

Radioastronomía centimétrica: Historia y tecnología

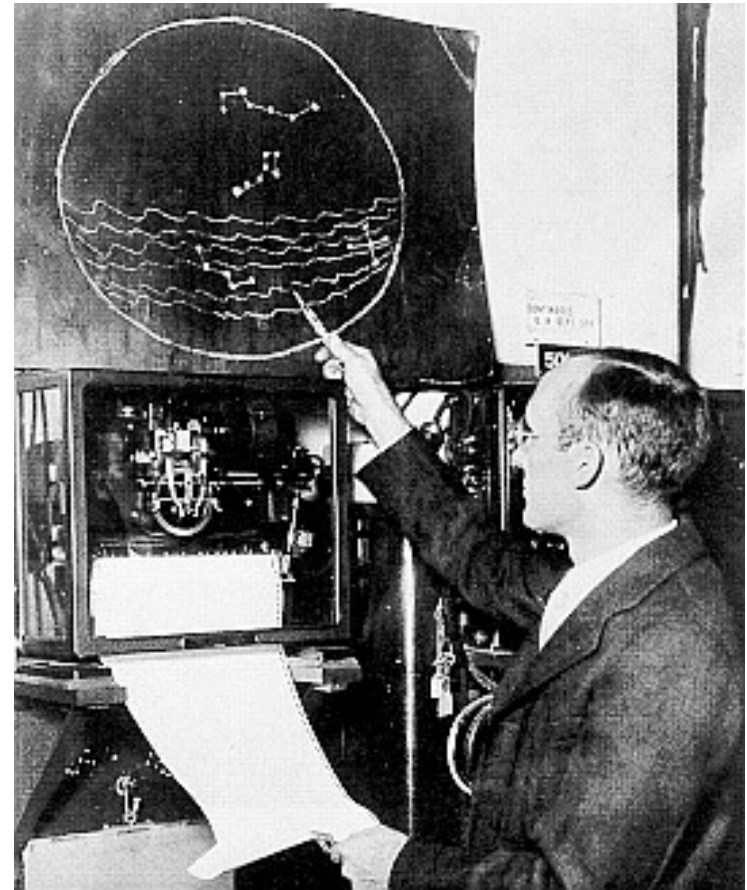
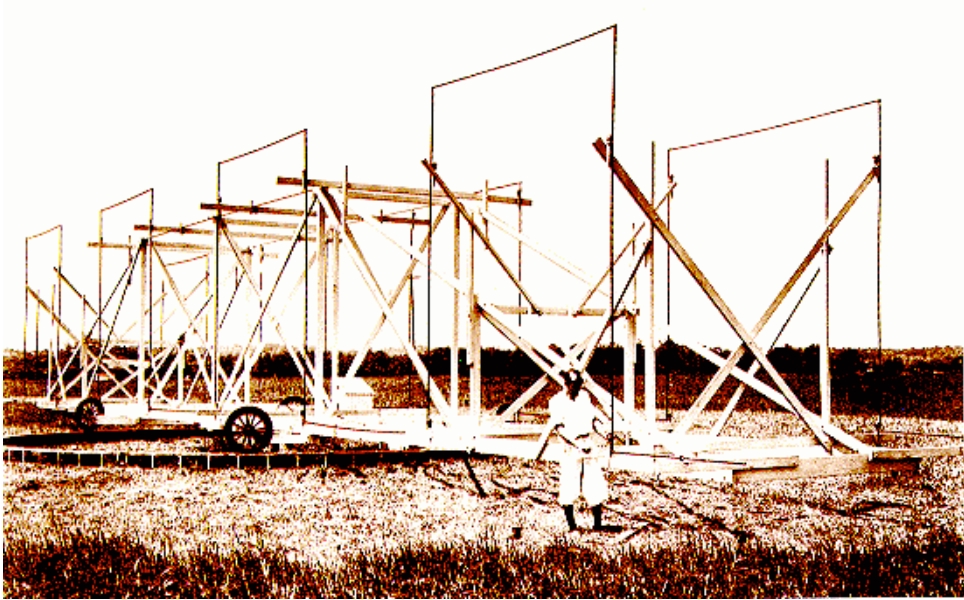


Comentario:

Radioastrónomos no escuchan los señales.

Ondas radio son ondas electromagnéticas, no de sonido.

Historia



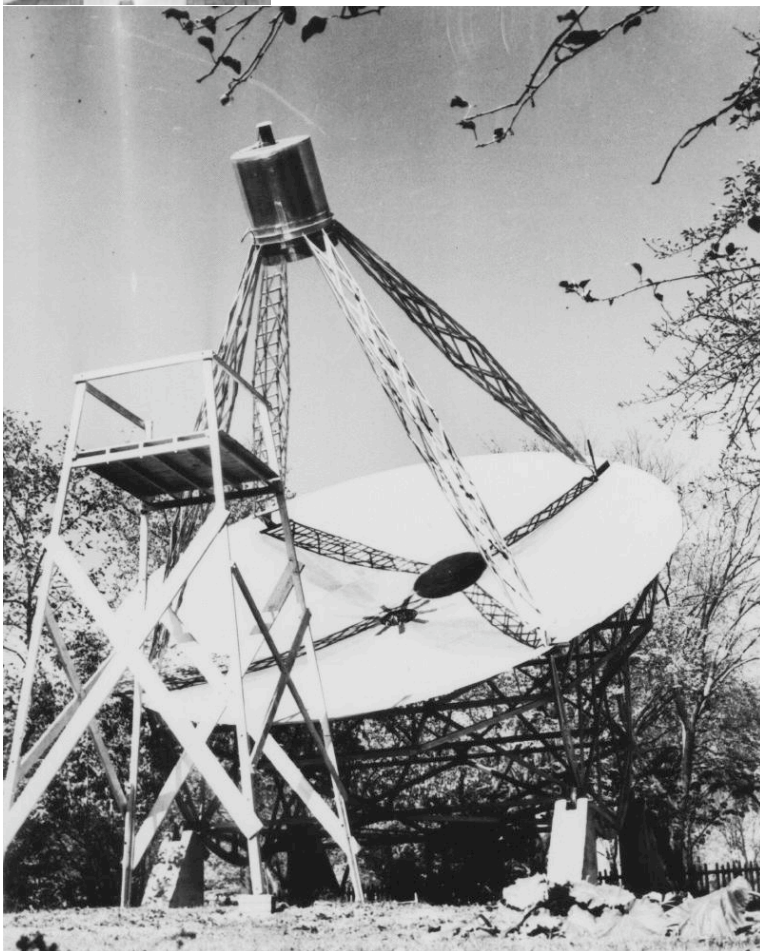
Comienzo: 1932

Karl G. Jansky (empleado de la compañía Bell Telephone Laboratory) buscaba interferencias en el servicio trans-atlántico de radio-telefonía. Encontró un ruido de fondo con periodo de 23 horas y 56 minutos → día estelar.

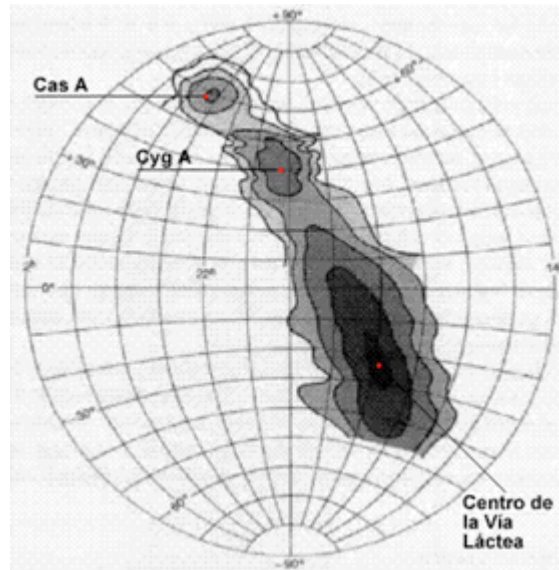
Señales eran emisión de la Vía Láctea

Hoy: Jansky es unidad de intensidad de radiación en radio

1937: Grote Reber (1911-2002):
Construyó una antena en su jardín en un
suburbio de Chicago.
Observó la Vía Láctea (mapa publicado en
1939).



En esta época fue radioastrónomo
amateur.



Mapa de medio cielo en radio
por G. Reber



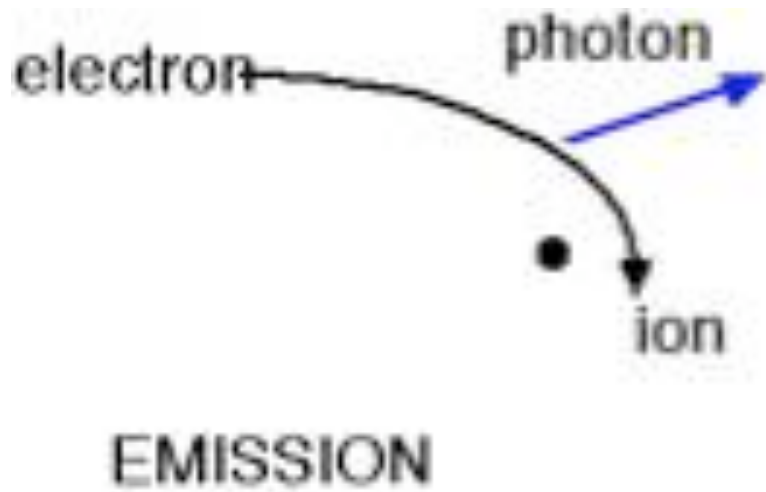
Primeros años de la radioastronomía

- Después de la segunda guerra mundial: **Auge de radioastronomía**. Se beneficiaba de investigación de emisores y receptores para radares en la guerra
- Tres grupos principales:
 - Martin Ryle (1918-1984) en Cambridge (UK) (Premio Nobel)
 - Bernard Lovell en Manchester University
 - Joseph Pawsey (1908-1962) en Sydney

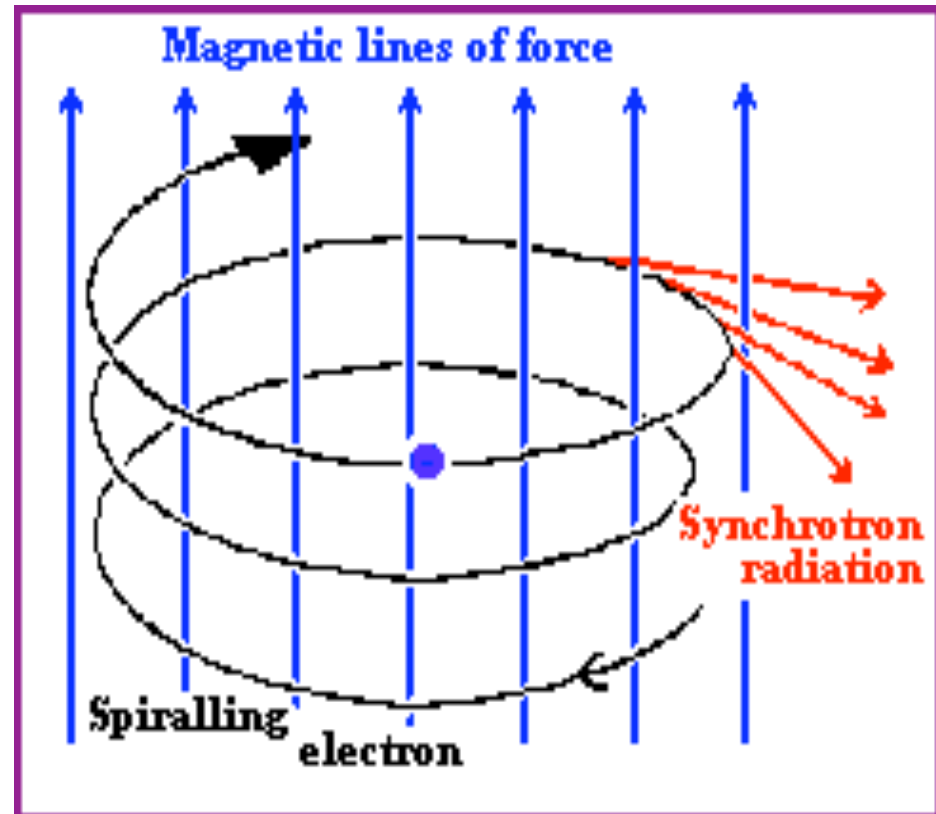
¿Qué proceso representa la emisión radio continuo?

Pueden ser 2 procesos:

- 1) Emisión de gas caliente (emisión libre-libre o bremsstrahlung)
 - Hay electrones libres debido a ionización del gas → son acelerados por iones → emiten radiación



- 2) **Emisión sincrotrón Galáctica:**
Emisión de electrones moviéndose casi a velocidad de la luz (rayos cósmicos) en un campo magnético



¿Qué es la emisión que mostraron los primeros mapas de radio?

¿Emisión radio térmica?

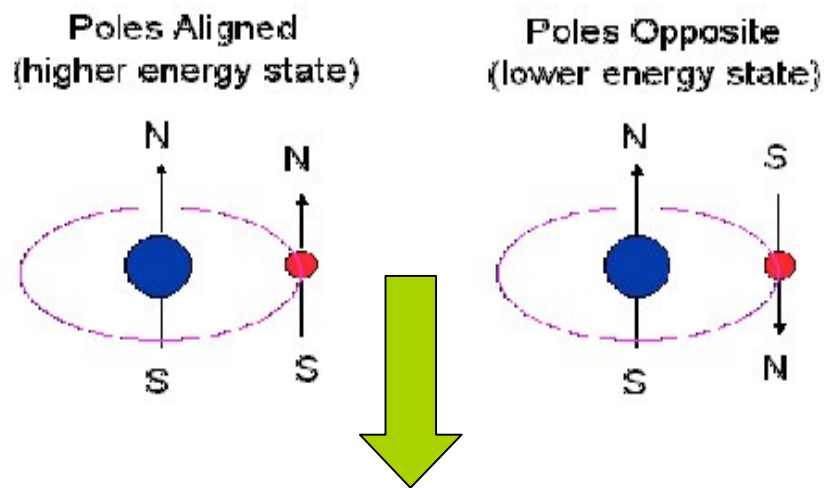
- La comparación de los resultados de Reber y Jansky (a diferentes frecuencias) demostró que no podría ser emisión de un cuerpo negro
- Reber propuso emisión libre-libre
- 1940 demostraron Henyey & Keenan que esta emisión no podría explicar las mediciones a baja frecuencia de Jansky
- La pregunta no atrajo mucho más atención en algunos años

¿Emisión sincrotrón?

- Al final de los años 1940 se conocía bien el proceso de la emisión sincrotrón debido a aceleradores de partículas: En ellos protones y electrones se mueven en círculos debido a un campo magnético → emiten emisión sincrotrón
- 1950: Alfvén y Herlofson propusieron que emisión de las “radio estrellas” podría ser debido a electrones en un campo magnético alrededor de una estrella
- Ginzburg (1951) & Kiepenheuer (1950) propusieron mecanismo correcto

Emisión de hidrógeno atómica

- 1945: Hendrik van der Hulst predijo que átomos de hidrógeno iban a emitir una línea a 21 cm debido a energía liberado con cambio de espín relativo de protón y electrón.
- En un átomo individual: Esta transición pasa cada millón de años



Emisión a 21 cm

Grandes descubrimientos con radio continuo:

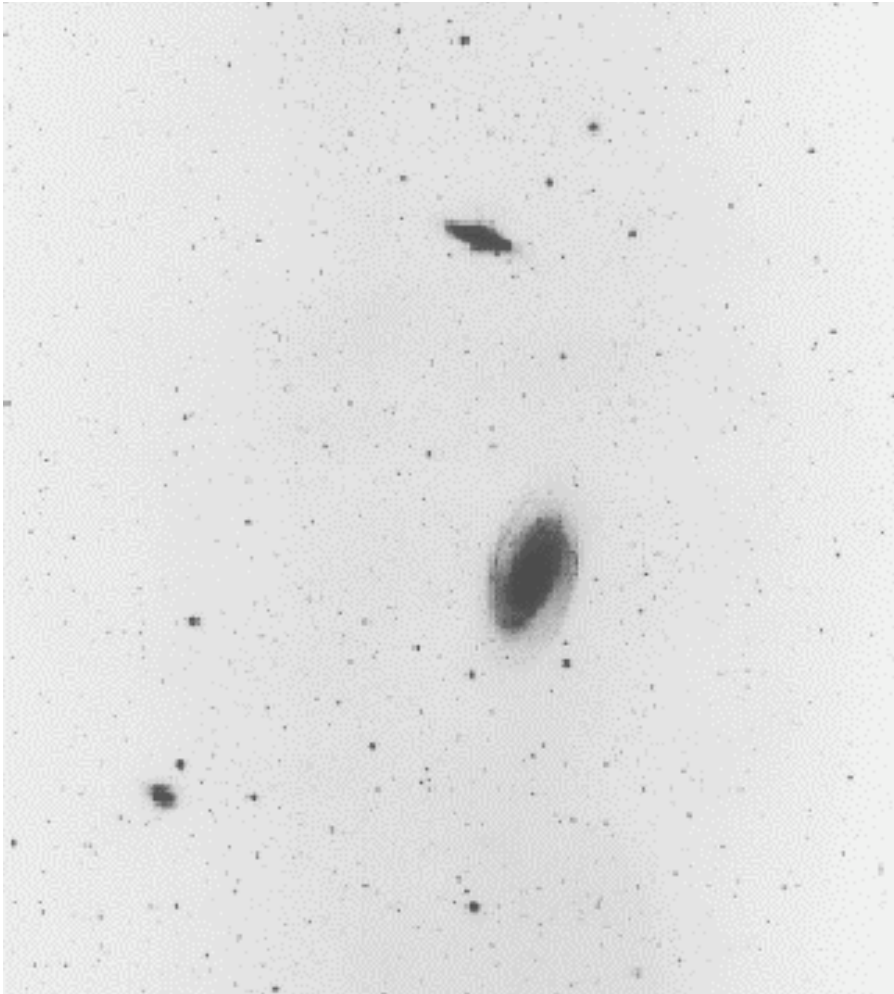
1) Emisión de hidrogeno atómico

- 1951: Observación de la línea a 21 cm

Importancia:

- Posibilidad de observar medio interestelar frío
- Al ser línea: Información sobre velocidad del gas
- Al ser radio: No sufre extinción por polvo → se puede ver el otro extremo de la Vía Láctea
- → Posibilidad de reconstruir estructura y dinámica de Vía Láctea.
- → Confirmación de la estructura espiral.

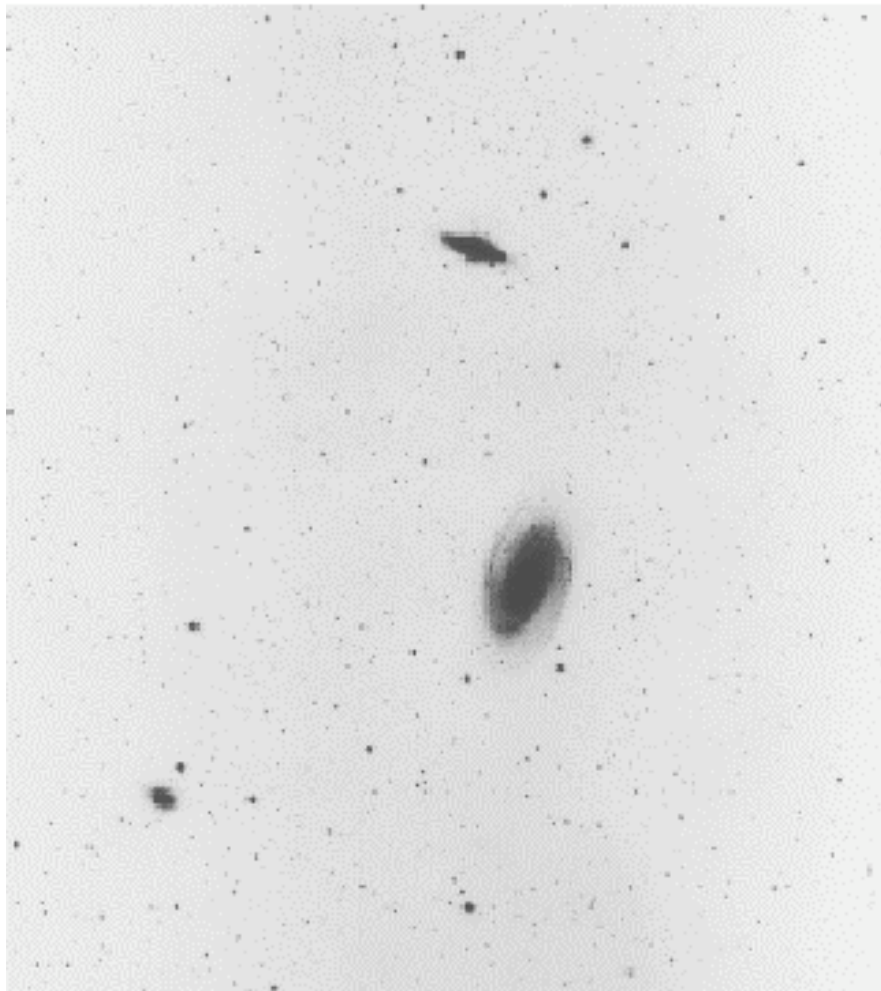
Grupo M81: La observación del gas atómico puede cambiar la imagen



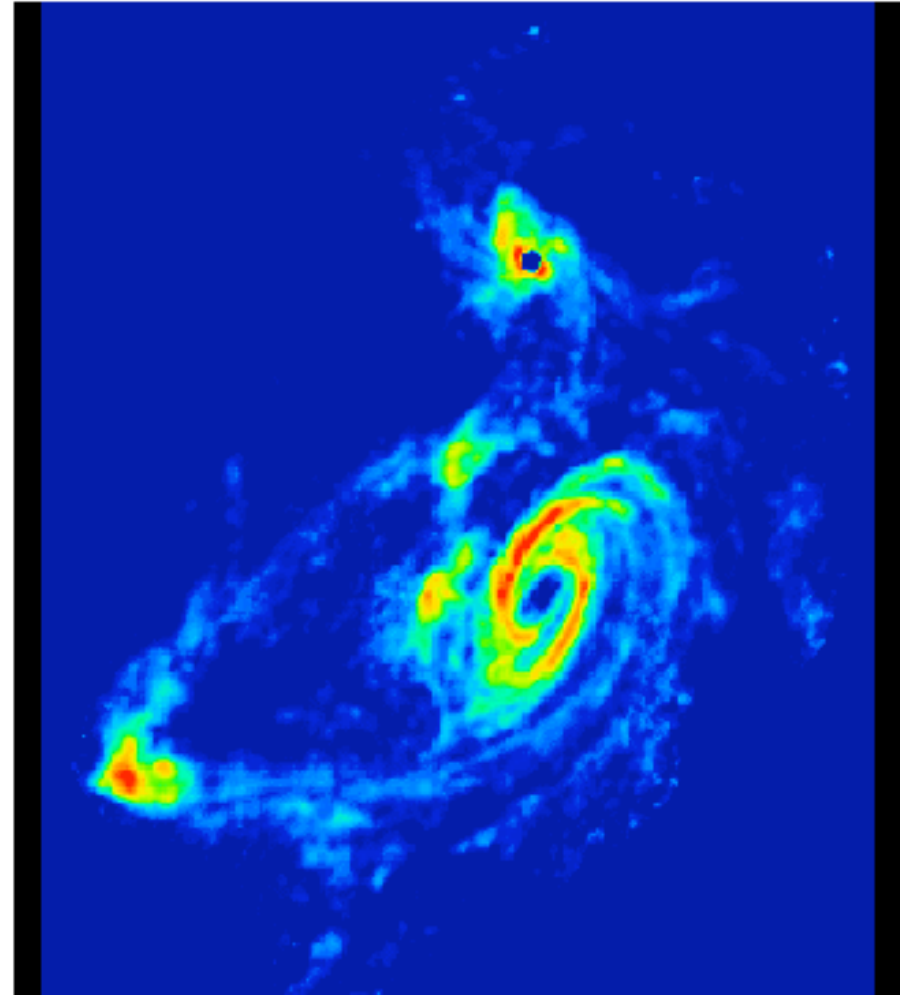
Galaxias en interacción gravitatoria

TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution



21cm HI Distribution



2) Fuentes puntuales: Radiogalaxias

- 1946: Stanley Hey descubrió la primera fuente puntual en Cygnus (Cygnus A)
 - Fuente en Vía Láctea ("radioestrella") o extragaláctico?
 - → para saberlo, hay que conocer el corrimiento a rojo, no es posible con radio continuo
 - → problema: mala resolución de telescopios radio
 - Hay que identificar el objeto óptico asociado y tomar espectro
 - 1951: Graham Smith determina precisa posición de Cygnus A con el mejor radiotelescopio (interferometría)
 - 1954: Walter Baade y Rudolph Minkowski hacen observaciones ópticas en Palomar (con el telescopio de 200 inch)
 - → enorme distancia → enorme energía → que proceso?
- 1948: descubrimiento de la fuente puntual más fuerte de la hemisferia norte: Cassiopeia A (remanente de supernova)
- 1949: Nebulos del Cangrejo,(remanente de SN) Virgo A, Centaurus A (galaxias "peculiares")
- 1960: Otra fuente radio brillante (3C 295) fue identificado en el opticao y resulta ser a una gran distancia (objeto mas distante hasta mediado de 1970)

3) ¿Big bang o steady state?

- Hubble mostró que el universo está en expansión, pero ¿Cómo se interpreta este hecho?

Interpretación natural: Seguir la expansión hacia atrás → universo estaba muy concentrado, y tenía comienzo

Controversia larga a finales de los años 40:

- George Gamov, Ralph Alpher, Robert Herman desarrollan teoría del "Big Bang" (nombre dado de forma despectiva de Fred Hoyle). Predicción: Radiación uniforme equivalente a un cuerpo negro de 5 K.
- Teoría alternativa: "Steady state": las galaxias están en expansión, pero se forma nueva materia
 - A favor: p.e. Fred Hoyle, Einstein (modificó sus ecuaciones con una constante cosmológica)

El fondo cósmico de microondas

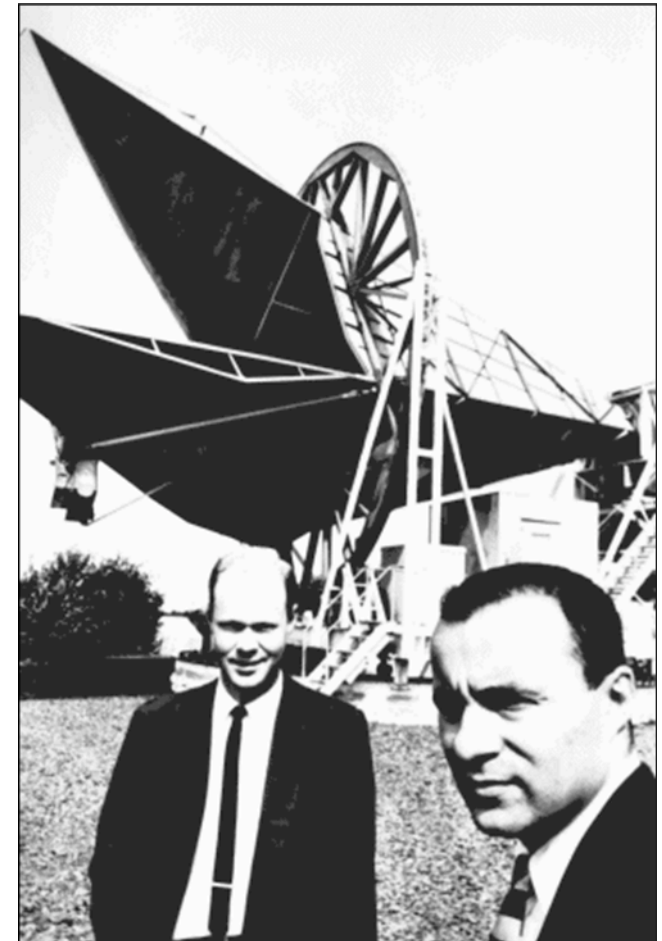
1964: Un grupo de astrónomos en la Universidad de Princeton construyó una antena para medir el fondo de microondas cósmico

1965: Arno Penzias y Robert Wilson de la compañía Bell Telephone Laboratories (como Jansky) buscan fuentes de interferencia (como Jansky...) en un reflector.

Eliminan todo, pero se queda un ruido....
... el fondo cósmico de microondas.

Recibieron en 1978 el premio Nobel para su descubrimiento

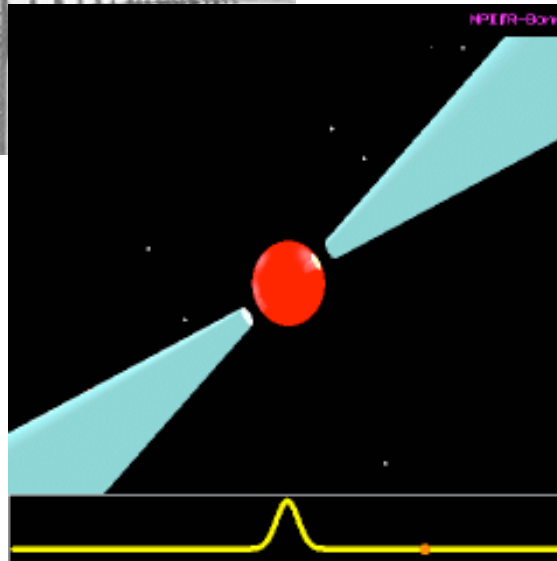
Eso fue un fuerte apoyo para la teoría del Big bang.



4) Descubrimiento de pulsares



- Descubierta en 1967 por Jocelyn Bell (estudiante de tesis) y Antony Hewish en Cambridge (UK) (Premio Nobel a A. Hewish en 1974)
- Señal regular - de extraterrestres?? ("Little green men")
- Llamado "Pulsating radio star"



Pulsar:

- Estrella de neutrones en rotación
- Producto de colapso de una estrella
- Muy pequeño y muy denso
- Pulsación debido al "efecto faro"

Conclusiones intermedias

La radioastronomía ha permitido:

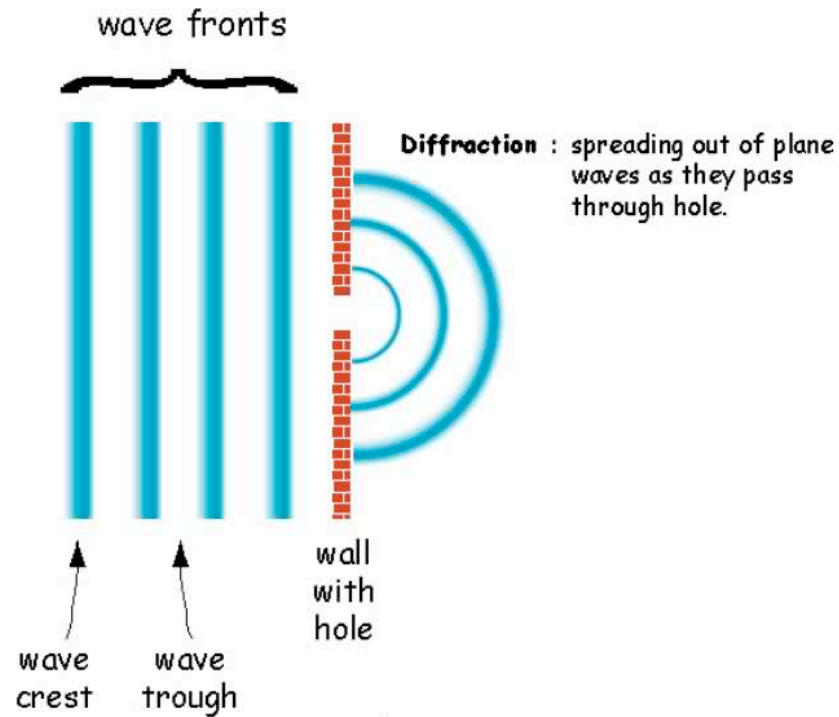
- Estudiar componentes de galaxias (sobre todo gas atómico, combustible para la formación de galaxias pero también rayos cósmicos y campo magnético) que sin esta tecnología no hubiera sido posible.
- Descubrir un nuevo tipo de galaxias: radiogalaxias
- El descubrimiento de objetos exóticos (pulsares)
- Ha contribuido una importante prueba para un modelo cosmológico (big bang)

Tecnología

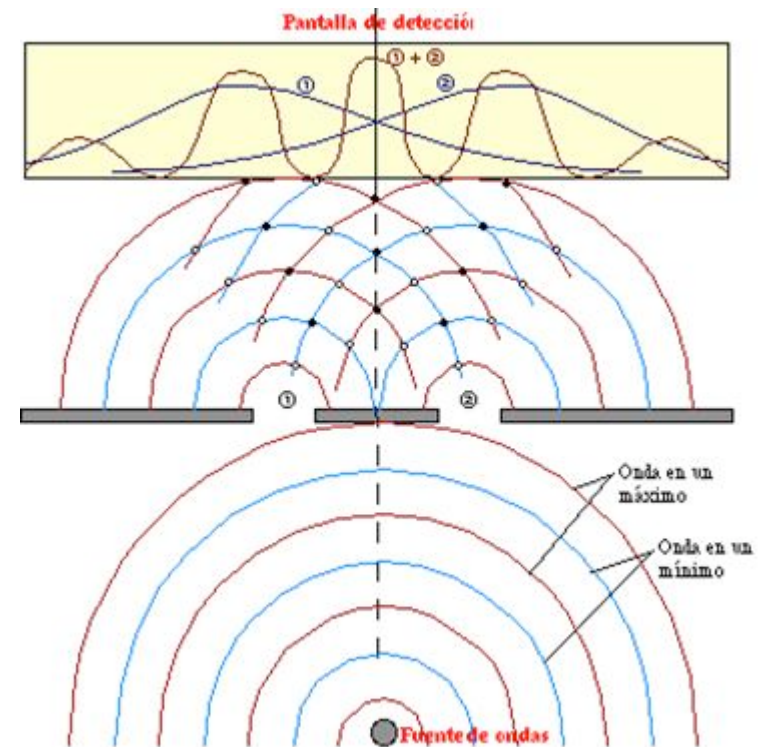
Consideraciones generales:

- Estrellas (y por eso sol) prácticamente no emiten en radio → observaciones de día son posibles
- Longitud de onda larga (cm→m):
 - Superficie no necesita ser muy pulido, incluso puede ser red de hilos (siempre que distancia entre hilos $< \lambda/10$).
- Antena grande para:
 - Más sensibilidad
 - Más resolución
- Gran problema de la radioastronomía: Resolución angular

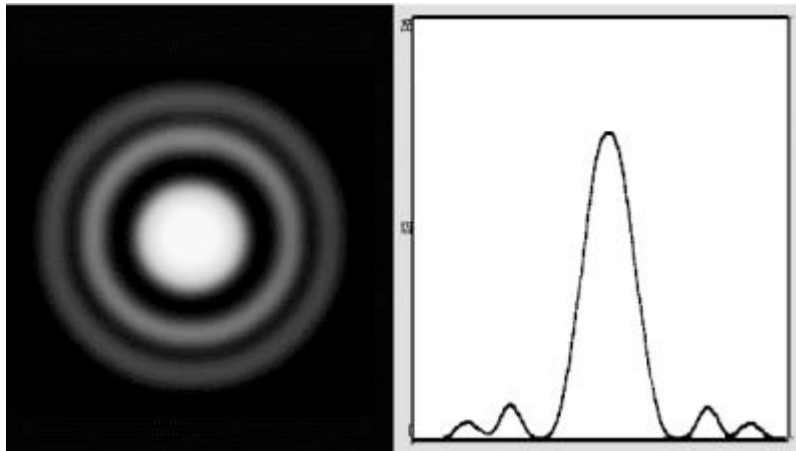
Resolución de un telescopio: Difracción



Difracción: Luz "dobla" detrás de obstáculos o pequeños agujeros.



Difracción y interferencia: Patrón de mínimos y máximos de intensidad cuando luz pasa por dos rendijas

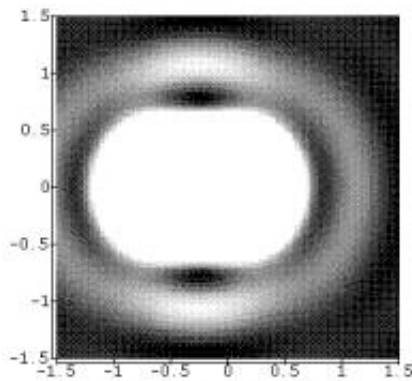


Debido a la difracción una estrella (puntual) no se ve como un punto sino como un disco rodeado por anillos

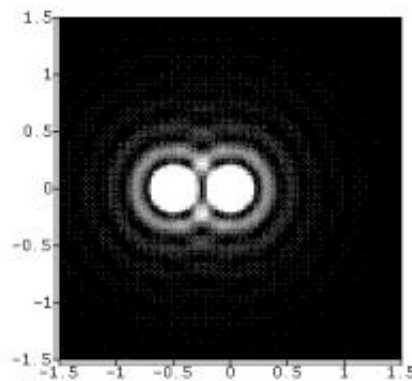
Resolución angular

Resolución angular (distancia en la que dos puntos se pueden ver como separados):

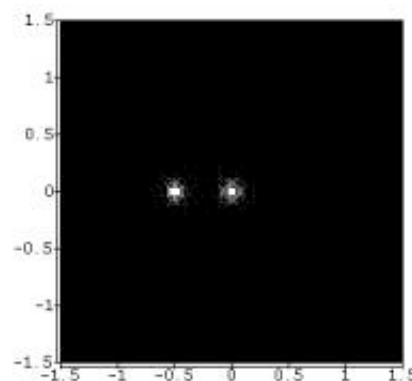
$$\Theta = 1.22 \lambda / D$$



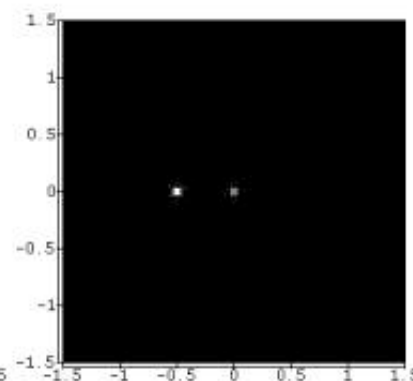
A. Objective size = 0.1524 m (6 in)
 $\theta_R = 0.826$ arc sec at $\lambda=500$ nm
 integration time = 30 minutes



B. Objective size = 0.508 m (20 in)
 $\theta_R = 0.248$ arc sec at $\lambda=500$ nm
 integration time = 2.7 minutes



C. Objective size = 2.3876 m (94 in)
 $\theta_R = 0.0527$ arc sec at $\lambda=500$ nm
 integration time = 7.3 seconds



D. Objective size = 5.08 m (200 in)
 $\theta_R = 0.0248$ arc sec at $\lambda=500$ nm
 integration time = 1.6 seconds

Resolución de un telescopio

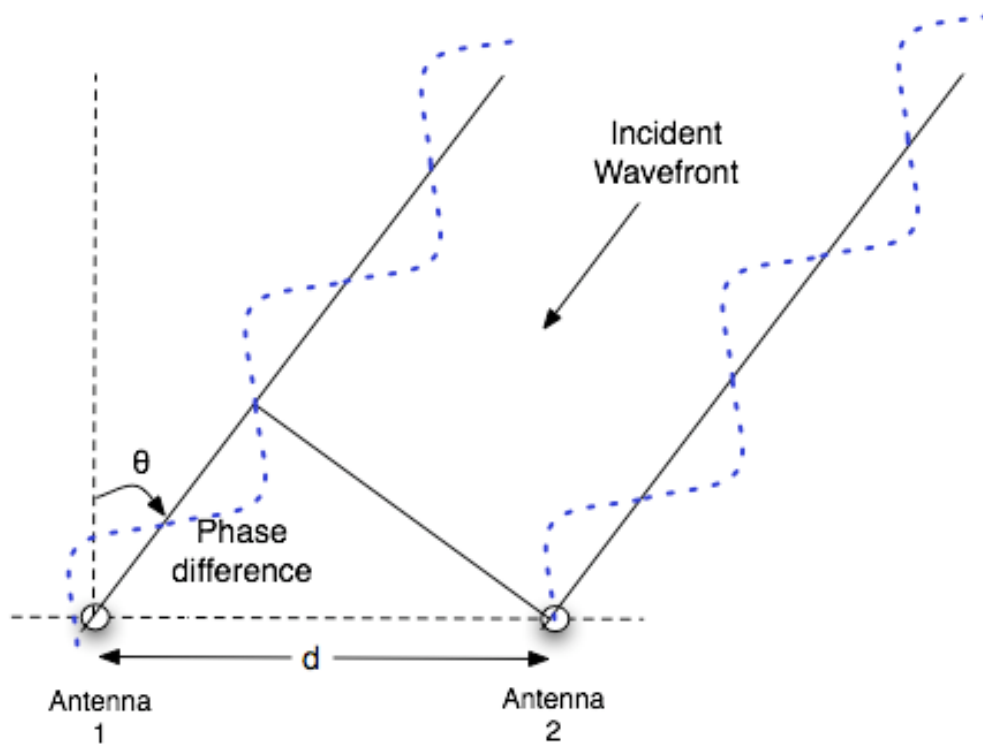
$$\text{Limite de resolución} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

The diagram shows the resolution formula $\text{Limite de resolución} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$. A box labeled "Longitud de onda" has an arrow pointing to the λ in the numerator. Another box labeled "Diámetro telescopio" has an arrow pointing to the D in the denominator.

- Visual, p.e. verde: $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$, $D=1\text{m} \rightarrow 0.13 \text{ arcsec}$
- "Seeing" de la atmósfera: $\sim 1\text{arcsec}$
- \rightarrow Resolución de telescopios ópticos está siempre limitado por seeing

- Radio, p.e.: $\lambda = 21\text{cm}$ (HI), $D=100\text{m} \rightarrow 7.3 \text{ arcmin} = 438 \text{ arcsec}$
- \rightarrow Resolución en radio es mucho peor
- \rightarrow Interesa hacerlos lo más grande posible

Mejorar resolución: Interferometría



Observando una estrella: patrón ondular conforme fuente va cambiando de altura

Dos estrellas muy cercanas: Señales se anulan si máximo de una onda coincide con mínimo de otra.

Eso ocurre si distancia angular, Θ , es $\Theta = \lambda/2d$

Inconveniente: Para estructuras con escalas grandes, "pierde flujo"

Síntesis de apertura en radioastronomía

En los años 1950, Martin Ryle (Cambridge, Inglaterra) empezó a aplicar la interferometría a radio. Desarrolló la "síntesis de apertura", para lo que le dieron el premio nobel en 1974.

- Uso de varias antenas simulando una de tamaño igual a la distancia máxima.
- Correlando la señal de todas las antenas, obteniendo muchas "líneas de base" (distancias entre antenas proyectadas al cielo).
- Usa la rotación de la tierra para ampliar número de líneas de base.

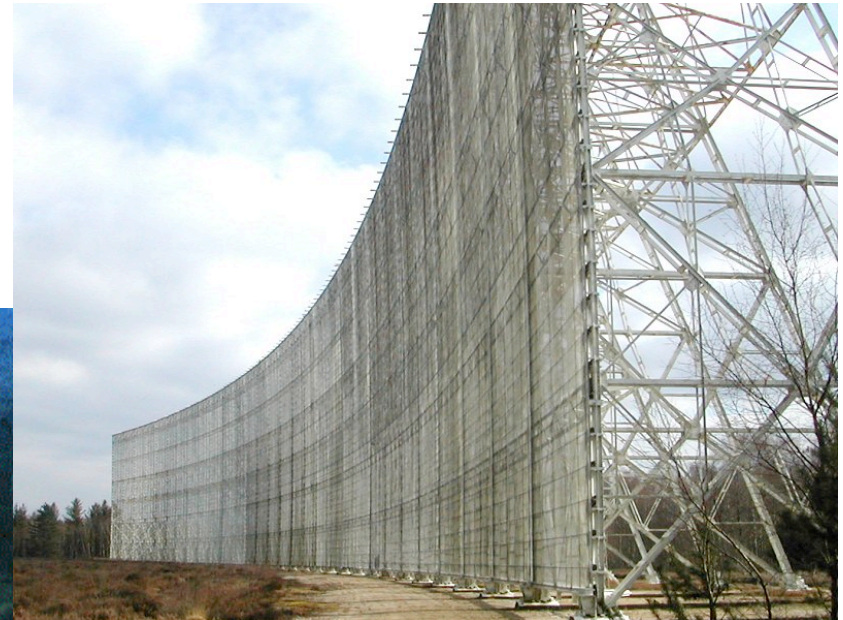
Algunos radiotelescopios



Effelsberg, $D = 100\text{m}$
(cerca de Bonn, Alemania)

Algunos radiotelescopios

Nancay
(cerca de Lyon, Francia)



Superficie grande,
pero
resolución no es
simétrica

Algunos radiotelescopios

Arecibo, $D = 305\text{m}$
(Puerto Rico),

Solo puede observar
rango restringido en
el cielo.



Gran tamaño puede ser un problema....

Telescopio de Greenbank de 100m colapsó en 1988 después de estar en uso durante más de 20 años.



Principios de tecnología

Componentes

- Antena (parabólica) - como óptico, salvo que se puede permitir peor superficie
- Receptor
- **Amplificador**
- Detector
- Espectrómetro, etc.

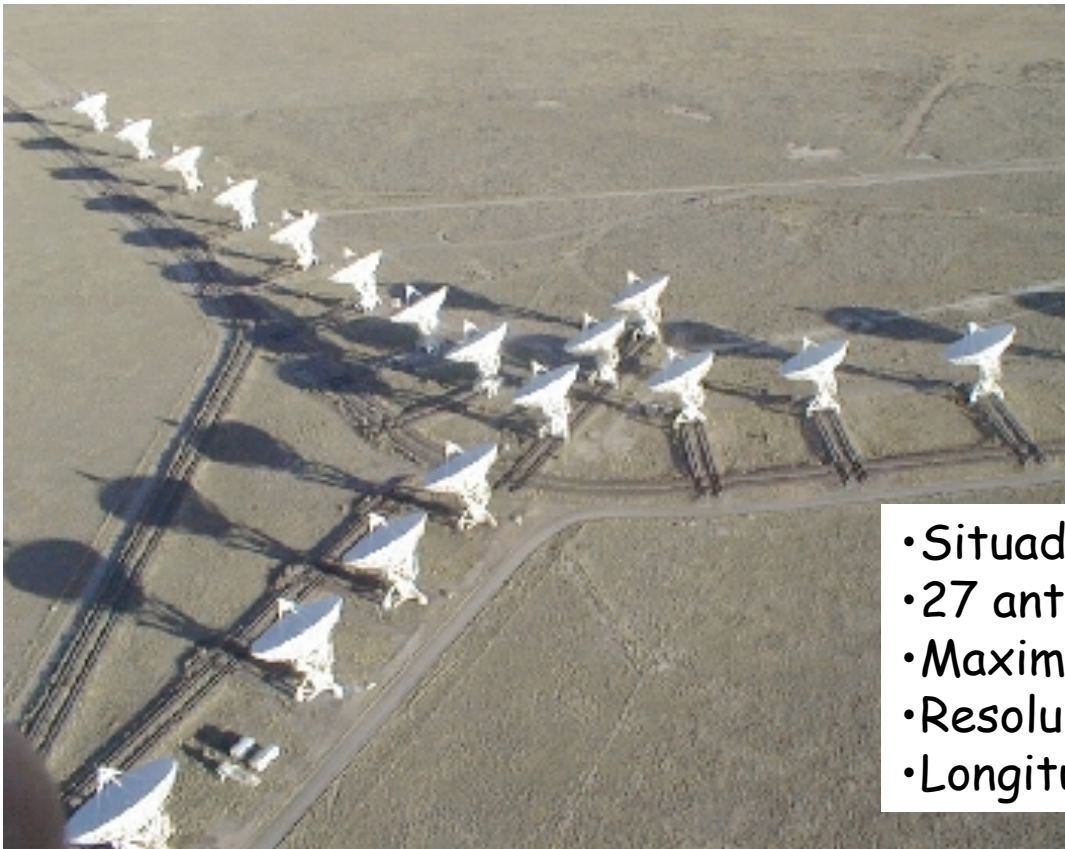
Diferencia con telescopios visuales:

- Amplificación necesaria
- Alto nivel de emisión de fondo (cielo, atmósfera) → observaciones on-off

Algunos interferómetros existentes

Very Large Array (VLA):

Funcionando (con todas las antenas)
desde 1981



- Situado en New Mexiko (EEUU)
- 27 antenas de 25 metros de diámetro cada una.
- Máxima distancia: 36 km
- Resolución máxima: 0.04 segundos de arco
- Longitudes de onda: 0.7 a 90 cm

Otros interferómetros

- Westerbork, Países Bajos
- Cambridge, Inglaterra
- Narribiri, Australia



Más línea de base.....

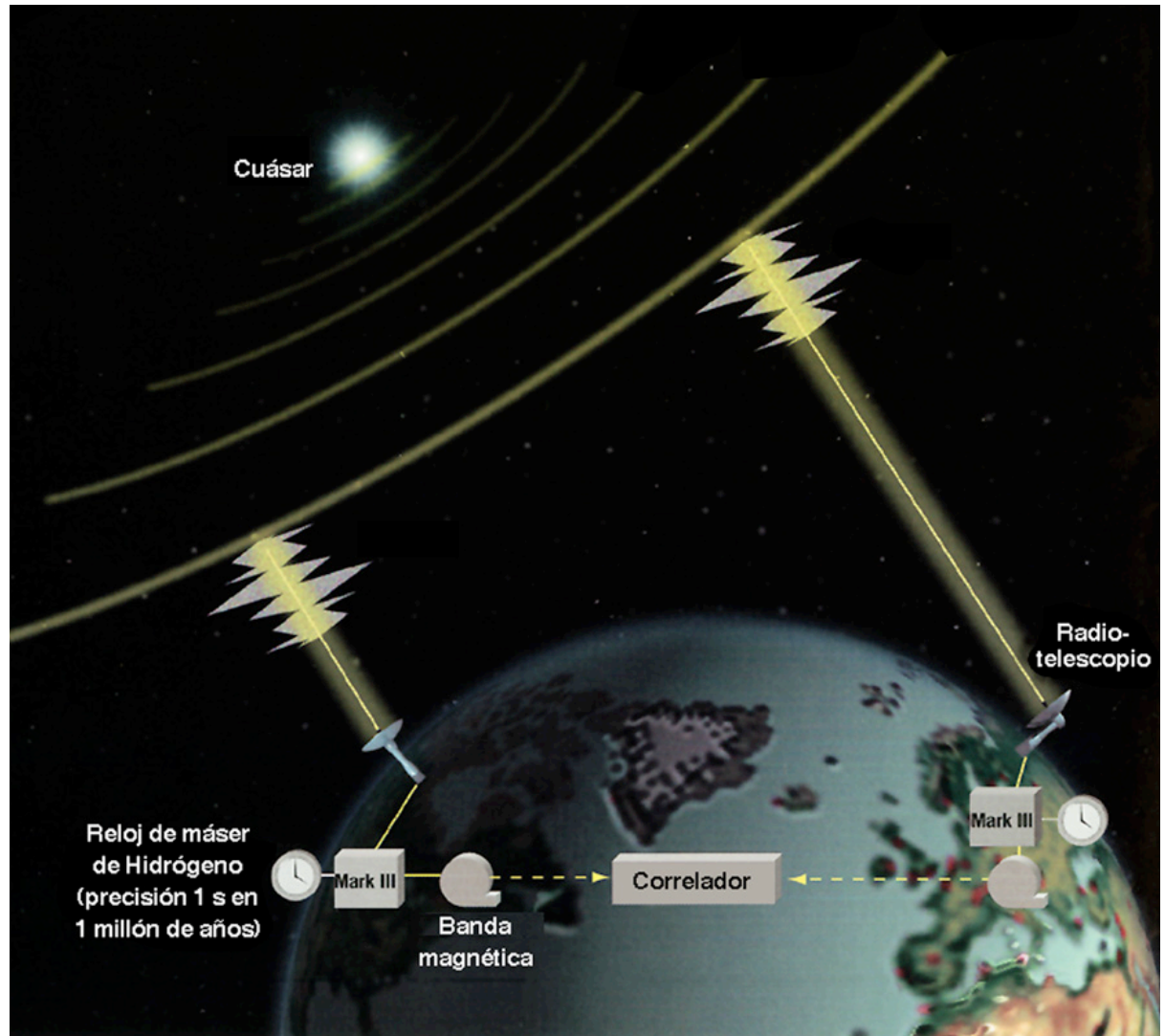
Lowell Telescope
Jodrell Bank



- MERLIN (Multi-Element Radio Link Interferometer Network), basado en Jodrell Bank, Gran Bretaña
- Telescopios conectados con conexiones de radio
- Distancia máxima: 217 km
- Resolución: 0.005 seg. arco

Very Long Baseline Interferometry

- Más distancia entre antenas: Conexión directa imposible
- Se gravan los datos junto con tiempo exacto
- Necesita buenos relojes → posible desde final de los 1960s con relojes atómico



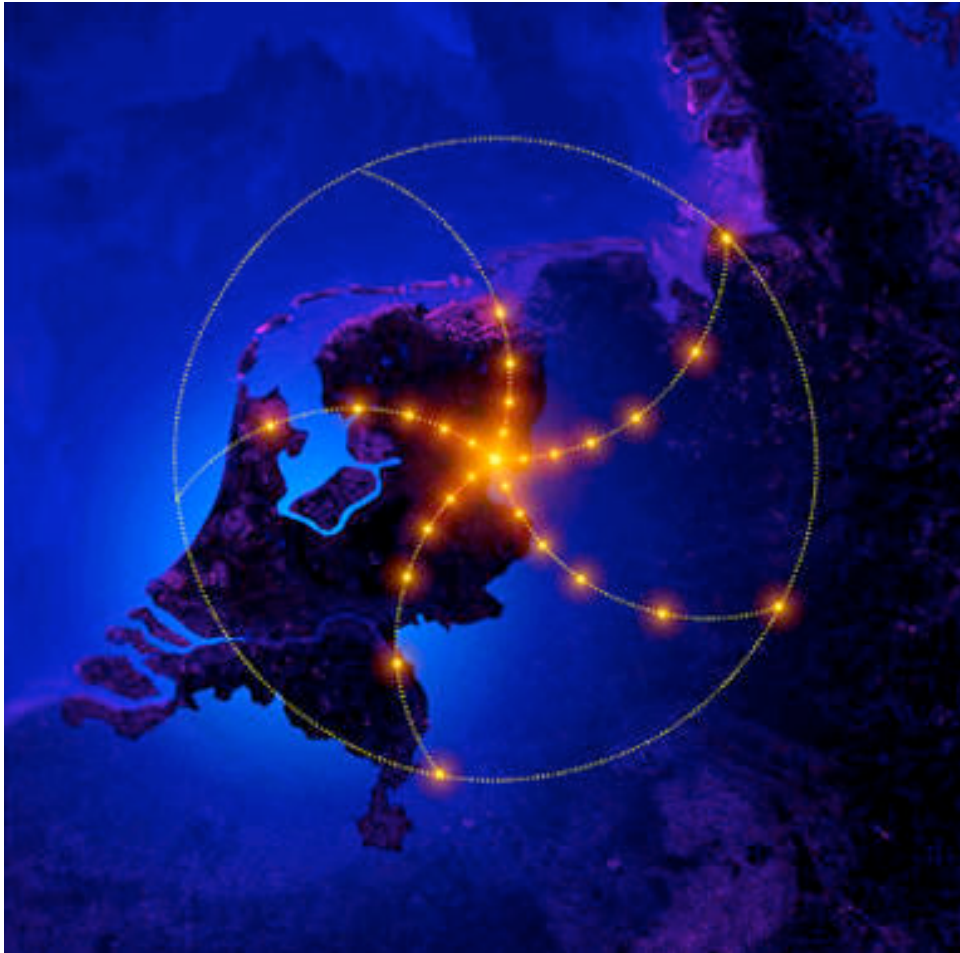


Telescopios participando en VLBI

Res. Unos 0.1 marcsec \rightarrow 10000 veces visual

Futúro: LOFAR (Low frequency array)

- Interferometría con antenas pequeñas
- Campo de visión es todo el cielo
- Costes más grande: Transporte de datos



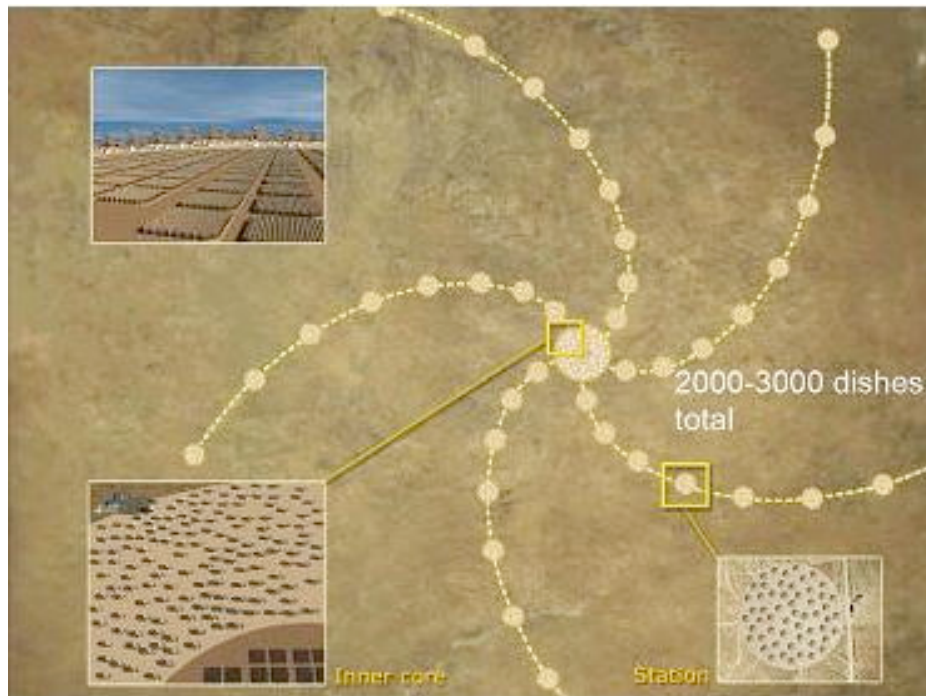
Distribución de los campos de antenas desde Holanda, llegando hasta Alemania



Antenas (con la antena de 25m de Westerbork al fondo)

Futúro: SKA (square km array)

- 1km² de area de colección de radiacion (= suma de las superficies de las antenas para tener gran sensibilidad y poder objetos a gran distancia (VLA puede detectar galaxias solamente hasta $z = 0.1$)
- El sitio donde se va a construir se va a seleccionar en 2011/12, propuestas son Australia, Sudafrica



Distribución de la zona interior de las antenas



Se usará una combinación de antenas grandes y pequeñas

Los detalles de diseño se están estudiando ahora