

## COMIENZOS

Algo de historia sobre los comienzos de la radioastronomía:  
El libro del Dr. Kraus, la biblia de la materia, nos cuenta en forma amena como comenzó esta inquietud y refleja vívidamente como su existencia dependió de unos poquísimos iluminados y por unos años de un solo iluminado: el Ing. Grote Reber.

La ciencia de la radioastronomía tuvo sus comienzos con los experimentos de Karl G. Jansky en 1931. Jansky trabajaba como ingeniero en Holmdel, New Jersey, la localidad de los laboratorios de la Bell Telephone.

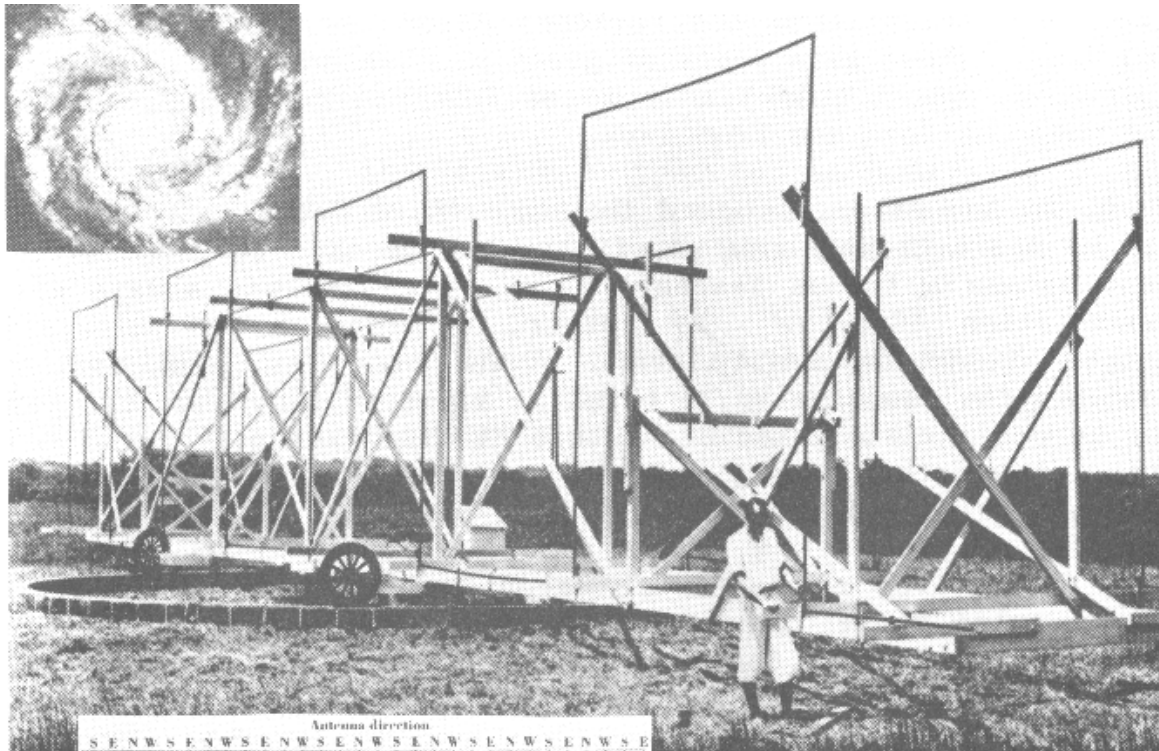


*Fig.2-1 Karl Jansky  
junto a su esposa  
Alice en Diciembre  
de 1928.*

Le habían asignado el problema de estudiar la dirección de llegada de los ruidos de estática provenientes de las tormentas. Esta información podría ser de mucha utilidad, pues si se descubriera una dirección favorita, las antenas de transmisión transoceánica podrían diseñarse de manera de poseer una mínima respuesta en esas direcciones, mejorando entonces la relación señal-ruido de la transmisión.

Para estudiar el problema, Jansky construyó una antena del tipo cortina de Bruce, unidireccional polarizada verticalmente. Esta antena, que tenía 30 metros de largo por 4 metros de alto estaba montada en cuatro ruedas que corrían sobre un riel circular horizontal que le permitía la rotación azimutal. Un motor sincrónico se encargaba de hacerla girar una revolución cada 20 minutos.

Esta antena se conectó a un receptor que operaba en 14.6 metros (20.5MHz). La potencia de salida se enviaba a un registrador de papel con una gran constante de tiempo.



*Fig. 2-2 Jansky con su antena "calesita" que giraba cada 20 minutos calibrando el sistema.*

En un informe publicado en diciembre de 1932, en Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Jansky habló de los primeros resultados de sus experimentos. El fué capaz de identificar tres fuentes de estática:

- 1) estática de tormentas locales
- 2) estática de tormentas lejanas preferentemente del sur.
- 3) ...un ruido constante ...siseo...de origen desconocido.

Una muestra de este registro se ve en el grafico:

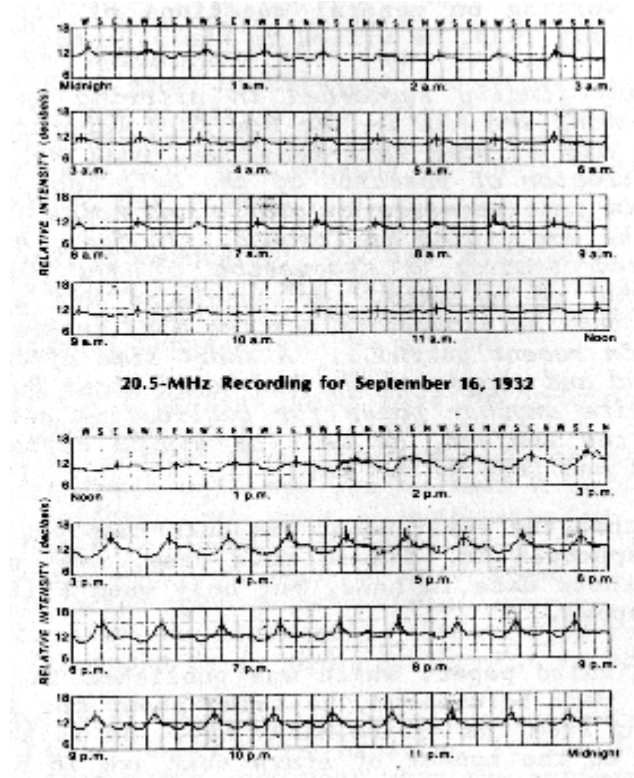


Fig.2-3

Continuando su discusión sobre el tercer tipo Jansky establecía que el ruido era un siseo del tipo del que hace el propio aparato telefónico.

La dirección de llegada de este ruido cambia gradualmente con el transcurso del día, girando alrededor de los puntos cardinales en aprox. 24 horas. Luego agregó: Este tipo de estática fue recién reconocido definitivamente en enero de 1932. Anteriormente lo había considerado una interferencia de una portadora no modulada. Así, si una fecha para el nacimiento de la radioastronomía ha de ser dada, la mejor es enero de 1932.

Debido a la periodicidad de 24 horas, Jansky especuló que la nueva estática podría estar asociada con el Sol.

Sin embargo, en un informe publicado en Octubre de 1933 titulado "Disturbios eléctricos de posible origen extraterrestre" él indicaba que posteriores observaciones conducían a la conclusión de que la dirección de origen de estas ondas está fija en el espacio, es decir, que provienen de alguna fuente exterior al mismo Sistema Solar.

Dio, entonces, las coordenadas aproximadas de la región de donde

parecían venir las ondas en Asc Recta 18 Hrs. y  $10^{\circ}$  de declinación sur, con un error de menos de 30 min. para la AR y de  $30^{\circ}$  en declinación.

Esta posición, con las tolerancias indicadas, abarca la zona del centro de nuestra galaxia!

En un tercer informe, que apareció en Octubre de 1935, Jansky fue capaz de demostrar que estas radiaciones son captadas toda vez que la antena se apunta hacia alguna parte de la Via Láctea, siendo mayor la potencia recibida desde el centro de la misma.

Este hecho conduce a la conclusión que la fuente de esta radiación Está localizada en las propias estrellas o en el material interestelar distribuido en el plano de la galaxia. Jansky también notó, que si la radiación proviniera de las estrellas, se debería observar una fuerte potencia desde el Sol lo que nunca se detectó hasta ese momento.

Su conclusión de que las estrellas no contribuían con gran parte de la potencia captada era correcta. Sin embargo, Jansky realizó sus observaciones durante un mínimo solar. Si él hubiera continuado unos pocos años más, hubiera detectado energía desde el Sol durante un período de máximo solar.

Pero Jansky fue pronto transferido a otras tareas de investigación y tuvieron que pasar años para que se hiciera algún otro progreso en la ciencia naciente y no reconocida.

Jansky se dio muy bien cuenta de la importancia astronómica de su descubrimiento y también de sus implicaciones prácticas.

Por ejemplo, él escribió en 1935 que "esta estática estelar, como siempre sostuve, pone un límite definido a la intensidad de señal que puede recibirse desde una dirección y momento dados, y cuando un receptor es suficientemente bueno para recibir ese mínimo, es hacer un inútil gasto de dinero tratar de mejorarlo".

Así, Jansky en 1935 identificó al origen de la radiación con la estructura galáctica. Detectó emisión tanto en 14.6 metros como a 10 metros. También entendió como esta radiación de fondo ponía un límite a la sensibilidad de los receptores. Se dio cuenta que cualquier progreso en radioastronomía requeriría de antenas mas grandes, mucho mas direccionales y que pudieran apuntarse fácilmente a diferentes partes del cielo. De hecho, él propuso la construcción de un reflector parabólico de 30 metros de diámetro para usar en longitudes de onda métricas. Pero no obtuvo sustento para tal proyecto y la radioastronomía languideció.

En 1937, Grote Reber, un ingeniero en radio que vivía en Wheaton, Illinois, se interesó en los trabajos de Jansky y construyó un reflector parabólico de 10 metros de diámetro en el fondo de su casa. Esta antena, montada como instrumento de tránsito por el meridiano, era movable solo en declinación, y dependía del movimiento terrestre de rotación para el barrido en Ascensión Recta.

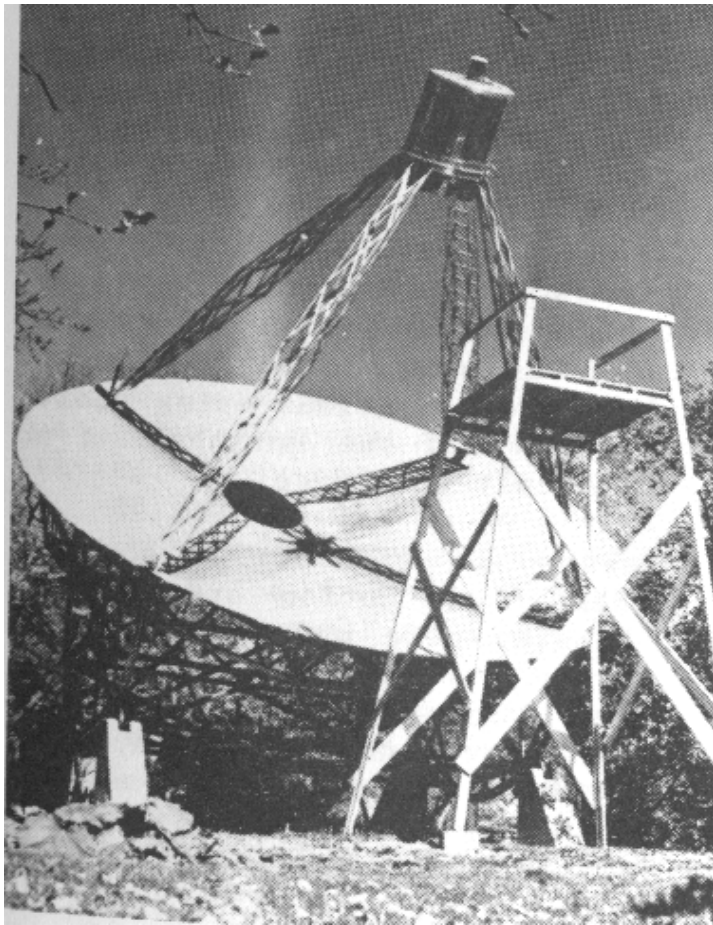


Fig. 2-4



*G. Reber en su juventud, cuando construyó la antena de 10 metros de diámetro en el fondo de su casa para relevar el origen de las ondas de radio provenientes del cosmos.*

Fig. 2-5

La suposición mas promisorio al momento era que si la radiación que Jansky encontró obedecía a las leyes de la radiación del cuerpo negro de Max Planck, sería mas fuerte a menores longitudes de onda. Reber hizo entonces, su receptor para 9.1 cm (3300 MHz) con resultados negativos.

Modificó entonces la banda de recepción para que opere a longitudes de onda mas largas: 33 cm (910 MHz). Una vez mas fué incapaz de

detectar alguna radiación celeste. Reconstruyó así su receptor para 1.87 metros (160 MHz).

Por la primavera de 1939 Reber obtuvo definidos indicios de radiación que marcaban una notable concentración hacia el plano galáctico, y él hizo publicar algunos resultados preliminares en 1940. Aunque la antena de Reber era mas pequeña que la de Jansky, al usar una longitud de onda menor, el haz resultaba mas agudo. El haz de la antena de Reber tenía 12° de tamaño mientras que la usada por Jansky se extendía hasta 30° en su mejor dirección.

Reber dedicó una considerable atención a las limitaciones de su equipo receptor. Reconoció que el sistema antena-receptor, ahora llamado radiotelescopio, actúa como un bolómetro, dispositivo que mide calor, en el cual la resistencia de radiación de la antena mide la temperatura equivalente de partes distantes del espacio al cual se le proyecta la forma de respuesta de la antena.

Perfeccionando su equipo, Reber continuó trabajando en un relevamiento sistemático del cielo y en 1944 publicó los primeros mapas del radiocielo.

Estos mapas muestran la radiación de fondo en 1.87 metros de longitud de onda (160 MHz) en unidades de watt por metro cuadrado por grado angular circular y por megaciclo de ancho de banda.

Los mapas constituyen la primer medición cuantitativa extensiva a una amplia región del cielo y están muy de acuerdo a mediciones presentes.

Considerando el rudimentario equipo de que Reber disponía, esto representa un gran tributo a su habilidad.

En las palabras de Reber los mapas muestran que el máximo de la radiación proviene de la constelación de Sagitario. Un máximo menor proviene desde Cygnus, Cassiopeia, Canis Major y Puppis. El menor mínimo está en Perseus. Reber también detectó emisión solar.

Hay una interesante historia concerniente al informe de Reber de 1940 en el Astrophysical Journal. Cuando Reber envió este reporte, el Dr. Otto Struve, editor de la publicación estaba inseguro de la buena base del trabajo y estaba indeciso de publicarlo. Era la primera vez que se enviaba un trabajo sobre emisión de radio desde el cielo a un editor astronómico y la mayoría de la gente o era escéptica o estaba insegura acerca de los resultados. El Dr. Struve no deseaba publicar un trabajo

que luego se demostrara que no era correcto o inexacto y por otro lado no tenía a quien consultar al respecto, de modo que tenía amplias facultades para rechazar la contribución de Reber, pero, razonando que un buen informe rechazado podría significar un mal mayor que un pobre trabajo publicado, él aprobó su publicación.

Apareció durante la segunda guerra mundial, y aunque Holanda estaba bajo el régimen alemán, una copia pudo llegar a las manos de la gente del Observatorio de Leyden.

El profesor Jan H. Oort, entonces director del Observatorio se mostró muy interesado en el informe de Reber y lo comentó con sus asociados.

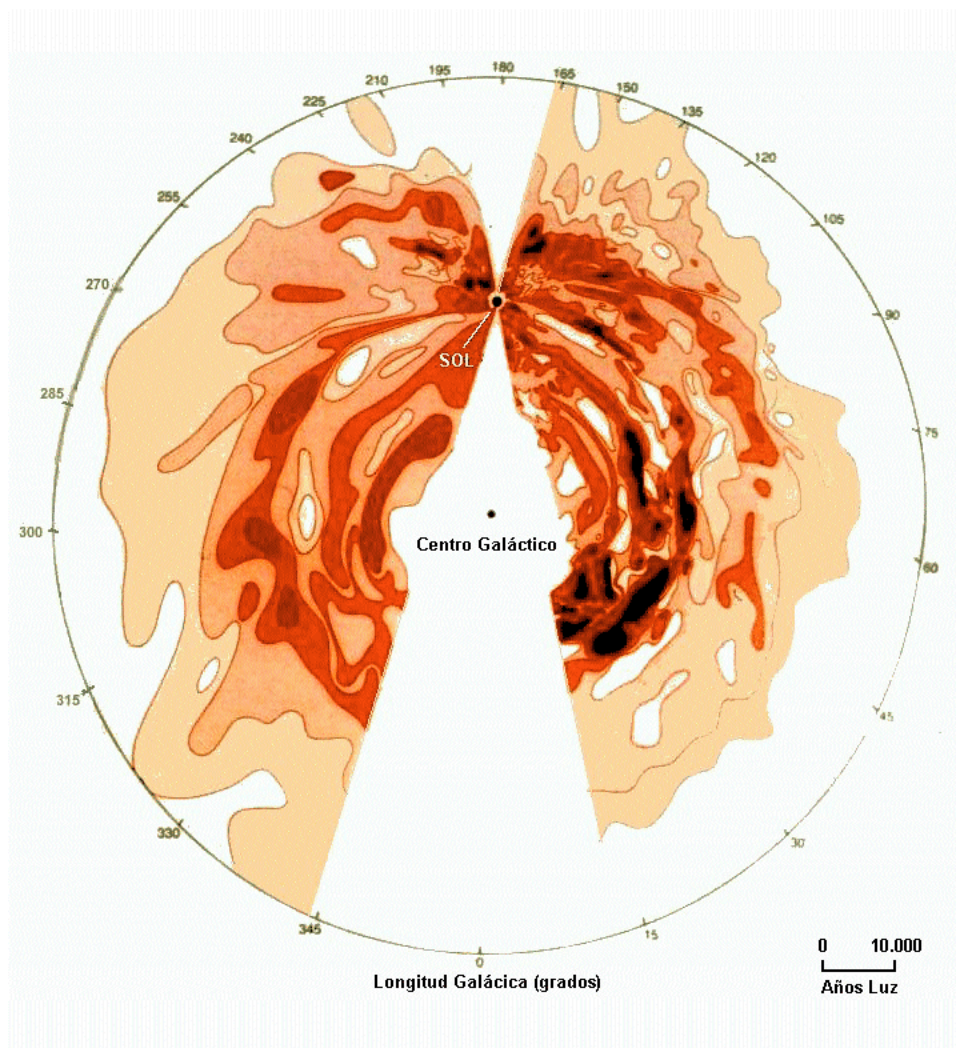
Oort rápidamente se percató que la emisión captada por Jansky y Reber pertenecía al espectro continuo, o sea, radiación que se extiende por un gran intervalo de longitudes de onda, quizás desde 1 metro hasta varios metros.

Oort sugirió que si se hallara una línea de radiación monocromática se podrían entonces hacer grandes hallazgos. Esto se lo sugirió a el Dr. Hendrick van de Hulst, un joven astrónomo de Leyden, el que consideró varios mecanismos posibles que pudiesen dar como resultado un espectro de línea.

En 1944, van de Hulst informó que el hidrógeno neutro del espacio interestelar podría ser un buen candidato. Tenía una longitud de onda de 21.1 cm (1420 MHz), correspondiente a una transición entre dos niveles del estado mas bajo de energía del átomo relacionados con el spin, o orientación del dipolo magnético. Sin embargo, la baja probabilidad de la transición y el desconocimiento de la densidad del gas en el espacio no hacía mucho en favor de la detección del mismo, así todo, van de Hulst sugirió que valía la pena investigar.

El 25 de marzo de 1951, Ewen y Purcell en la Universidad de Harvard detectaron la línea en emisión. En pocas semanas mas la detectaron Oort y Muller en Leyden, y Christiansen en Sydney, Australia. Subsecuentemente Hagen y Mc Clain (1954) en el US Naval Research Observatory detectaron la línea en absorción. Las observaciones en la línea del hidrógeno han sido de inmenso valor y han marcado un rápido y profundo progreso en las fases activas de la radioastronomía.

Uno de los resultados mas espectaculares ha sido el mapeo de la estructura de nuestra galaxia. El grupo holandés ha sido el líder en esta cuestión.



*Fig.2-6 Estructura de nuestra galaxia obtenida por medio de mediciones de velocidades radiales de las nubes de hidrógeno atómico que la componen. Esto se pudo lograr debido a que el material intergaláctico es prácticamente transparente a las ondas de radio en 21 cm utilizadas.*

Podemos darnos cuenta retrospectivamente que el trabajo de Reber que casi no fue publicado, se convirtió en unos de los papers clásicos de la radioastronomía y también un importante agente catalítico en la formación de un nuevo campo de investigación en lo que respecta a la línea de 21 cm.

Kraus relata que se encontró con Reber en 1941, habiendo sido empleados ambos del US. Naval Ordnance Laboratory, en Washington, DC. Estaban trabajando en proyectos secretos no relacionados con la

radio. Pero fuera del laboratorio la conversación giraba hacia la radioastronomía, una materia completamente no clasificada.

Reber describió su equipo y observaciones con entusiasmo contagiante que impulsó el interés del Dr. Kraus. Pero no fué hasta 10 años mas tarde que en la Universidad de Ohio tuvo la oportunidad de comenzar un programa de investigación en radioastronomía. Sin embargo, su primer experiencia en tratar de detectar la emisión solar fué infructífera.

Mas tarde, Reber continuó su relevamiento del cielo en longitudes de onda mas cortas con su antena de 10 metros del fondo de su casa, y en 1948 publicó radio mapas tomados a 62.5 cm (480 MHz). El reconoció que cualquier progreso en la materia requeriría de antenas mucho mas grandes y en 1948 propuso la construcción de una parábola móvil de 67 metros de diámetro de excelente diseño. Sin embargo no pudo convencer a nadie en su construcción.

Luego de la segunda guerra, en Inglaterra y Australia se comenzaron vigorosos planes en radioastronomía. Así, en Manchester, Inglaterra, comenzó a construirse una antena fija de 66 metros de diámetro. Se completó en 1947, y en 1948 se formularon planes para la puesta en marcha de otra móvil de 76 metros de diámetro en la misma institución.

Su construcción se comenzó en 1953 y se terminó en 1957. Por muchos años este radiotelescopio fué el mayor telescopio móvil del mundo.

En Malvern, Inglaterra, Hey, Parsons y Phillips comenzaron un relevamiento del cielo a una longitud de onda de 1.7 metros (64 MHz).

Durante el trabajo, notaron que la radiación recibida desde una región de Cygnus parecía fluctuar apreciablemente en intensidad en tiempos del orden del minuto. Bolton y Stanley (1948) observaron esta región de Cygnus usando una suerte de "interferómetro de mar" hecho con una antena montada en un risco cercano al océano cerca de Sydney, Australia. Con la alta resolución angular de su interferómetro encontraron que la fuente de Cygnus tenía un diámetro angular aparente menor a 8 minutos de arco. Esta fue la primera vez que se pudo afirmar que algunas radio fuentes presentan un pequeño tamaño aparente. Los resultados de Bolton y Stanley fueron corroborados mas tarde por Ryle y Smith (1948) en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, usando un interferómetro de dos elementos. Ryle y Smith también descubrieron la radiofuente de Cassiopeia, aún mas poderosa que la de Cygnus, cuya declinación la sitúa demasiado al norte para poder alcanzarse desde Sydney.

Las fluctuaciones de la radiofuente de Cygnus, hoy llamada Cygnus A, primeramente notadas por Hey, Parsons y Phillips, fueron, por muchos años, atribuidas a la propia fuente. Sin embargo posteriores estudios demostraron que estas variaciones eran causadas por inhomogeneidades en la ionósfera terrestre. Las fluctuaciones son la contrapartida en radio de el titileo aparente que sufren las estrellas, especialmente en las noches invernales.

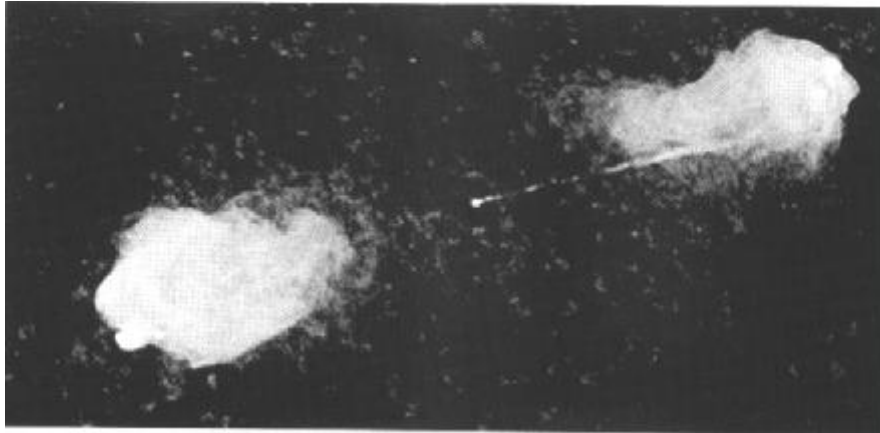
La posición de Cygnus A determinada por Bolton y Stanley era remota de cualquier objeto probable conocido ópticamente. En las proximidades solo aparecían débiles estrellas. Cygnus A, en cambio, era tan fuerte que hacía necesaria una rápida búsqueda que la relacionara con algún objeto óptico que pudiera identificarla.

Esto requería, a su vez, un conocimiento mas exacto de su posición. En 1951 Graham Smith, en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, obtuvo una precisa información sobre la posición de la radiofuente que comunicó en agosto de ese año a Walter Baade, del Observatorio del Monte Palomar. Durante el mes siguiente, con la ayuda del gran telescopio de 5 metros, el Dr. Baade tomó fotografías de larga exposición de la zona marcada por Cygnus A.

En las coordenadas de Graham Smith, Baade notó una débil manchita parecida a una galaxia distante pero cuya forma no se ajustaba perfectamente a esos objetos. La galaxia parecía ser doble y Baade especuló que podrían ser dos galaxias distantes en colisión. Aunque la hipótesis de la colisión no se considera valedera ya, no hubo una explicación racional de su apariencia peculiar. Un espectro de Cygnus A tomado luego por Minkowski hizo posible estimar su distancia en 200 millones de años luz. Hoy esa distancia se ha agrandado a 600 millones de años luz.

La potencia emitida por Cygnus A es de  $10^{38}$  watt. Si estuviera 10 veces mas lejos, seguiría siendo una fuerte radiofuente en los límites de su detección óptica por los telescopios mas poderosos!

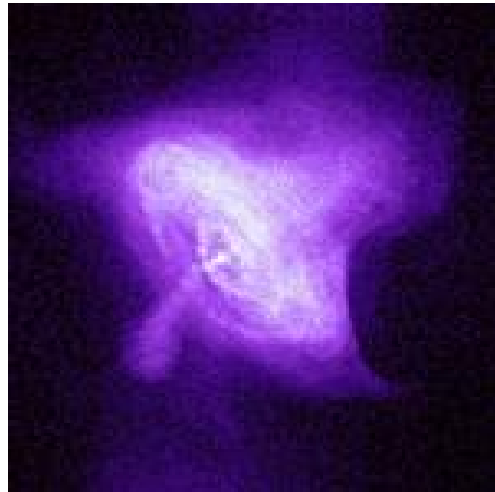
Este resultado espectacular sugirió que la radioastronomía podría jugar un rol fundamental en la exploración de las máximas profundidades del Universo y le dió un nuevo ímpetu a su desarrollo.



*Fig. 2-7 La famosa radiofuente Cygnus A, revelada en detalle por uno de los mas grandes sistemas radioastronómicos: el VLA (Very Large Array, en Socorro, Nueva Mexico, USA). La nítida imagen obtenida con este conjunto de antenas muestra dos chorros (jets) opuestos de plasma, expulsados a casi la velocidad de la luz, del núcleo de la lejana galaxia. Se supone que el motor impulsor de esos jets es un masivo agujero negro.*

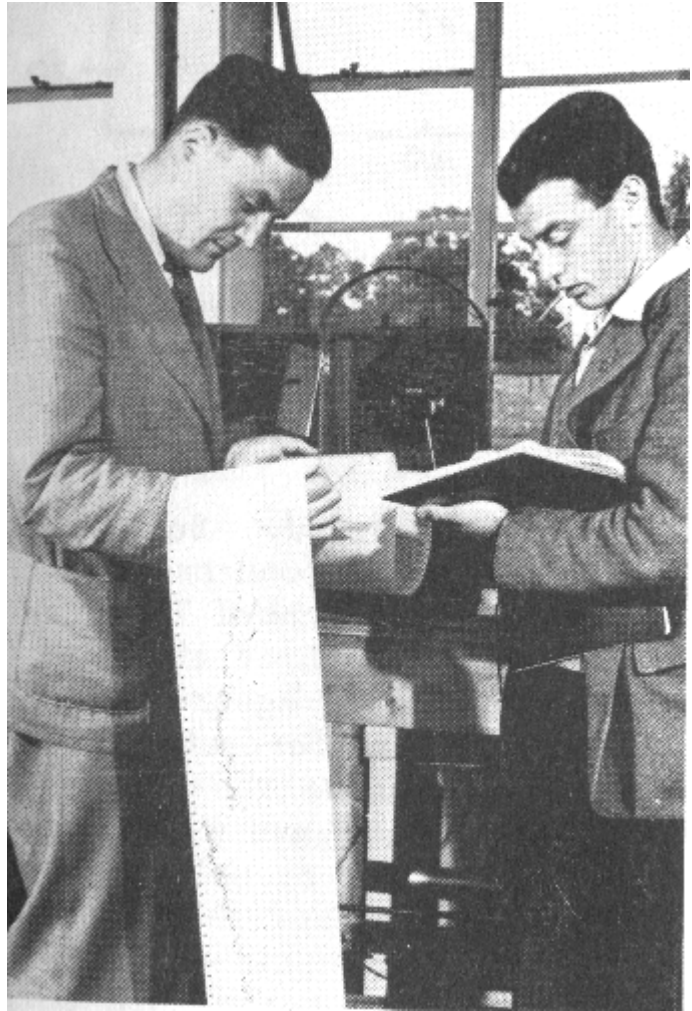
Tres años antes de la identificación de Baade, John G. Bolton, en Sydney, Australia, había identificado una fuerte radiofuente en Taurus con la famosa nebulosa Cangrejo. Era el primer objeto celeste diferente al sol, que se podía identificar con un cuerpo óptico.

*Fig. 2-8 Muy diferente es el aspecto que presenta la Nebulosa del Cangrejo, situada en la constelación de Taurus, según la frecuencia de la onda con la que se la observa. La figura nos muestra la versión en rayos X, tomada con el satélite Chandra, en 1999. Esta nebulosa es el resto de una supernova (SNR) y brilla a lo largo de todo el espectro electromagnético.*



En 1950, Hanbury Brown y Cyril Hazard, usando la parábola fija de 66 metros de la Universidad de Manchester, Inglaterra, detectaron radio emisión desde la gran nebulosa de Andrómeda en 1.9 metros de long. de onda (158 MHz).

*Fig. 2-9 R. Hanbury Brown (izq.) y Cyril Hazard observando un registro realizado con el paraboloide de 66 metros en Jodrell Bank, Inglaterra, por los años 1949.*



Aunque es una de las galaxias externas mas cercanas, no es muy fuerte en radio.

Emite  $10^{32}$  watt, quedando chica frente a los  $10^{38}$  de Cygnus A. Esta gran diferencia condujo a la división de las galaxias externas en las llamadas "normales", como Andrómeda, y las "radio galaxias", como Cygnus A, con una potencia de emisión entre mil y cien millones de veces mayor.

Esto era lo que ocurría en el nacimiento de la radioastronomía.

Hoy, seguir el ritmo de los acontecimientos es casi imposible debido al rápido crecimiento de los datos aportados por todos los radiotelescopios instalados sobre todo el globo terráqueo y en algunos satélites, pero se confirmó ampliamente que la radioastronomía juega un rol principal en la investigación astronómica.

