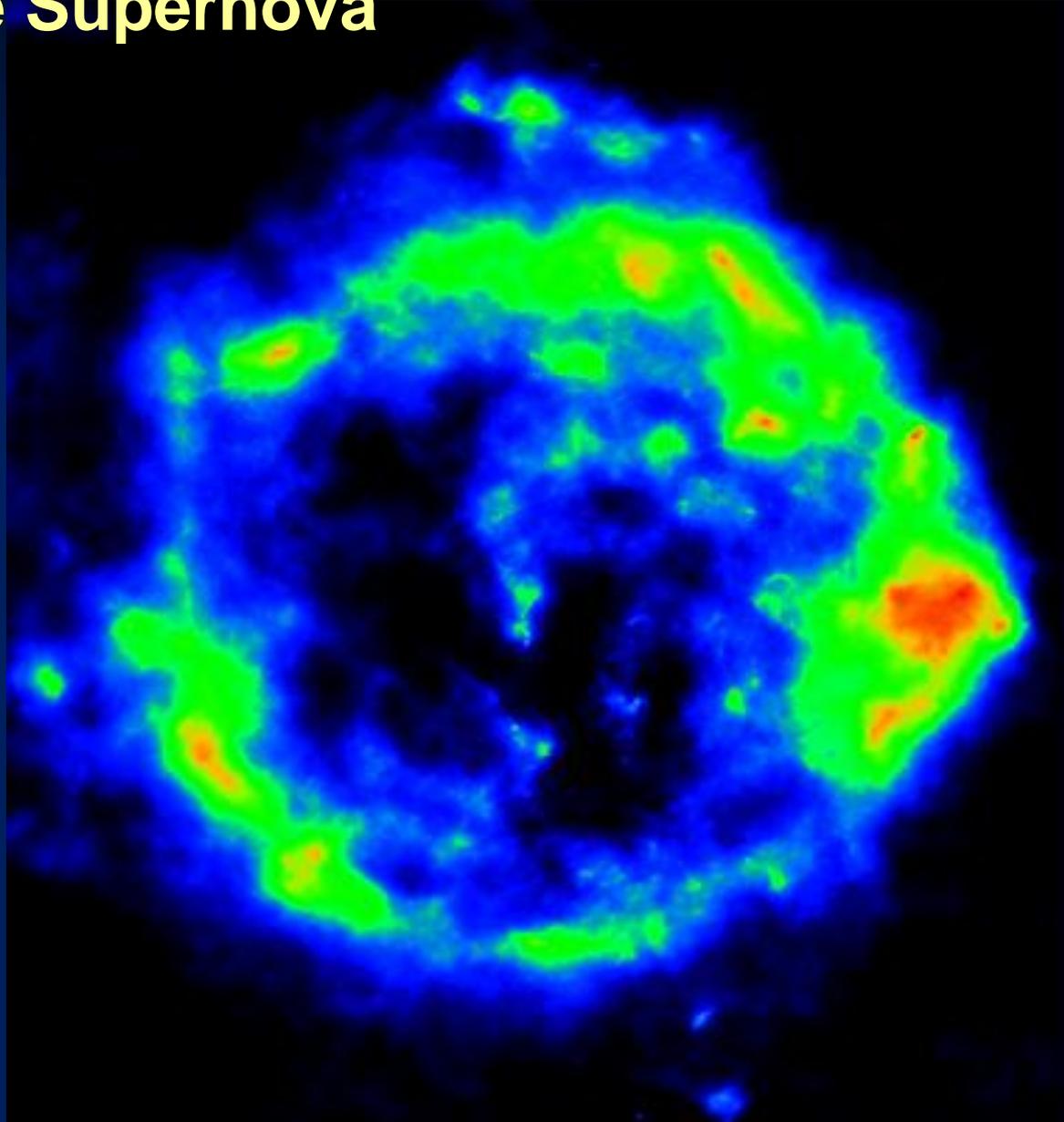
calota polar



# Remanescentes de Supernova

**Cassiopeia A**

**Idade 300 anos**

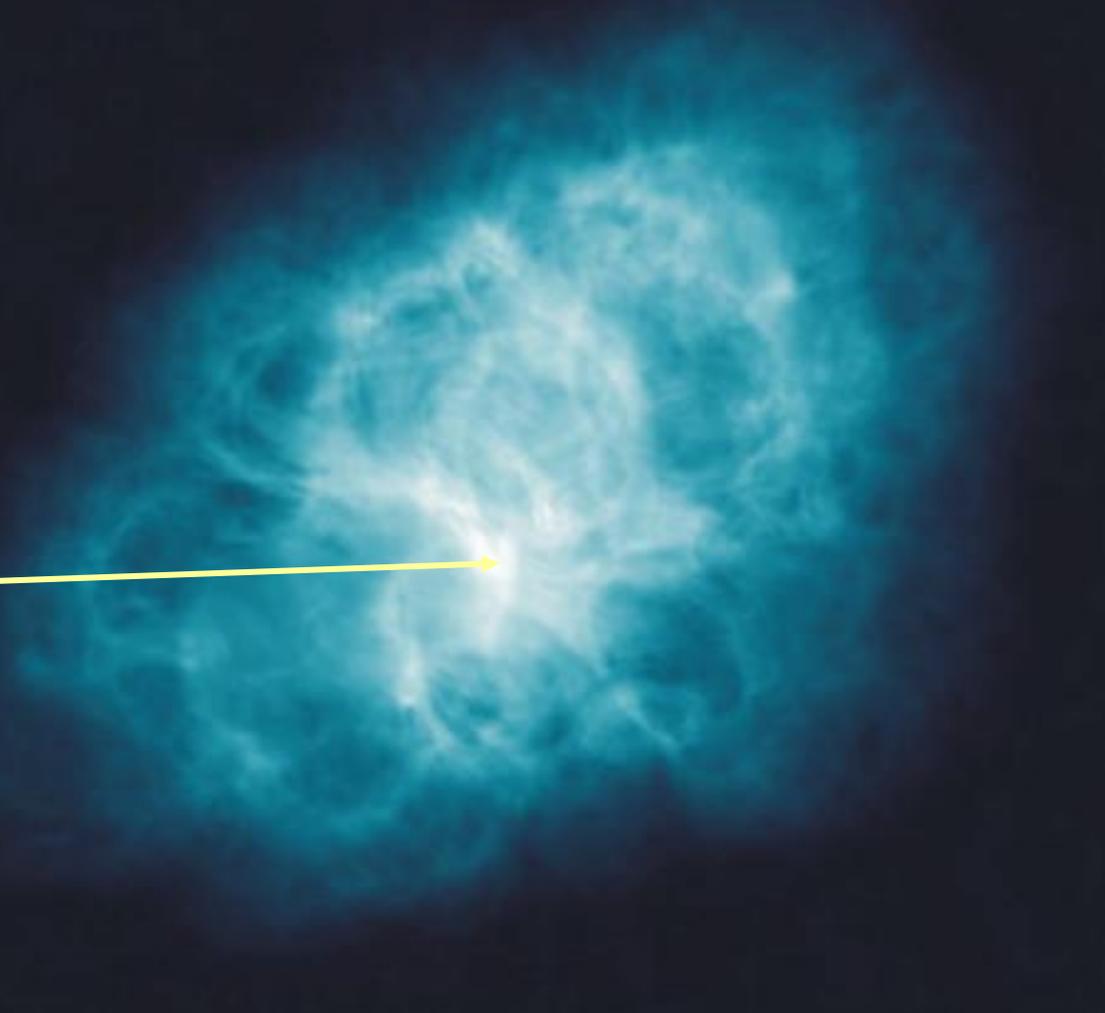


# Nebulosa do Caranguejejo

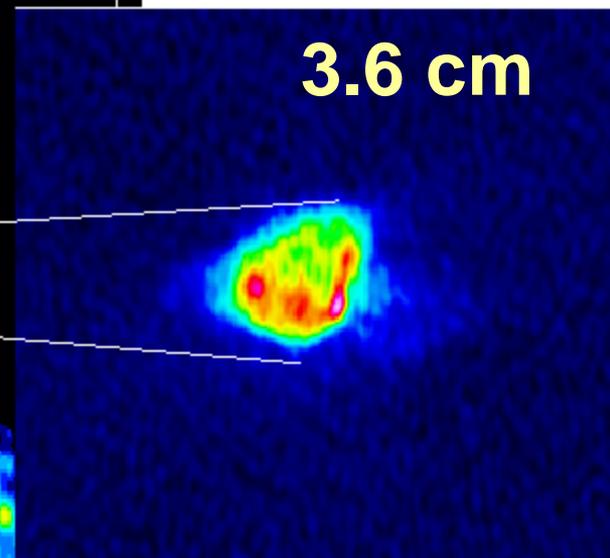
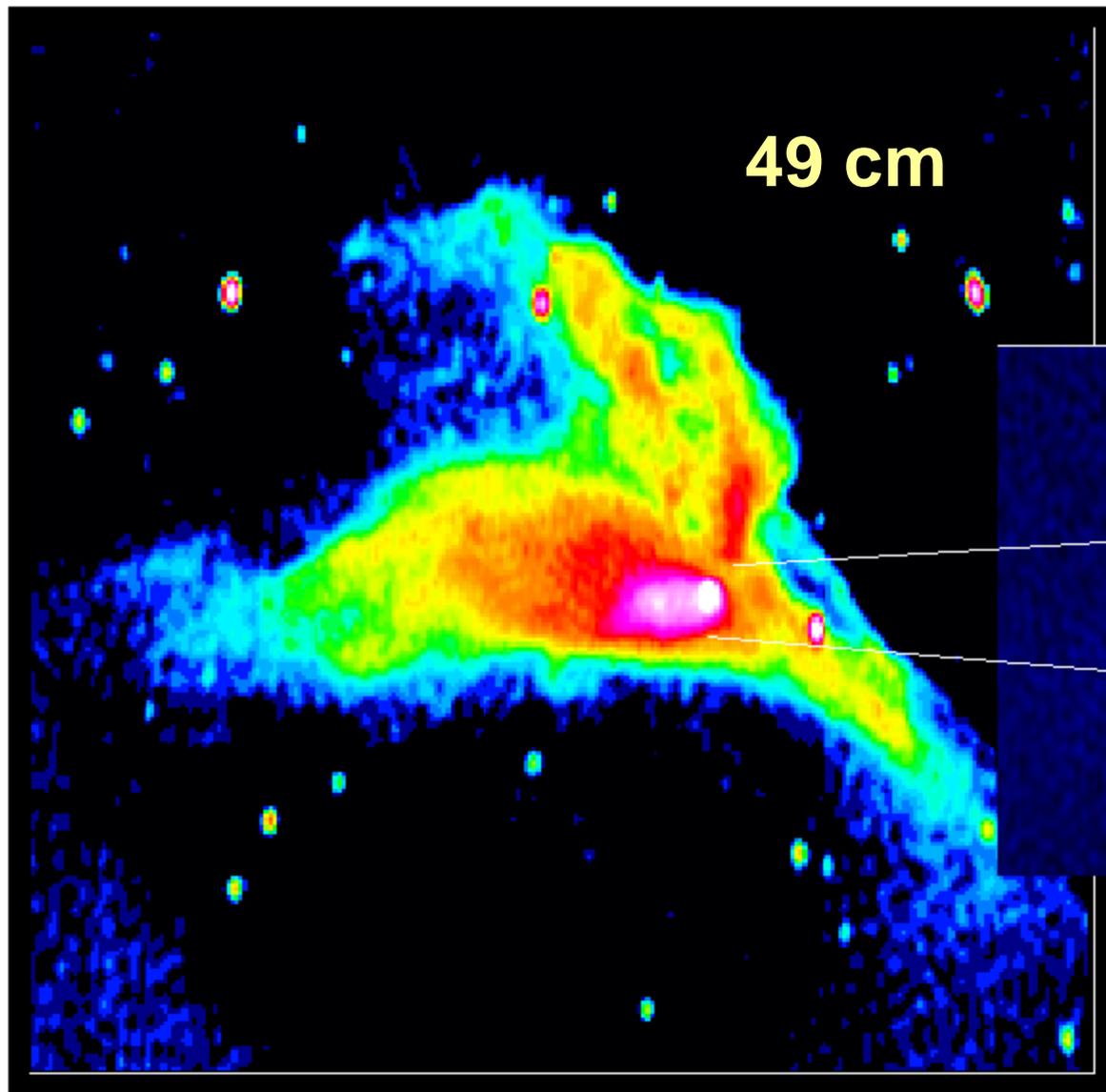
Explodiu em 1054

Velocidade de  
expansão 1000 km/s

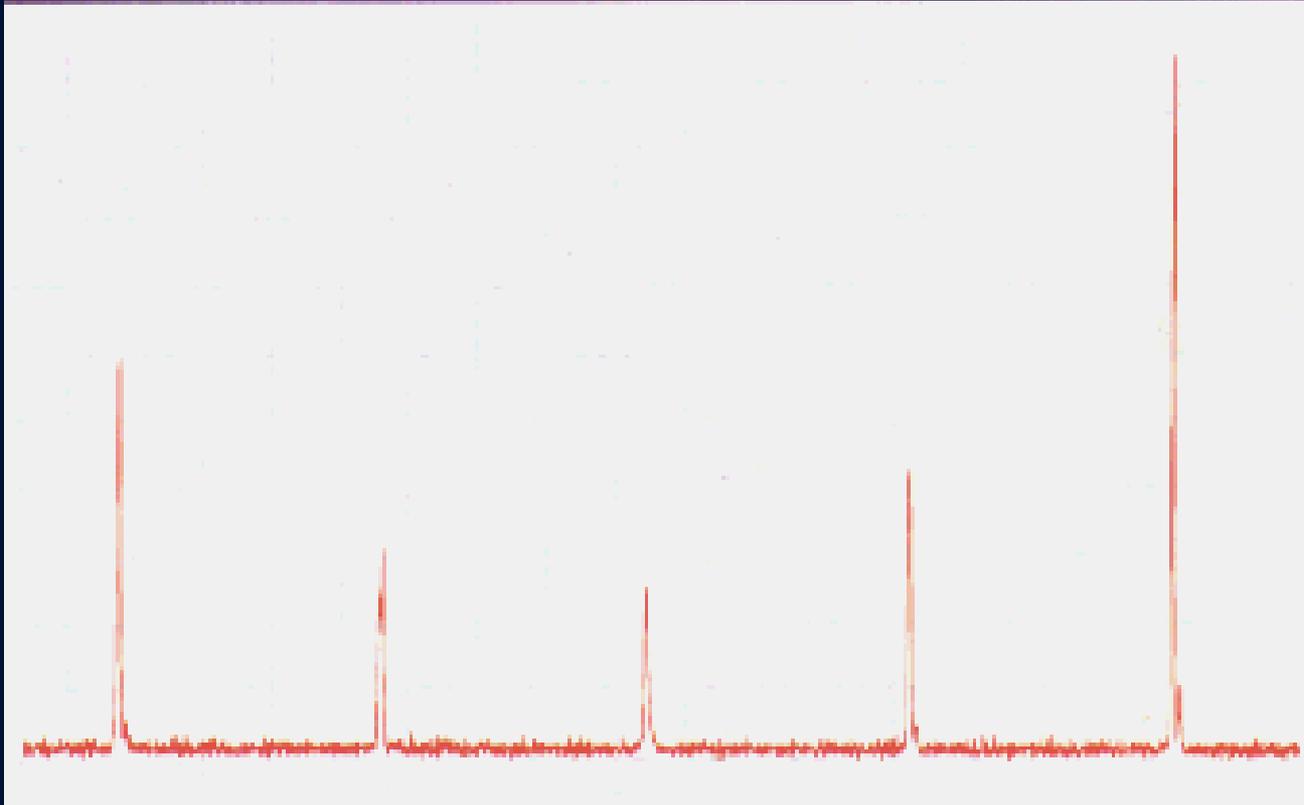
pulsar



# SNR CTB80, observada em Westerbork



# Pulsares



Escala Total: 3 segundos

# Que são os pulsares?

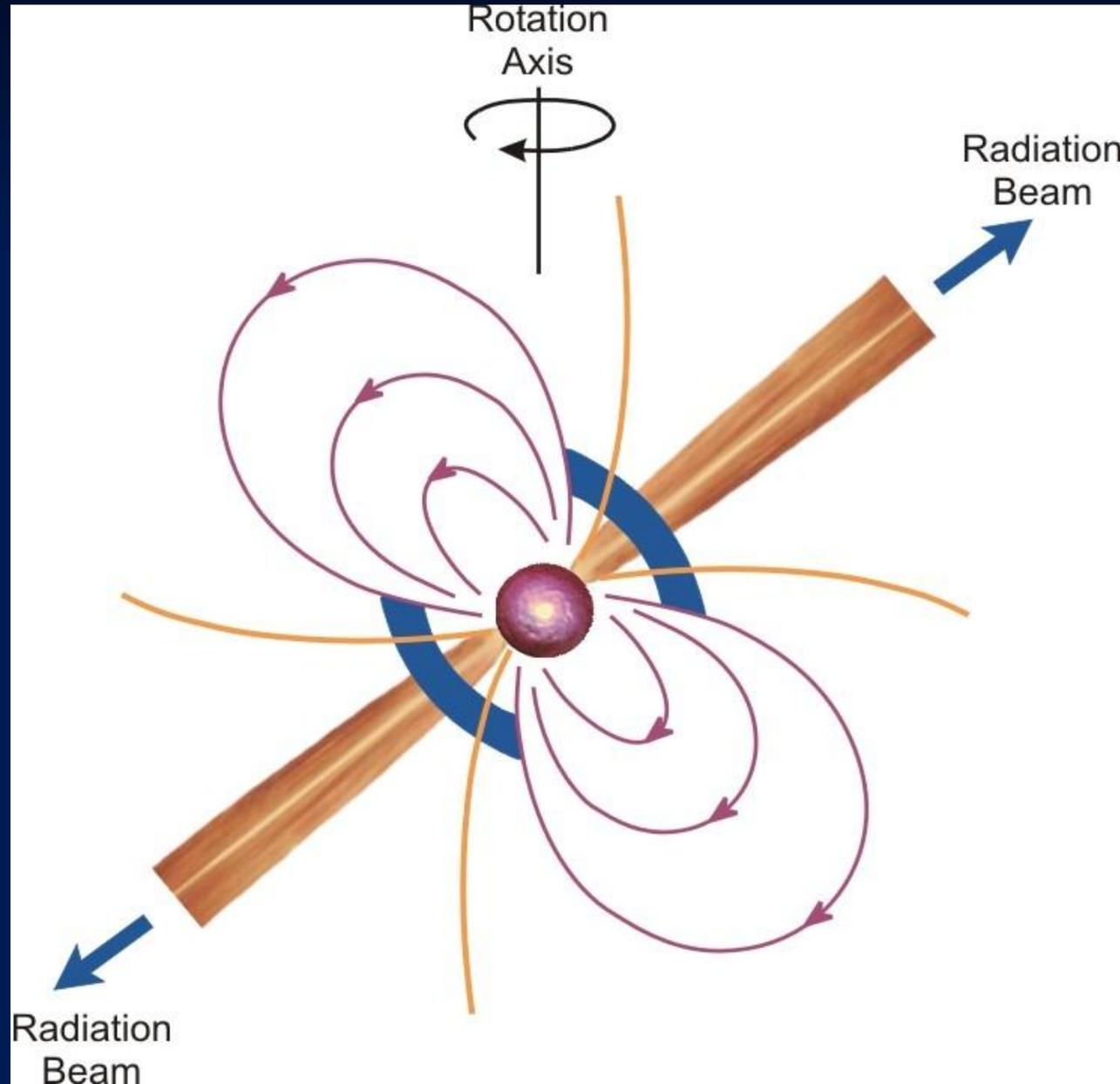
Estrelas de neutrons em rotação

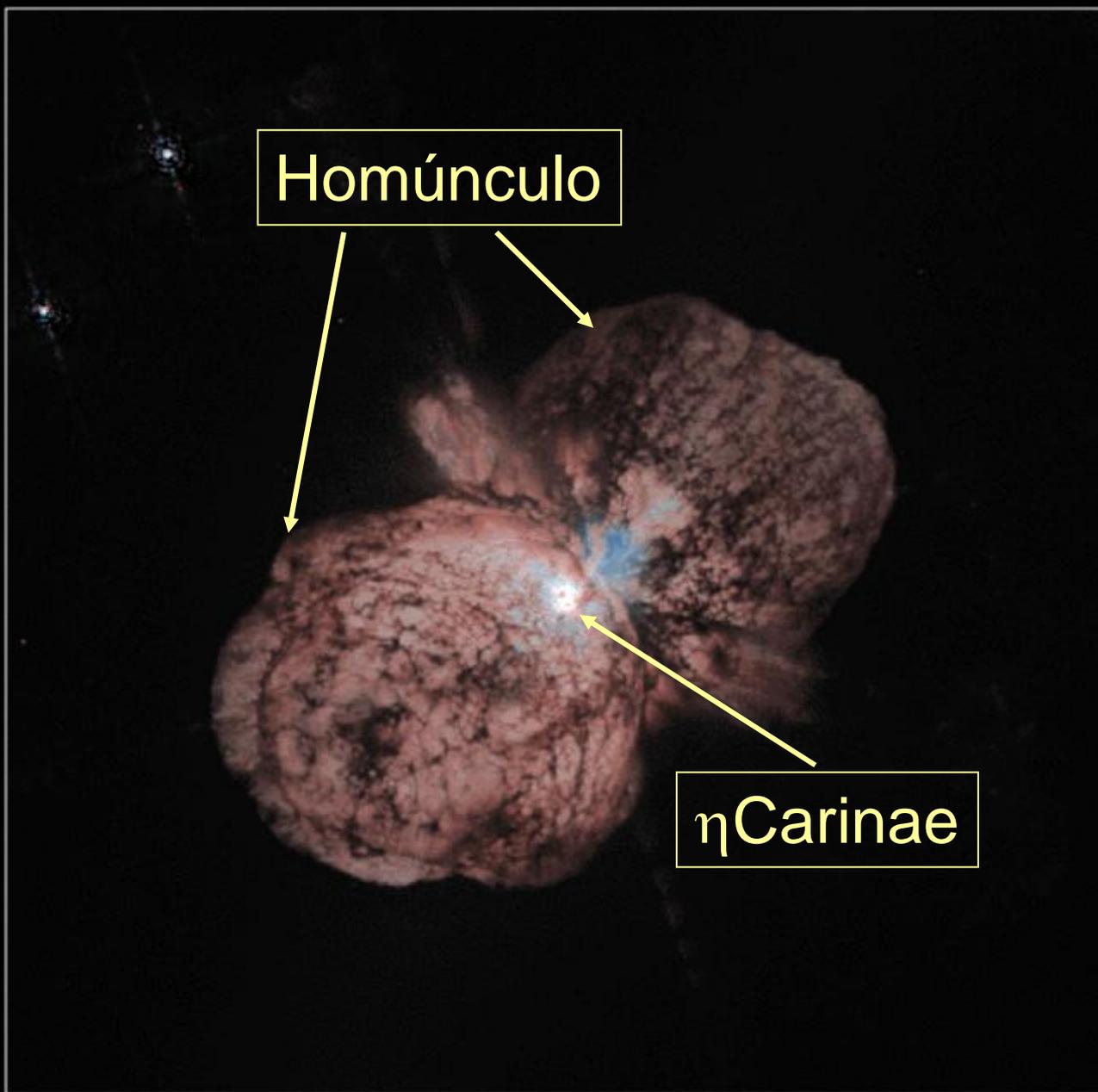
Massa  $\approx$  Sol

Raio  $\approx$  1 km

$B \approx 10^{12}$  gauss

$P \approx 0.001-1$  seg





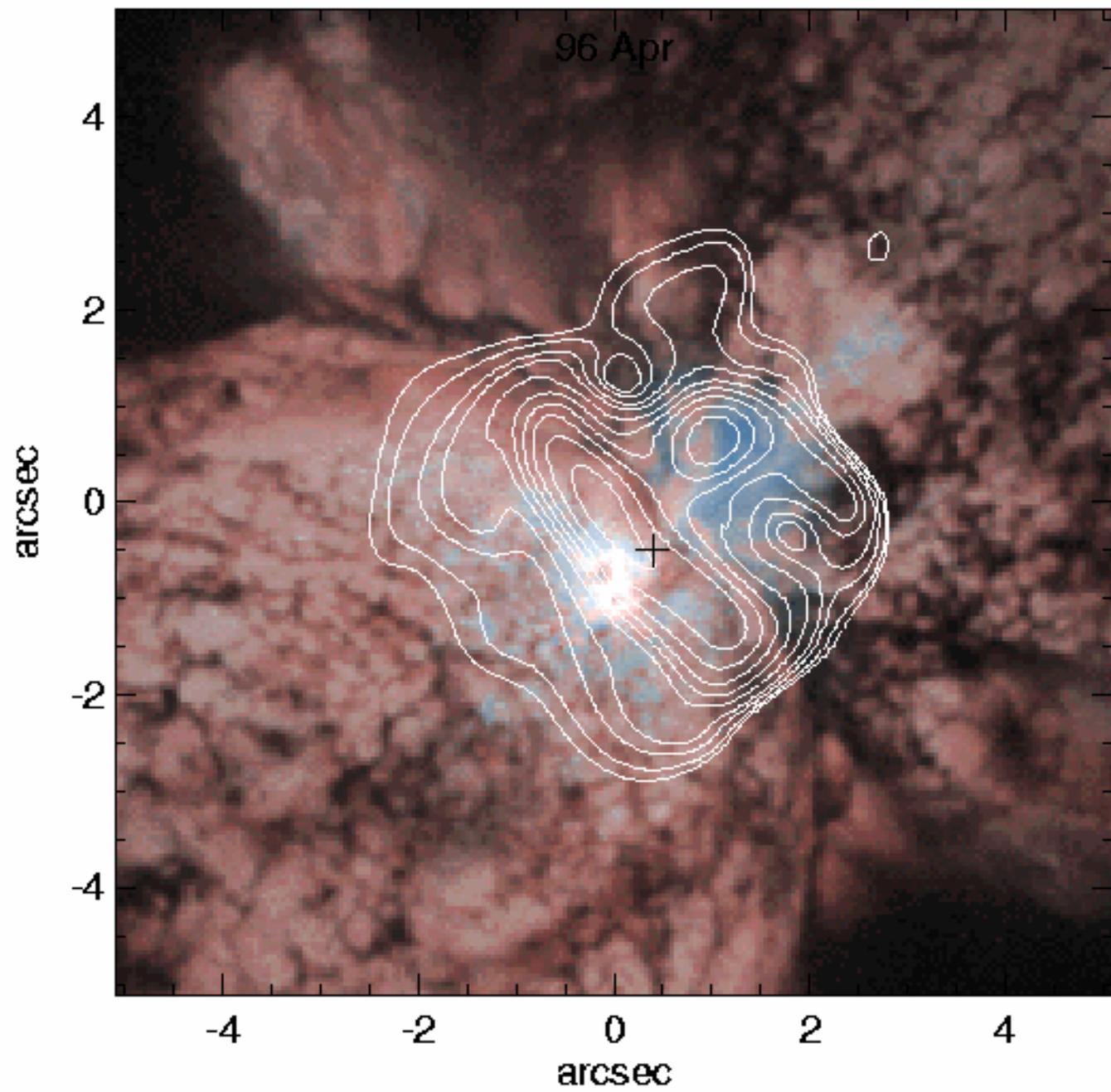
Homúnculo

η Carinae

**Eta Carinae**

**HST · WFPC2**

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



92 Jun

5725 K

93 Jul

7680 K

94 Jul

8395 K

95 Jul

10086 K

96 Jul

9514 K

97 May

7061 K

97 Nov

5857 K

98 Jul

6281 K

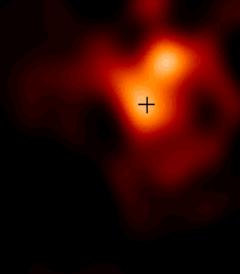
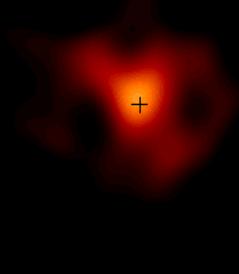
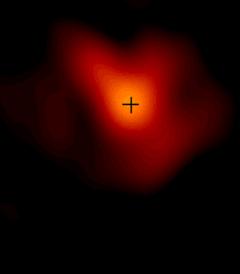
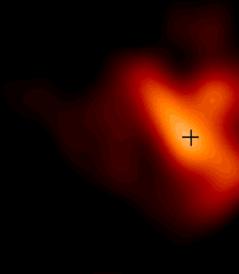
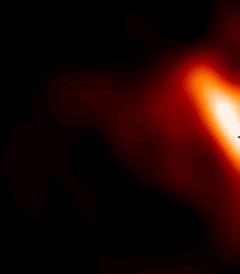
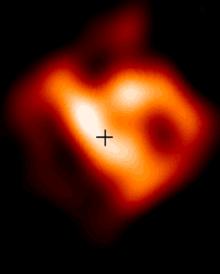
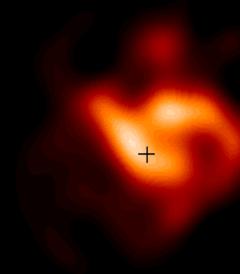
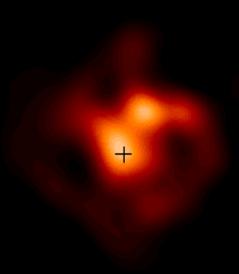
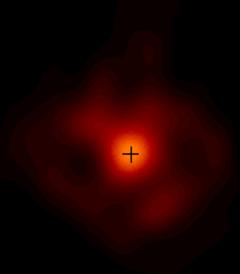
99 Mar

7574 K

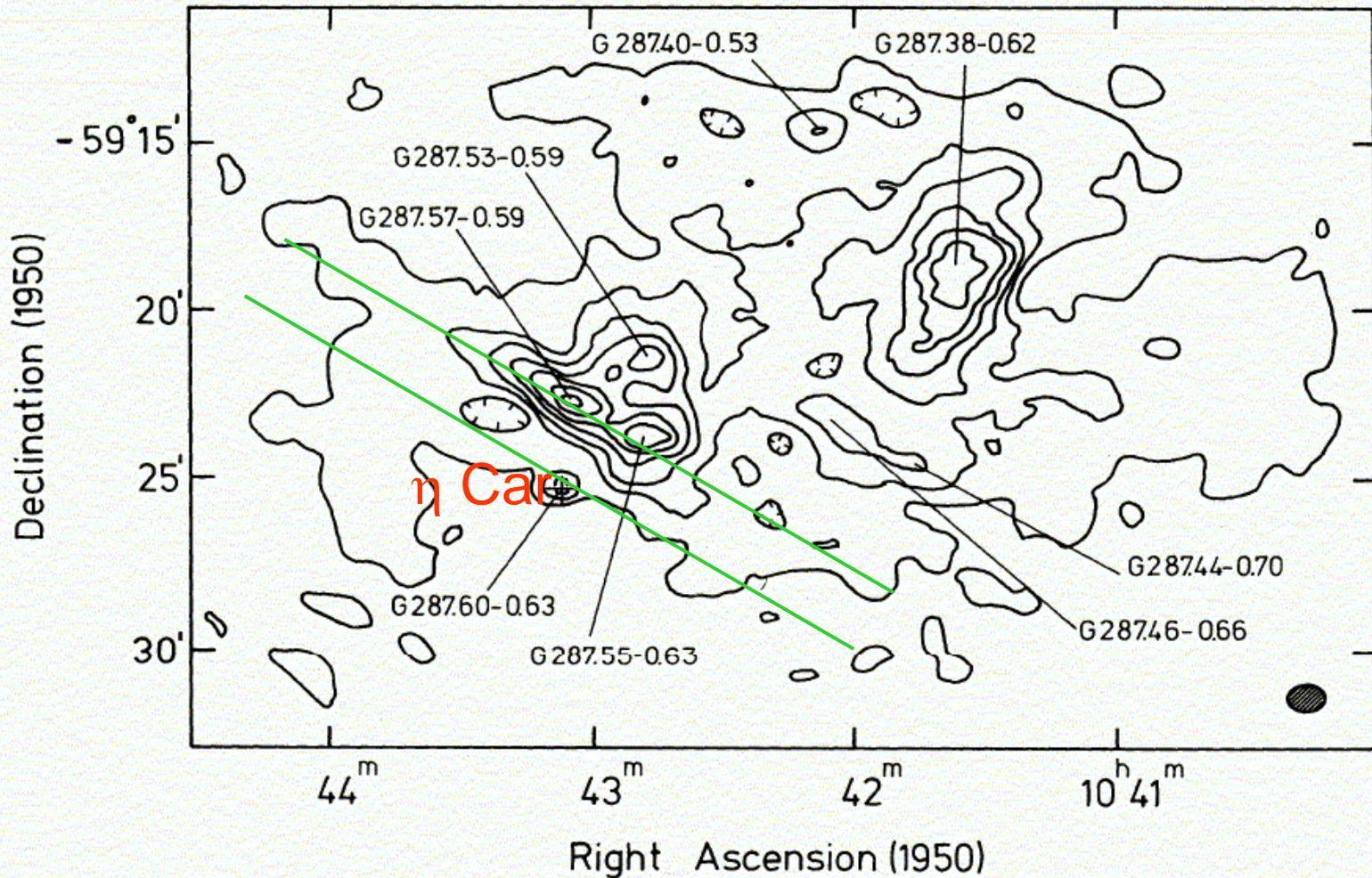
3 arcsec

3 arcsec

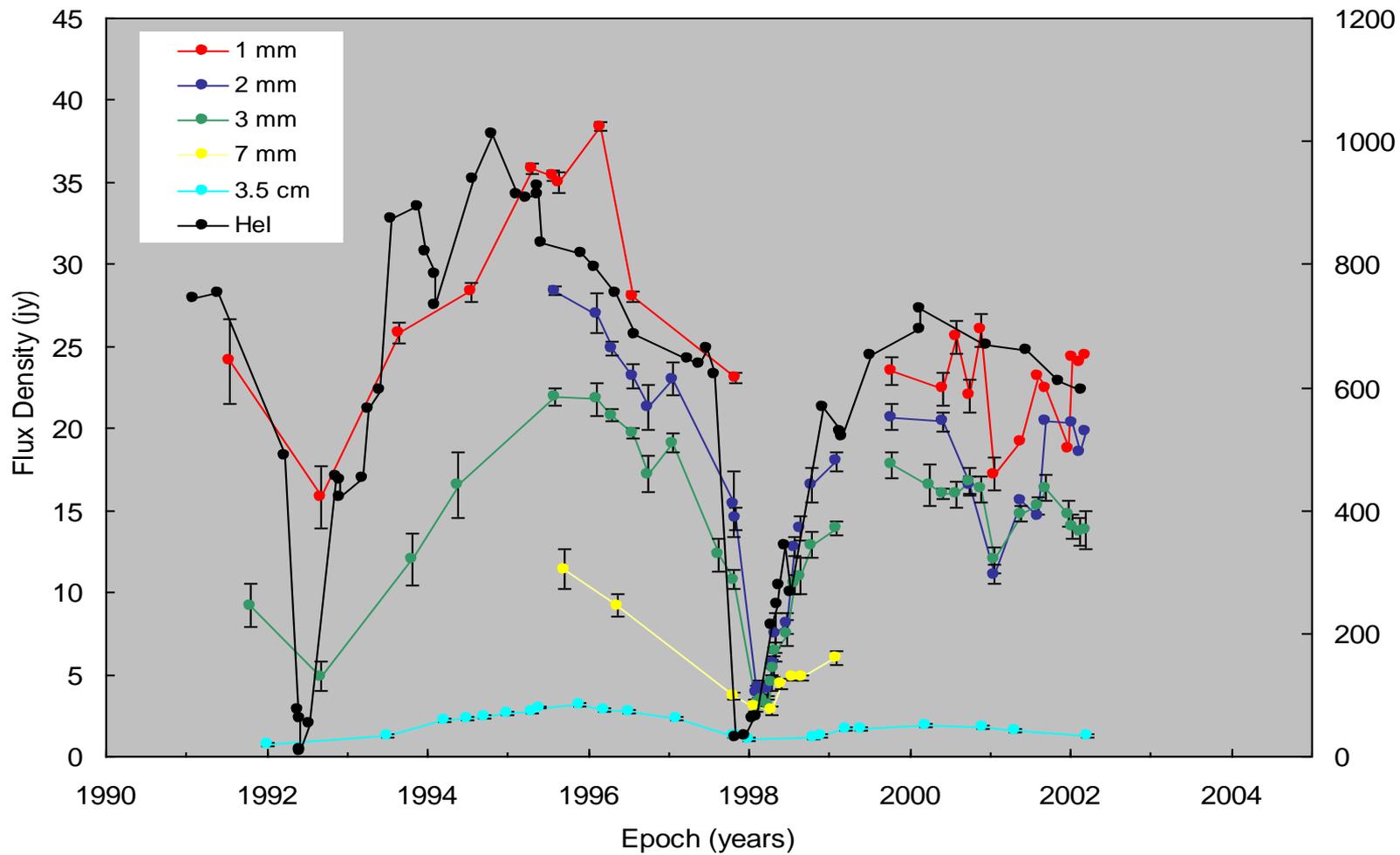
3 arcsec



# No Itapetinga: resolução 2' em 43 GHz



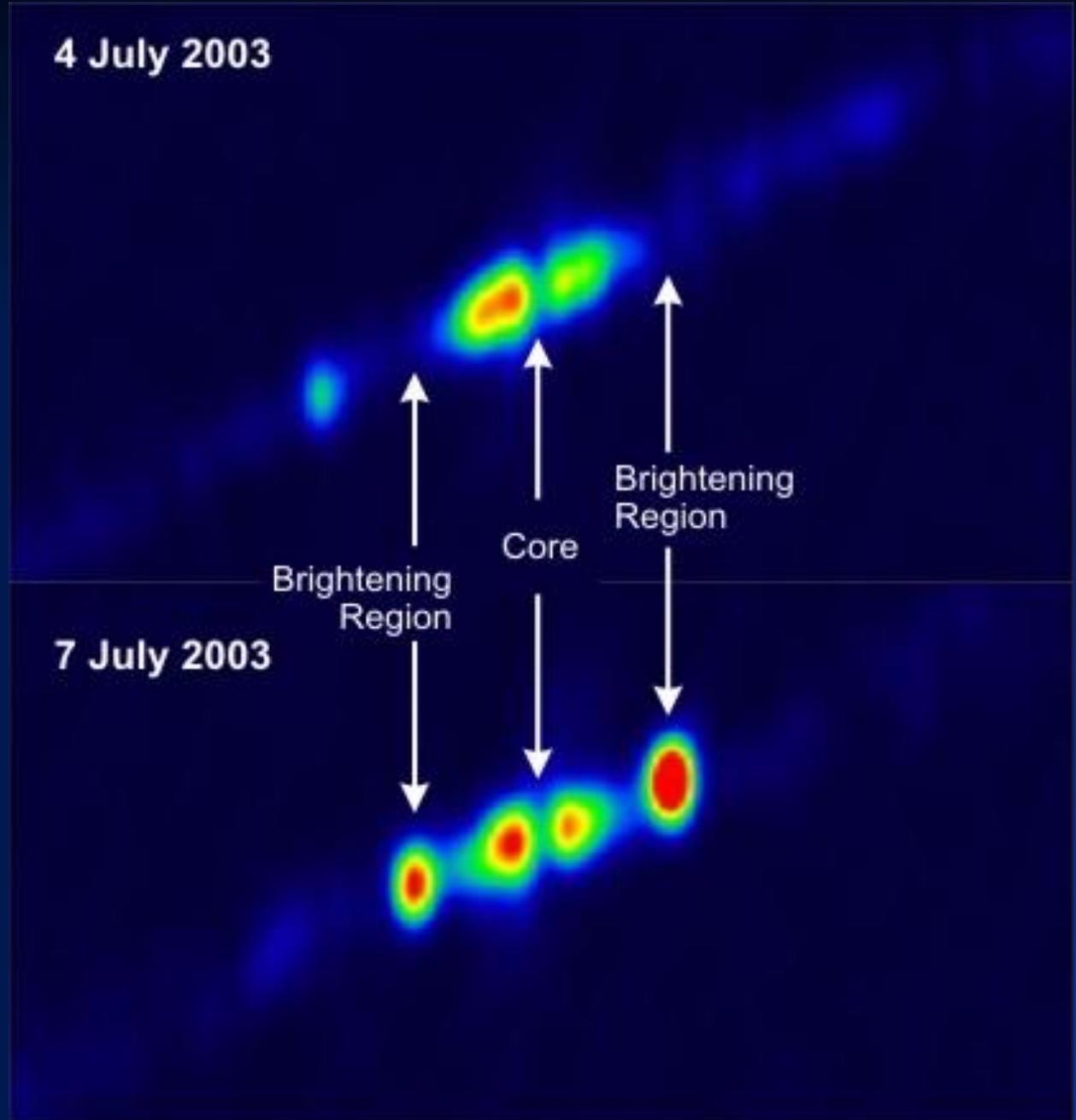
Retalack (1983) 1415 MHz



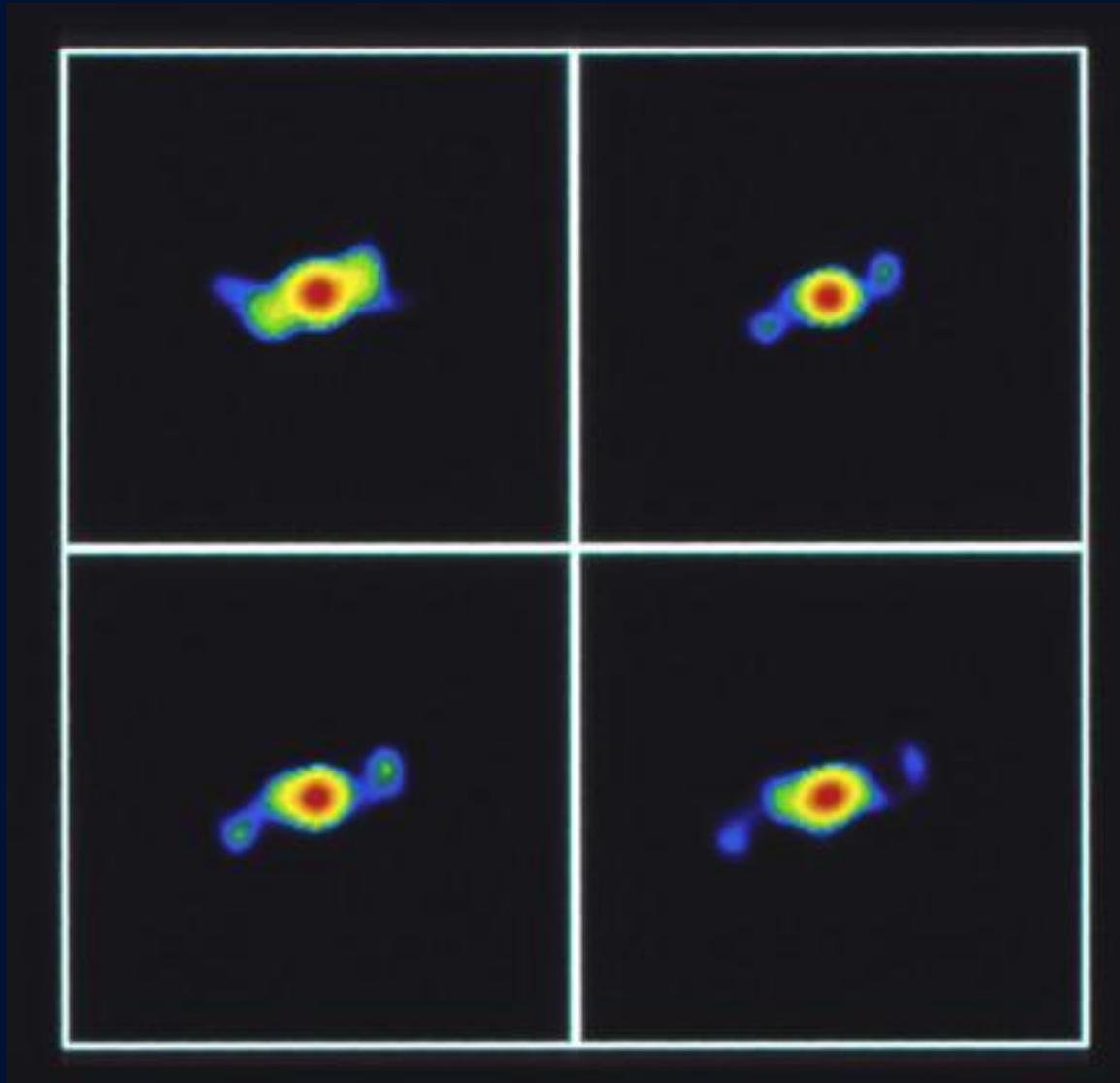
# SS433

Estrela normal +  
objeto compacto

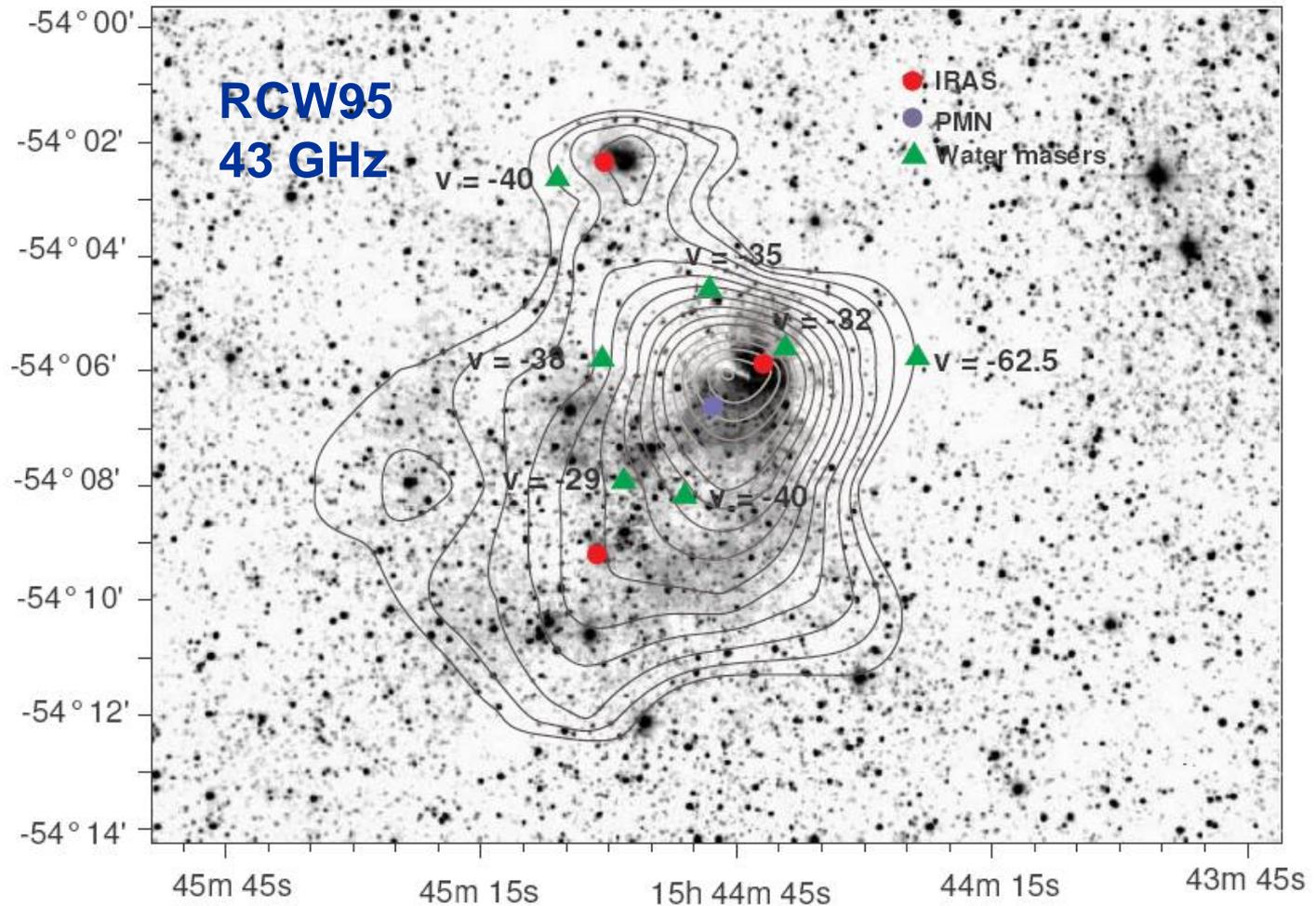
jato: msa  
 $v \sim 0.26 c$



# Jato precessionando



# Regiões III. Itapetinga 43 GHz



**Linha de 21 cm (1420 MHz) do H**

**Transição entre dois estados hiperfinos  
(spins e-p paralelos ou antiparalelos)**

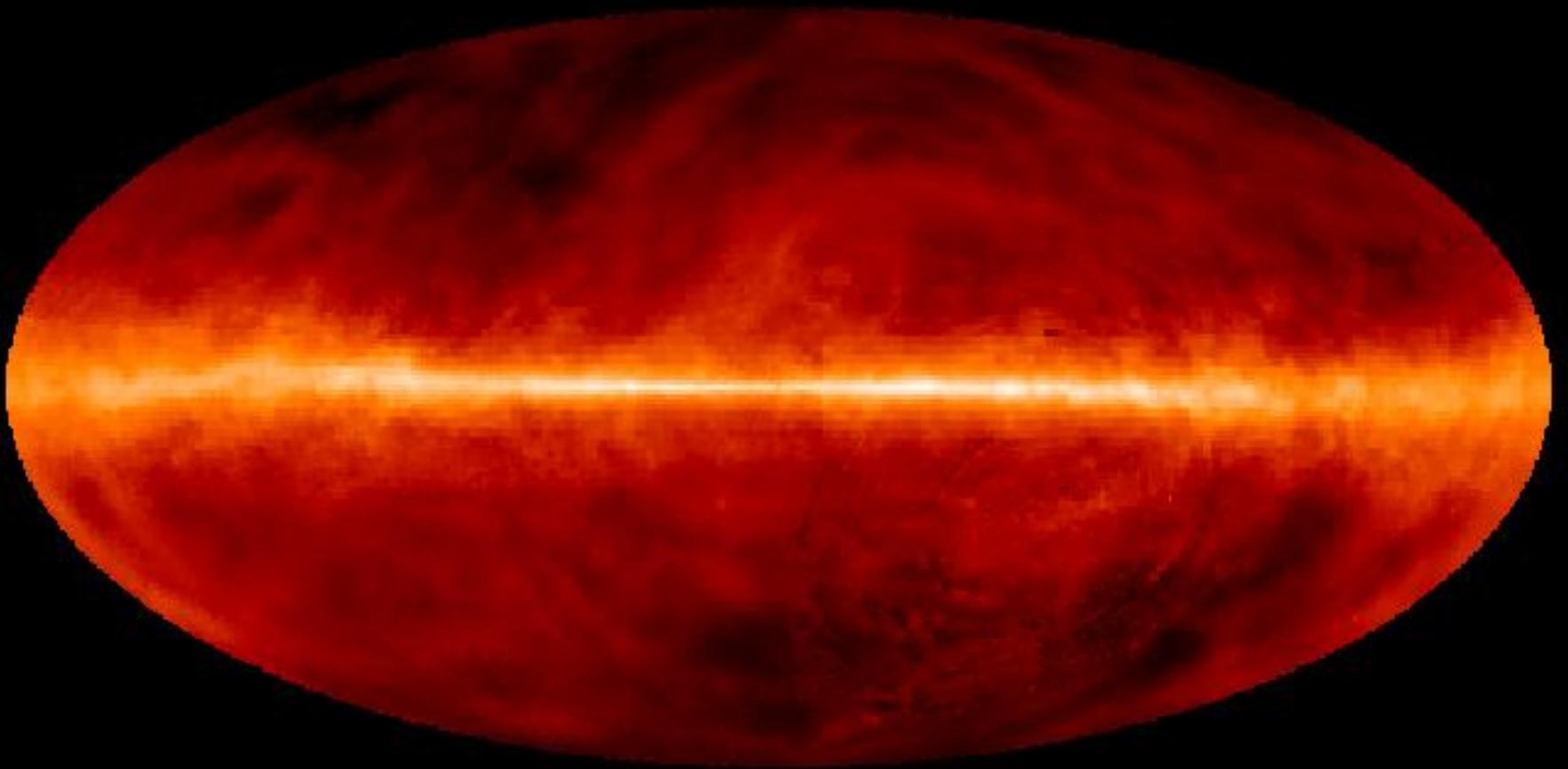
**Previsto em 1945 por van der Hulst**

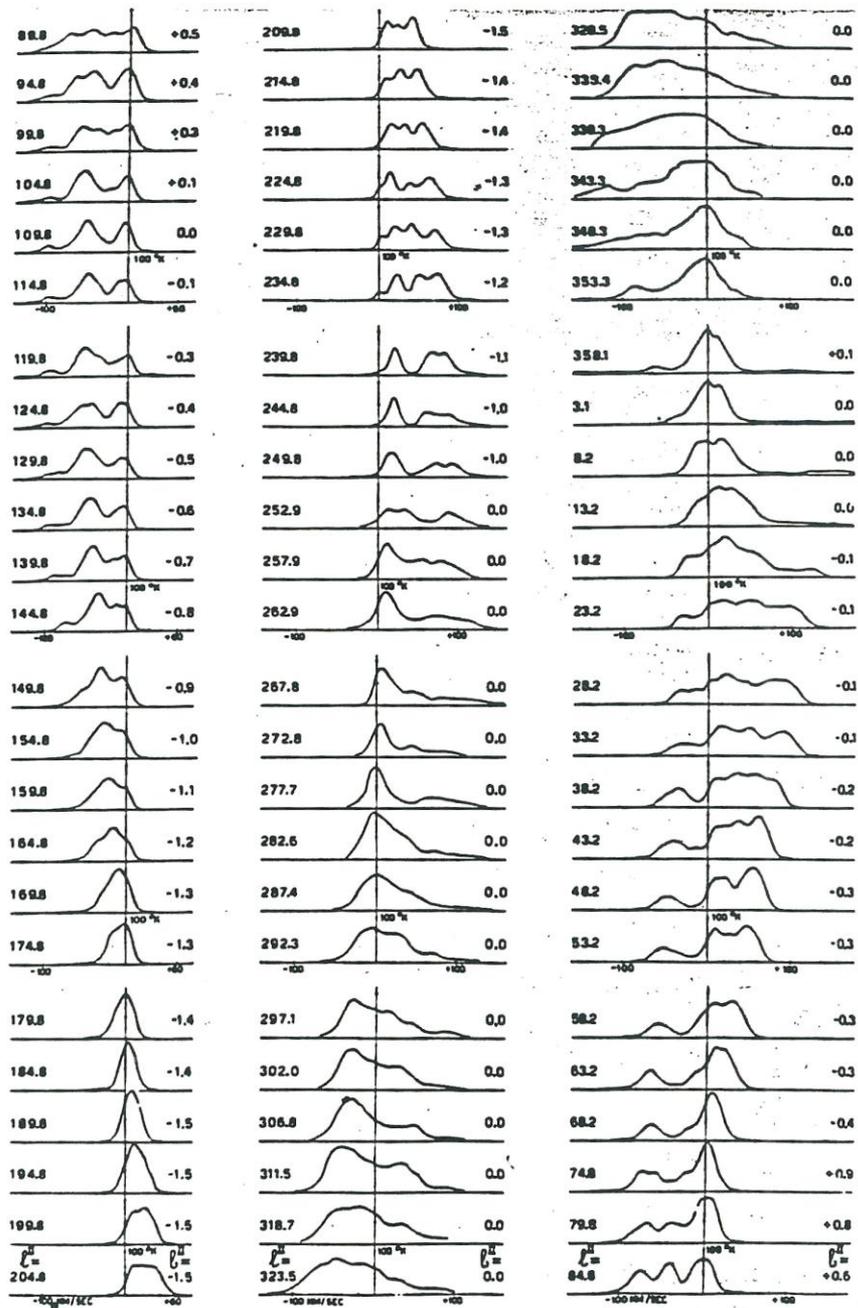
**Probabilidade de transição:  $3 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$**

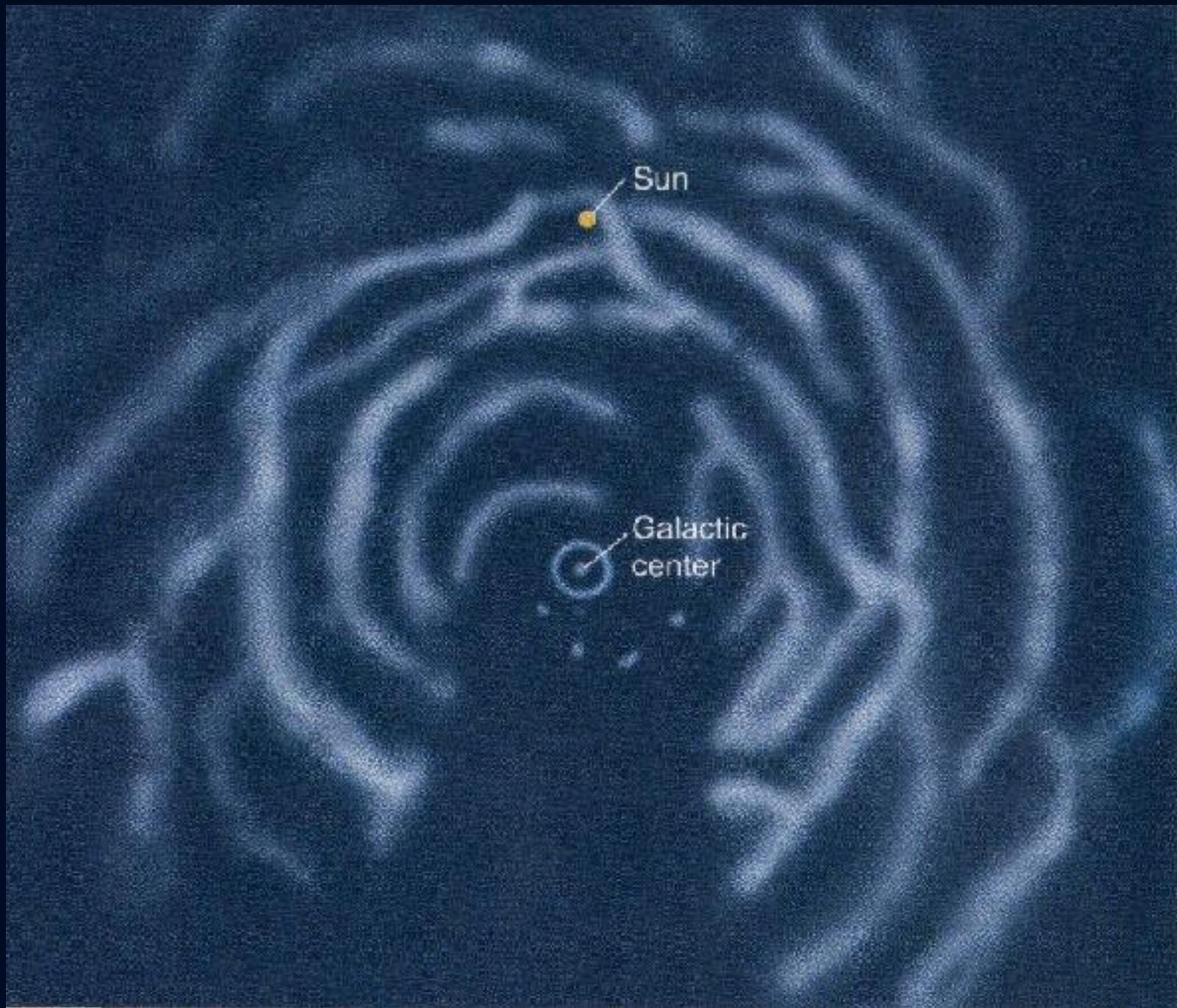
**Compensado pelo grande número de  
átomos de H**

**Detectado em 1952**

## Nossa Galáxia na linha de 21 cm

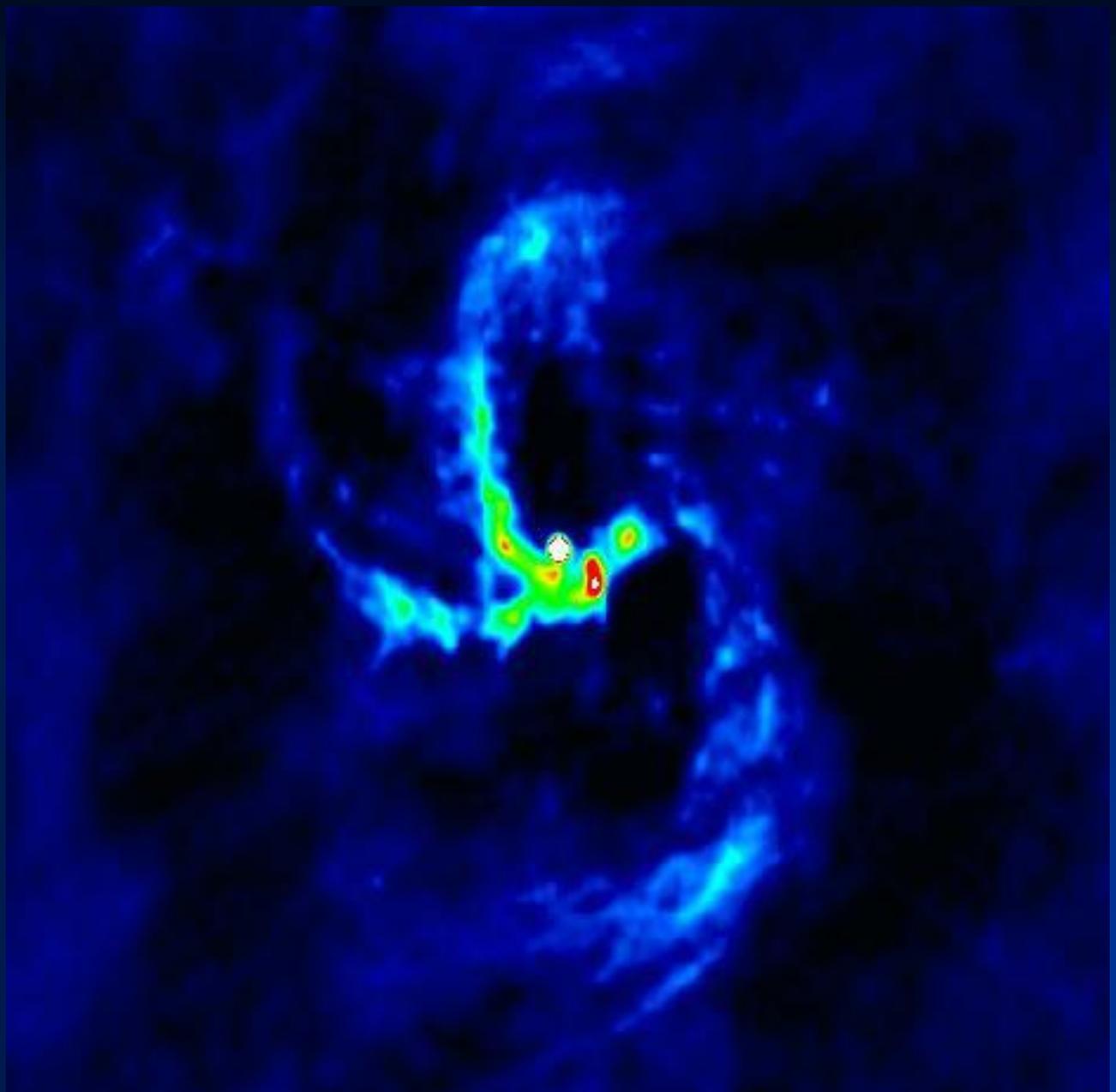






**Sgr A**

Escala: pc



# Moléculas no espaço: espectroscopia

**Tipos de transições radiativas:**

**Eletrónicas: faixa visível e UV**

**Vibracionais: infravermelho**

**Rotacionais: rádio**

## Primeiras moléculas detectadas: (década de 60)

OH 1.6 GHz  maser

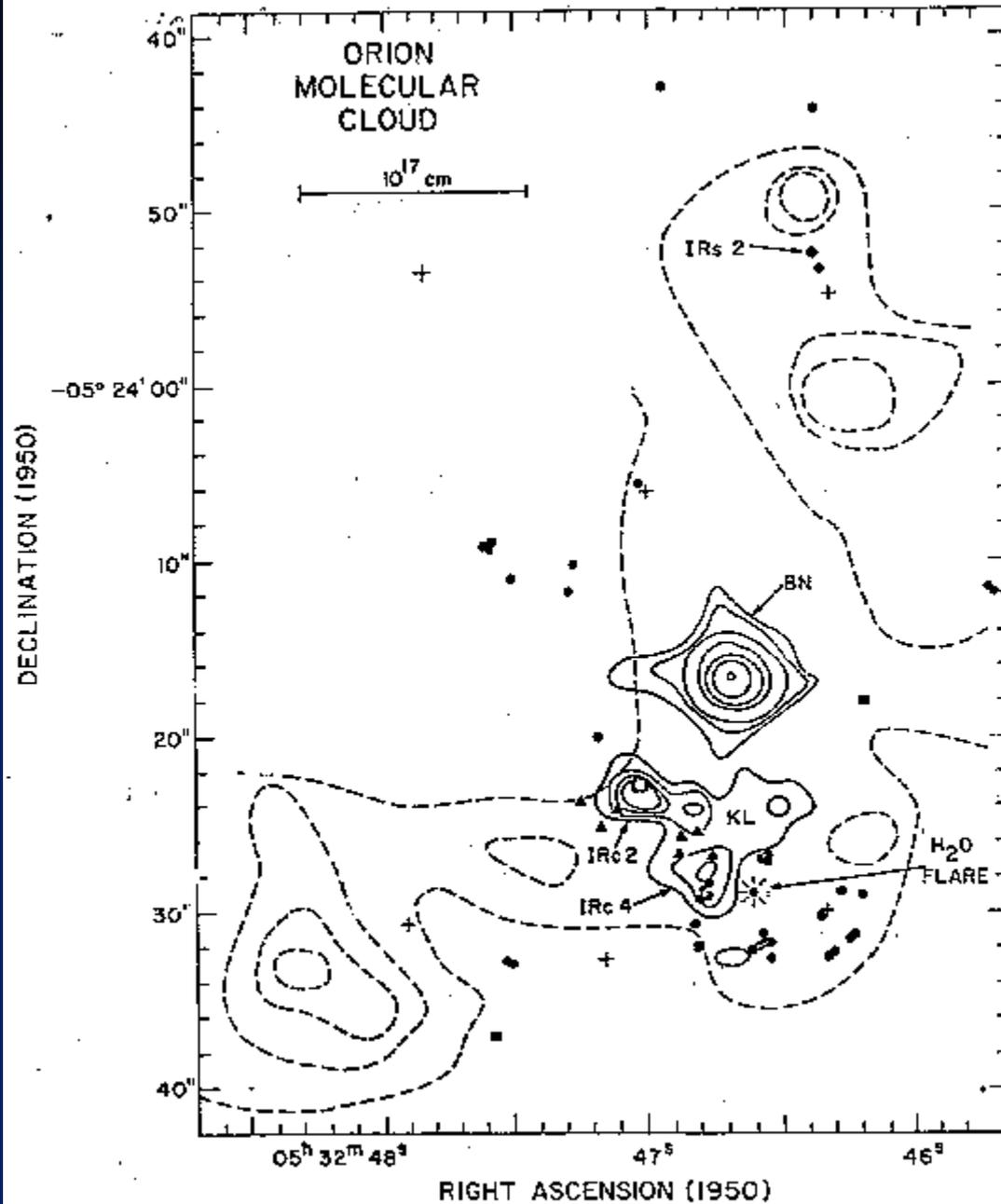
H<sub>2</sub>O 22 GHz  maser

NH<sub>3</sub> 24 GHz

Maser: radiação estimulada:  
feixe colimado, intensidade alta

Tamanho das fontes  
 $10^{13}$ - $10^{15}$  cm

Tamanho da região  
 $10^{17}$ - $10^{18}$  cm



Reid and Moran Figure 4

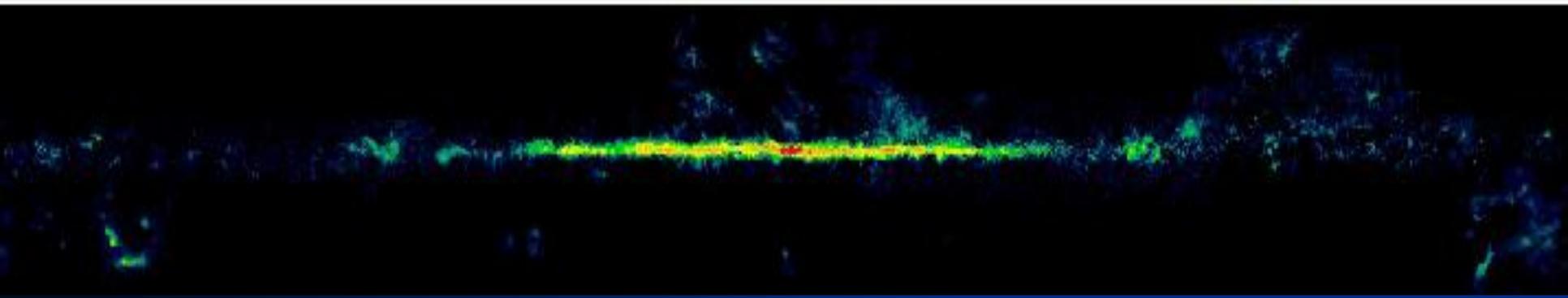
# Molécula de CO

Mais abundante (depois de H<sub>2</sub>)



Concentrada em nuvens moleculares gigantes

# Nossa Galáxia em CO



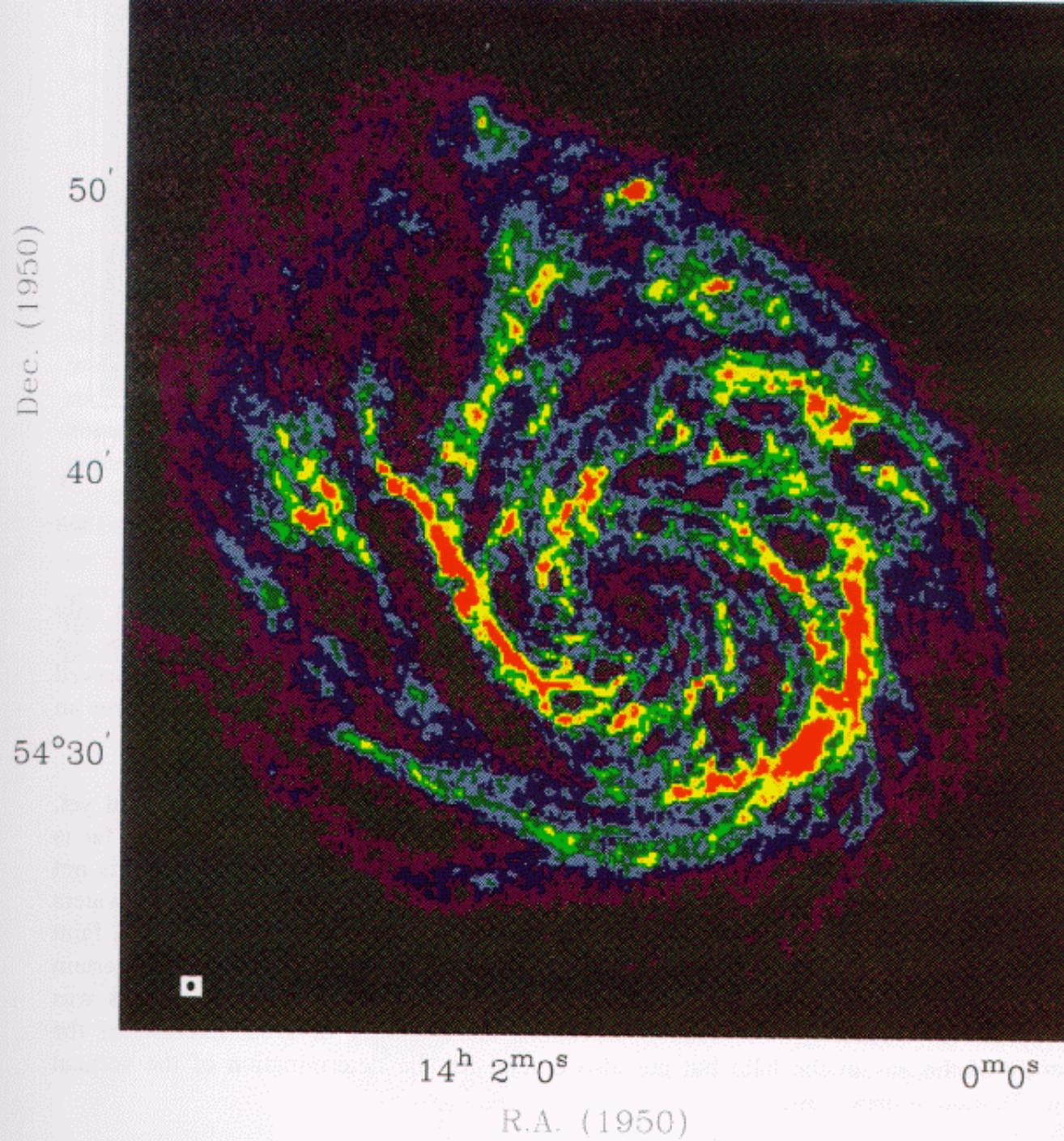
# Outras moléculas

Muitos compostos do C, H, O

$\text{HC}_2\text{H}$	acetileno
$\text{CH}_3\text{OH}$	alcool metílico
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	glicina
$\text{C}_{60}$	

**M101**

**HI**

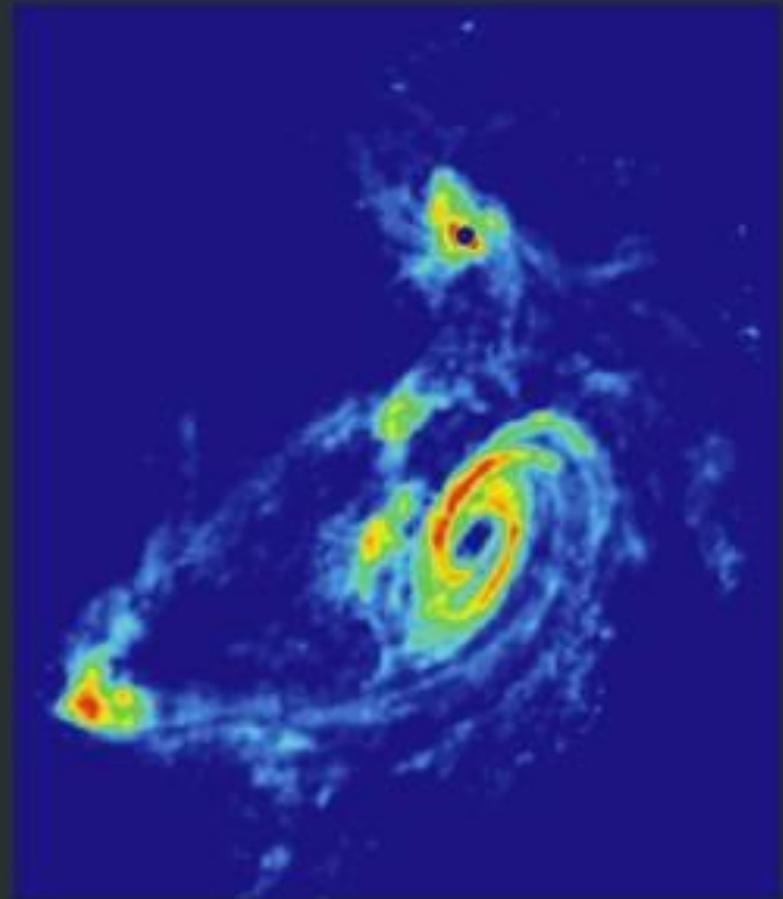


## TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

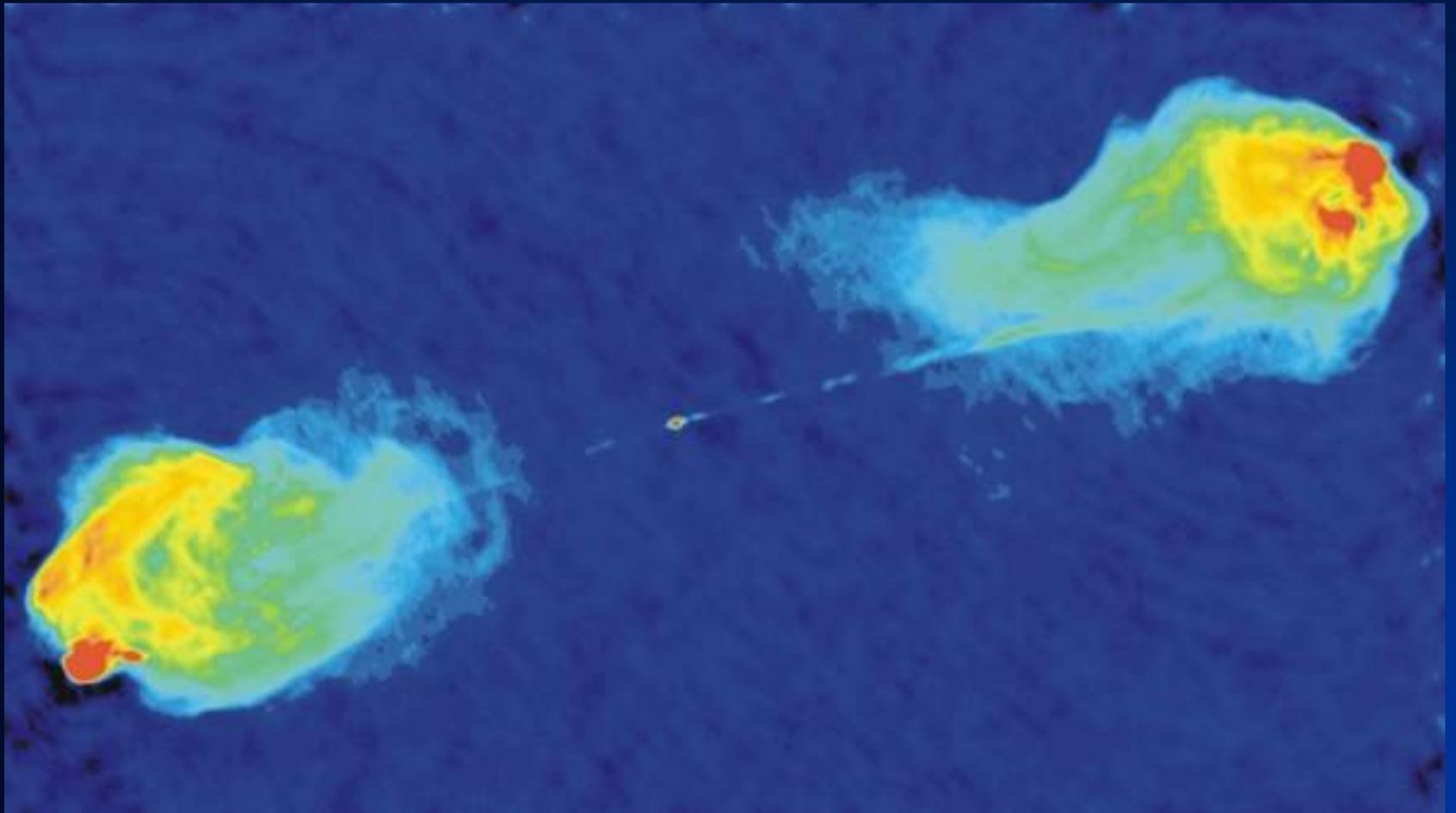
Stellar Light Distribution



21 cm HI Distribution



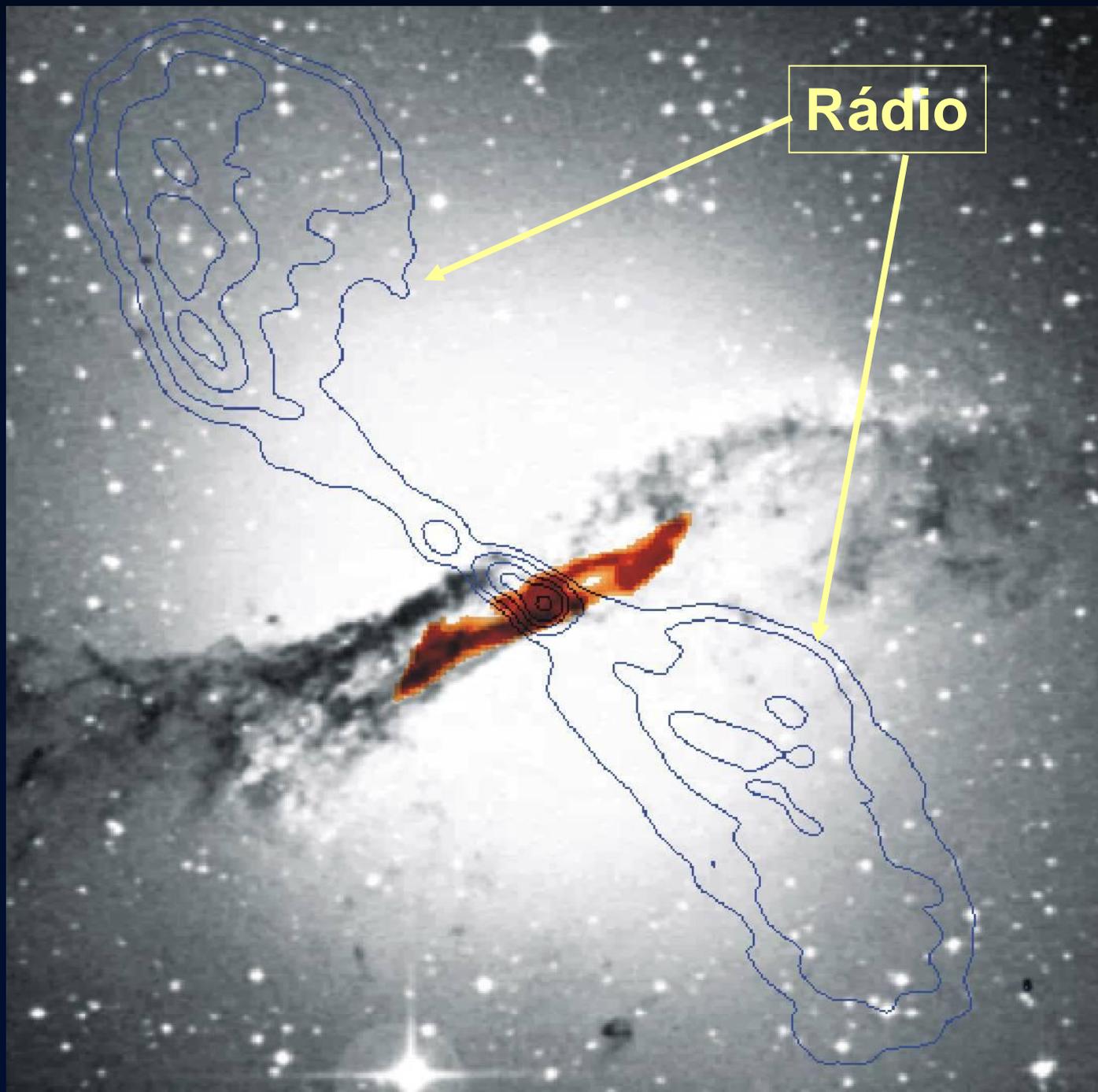
# Cygnus A (rádio galáxia)

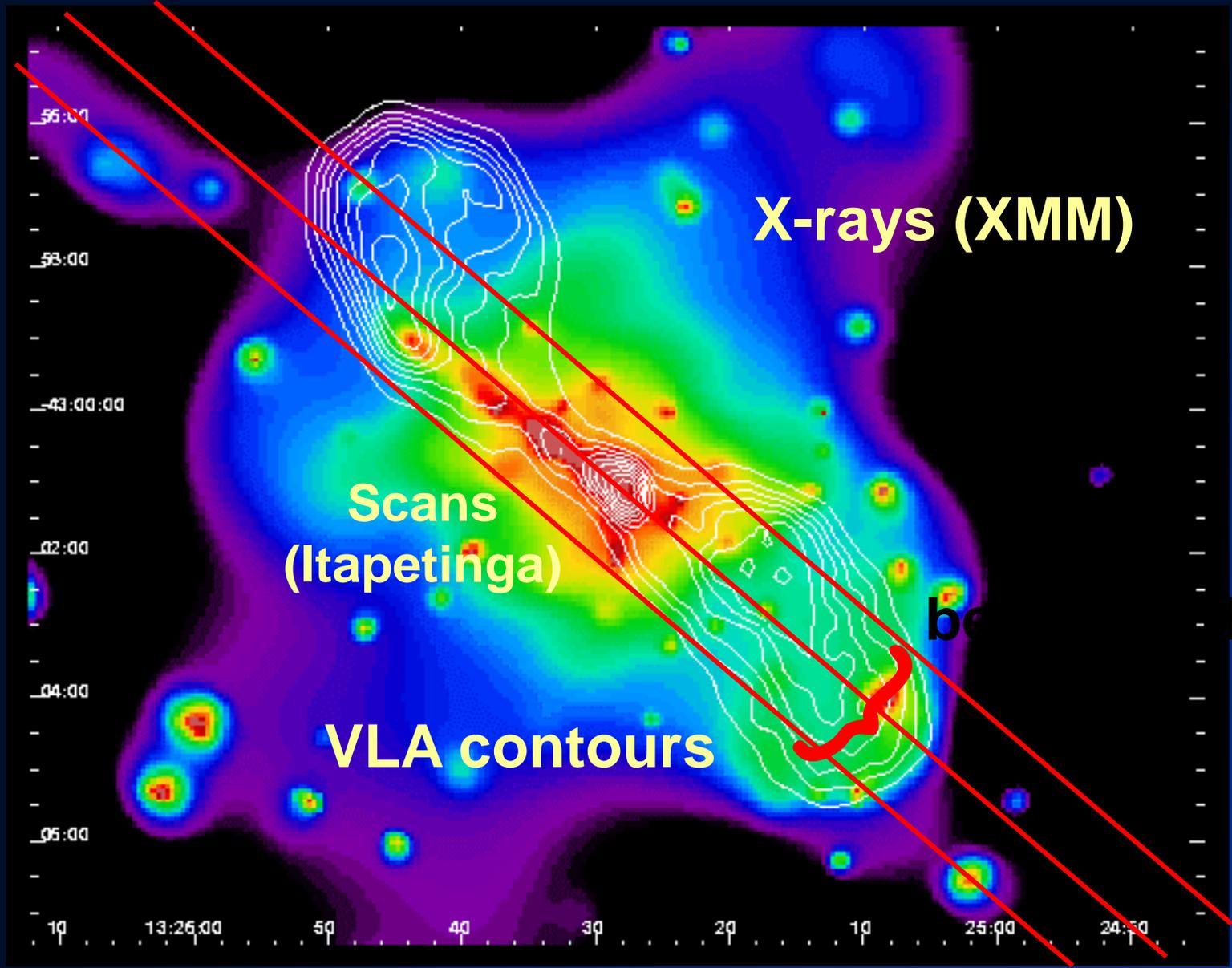


# Centaurus A

AAT 7

This is a deep-field astronomical image of the Centaurus A galaxy, also known as NGC 3091. The galaxy is an edge-on, barred spiral galaxy, appearing as a bright, elongated structure with a prominent central bar and two distinct bright lobes. The central region is particularly bright and yellowish-white, while the surrounding spiral arms and dust lanes are visible in shades of orange and red. The galaxy is set against a dark background filled with numerous stars of varying brightness and colors, including some blue stars. The overall appearance is that of a complex, multi-lobed system.





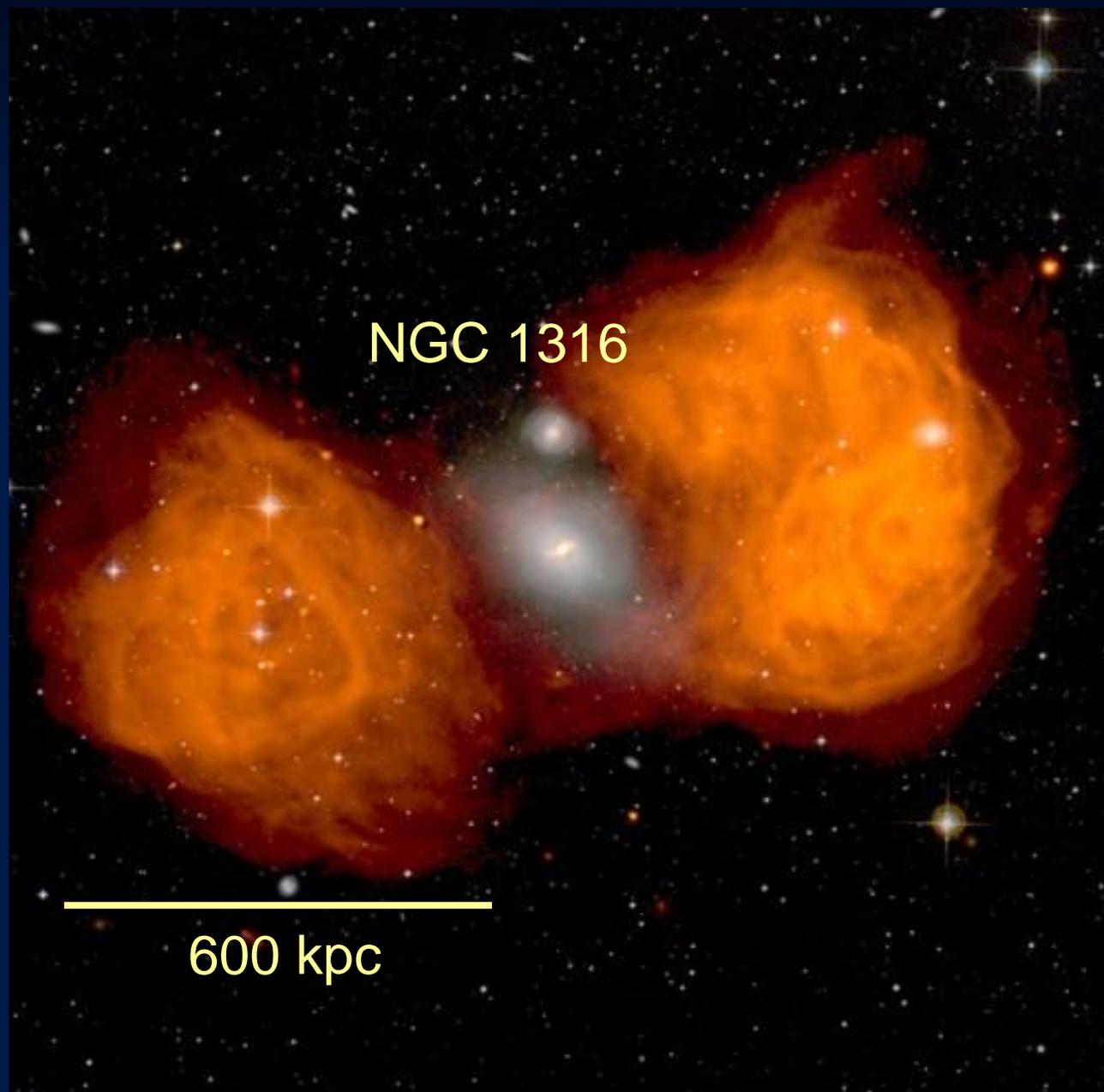
**X-rays (XMM)**

**Scans  
(Itapetinga)**

**VLA contours**

**bracket**

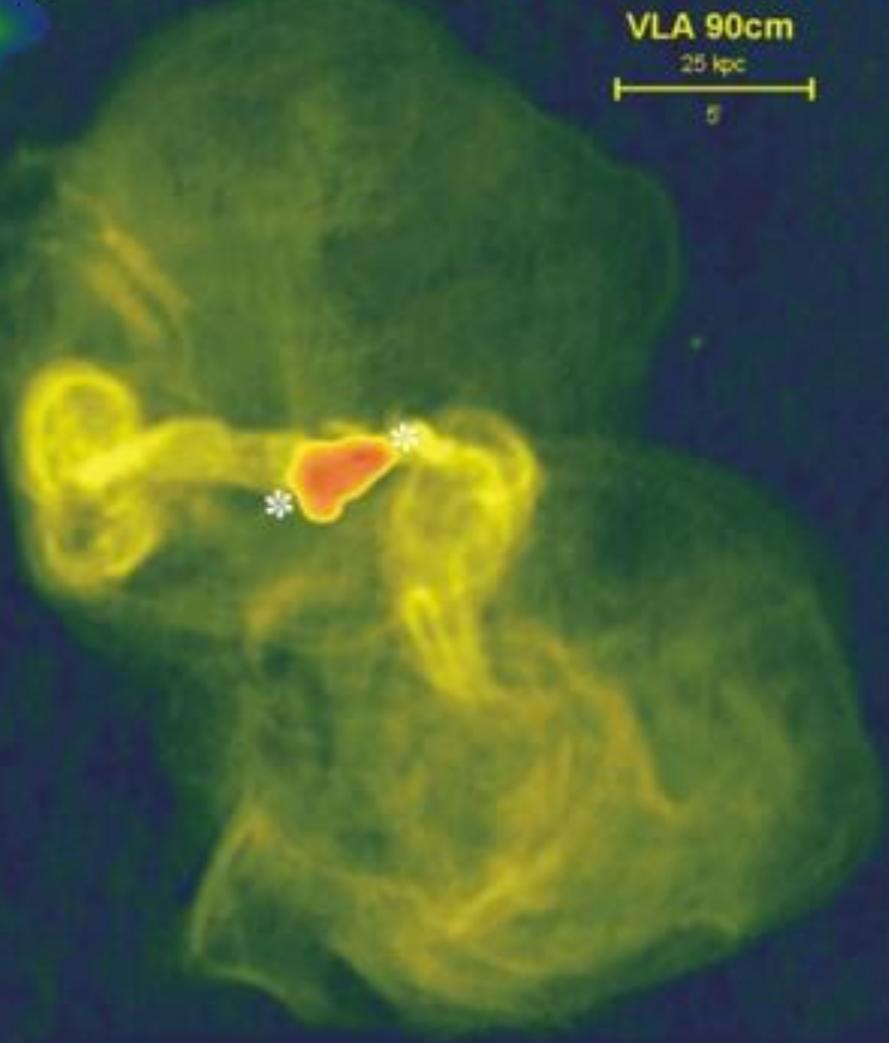
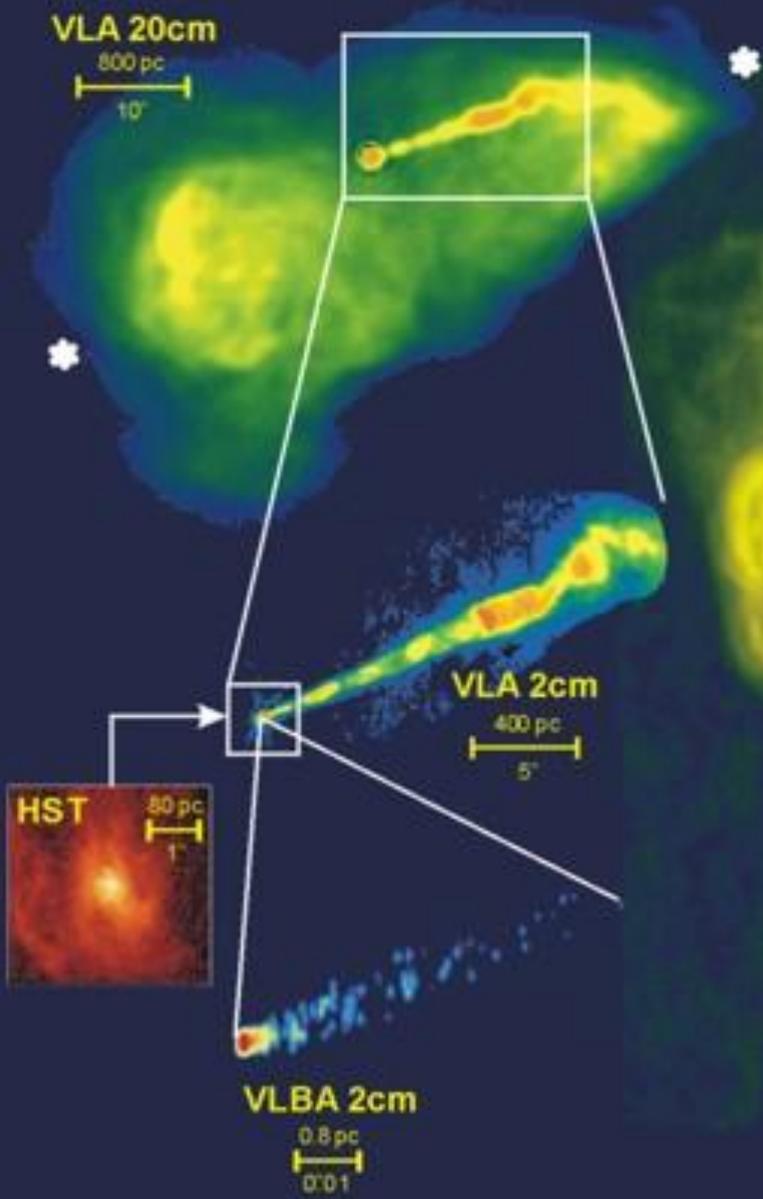
# Fornax A



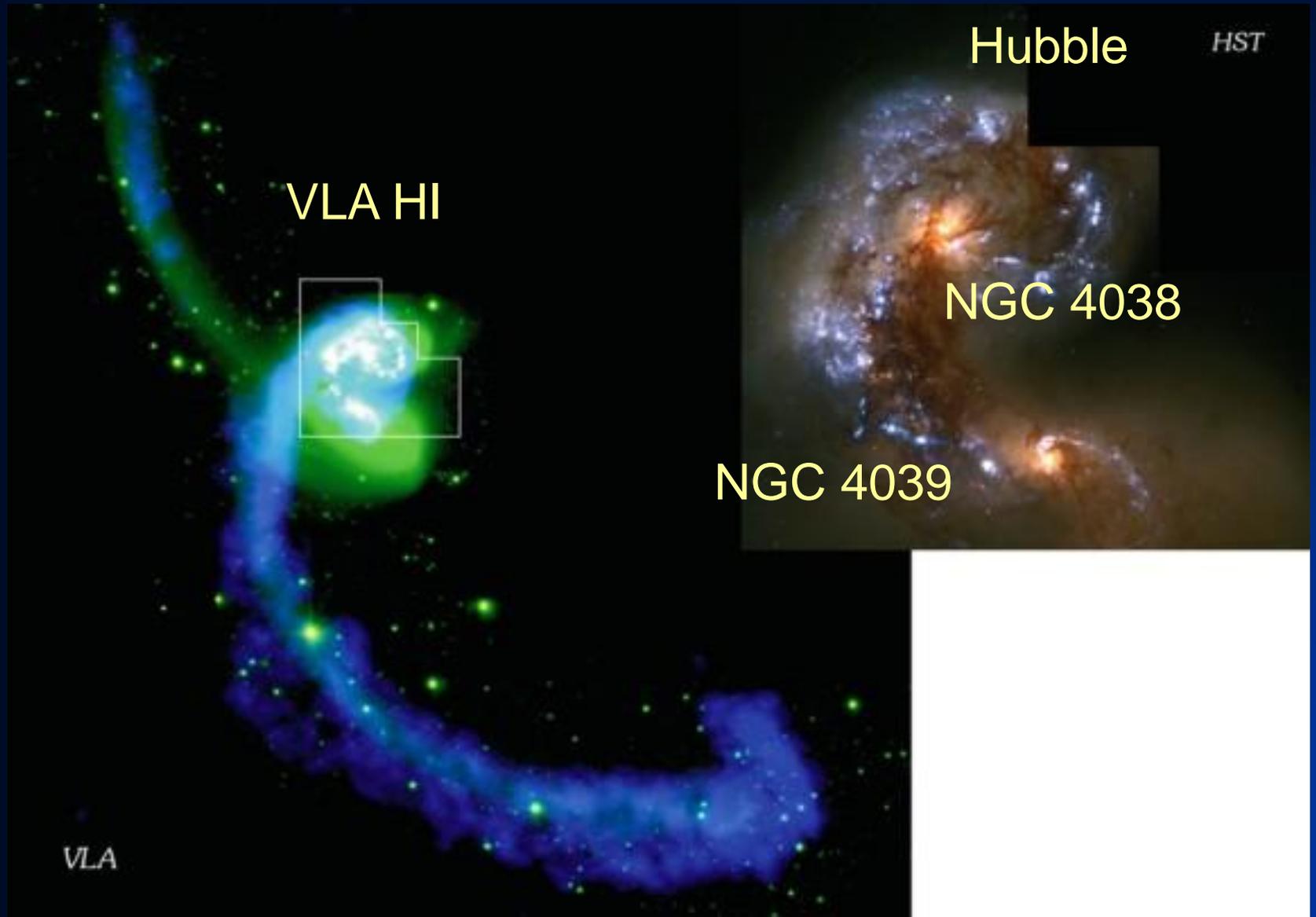
NGC 1316

600 kpc

# M87 = Virgo A



# Antennae

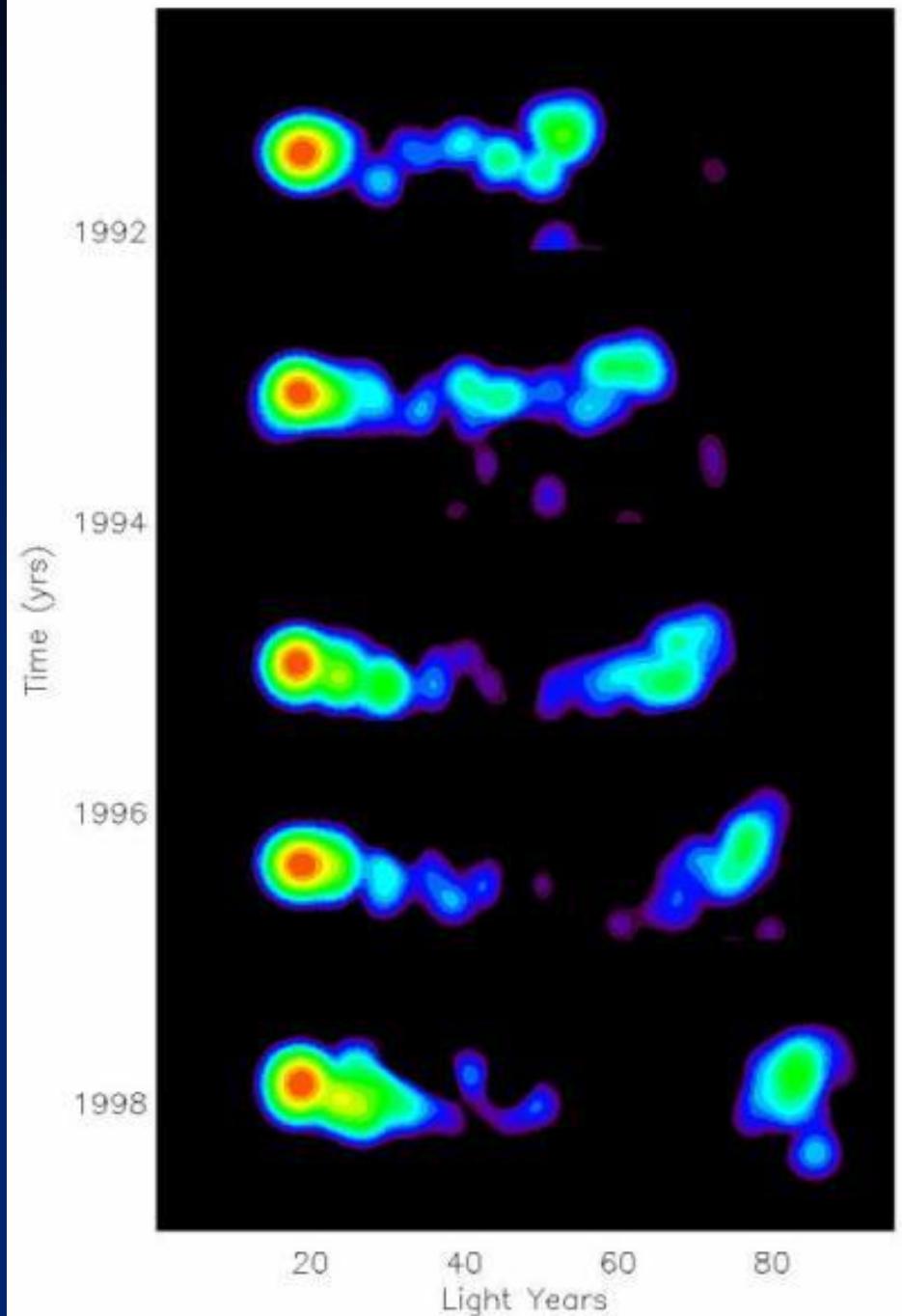


# Quasars

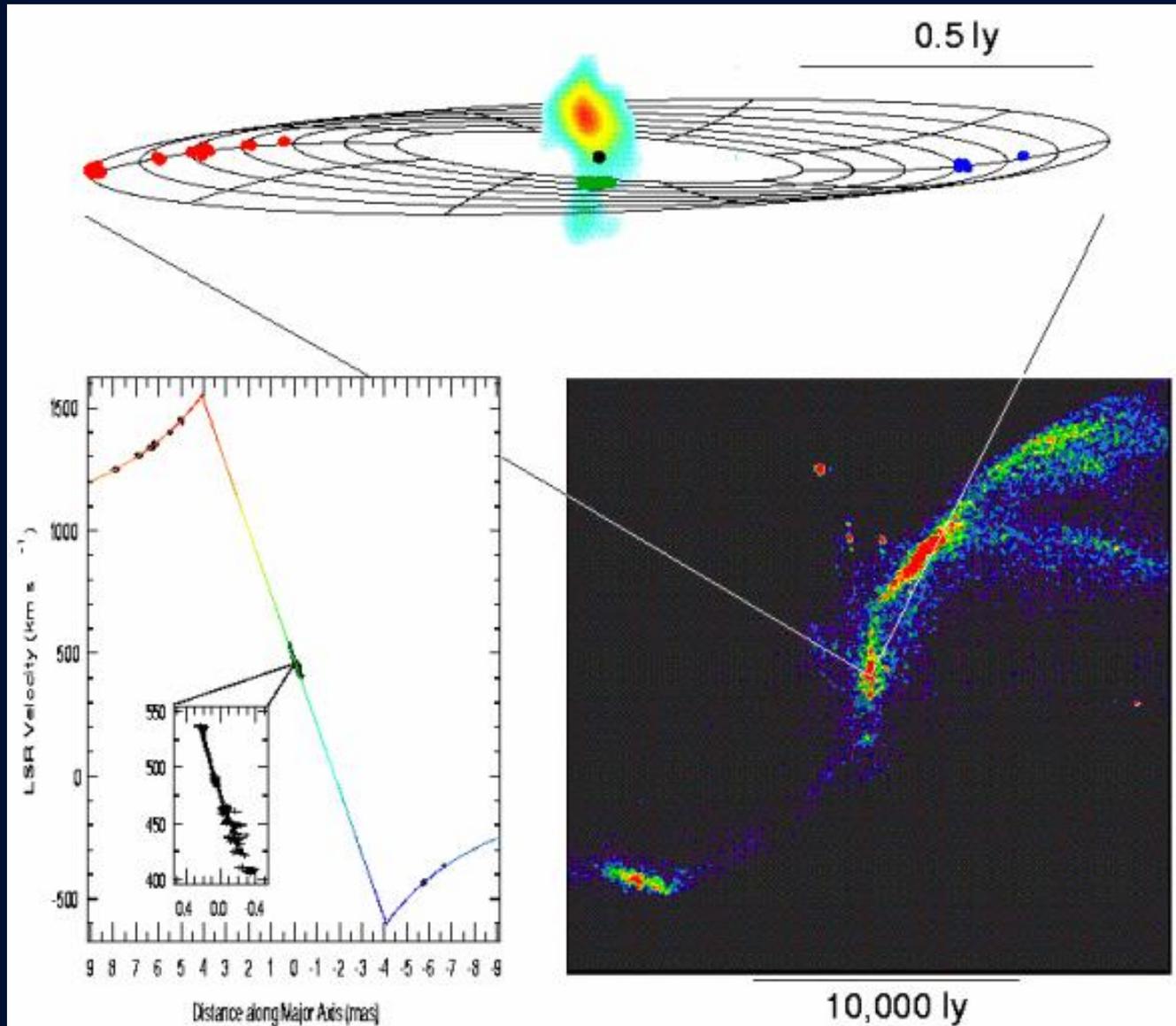
## 3C279

### Movimentos Superluminais

$$\beta_{\text{obs}} = \frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta}$$



# Discos de acreção: NGC 4258

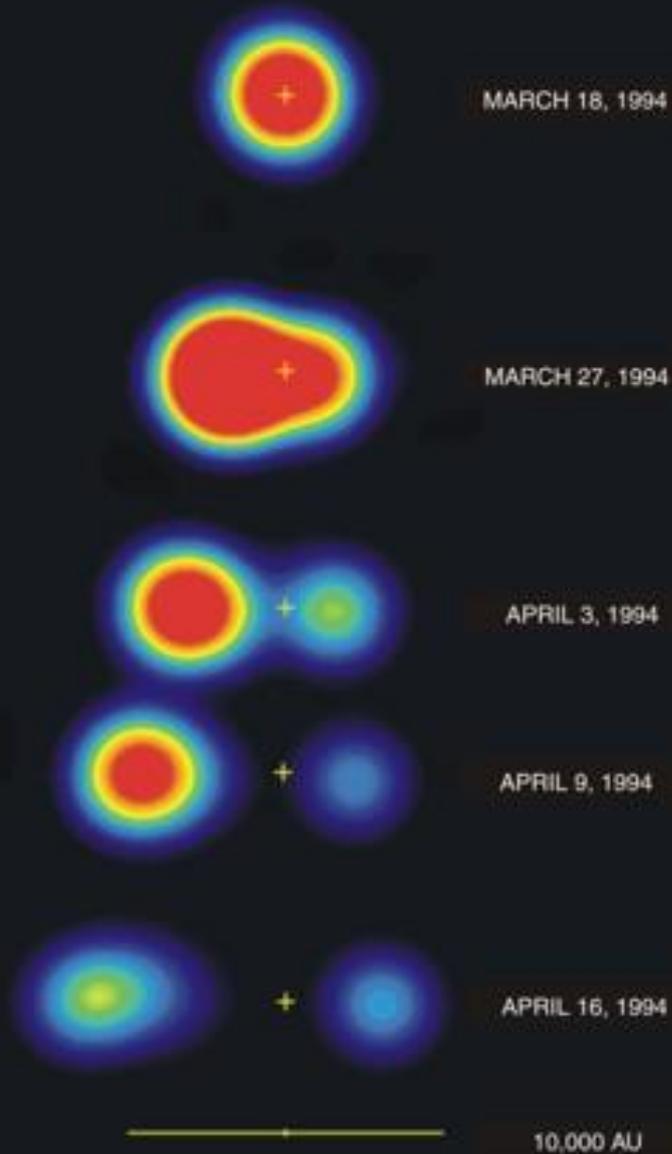


# Microquasars

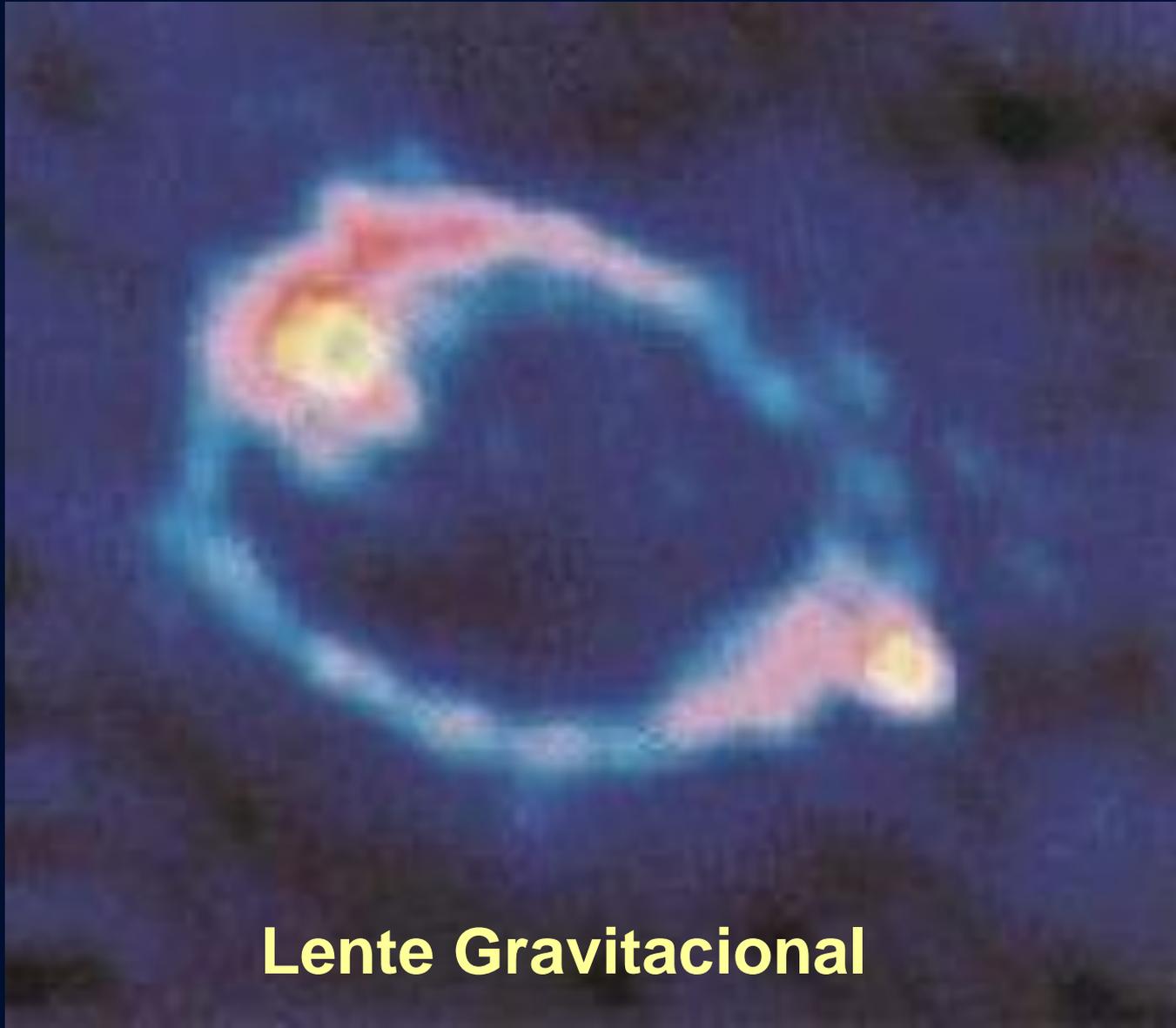
**GRS 1915+105**

$$v_j = 1.25 c$$

$$v_{cj} = 0.92 c$$



# Quasar 1131+045: Anel de Einstein



**Lente Gravitacional**

55 00 00

0957+561

24

22

20

18

16

50 57 50.0

57 0

57.0

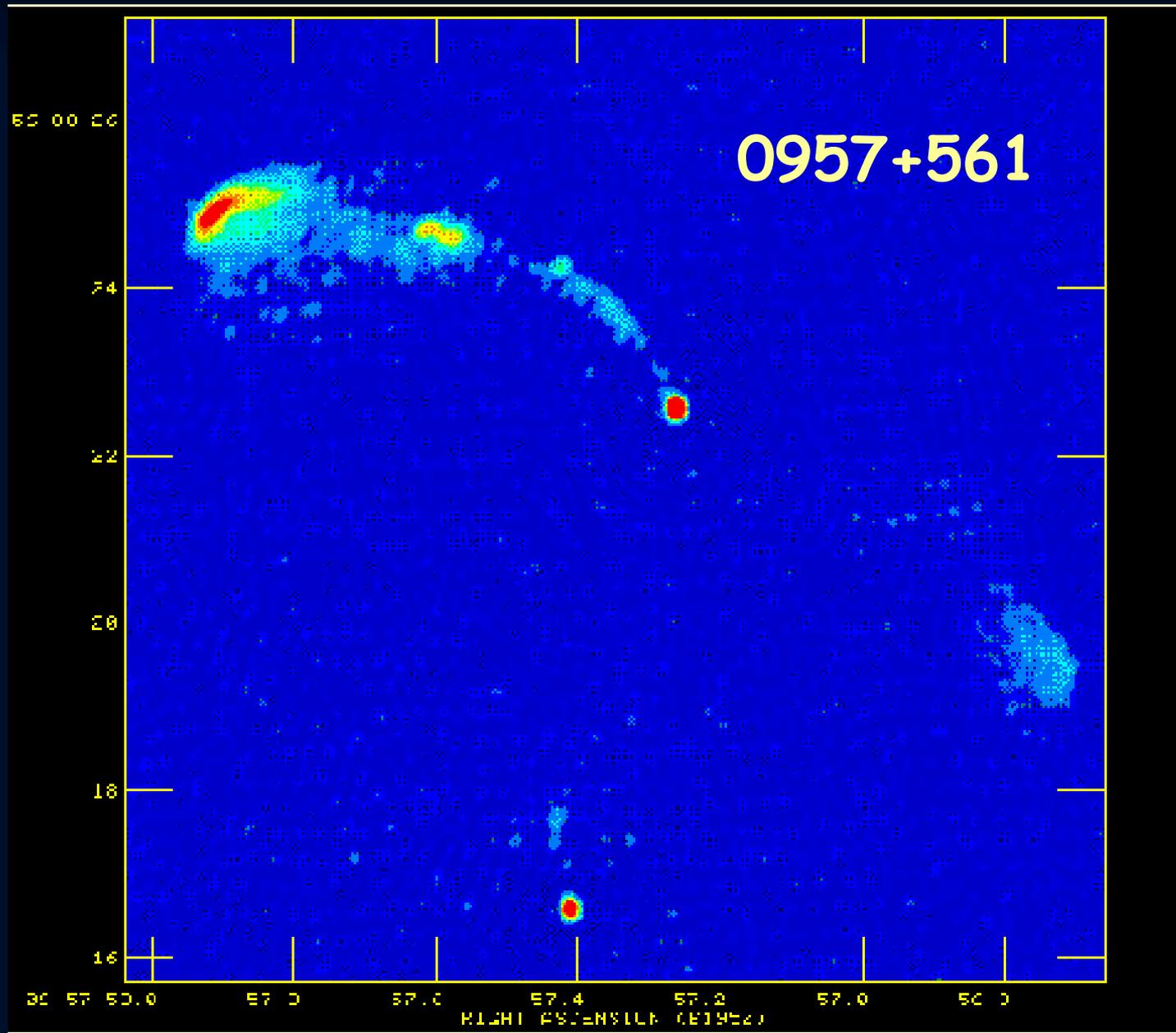
57.4

57.2

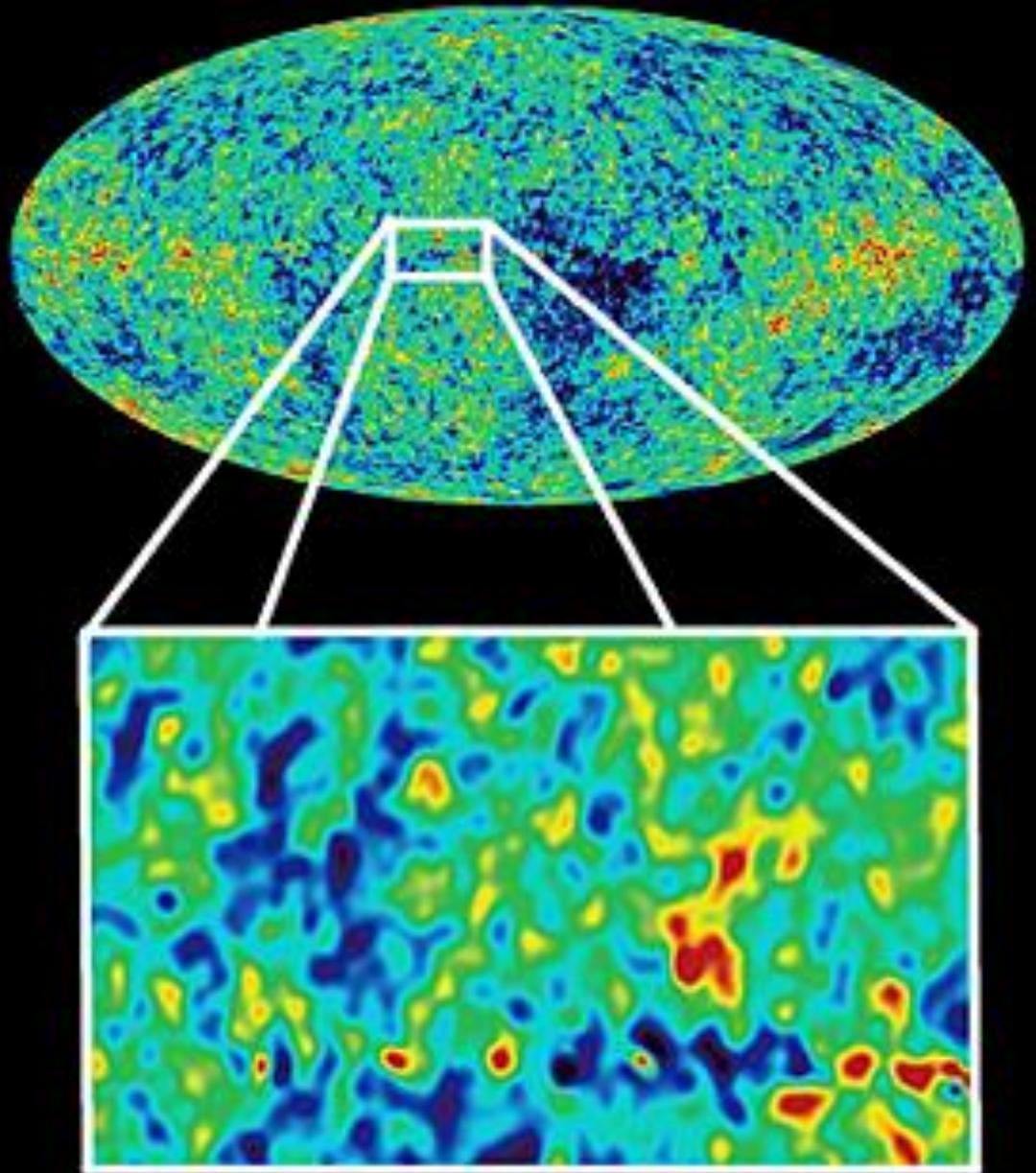
57.0

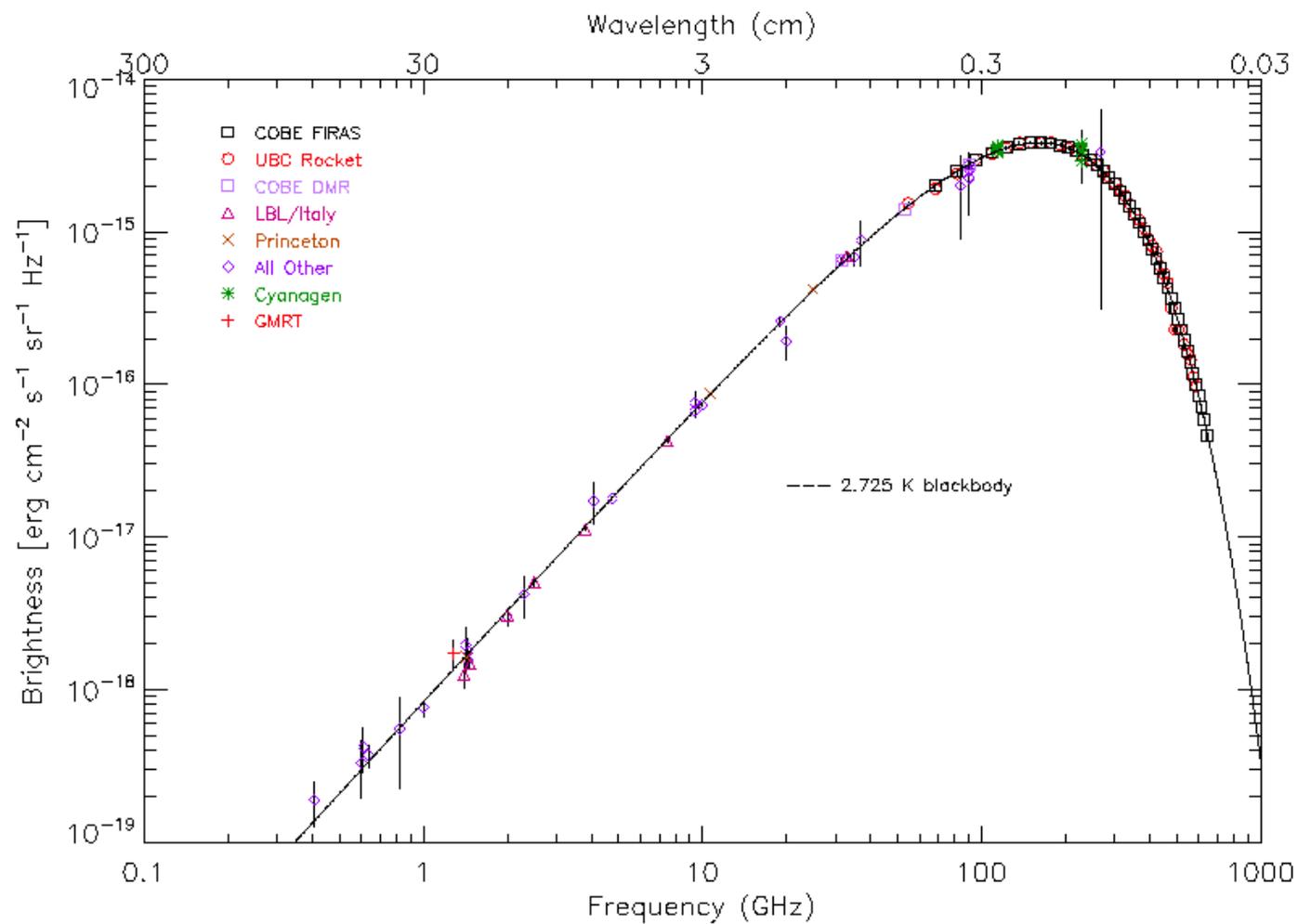
50 0

RIGHT ASCENSION (BJ1950)



# Radiação C3smica de Fundo

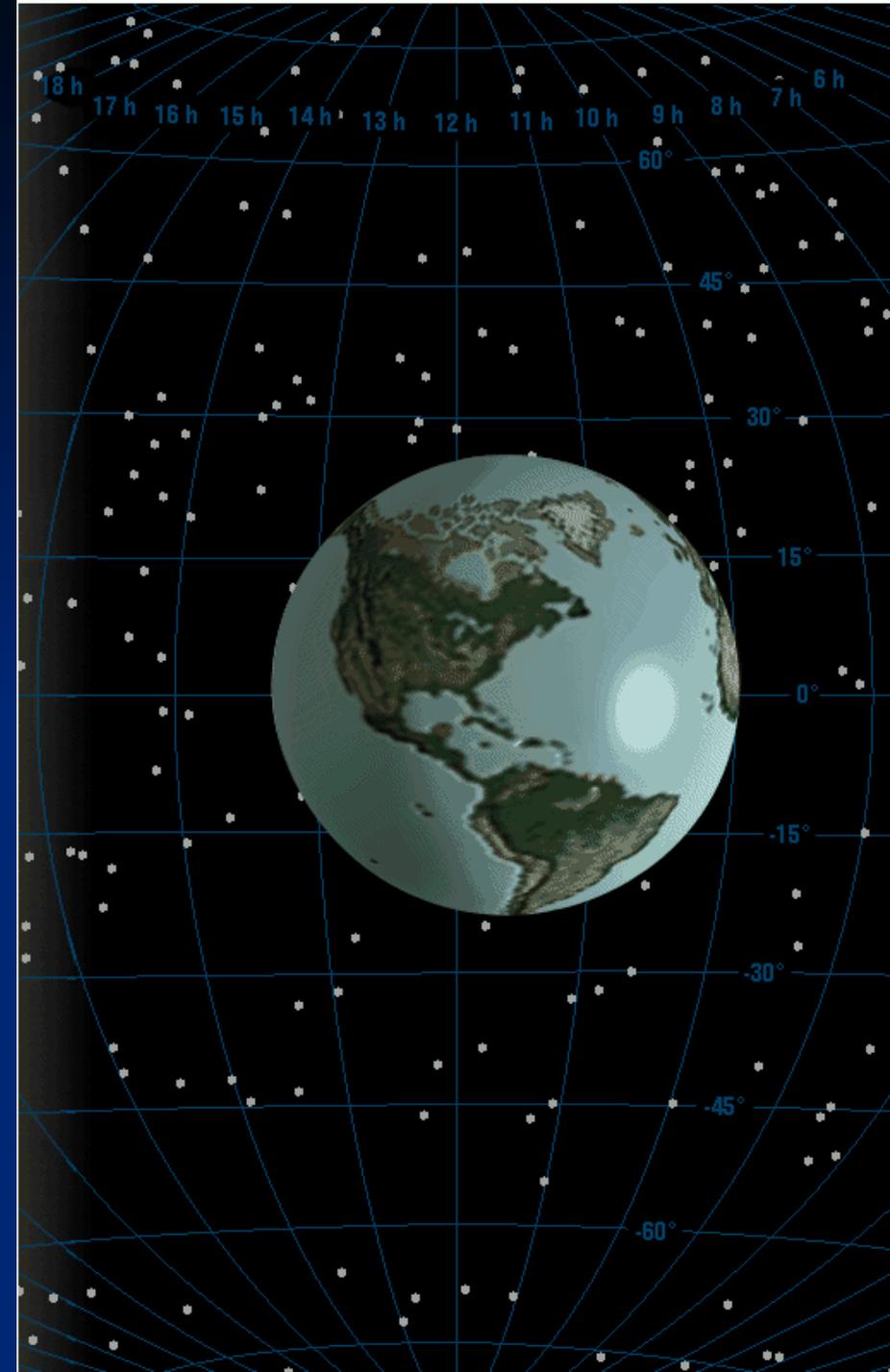




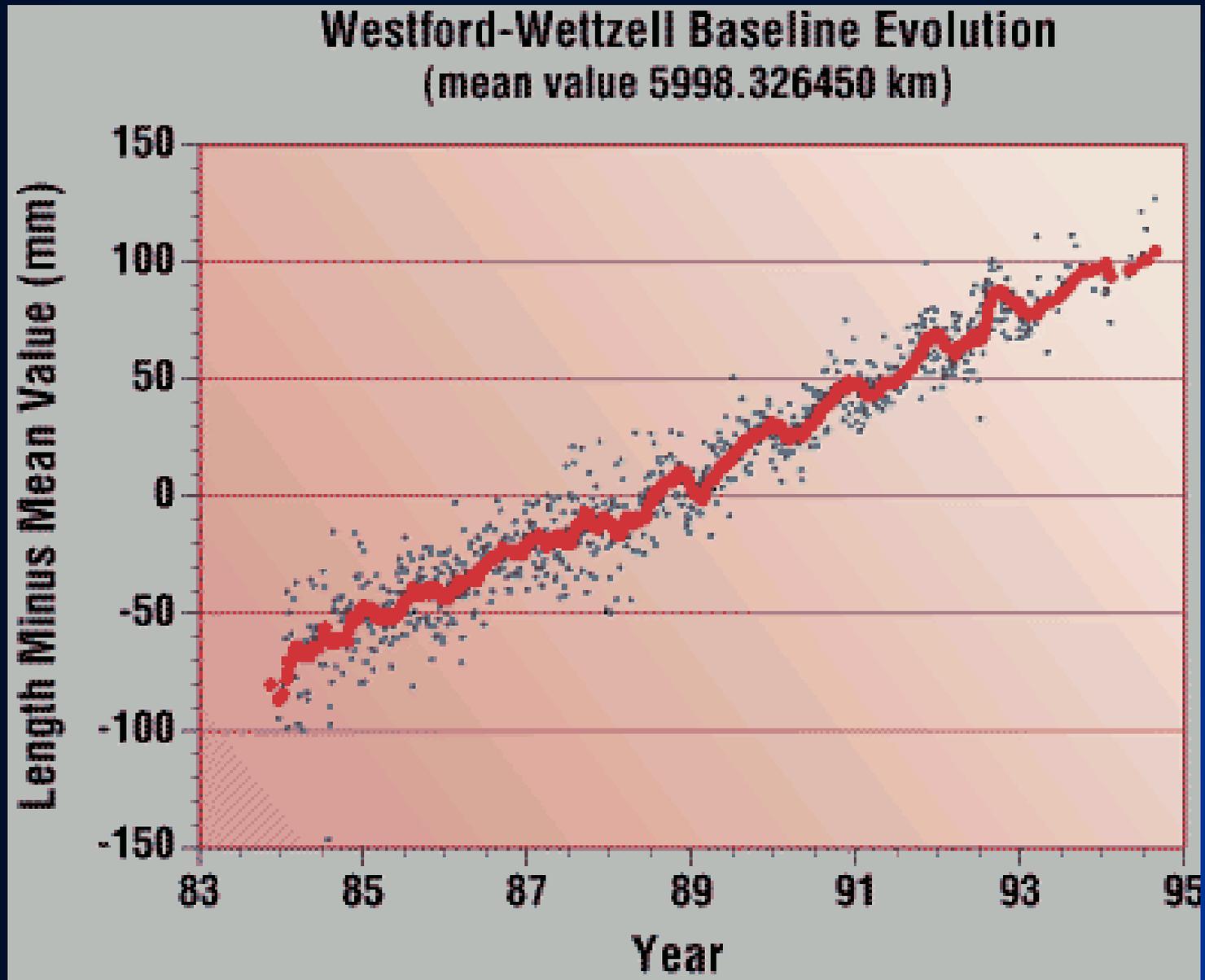
# Medidas Geodéticas usando VLBI

Sistema de coordenadas  
inercial

Posição do observador  
com relação aos quasares



# Variação da distância entre observatórios



# Movimentos das placas tectónicas

